Руководство по устройству электроустановок

В соответствии с МЭК и ГОСТ

se.com

Life Is On Schneider Electric

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

Данное техническое руководство предназначено для специалистов, занимающихся проектированием, инсталляцией и обслуживанием электроустановок. Документ разработан в соответствии с нормами Международной электротехнической комиссии (МЭК) и межгосударственными стандартами (ГОСТ). При разработке технических решений особое внимание уделено соблюдению требований техники безопасности. Международный стандарт МЭК 60364 «Электроустановки низковольтные» устанавливает нормативы, обеспечивающие безопасность и требуемые рабочие характеристики электроустановок всех типов. Поскольку международный стандарт должен охватывать различные типы оборудования и технические решения, используемые во всем мире, правила данного стандарта должны быть комплексными и универсальными и не могут автоматически применяться к конкретному случаю. Поэтому стандарт МЭК не может рассматриваться в качестве рабочего руководства и предназначен для использования только в качестве справочного документа. Цель настоящего руководства заключается в детальном пошаговом разъяснении требований к конкретной электроустановке в соответствии с МЭК 60364 и другими стандартами МЭК, применимыми к описываемой ситуации. Поэтому в первой главе рассматривается используемая методология, а каждая последующая глава описывает конкретный вопрос, который должен быть детально изучен. Особое внимание уделено рекомендациям по обеспечению электромагнитной совместимости, которые основаны на большом практическом опыте решения данных проблем. Надеемся, что данное руководство окажется полезным для Вас.

Schneider Electric S.A.

Благодарности

Данное руководство является результатом коллективных усилий опытных международных экспертов. Издание разработано на основании стандарта серии МЭК 60364 и содержит последние разработки в области стандартизации электротехники.

Издание 2019 г.

© Schneider Electric

Все права защищены во всех странах

Данное техническое руководство – это единый обобщающий документ, в котором изложены методы, правила и стандарты, относящиеся к электроустановкам. Он предназначен для специалистов-электротехников, работающих в компаниях, конструкторских бюро, контролирующих организациях и т. д.

«Руководство по устройству электроустановок» предназначено для квалифицированного технического персонала. Хотя авторы постарались включить в настоящий документ точную и достоверную информацию, компания Schneider Electric не берет на себя юридическую ответственность за любые последствия, которые могут возникнуть в связи с использованием данного материала неквалифицированным персоналом, ответственность за точность, полноту предоставленной информации, устройств, продуктов или способов, описанных в данном руководстве, и не обозначает, что его использование не будет нарушать права частной собственности. Цель данного руководства заключается в помощи реализации международных стандартов по установке для проектирования и монтажа, но во всех случаях международные и местные стандарты имеют первостепенное значение.

Это новое издание было опубликовано, чтобы обратить внимание на изменения в технологиях, стандартах и правилах, в частности, стандарта МЭК 60364 «Электроустановки низковольтные».
Мы благодарим всех читателей предыдущей редакции данного технического руководства, приславших нам свои замечания и предложения, которые помогли улучшить данное издание.
Мы также благодарны специалистам и организациям, которые внесли свой вклад в той или иной форме в подготовку данного технического руководства.

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

Партнерский портал для проектировщиков: поддержка от инженеров Schneider Electric

Партнерский портал предоставляет зарегистрированным пользователям доступ в режиме 24/7 к ресурсам компании – документации, продуктам, видеоматериалам, которые помогут Вам в работе.
Зарегистрируйтесь сегодня!

Компания Schneider Electric предлагает сотрудникам проектных институтов бесплатный веб-ресурс для удаленной информационной и технической поддержки – Партнерский портал для проектировщиков. Кроме информации общего характера, предлагается доступ к инструментам, специально разработанным для проектных организаций, выполняющих работы по проектированию объектов электроснабжения всех классов напряжений, систем автоматизации и слаботочных систем.

НОВЫЙ сервис «Удаленная поддержка проектировщика»*:

- Оценить стоимость проектной документации?
- Разработать однолинейную схему?
- Проконсультироваться у технического специалиста?

Эти и другие вопросы теперь вы можете задать нашим техническим специалистам на партнерском портале! Создание запроса занимает не более 5 минут, а отследить статус запроса можно на портале. Наши специалисты гарантируют ответ в течение 5 рабочих дней.

* Доступно только для зарегистрированных пользователей.

Для регистрации и входа на Портал используйте QR-код!

- Модели оборудования для BIM, САПР, ПО для проектирования в Autodesk Revit
- Типовые и проектные решения, разработанные экспертами Schneider Electric
- Полезное для работы программное обеспечение
- Вебинары и видео-материалы
- Каталоги и сертификаты на оборудование
- Новости о продуктах, мероприятиях и семинарах Schneider Electric

Life Is On Schneider Electric

Руководство по устройству электроустановок 2019
© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

Руководство по устройству электроустановок 2019

Предисловие

Жак Пероннет - председатель Технического комитета 64 МЭК:

Задача ТК 64 заключается в разработке и поддержании современных требований:
- по защите людей от поражения электрическим током;
- по проектированию, верификации и реализации низковольтных электрических установок.

Серия стандартов МЭК 60364, разработанная ТК 64 МЭК, рассматривается международным сообществом в качестве основы для большинства национальных норм в области низкого напряжения.

Требования МЭК 60364 в основном касаются безопасного использования электроэнергии людьми, которые знают о возможных рисках при эксплуатации электроустановками.

Но современные электрические установки становятся все более сложными, из-за различных факторов, например, электромагнитных помех, требований энергоэффективности и т.д.

Следовательно, проектировщики, монтажники и потребители нуждаются в руководстве по выбору и установке электрооборудования.

Компания Schneider Electric разработала такое руководство, посвященное низковольтным электрическим установкам. В его основе лежат разработки ТК 64, а именно стандарты серии МЭК 60364. Руководство предоставляет дополнительную информацию для того, чтобы помочь проектировщикам, подрядчикам и экспертам в реализации правильных низковольтных электрических установок.

Как председатель ТК64, я очень рад и горд, что могу представить это техническое руководство. Я уверен, что оно будет плодотворно использоваться всеми лицами, участвующими в реализации всех низковольтных электрических установок.

Жак Пероннет

Жак Пероннет работает в секторе энергетики в течение последних 25 лет, а в Schneider Electric с 1990 года.
Благодаря тому, что ему довелось занимать различные позиции в Schneider Electric (в технической сфере, маркетинге и стратегии в сфере автоматизации, высокого и низкого напряжения), он накопил обширный опыт в разных областях от производства до распределения электроэнергии. В своей нынешней должности он возглавляет стандартизацию низковольтных установок.
В 2017 году Жак Пероннет был назначен председателем ТК64 МЭК и CENELEC.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

Оглавление

Общие правила проектирования электроустановок A

Подключение к распределительной сети среднего напряжения B

Подключение к распределительной сети низкого напряжения C

Руководство по выбору архитектуры сети среднего и низкого напряжения D

Распределение в системах низкого напряжения E

Защита от поражения электрическим током
и пожаров электрического происхождения F

Выбор сечения и защита проводников G

Низковольтная распределительная аппаратура H

Защита от перенапряжений J

Энергоэффективность в электрических сетях K

Компенсация реактивной мощности L

Управление гармониками M

Источники питания и нагрузки N

Фотоэлектрические установки P

Жилые и особые помещения Q

Рекомендации по обеспечению электромагнитной совместимости R

Измерения S

© Schneider Electric – все права защищены

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

Общие правила проектирования электроустановок

1 Методология A2

2 Действующие нормы и правила A5

2.1 Определение диапазонов напряжений ... A5
2.2 Правила ... A6
2.3 Нормы ... A6
2.4 Качество и безопасность электроустановки ... A7
2.5 Предварительные испытания установки ... A8
2.6 Опасности использования действующих электрических установок ... A8
2.7 Периодические проверки установки ... A9
2.8 Соответствие оборудования установки нормам и спецификациям ... A9
2.9 Окружающая среда ... A10

3 Установленная мощность потребителя – характеристики A11

3.1 Асинхронные двигатели ... A11
3.2 Резистивные нагревательные приборы и лампы накаливания (традиционные и галогенные) ... A13
3.3 Люминесцентные лампы ... A14
3.4 Газоразрядные лампы ... A15
3.5 Светодиодные лампы и светильники ... A16

4 Силовая нагрузка электроустановки A17

4.1 Установленная мощность (кВт) ... A17
4.2 Установленная полная мощность (кВА) ... A17
4.3 Оценка максимальной нагрузки (кВА) ... A18
4.4 Пример применения коэффициентов ku и ks ... A21
4.5 Выбор номинальной мощности трансформатора ... A22
4.6 Выбор источников питания ... A23

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Методология

Чтобы оптимизировать проектирование электроустановок, рекомендуется прочитать все главы данного руководства в порядке их следования.

A – Общие правила проектирования электроустановок

Действующие нормы и правила

Низкое напряжение лежит в диапазоне от 0 до 1000 В при переменном токе и от 0 до 1500 В при постоянном. Одно из первых решений состоит в выборе типа тока, между переменным током, который является наиболее распространенным типом тока в мире, и постоянным током. Затем проектировщики должны выбрать наиболее подходящее номинальное напряжение в пределах этих диапазонов. При подключении к общественной сети низкого напряжения тип тока и номинальное напряжение уже выбраны и введены утилитой.

Соблюдение национальных правил является вторым приоритетом для проектировщиков электрической установки. Правила могут быть основаны на национальных или международных стандартах, таких как стандарт МЭК 60364.

Подбор оборудования в соответствии с национальными или международными стандартами и проведение соответствующих пуско-наладочных испытаний обеспечивают безопасную работу установки с ожидаемым качеством. Определение и соблюдение графика проведения проверок оборудования в процессе эксплуатации гарантируют безопасность и работоспособность электроустановки на протяжении всего жизненного цикла.

Требования по охране окружающей среды становятся все более и более жесткими и должны быть рассмотрены на этапе проектирования установки. Эти аспекты могут быть включены в национальные или региональные правила. Также стоит принять во внимание материалы, из которых изготавливается оборудование, а также утилизацию установки по окончании срока службы.

A§3 – Установленная мощность электроприемников
A§4 – Силовая нагрузка электроустановки

Установленная мощность электроприемников

Должен быть сделан анализ всех электроприемников, которым необходимо энергоснабжение. Любые возможные изменения или модификация в течение всего срока службы электроустановки должны быть проверены. Такой обзор необходим для оценки тока, протекающего в каждой цепи установки, и источников питания.

Общее потребление тока или мощности можно рассчитать исходя из данных о местоположении и мощности каждой нагрузки, режимов работы (устойчивого спроса, начальных условий, отсутствия одновременной работы и т.д.).

На оценку максимальной потребляемой мощности могут влиять различные факторы в зависимости от типа электроприемников, оборудования и схем, используемых в электроустановке.

Исходя из этих данных легко рассчитать мощность, требуемую от источника питания, и при необходимости – количество источников для обеспечения надежного питания.

Также требуется информация о тарифах местного поставщика электроэнергии для выбора оптимального варианта подключения к сети электропитания, например, на стороне среднего или низкого напряжения.

B – Подключение к распределительной сети СН

Подключение к распределительной сети среднего напряжения

Там, где это соединение осуществляется на среднем уровне напряжения, с потребителем типа подстанции, этот потребитель должен быть изучен, построен и оборудован. Эта подстанция может быть внутреннего и наружного монтажа в соответствии с соответствующими стандартами и правилами (секция низкого напряжения может быть изучена отдельно, если это необходимо). Замер среднего или низкого напряжения в этом случае возможно.

C – Подключение к распределительной сети НН

Подключение к распределительной сети низкого напряжения

В случае если соединение осуществляется на стороне низкого напряжения, установка будет подключена к локальной сети питания с обязательным учетом потребления в соответствии с местными низковольтными тарифами.

D – Руководство по выбору архитектуры сети СН и НН

Руководство по выбору архитектуры сети среднего и низкого напряжения

Вся электрическая система, включая установки среднего и низкого напряжения, должна проектироваться в комплексе. Ожидания потребителей и технические параметры будут влиять на структуру системы, а также на ее электрические характеристики.

Определение наиболее подходящей архитектуры основной распределительной системы СН / НН и уровень распределения мощности на стороне НН часто является результатом оптимизации. Устройства заземления нейтрали выбираются в соответствии с местными правилами, ограничениями, связанными с напряжением и типом нагрузки.

Распределительное оборудование (распределительные устройства, соединения цепей...) определяются на основе проектов детальной планировки и местоположения и группировки нагрузок.

Тип помещений и их расположение может влиять на чувствительность к внешним помехам.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Методология

E – Распределение в системах низкого напряжения

Распределение в системах низкого напряжения

Система заземления предназначена для защиты от поражения электрическим током. Система заземления оказывают существенное влияние на структуру электрической установки низкого напряжения, и, следовательно, она должна быть детально разработана на начальном этапе проектирования. Преимущества и недостатки должны быть оценены на ранней стадии для дальнейшей проработки системы.

Также необходимо рассмотреть и другой аспект на ранней стадии проектирования. Это внешние воздействия. В большой электрической установке различные внешние воздействия, которые могут возникнуть, должны рассматриваться независимо друг от друга. В зависимости от этих воздействий осуществляется правильный подбор оборудования с соответствующими степенью защиты IP и кодом IK.

F – Защита от поражения электрическим током и пожаров электрического происхождения

Защита от поражения электрическим током и пожаров электрического происхождения

Защита от поражения электрическим током включает в себя базовую защиту от прямого контакта и защиту от коротких замыканий (от косвенного прикосновения). На основании этого положения выбираются защитные меры.

Одной из наиболее распространенных мер является автоматическое отключение питания, где защита от коротких замыканий состоит в реализации системы заземления. Для ее правильной реализации необходимо глубокое понимание каждого типа (TT, TN и IT).

G – Выбор сечения и защита проводников

Выбор сечения и защита проводников

Выбор поперечного сечения кабелей или изолированных проводников для линейных проводов, безусловно, одна из самых важных задач процесса проектирования электрических установок, так как это сильно влияет на выбор устройства максимальной токовой защиты, падение напряжения вдоль этих проводников и оценку потенциальных коротких замыканий. Максимальное значение тока важно для максимальной токовой защиты, а минимальное значение важно для защиты от коротких замыканий посредствам автоматического отключения питания. Данная процедура должна быть сделана для каждой схемы установки.

Аналогичная задача стоит для нулевого проводника (N) и для проводника защитного заземления (PE).

H – Низковольтная распределительная аппаратура

Низковольтная распределительная аппаратура

После расчета тока короткого замыкания могут быть выбраны устройства для обеспечения максимальной токовой защиты. Автоматические выключатели имеют и другие возможные функции, такие как переключение и изоляция. В зависимости от функций установки происходит выбор всех коммутационных аппаратов.

Полное понимание их функциональных возможностей имеет первостепенное значение, поскольку от них зависит работоспособность всей электрической системы НН.

J – Защита от перенапряжений

Защита от перенапряжений

Прямые или косвенные удары молнии могут привести к повреждению электрооборудования на расстоянии до несколько километров. Скачки переходного напряжения промышленной частоты и перенапряжения могут вызывать одни и те же последствия. Должны быть оценены все меры защиты от перенапряжений. Одно из наиболее часто используемых устройств – это устройства защиты от перенапряжений (УЗО). Его выбор, установка и защита в электроустановке требует особого внимания.

K – Энергоэффективность в электрических сетях

Энергоэффективность в электрических сетях

Реализация мер по повышению энергоэффективности в электроустановках обеспечивает следующие преимущества для владельцев и потребителей: снижение потребления электроэнергии и ее стоимости, более эффективное использование электрического оборудования.

Эти меры подразумевают возможность установки приборов учета потребления и измерения качества электроэнергии в сетях освещения, системах отопления или в групповых сетях (на этажах, в цехах и т.д.)

L – Компенсация реактивной мощности

Компенсация реактивной мощности

Компенсация реактивной мощности в электроустановках осуществляется на местном уровне, централизованном уровне или на том и другом. Повышение коэффициента мощности оказывает непосредственное влияние на тарификацию потребляемой электроэнергии, а также может повысить энергоэффективность.

M – Управление гармониками

Гармоники

Гармонические токи в сети влияют на качество энергии и возникают при перегрузках, вибрациях, износе оборудования, неисправностях измерительных приборов и локальных вычислительных и телефонных сетей. В этой главе рассматриваются причины и последствия возникновения гармоник и объясняется, как их измерить и устранить.

© Schneider Electric – все права защищены

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Методология

N – Источники питания и нагрузки

Источники питания и нагрузки

Рассматриваются особые случаи и оборудование:

- Источники питания, такие как генераторы или инверторы.
- Нагрузки со специальными характеристиками, такие как асинхронные двигатели, осветительные цепи или распределительные трансформаторы.
- Специальные системы, такие как сети постоянного тока.

P – Фотоэлектрические установки

Экологичная энергия

Солнечная энергетика требует применения особых правил разработки и эксплуатации электроустановок.

Q – Жилые и особые помещения

Общие положения

Определенные помещения и объекты регулируются специальными нормами: общепринятым примером являются жилые объекты.

R – Рекомендации по обеспечению электромагнитной совместимости (ЭМС)

Рекомендации по обеспечению ЭМС

Необходимо соблюдать определенные основные правила для обеспечения электромагнитной совместимости. Несоблюдение этих правил может иметь серьезные последствия для работы электроустановок: нарушение работы систем связи, срабатывание устройств защиты и даже отказ чувствительных устройств.

S – Измерения

Измерения

Измерение параметров становится все более и более важным аспектом при эксплуатации электрической установки. Глава S представляет различное использование результатов измерений, например, для повышения энергоэффективности, анализа потребления энергии, выставления счетов, оценки качество питания.
В главе также приведен полный обзор стандартов, регулирующих эту сферу, с акцентом на стандарте МЭК 61557-12 (ГОСТ IEC 61557-12-2015), в котором особая роль отведена питанию измерительных приборов и устройств контроля.

Дополнительное приложение для данного Руководства по электротехническим установкам

Программное обеспечение Ecodial

Программное обеспечение Ecodial (1) предоставляет полный пакет для проектирования низковольтных установок в соответствии с нормами и рекомендации стандартов МЭК.

Возможности программного обеспечения:

- Построение однолинейных схем
- Расчет токов короткого замыкания в соответствии с несколькими режимами работы (обычный режим, резервное питание, отключение нагрузки)
- Расчет падения напряжения
- Оптимизация сечения кабелей
- Требуемые номинальные характеристики распределительных устройств и предохранителей
- Селективность устройств защиты
- Рекомендации по выбору защит с учетом принципа каскадирования
- Проверка систем защиты персонала
- Полная распечатка проектных данных

(1) Ecodial – это программное обеспечение, разработанное компанией Schneider Electric, которое переведено на несколько языков и соответствует различным электротехническим стандартам.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Действующие нормы и правила

Проектирование и эксплуатация низковольтных установок регулируется рядом нормативных и справочных документов, которые могут быть классифицированы следующим образом:
- Законодательные нормы (постановления, заводские акты и т.д.).
- Нормы и правила, выпущенные профессиональными организациями; квалификационные требования.
- Национальные и международные стандарты для установок.
- Национальные и международные стандарты для изделий.

2.1 Определение диапазонов напряжений

Эталоны напряжений и рекомендации МЭК

3-фаз. 4-провод. системы Ном. напряжение (В) 50 Гц	3-фаз. 3-провод. системы Ном. напряжение (В) 60 Гц	1-фаз. 3-провод. системы Ном. напряжение (В) 60 Гц
–	120/208	120/240[d]
230[c]	240[c]	–
230/400[a]	230/400[a]	–
–	277/480	–
–	480	–
–	347/600	–
–	600	–
400/690[b]	–	–
1000	–	–

(a) Значение номинального напряжения 230/400 В является результатом развития существующих систем с номинальным напряжением 220/380 В и 240/415 В, которое было изменено в Европе и многих других странах. Однако, системы с номинальным напряжением 220/380 В и 240/415 В все еще существуют.
(b) Значение номинального напряжения 400/690 В является результатом развития существующих систем с номинальным напряжением 380/660 В, которое было изменено в Европе и многих других странах. Тем не менее, системы с номинальным напряжением 380/660 В до сих пор существуют.
(c) Значение номинального напряжения 200 В или 220 В также используется в некоторых странах.
(d) Значения номинального напряжения 100/200 В также используются в некоторых странах в системах с частотой на 50 Гц или 60 Гц.

Рис. A1. Стандартные значения напряжения в диапазоне от 100 до 1000 В (МЭК 60038, изд. 7.0 2009-06) [1]

Серия I			Серия II	
Макс. напряжение для оборудования (кВ)	Ном. напряжение для системы (кВ)		Макс. напряжение для оборудования (кВ)	Ном. напряжение для системы (кВ)
3,6[a]	3,3[a]	3[a]	4,40[a]	4,16[a]
7,2[a]	6,6[a]	6[a]	–	–
12	11	10	–	–
–	–	–	13,2[b]	12,47[b]
–	–	–	13,97[b]	13,2[b]
–	–	–	14,52[a]	13,8[a]
(17,5)	–	(15)	–	–
24	22	20	–	–
–	–	–	26,4[b] [d]	24,94[b] [d]
36[c]	33[c]	30[c]	–	–
–	–	–	36,5[b]	34,5[b]
40,5[c]	–	35[c]	–	–

Примечание 1: Рекомендуется, чтобы в любой стране отношение между двумя смежными номинальными напряжениями состовляло не менее двух.
Примечание 2: В нормальной системе серии I максимальное и минимальное значения напряжения не должны отклоняться более чем на ±10 % от номинального напряжения системы. В нормальной системе серии II максимальное напряжение не должно отклоняться более чем на +5 %, а минимальное напряжение – более чем на -10 % от номинального напряжения системы.
(a) Эти значения не должны использоваться для распределительных систем общего пользования.
(b) Как правило, эти системы являются четырехпроводными, если не указано иное. Значения даны для междуфазных напряжений. Значение напряжения в нейтрали равно указанному значению, деленному на 1,73.
(c) Рассматривается вопрос об унификации этих значений.
(d) Значения номинального напряжения 22,9; 24,2 и 25,8 кВ также используются в некоторых странах.

Рис. A2. Стандартные напряжения свыше 1 кВ и не более 35 кВ (МЭК 60038, изд. 7.0 2009-06)[2]

(1)

- Более низкие значения в первом и втором столбцах напряжения в нейтрали и более высокие значения линейного напряжения. Когда указано только одно значение, оно относится к трехпроводным системам и определяет линейное напряжение. Более низкое значение в третьем столбце – это напряжение в нейтральном проводнике, и оно выше значения линейного напряжения.
- Напряжение выше 230/400 В предназначено для промышленного применения и крупных коммерческих помещений.
- Недопустимо отклонение значения питающего напряжения от номинального более, чем на 10 %, в нормальных условиях эксплуатации.

(2)

Как правило, такие системы являются трехпроводными, если не указано иное. Значения даны для междуфазных напряжений.
Значения, указанные в скобках, следует рассматривать как менее предпочтительные. Не рекомендуется применять данные значения для новых систем.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Действующие нормы и правила

2.2 Правила

В большинстве стран электроустановки должны соответствовать ряду норм, принятых национальными органами или общепризнанными частными организациями. Необходимо учитывать эти местные ограничения перед началом проектирования.

2.3 Нормы

Данное руководство основано на соответствующих нормах МЭК, в частности, на МЭК 60364. Нормы МЭК 60364 разработаны квалифицированными инженерами всех стран мира. В настоящее время правила безопасности МЭК 60364, 61140, 60479 и 61201 составляют основу большинства электротехнических норм в мире (см. таблицу ниже и следующую страницу).

МЭК 60038	Напряжения стандартные по МЭК
МЭК 60051	Приборы аналоговые, электроизмерительные, показывающие, прямого действия и части к ним
МЭК 60071-1	Координация изоляции. Часть 1. Определения, принципы и правила
МЭК 60076-1	Трансформаторы силовые. Часть 1. Общие положения
МЭК 60076-2	Трансформаторы силовые. Часть 2. Повышение температуры
МЭК 60076-3	Трансформаторы силовые. Часть 3. Уровни изоляции и проверка диэлектрических свойств
МЭК 60076-5	Трансформаторы силовые. Стойкость к коротким замыканиям
МЭК 60076-7	Трансформаторы силовые. Часть 7. Руководство по нагрузке масляных силовых трансформаторов
МЭК 60076-10	Трансформаторы силовые. Часть 10. Определение уровней шума
МЭК 60076-11	Трансформаторы силовые. Часть 11. Сухие трансформаторы
МЭК 60076-12	Трансформаторы силовые. Часть 12. Руководство по допустимым нагрузкам для силовых трансформаторов сухого типа
МЭК 60146-1-1	Преобразователи полупроводниковые. Общие требования и линейные коллекторные преобразователи. Часть 1-1. Технические условия на основные требования
МЭК 60255-1	Реле измерительные и защитное оборудование. Часть 1. Общие требования
МЭК 60269-1	Предохранители плавкие низковольтные. Часть 1. Общие требования
МЭК 60269-2	Предохранители плавкие низковольтные. Часть 2. Дополнительные требования к плавким предохранителям промышленного назначения
МЭК 60282-1	Предохранители плавкие высокого напряжения. Часть 1: Токоограничивающие плавкие предохранители
МЭК 60287-1-1	Кабели электрические. Расчет номинального тока. Часть 1: Уравнения номинальных токовых нагрузок (при 100-процентном коэффициенте нагрузок) и расчет потерь. Раздел 1. Общие положения
МЭК 60364-1	Электроустановки низковольтные. Часть 1. Область применения, цель и определения
МЭК 60364-4-41	Электроустановки низковольтные. Часть 4. Мероприятия по обеспечению безопасности. Глава 41. Защита от электрического удара
МЭК 60364-4-42	Электроустановки низковольтные. Часть 4-42. Защита для обеспечения безопасности. Защита от тепловых воздействий
МЭК 60364-4-43	Электроустановки низковольтные. Часть 4-43. Защита для обеспечения безопасности. Защита от сверхтока
МЭК 60364-4-44	Электроустановки низковольтные. Часть 4-44. Защита для обеспечения безопасности. Защита от резких отклонений напряжения и электромагнитных возмущений
МЭК 60364-5-51	Электроустановки низковольтные. Часть 5-51. Выбор и монтаж электрооборудования. Общие правила
МЭК 60364-5-52	Электроустановки низковольтные. Часть 5-52. Выбор и установка электрооборудования. Системы проводки
МЭК 60364-5-53	Электроустановки низковольтные. Часть 5-53. Выбор и установка электрооборудования. Изоляция, коммутация и управление
МЭК 60364-5-54	Электроустановки низковольтные. Часть 5-54. Выбор и установка электрооборудования. Заземляющие устройства и защитные проводники
МЭК 60364-5-55	Электроустановки низковольтные. Часть 5-55. Выбор и монтаж электрооборудования. Прочее оборудование
МЭК 60364-5-56	Электроустановки низковольтные. Часть 5-56. Выбор и монтаж электрооборудования. Системы обеспечения безопасности
МЭК 60364-6	Электроустановки низковольтные. Часть 6. Испытания
МЭК 60364-7-701	Электроустановки низковольтные. Часть 7-701. Требования к специальным установкам или помещениям. Глава 701. Помещения для ванных и душевых
МЭК 60364-7-702	Электроустановки низковольтные. Часть 7-702. Требования к специальным установкам или расположениям. Бассейны и фонтаны
МЭК 60364-7-703	Электроустановки низковольтные. Раздел 703. Помещения, содержащие нагреватели для саун
МЭК 60364-7-704	Электроустановки низковольтные. Часть 7-704. Требования к специальным установкам или помещениям. Установки на местах строительства и сноса зданий
МЭК 60364-7-705	Электроустановки низковольтные. Часть 7-705. Требования к специальным установкам или размещениям. Сельскохозяйственные и садовые участки
МЭК 60364-7-706	Электроустановки низковольтные. Часть 7-706. Требования к специальным установкам или местоположением. Проводящие помещения с ограниченной возможностью передвижения
МЭК 60364-7-708	Электроустановки низковольтные. Раздел 7-708. Требования к специальным установкам или местам их расположения. Стоянки для жилых прицепов, кемпинги и аналогичные места
МЭК 60364-7-709	Электроустановки низковольтные. Раздел 7-709. Требования к специальным установкам или местам их расположения. Пристани и аналогичные места
МЭК 60364-7-710	Электроустановки низковольтные. Часть 7-710. Требования к специальным установкам и особым помещениям. Медицинские помещения
МЭК 60364-7-711	Электроустановки низковольтные. Часть 7-711. Требования к специальным установкам и особым помещениям. Выставки, показы и стенды
МЭК 60364-7-712	Электроустановки низковольтные. Часть 712. Требования к специальным установкам или расположению. Системы питания с использованием фотоэлектрических солнечных батарей
МЭК 60364-7-713	Электроустановки низковольтные. Часть 7-713. Требования к специальным установкам или местам их расположения. Мебель
МЭК 60364-7-714	Электроустановки низковольтные. Часть 7-714. Требования к специальным установкам или местам. Наружные осветительные установки
МЭК 60364-7-715	Электроустановки низковольтные. Часть 7-715. Требования к специальным установкам и особым помещениям. Осветительные установки сверхнизкого напряжения
МЭК 60364-7-717	Электроустановки низковольтные. Часть 7-717. Требования к специальным установкам или особым помещениям. Подвижные или транспортируемые агрегаты
МЭК 60364-7-718	Электроустановки низковольтные. Часть 7-718. Требования к специальным установкам или особым помещениям. Места общественного пользования и рабочие места
МЭК 60364-7-721	Электроустановки низковольтные. Раздел 7-721. Требования к специальным установкам или местам их расположения. Электрические установки в жилых прицепах и автоприцепах
МЭК 60364-7-722	Электроустановки низковольтные. Часть 7-722. Требования к специальным электроустановкам или местам их расположения. Источники питания для электромобилей
МЭК 60364-7-729	Электроустановки низковольтные. Часть 7-729. Требования к специальным установкам или помещениям. Проходы для проведения работ и техобслуживания
МЭК 60364-7-740	Электроустановки низковольтные. Часть 7-740. Требования к специальным установкам или особым помещениям. Временные электрические установки для конструкций, средств развлечения и палаток на ярмарочных площадках, в парках с аттракционами и цирках
МЭК 60364-7-753	Электроустановки низковольтные. Часть 7-753. Требования к специальным установкам или местам их расположения. Нагревательные кабели и встроенные системы отопления
МЭК 60364-8-1	Электроустановки низковольтные. Часть 8-1. Энергоэффективность
МЭК 60445	Система взаимодействия "человек-машина". Основные принципы и принципы обеспечения безопасности, маркировка и идентификация. Цветовая и цифровая идентификация проводов

(Продолжение на следующей странице)

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Действующие нормы и правила

МЭК 60479-1	Воздействие тока на людей и домашних животных. Часть 1. Общие положения
МЭК 60479-2	Воздействие тока на людей. Часть 2. Специальные аспекты
МЭК 60479-3	Воздействия тока на людей и домашний скот. Часть 3. Воздействия тока, проходящего через тело домашнего скота
МЭК 60529	Степени защиты, обеспечиваемые корпусами (код IP)
МЭК 60644	Вставки плавкие предохранителей высокого напряжения для цепей с двигателями. Технические требования
МЭК 60664	Координация изоляции для оборудования в низковольтных системах
МЭК 60715	Аппараты коммутационные низковольтные и механизмы управления. Стандартизованные размеры для монтажа на направляющих для механической поддержки электроприборов
МЭК 60724	Кабели электрические на номинальное напряжение 1 кВ (Um = 1,2 кВ) и 3 кВ (Um = 3,6 кВ). Температурные пределы короткого замыкания
МЭК 60755	Устройства защитные, работающие по принципу остаточного тока. Общие требования
МЭК 60787	Вставки плавкие токоограничивающие предохранителей высокого напряжения для цепей с трансформаторами. Руководство по выбору
МЭК 60831-1	Конденсаторы шунтирующие силовые самовосстанавливающегося типа для систем переменного тока на номинальное напряжение до 1000 В включительно. Часть 1. Общие положения. Рабочие характеристики, испытания и номинальные параметры. Требования безопасности. Руководство по установке и эксплуатации
МЭК 60831-2	Конденсаторы шунтирующие самовосстанавливающегося типа для энергосистем переменного тока на номинальное напряжение до 1000 В включительно. Часть 2. Испытание на старение, испытание на самовосстановление и разрушающее испытание
МЭК 60947-1	Низковольтные комплектные распределительные устройства. Часть 1. Общие правила
МЭК 60947-2	Низковольтные комплектные распределительные устройства. Часть 2. Автоматические выключатели
МЭК 60947-3	Низковольтные комплектные распределительные устройства. Часть 3. Выключатели, разъединители, выключатели-разъединители и блоки предохранителей
МЭК 60947-4-1	Низковольтные комплектные распределительные устройства. Часть 4-1. Контакторы и пускатели электродвигателей. Электромеханические контакторы и пускатели электродвигателей
МЭК 60947-6-1	Низковольтные комплектные распределительные устройства. Часть 6-1. Многофункциональное оборудование. Оборудование для переключения без разрыва питания
МЭК 61000	Электромагнитная совместимость (ЭМС)
МЭК 61140	Защита от поражения электрическим током. Общие аспекты, связанные с электроустановками и электрооборудованием
МЭК 61201	Использование обычных пределов напряжения прикосновения. Руководство по применению
МЭК 61439-0	Низковольтное комплектное распределительное устройство. Часть 0. Руководство по определению комплектности
МЭК 61439-1	Аппаратура коммутационная и механизмы управления низковольтные комплектные. Часть 1. Общие правила
МЭК 61439-2	Устройства распределения и управления комплектные низковольтные. Часть 2. Силовые комплектные устройства распределения и управления
МЭК 61439-3	Аппаратура коммутационная и механизмы управления низковольтные комплектные. Часть 3. Распределительные щиты, предназначенные для работы неквалифицированными лицами
МЭК 61439-4	Устройства распределения и управления комплектные низковольтные. Часть 4. Частные требования к комплектным устройствам для строительных площадок
МЭК 61439-5	Устройства распределения и управления комплектные низковольтные. Часть 5. Комплектные устройства для силового распределения в сетях общественного пользования
МЭК 61439-6	Аппаратура коммутационная и механизмы управления низковольтные комплектные. Часть 6. Системы сборных шин (шинопроводов)
МЭК 61557-1	Электробезопасность распределительных низковольтных сетей до 1000 В переменного тока и 1500 В постоянного тока. Оборудование для испытания, измерения или контроля средств защиты. Часть 1. Общие требования
МЭК 61557-8	Электробезопасность распределительных низковольтных сетей до 1000 В переменного тока и 1500 В постоянного тока. Оборудование для испытания, измерения или контроля средств защиты. Часть 8. Устройства контроля изоляции в системах IT
МЭК 61557-9	Электробезопасность распределительных низковольтных сетей до 1000 В переменного тока и 1500 В постоянного тока. Оборудование для испытания, измерения или контроля средств защиты. Часть 9. Оборудование для определения места повреждения изоляции в системах IT
МЭК 61557-12	Сети электрические распределительные низковольтные до 1000 В переменного тока и 1500 В постоянного тока. Безопасность. Оборудование для испытания, измерения или контроля средств защиты. Часть 12. Приборы для измерения и мониторинга рабочих характеристик
МЭК 61643-11	Устройства защиты от перенапряжений низковольтные. Часть 11. Устройства защиты от перенапряжений, подсоединенные к низковольтным системам распределения электроэнергии. Требования и методы испытаний
МЭК 61643-12	Устройства защиты от перенапряжений низковольтные. Часть 12. Устройства защиты от перенапряжений, подсоединенные к низковольтным системам распределения электроэнергии. Принципы выбора и применения
МЭК 61643-21	Устройства защиты от перенапряжений низковольтные. Часть 21. Устройства защиты от перенапряжений, подсоединенные к сигнальным и телекоммуникационным сетям. Требования к эксплуатационным характеристикам и методы испытаний
МЭК 61643-22	Устройства защиты от перенапряжений низковольтные. Часть 22. Устройства защиты от перенапряжений, подсоединенные к сигнальным и телекоммуникационным сетям. Принципы выбора и применения
МЭК 61558-2-6	Трансформаторы, реакторы, блоки питания и аналогичные изделия на напряжение питания до 1100 В. Безопасность. Часть 2-6. Частные требования и испытания изолирующих трансформаторов безопасности и встроенных в них блоков питания
МЭК 61921	Конденсаторы силовые. Конденсаторные батареи для коррекции коэффициента мощности при низком напряжении
МЭК 61936-1	Установки электрические напряжением свыше 1 кВ переменного тока. Часть 1. Общие правила
МЭК 62271-1	Высоковольтное комплектное распределительное устройство. Часть 1. Общие технические требования
МЭК 62271-100	Высоковольтное комплектное распределительное устройство. Часть 100. Высоковольтные автоматические выключатели переменного тока
МЭК 62271-101	Аппаратура коммутационная и аппаратура управления высоковольтная. Часть 101. Синтетические испытания
МЭК 62271-102	Высоковольтное комплектное распределительное устройство. Часть 102. Разъединители и грозовые переключатели переменного тока
МЭК 62271-103	Высоковольтное комплектное распределительное устройство. Часть 103. Переключатели для номинальных напряжений свыше от 1 до 52 кВ включительно
МЭК 62271-105	Высоковольтное комплектное распределительное устройство. Часть 105. Блоки выключатель-предохранитель для переменного тока
МЭК 62271-200	Устройства комплектные распределительные высоковольтные. Часть 200. Комплектные распределительные устройства переменного тока в металлической оболочке, рассчитанные на номинальное напряжение свыше 1 кВ до 52 кВ включительно
МЭК 62271-202	Устройство комплектное распределительное высоковольтное. Часть 202. Готовые подстанции высокого/низкого напряжения
МЭК 62305-1	Защита от молнии. Часть 1. Общие принципы
МЭК 62305-2	Защита от молнии. Часть 2. Управление риском
МЭК 62305-3	Защита от молнии. Часть 3. Физические повреждения конструкций и опасность для жизни
МЭК 62305-4	Защита от молнии. Часть 4. Электрические и электронные системы внутри конструкций
МЭК 62586-2	Измерение качества электроэнергии в системах электроснабжения. Часть 2. Функциональные испытания и требования к неопределенности
МЭК/TS 62749	Оценка качества электроэнергии. Характеристики электроэнергии, поставляемой коммунальными электросетями

2.4 Качество и безопасность электроустановки

Качество и безопасность гарантируются только при соблюдении методик контроля качества и при выполнении следующих условий:

- Работы завершены, в соответствие с последней редакцией соответствующих нормативных документов.
- Соответствие электрооборудования установки действующим нормам и правилам.
- Первоначальная проверка соответствия электроустановки стандартам и нормам.
- Периодическая проверка установки, рекомендованная изготовителем оборудования.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Действующие нормы и правила

2.5 Предварительные испытания установки

Перед тем как установка будет подключена к электросети, необходимо провести электрические испытания и визуальный осмотр и получить положительное заключение от эксперта.

Эти испытания проводятся в соответствии с местными (правительственными и / или институциональными) правила, которые могут незначительно отличаться в зависимости от страны. Принципы законодательных актов одинаковы, и они основаны на соблюдении строгих правил безопасности при разработке и эксплуатации установок.

Стандарт МЭК 60364-6 (ГОСТ Р 50571.16-2007) и сопутствующие нормы, включенные в данное руководство, основаны на международном консенсусе для таких испытаний, предназначенных для соблюдения всех мер безопасности при эксплуатации жилых, коммерческих и (большинство) промышленных зданий. Во многих отраслях промышленности, применяются дополнительные правила, относящиеся к конкретному продукту (нефть, уголь, природный газ и т.д.). Такие дополнительные требования выходят за рамки данного руководства.

Пуско-наладочные работы электрических установок и визуальный осмотр включают в себя, как правило, следующие действия:

- Проверка на отсутствие обрывов защитных, эквипотенциальных и заземляющих проводников и испытание на падение напряжения.
- Проверка изоляции всех кабелей и проводников смонтированной установки между фазами и между фазами и землей.
- Проверка соответствия БСНН и ЗСНН цепей для электрического разделения.
- Проверка заземления всех открытых и внешних металлических частей.
- Проверка защиты, обеспечивающей автоматическое отключение источника питания:
  - для TN путем измерения полного сопротивления контура короткого замыкания, а также путем проверки характеристик и / или эффективности соответствующих защитных устройств (от перегрузки по току устройства защиты и УЗО);
  - для TT путем измерения сопротивления R заземлителя из открытых проводящих частей, а также путем проверки характеристик и / или эффективности соответствующих защитных устройств (от перегрузки по току устройства защиты и УЗО);
  - для IT путем расчета или измерения тока Id в случае первой неисправности на проводящей линии или в нейтрали; если была проведена проверка системы TN на повреждение двойной изоляции, то условия аналогичны; если была проведена проверка системы TT на повреждение двойной изоляции, то условия аналогичны.
- Дополнительная защита путем проверки эффективности защитных мер.
- Поляризационные испытания, где правила запрещают установку однополюсного автоматического выключателя в нулевом проводнике.
- Проверка чередования фаз в случае многофазной цепи.
- Функциональная проверка коммутационных аппаратов путем проверки их установки и настройки (проверка работоспособности).
- Проверка падения напряжения путем измерения сопротивления электрической цепи или с помощью диаграмм.

Эти испытания и проверки являются основными, но не исчерпывающими для большинства установок. Другие тесты и правила включены в нормативные документы, которые касаются конкретных случаев, например, установок 2-го класса изоляции, специальных применений и т.д. Цель данного руководства состоит в рассмотрении специальных характеристик установок разных типов и указании основных правил, которые необходимо соблюдать для обеспечения удовлетворительного уровня качества, гарантирующего безопасную и безотказную работу. Методы, рекомендуемые данным руководством (с изменениями, необходимыми для учета всех возможных вариантов энергосистем общего пользования), соответствуют всем требованиям к пусконаладочным испытаниям и проверкам.

После проведения проверок первоначальный отчет должен включать в себя, в том числе, отчет об осмотре, записи схем испытаний вместе с их результатами и рекомендации по ремонту или усовершенствованию установки.

2.6 Опасности использования действующих электрических установок

Эта тема очень актуальна при рассмотрении причин аварий в электроустановках (количество старых и опасных электрических установок; действующие установки, не отвечающие современным требованиям и т.д.).

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Действующие нормы и правила

2.7 Периодические проверки установки

Во многих странах все электроустановки зданий производственного и административного назначения, включая общественные здания, подлежат периодической проверке контролирующей организацией.

Должны быть выполнены следующие испытания

- Проверка подключения УЗО и его работоспособности
- Соответствующие измерения для обеспечения безопасности людей от поражения электрическим током и защиты имущества от перегрева и пожара
- Подтверждение того, что установка не повреждена
- Выявление дефектов монтажа

Рис. A3 показывает интервал проверки, обычно предписываемый в соответствии с типом установки.

Должна быть выполнена первоначальная проверка, и составлены отчеты о периодической проверке.

Тип установки		Интервал
Установки с требованием по защите персонала	■ Объекты с риском снижения характеристик защиты против пожара или взрыва ■ Временные установки на рабочих местах ■ Объекты с низковольтными установками ■ Объекты с ограниченной проводимостью, где используется передвижное оборудование	Ежегодно
	Другие случаи	Раз в 3 года
Установки в общественных зданиях, где требуется защита от рисков пожара и паники	Согласно типу организации и количества людей на мероприятиях	Раз в 1-3 года
Установки в жилых помещениях	Согласно местным нормам	Например: стандарт REBT в Бельгии предписывает, что проверка должна производиться каждые 20 лет

Рис. A3. Периодичность проверок, обычно рекомендуемая для электроустановки

2.8 Соответствие оборудования установки нормам и спецификациям

Соответствие оборудования действующим нормам может быть подтверждено несколькими способами.

Подтверждение соответствия оборудования действующим нормам может быть удостоверено одним из трех перечисленных ниже способом:

- официальным знаком соответствия, выданного сертификационным органом
- сертификатом соответствия, выданного сертификационным органом
- декларацией соответствия от изготовителя

Декларация соответствия

Декларация соответствия, в том числе технической документации, как правило, применяется для оборудования, работающего на высоком напряжении, или для специальных изделий. В Европе декларация CE (европейского соответствия) является обязательной.

Примечание: маркировка CE

Европейские директивы требуют от изготовителя или от его уполномоченного представителя наносить маркировку CE под свою ответственность. Это означает, что:

- изделие полностью соответствует установленным требованиям
- изделие считается годным для продажи в Европе

Маркировочный знак ЕС не является ни признаком происхождения, ни знаком соответствия, он дополняет декларацию соответствия и технические документы на оборудование.

Сертификат соответствия

Сертификат соответствия может укрепить декларацию изготовителя и доверие клиента. Он может быть запрошен клиентом страны потребителя, в соответствии со сферой его деятельности (морская, ядерная и т.д.) и в обязательном порядке гарантирует надлежащую работу оборудования.

Знак соответствия

Знак соответствия является стратегическим инструментом проверки точного соответствия. Он способствует укреплению доверия к бренду производителя. Знак соответствия выдается сертификационным органом, если оборудование отвечает нормативным требованиям (включая стандарты), после проверки системы менеджмента качества завода-изготовителя. Каждый год проводится общий аудит производства и контроль оборудования.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

Гарантия качества

Лаборатория по испытанию образцов не может подтверждать соответствия всей партии изделий: для этого требуются типовые испытания. В некоторых испытаниях на соответствие нормам образцы подвергаются разрушению (например, испытания плавких предохранителей).

Только изготовитель может удостоверить, что готовые изделия на самом деле имеют указанные характеристики.

Гарантия качества служит для обеспечения исходной декларации или сертификата соответствия.

В качестве свидетельства принятия всех мер, необходимых для обеспечения качества продукции, изготовитель проводит сертификацию системы управления качеством, которая служит для контроля изготовления рассматриваемых изделий. Соответствующие сертификаты выдаются организациями, занимающимися контролем качества, и основаны на международном стандарте ISO 9001: 2000.

Такие стандарты определяют три модели обеспечения качества, которые соответствуют скорее разным ситуациям, а не разным уровням качества:

- Модель 3 определяет степень обеспечения качества путем инспекции и проверки готовой продукции.
- Модель 2 включает в себя, в дополнение к проверке конечной продукции, проверку техпроцесса. Например, этот метод применяется для изготовителя плавких предохранителей, где рабочие характеристики не могут быть проверены без деформации предохранителя.
- Модель 1 соответствует модели 2, но дополнительно требует тщательного анализа качества процесса проектирования, например, в случае, когда не предусматриваются изготовление и испытание прототипа (случай специального изделия, изготавливаемого по спецификации заказчика).

2.9 Окружающая среда

Вклад всей электроустановки в устойчивое развитие может быть значительно улучшен за счет конструкции установки. На самом деле, было показано, что оптимизированная конструкция установки, с учетом условий эксплуатации, расположенная в подстанции CH / HH, и структура распределения (распределительных щитов, шинопроводов, кабелей), могут существенно снизить воздействие на окружающую среду (истощение сырья, истощение энергии, конец жизни), особенно в плане энергоэффективности.

Экологические характеристики компонентов и оборудования электрической ЭКО-установки являются не менее важными, чем ее конструкция. В частности, необходимо обеспечить сбор достоверной экологической информации и соответствие будущим нормативным требованиям.

В Европе некоторые Директивы, касающиеся электрооборудования, были опубликованы и привели во всем мире к переходу к более экологически безопасной продукции.

a) Директива RoHS (об ограничении содержания вредных веществ): вступившая в силу с июля 2006 года и пересмотренная в 2012 году, направлена на устранение из продуктов шести опасных веществ: свинца, ртути, кадмия, шестивалентного хрома, полибромированных бифенилов (PBB) или полибромированных дифениловых эфиров (PBDE) из большинства изделий, используемых конечными пользователями электротехнической продукции.

Хотя электрические установки являются «крупномасштабными фиксированными установками» и не прописаны в стандарте, но требование соответствия RoHS может быть для них рекомендовано.

b) Директива WEEE (Отходы электрического и электронного оборудования): вступила в силу в августе 2005 года и в настоящее время пересматривается. Ее цель состоит в том, чтобы увеличить срок службы для бытового и промышленного оборудования, под ответственность производителей. Что касается RoHS, то эта директива не касается электроустановок. Тем не менее, процесс переработки и стоимость, а также информацию о сроке окончания службы продукции рекомендуется оптимизировать.

c) Эко-дизайн – этот сопутствующий элемент является обязательным для некоторого оборудования, например, систем освещения или двигателей, хотя не существует никаких нормативных требований, непосредственно относящихся к электроустановке. Тем не менее, существует тенденция в оснащении электротехнического оборудования экологическим паспортом продукта, особенно в области гражданского строительства, которая опережает новые требования в этой сфере.

d) REACh (Регистрация оценки утверждение химических веществ). Вступившая в силу в 2007 году, она направлена на контроль использования химикатов и, при необходимости, ограничение их применения для обеспечения безопасности людей и окружающей среды. Что касается энергоэффективности и установок, такая регистрация подразумевает, что любой поставщик обязан по требованию своего клиента сообщить о содержании вредных веществ в его продукции (так называемых SVHC, являющихся особо опасными). Организация, осуществляющая монтаж, должна получить соответствующую информацию от всех поставщиков.

В других частях мира новые законодательные акты будут преследовать те же цели.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Установленная мощность потребителя – характеристики

Определение расчетной полной мощности, потребляемой разными нагрузками: необходимый предварительный этап проектирования низковольтной установки.

Определение расчетных значений полной мощности, требуемой каждым потребителем, позволяет установить следующее:

- заявляемое потребление мощности, которое определяет договор на поставку энергии;
- номинальную мощность трансформатора среднего/низкого напряжения (с учетом ожидаемого роста нагрузки);
- уровни тока нагрузки для каждого распределительного устройства.

Номинальная мощность (кВт, Pn) двигателя указывает его номинальную эквивалентную механическую выходную мощность.
Полная мощность (кВА, Pa), подаваемая на двигатель, зависит от полной мощности, КПД двигателя и коэффициента мощности:

$$Pa = \frac{Pn}{\eta \cos\varphi}$$

3.1 Асинхронные двигатели

Потребление тока

Полный ток нагрузки In, подаваемый на двигатель, рассчитывается по следующим формулам:

- 3-фазный двигатель: $In = Pn \times 1000 / (\sqrt{3} \times U \times \eta \times \cos\varphi)$
- 1-фазный двигатель: $In = Pn \times 1000 / (U \times \eta \times \cos\varphi)$

где

In: полный ток (A);

Pn: номинальная мощность (кВт);

U: междуфазное напряжение для 3-фазного двигателя и напряжение между зажимами для 1-фазного двигателя (В). 1-фазные двигатели могут подсоединяться на фазное или линейное напряжение;

η: КПД, т.е. выходная мощность (кВт)/входная мощность (кВт);

$\cos\varphi$: коэффициент мощности, т.е. входная мощность (кВт)/входная мощность (кВА).

Сверхпереходный ток и уставка защиты

- Пиковое значение сверхпереходного тока может быть крайне высоким. Обычно это значение в 12-15 раз превышает среднеквадратическое номинальное значение In. Иногда это значение может в 25 раз превышать значение In.
- Выключатели, контакторы и термореле рассчитываются на пуски двигателей при крайне высоких сверхпереходных токах (сверхпереходное пиковое значение может в 19 раз превышать среднеквадратическое номинальное значение In).
- Внезапные срабатывания защиты от сверхтоков при пуске означают выход пускового тока за нормальные пределы. В результате могут достигаться предельные значения параметров распределительных устройств, срок службы может укорачиваться, и даже некоторые устройства могут выходить из строя. Во избежание такой ситуации необходимо рассмотреть вопрос о повышении номинальных параметров распределительных устройств.
- Распределительные устройства рассчитываются для обеспечения защиты пускателей двигателей от КЗ. В зависимости от риска, таблицы показывают комбинации выключателя, контактора и термореле для обеспечения координации типа 1 или 2 (см. главу N).

Пусковой ток двигателя

Хотя рынок предлагает двигатели с высоким КПД, на практике их пусковые токи приблизительно такие же, как у стандартных двигателей.

Применение пускателей с соединением треугольником, устройств плавного пуска и торможения или преобразователей частоты позволяет снизить значение пускового тока (например, 4 In вместо 7,5 In).

Смотрите также главу N, §5 «Асинхронные двигатели» для получения дополнительной информации.

Компенсация реактивной мощности (квар), подаваемой на асинхронные двигатели

Как правило, по техническим и финансовым соображениям выгоднее снижать ток, подаваемый на асинхронные двигатели. Это может обеспечиваться за счет применения конденсаторов, без влияния на выходную мощность двигателей.

Применение этого принципа для оптимизации работы асинхронных двигателей называется «повышением коэффициента мощности» или «компенсацией реактивной мощности».

Как обсуждается в главе L, полная мощность (кВА), подаваемая на двигатель, может значительно снижаться путем использования параллельно подключенных конденсаторов. Снижение входной полной мощности означает соответствующее снижение входного тока (так как напряжение остается постоянным).

Компенсация реактивной мощности особенно рекомендуется для двигателей с длительными периодами работы при пониженной мощности.

Как указывается выше,

$$\cos\varphi = \frac{\text{kW input}}{\text{kVA input}}$$

Поэтому снижение входной полной мощности (кВА) приводит к увеличению (т.е. улучшению) значения $\cos\varphi$.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Установленная мощность потребителя – характеристики

Ток, подаваемый на двигатель, после компенсации реактивной мощности рассчитывается по формуле:

$$I = Ia \frac{\cos \varphi}{\cos \varphi'}$$

где: cos φ – коэффициент мощности до компенсации, cos φ' – коэффициент мощности после компенсации, Ia – исходный ток.

На **Рис. A4** приведены стандартные значения тока для нескольких значений питающего напряжения в зависимости от номинальной мощности двигателя (МЭК 60947-4-1 (ГОСТ Р 50030.4.1-2012), приложение G).

кВт	л.с.	230 В	380 - 415 В	400 В	440 - 480 В	500 В	690 В
		A	A	A	A	A	A
0,18	-	1,0	-	0,6	-	0,48	0,35
-	1/2	-	1,3	-	1,1	-	-
0,55	-	2,6	-	1,5	-	1,2	0,87
-	3/4	-	1,8	-	1,6	-	-
-	1	-	2,3	-	2,1	-	-
0,75	-	3,3	-	1,9	-	1,5	1,1
1,1	-	4,7	-	2,7	-	2,2	1,6
-	1-1/2	-	3,3	-	3,0	-	-
-	2	-	4,3	-	3,4	-	-
1,5	-	6,3	-	3,6	-	2,9	2,1
2,2	-	8,5	-	4,9	-	3,9	2,8
-	3	-	6,1	-	4,8	-	-
3,0	-	20	-	11,5	-	9,2	6,7
4	-	15	9,7	8,5	7,6	6,8	4,9
-	5	-	9,7	-	7,6	-	-
5,5	-	20	-	11,5	-	9,2	6,7
-	7-1/2	-	14,0	-	11,0	-	-
-	10	-	18,0	-	14,0	-	-
7,5	-	27	-	15,5	-	12,4	8,9
11	-	38,0	-	22,0	-	17,6	12,8
-	15	-	27,0	-	21,0	-	-
-	20	-	34,0	-	27,0	-	-
15	-	51	-	29	-	23	17
18,5	-	61	-	35	-	28	21
-	25	-	44	-	34	-	
22	-	72	-	41	-	33	24
-	30	-	51	-	40	-	-
-	40	-	66	-	52	-	-
30	-	96	-	55	-	44	32
37	-	115	-	66	-	53	39
-	50	-	83	-	65	-	-
-	60	-	103	-	77	-	-
45	-	140	-	80	-	64	47
55	-	169	-	97	-	78	57
-	75	-	128	-	96	-	-
-	100	-	165	-	124	-	-
75	-	230	-	132	-	106	77
90	-	278	-	160	-	128	93
-	125	-	208	-	156	-	-
110	-	340	-	195		156	113
-	150	-	240	-	180	-	-
132	-	400	-	230	-	184	134
-	200	-	320	-	240	-	-
150	-	-	-	-	-	-	-
160	-	487	-	280	-	224	162
185	-	-	-	-	-	-	-
-	250	-	403	-	302	-	-
200	-	609	-	350	-	280	203
220	-	-	-	-	-	-	-
-	300	-	482	-	361	-	-
250	-	748	-	430	-	344	250
280	-	-	-	-	-	-	-
-	350	-	560	-	414	-	-
-	400	-	636	-	474	-	-
300	-	-	-	-	-	-	-

Рис. A4. Номинальная мощность и токи (продолжение на следующей странице)

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Установленная мощность потребителя – характеристики

кВт	л.с.	230 В	380 - 415 В	400 В	440 - 480 В	500 В	690 В
		A	A	A	A	A	A
315	-	940	-	540	-	432	313
-	450	-	-	-	515	-	-
335	-	-	-	-	-	-	-
355	-	1061	-	610	-	488	354
-	500	-	786	-	590	-	-
375	-	-	-	-	-	-	-
400	-	1200	-	690	-	552	400
425	-	-	-	-	-	-	-
450	-	-	-	-	-	-	-
475	-	-	-	-	-	-	-
500	-	1478	-	850	-	680	493
530	-	-	-	-	-	-	-
560	-	1652	-	950	-	760	551
600	-	-	-	-	-	-	-
630	-	1844	-	1060	-	848	615
670	-	-	-	-	-	-	-
710	-	2070	-	1190	-	952	690
750	-	-	-	-	-	-	-
800	-	2340	-	1346	-	1076	780
850	-	-	-	-	-	-	-
900	-	2640	-	1518	-	1214	880
950	-	-	-	-	-	-	-
1000	-	2910	-	1673	-	1339	970

Рис. A4. Номинальная мощность и токи

3.2 Резистивные нагревательные приборы и лампы накаливания (традиционные и галогенные)

Смотрите также главу N, §4 «Осветительные сети».

Потребление тока нагревательным прибором или лампой накаливания легко выводится из номинальной мощности Pn, указанной изготовителем (т.е. cos φ= 1) (см. **рис. A5**).

Ном. мощность (кВт)	Потребление тока (A)			
	1-ф. 127 В	1-ф. 230 В	3-ф. 230 В	3-ф. 400 В
0,1	0,79	0,43	0,25	0,14
0,2	1,58	0,87	0,50	0,29
0,5	3,94	2,17	1,26	0,72
1	7,9	4,35	2,51	1,44
1,5	11,8	6,52	3,77	2,17
2	15,8	8,70	5,02	2,89
2,5	19,7	10,9	6,28	3,61
3	23,6	13	7,53	4,33
3,5	27,6	15,2	8,72	5,05
4	31,5	17,4	10	5,77
4,5	35,4	19,6	11,3	6,5
5	39,4	21,7	12,6	7,22
6	47,2	26,1	15,1	8,66
7	55,1	30,4	17,6	10,1
8	63	34,8	20,1	11,5
9	71	39,1	22,6	13
10	79	43,5	25,1	14,4

Рис. A5. Потребление тока резистивными нагревательными приборами и лампами накаливания (традиционными или галогенными)

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

Токи рассчитываются следующим образом:

■ 3-фазный случай: $Ia = \frac{Pn}{\sqrt{3}\,U}$ (1)

■ 1-фазный случай: $Ia = \frac{Pn}{U}$ (1)

где: U – напряжение между зажимами оборудования.

Для лампы накаливания применение инертного газа обеспечивает источник более направленного света. Светоотдача повышается, а срок службы лампы удваивается.

Примечание: при включении лампы холодная нить накала приводит к повышению тока, хотя и кратковременного, но интенсивного.

3.3 Люминесцентные лампы

Смотрите также главу N §4 «Осветительные сети».

Люминесцентные лампы и сопутствующее оборудование

Мощность Pn (Вт), указанная на трубке люминесцентной лампы, не включает мощность, рассеиваемую в дросселе стартера.

Ток рассчитывается следующим образом:

$$Ia = \frac{P_{ballast} + Pn}{U \cos \varphi}$$

где U – напряжение, подаваемое на лампу в комплекте с сопутствующим оборудованием.
Если на дросселе не указывается значение потерь мощности, можно использовать значение 25% Pn.

Стандартные люминесцентные лампы

При (если не указывается иначе):

■ cos φ = 0,6 без конденсатора для компенсации коэффициента мощности (PF) (2);

■ cos φ = 0,86 с компенсацией PF (2) (однотрубные или двухтрубные);

■ cos φ = 0,96 для электронного дросселя.

Если на дросселе не указывается значение потерь мощности, можно использовать значение 25% Pn.
Рис. A6 показывает эти значения для различных типов дросселей.

Схема расположения ламп, стартеров и дросселей	Мощность трубки (Вт) (3)	Ток (A) при 230 В			Длина трубки (см)
		Магнитный дроссель		Электрон. дроссель	
		Без конденсатора компенсации PF	С конденсатором компенсации PF		
Однотрубные	18	0,20	0,14	0,10	60
	36	0,33	0,23	0,18	120
	58	0,50	0,36	0,28	150
Двухтрубные	2 x 18		0,28	0,18	60
	2 x 36		0,46	0,35	120
	2 x 58		0,72	0,52	150

(3) Мощность в Вт, указанная на трубке.

Рис. A6. Потребление тока и мощности для люминесцентных ламп общепринятых размеров (при 230 В – 50 Гц)

Компактные люминесцентные лампы

Компактные люминесцентные лампы имеют такие же характеристики по экономии и сроку службы, как и традиционные лампы. Они широко используются в общественных местах с постоянным освещением (например, в коридорах, холлах, барах и т.д.) и могут устанавливаться в ситуациях, в которых используются лампы накаливания (см. **рис. A7**).

(1) Ia в амперах, U в вольтах, Pn в ваттах. Если Pn в кВт, умножить уравнение на 1000.

(2) В терминологии газоразрядных ламп вместо термина «коррекция коэффициента мощности» часто используется термин «компенсация». Cos φ приблизительно равен 0,95 (нулевые значения V и I почти совпадают по фазе), но коэффициент мощности равен 0,5 из-за импульсной формы тока, пик которого возникает позже в каждом полупериоде.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Установленная мощность потребителя – характеристики

Тип лампы	Мощность лампы (Вт)	Ток при 230 В (А)
Отдельная	10	0,080
лампа	18	0,110
с дросселем	26	0,150
Встроенная	8	0,075
лампа	11	0,095
с дросселем	16	0,125
	21	0,170

Рис. A7. Потребление тока и мощности для компактных люминесцентных ламп (при 230 В – 50 Гц)

Мощность (Вт), указанная на трубке разрядной лампы, не включает в себя мощность, рассеиваемую в балластном сопротивлении.

3.4 Газоразрядные лампы

Смотрите также главу N, §4 «Осветительные сети».

Рис. A8 показывает ток, принимаемый всем устройством, включая все сопутствующее вспомогательное оборудование.

Эти лампы основаны на световом электрическом разряде через газ или пар металлического соединения, которое заключено в герметичную прозрачную оболочку при заданном давлении. Эти лампы имеют большое время пуска, в течение которого ток Ia больше номинального тока In. Потребление мощности и тока приводится для разных типов ламп (типовые средние значения могут слегка отличаться в зависимости от изготовителя).

Ном. мощность лампы (Вт)	Потребление мощности (Вт) при 230 В	400 В	Ток n(A) Без компенсации PF 230 В	400 В	Ток n(A) С компенсацией PF 230 В	400 В	Пусковой ток а/n	Период (мин)	Светоотдача (лм/Вт)	Средний ресурс лампы (ч)	Применение
Натриевые лампы высокого давления											
50	60		0,76		0,3		1,4 – 1,6	4 – 6	80 – 120	9000	■ Освещение больших залов ■ Открытые пространства ■ Общественные места
70	80		1		0,45						
100	115		1,2		0,65						
150	168		1,8		0,85						
250	274		3		1,4						
400	431		4,4		2,2						
1000	1055		10,45		4,9						
Натриевые лампы низкого давления											
26	34,5		0,45		0,17		1,1 – 1,3	7 – 15	100 – 200	8000 - 12000	■ Освещение автострад ■ Охранное освещение, железнодорожные платформы ■ Площадки, склады
36	46,5				0,22						
66	80,5				0,39						
91	105,5				0,49						
131	154				0,69						
Ртутные + металлогалогеновые лампы (также называемые лампами с иодидами металлов)											
70	80,5		1		0,40		1,7	3 – 5	70 – 90	6000	■ Освещение очень больших объектов прожекторами (стадионы и т,д,)
150	172		1,80		0,88					6000	
250	276		2,10		1,35					6000	
400	425		3,40		2,15					6000	
1000	1046		8,25		5,30					6000	
2000	2092	2052	16,50	8,60	10,50	6				2000	
Ртутные + люминесцентные лампы											
50	57		0,6		0,30		1,7 – 2	3 – 6	40 – 60	8000 - 12000	■ Цеха с очень высокими потолками (залы, ангары) ■ Наружное освещение ■ Низкая светоотдача (1)
80	90		0,8		0,45						
125	141		1,15		0,70						
250	268		2,15		1,35						
400	421		3,25		2,15						
700	731		5,4		3,85						
1000	1046		8,25		5,30						
2000	2140	2080	15		11	6,1					

(1) Заменяются натриевыми лампами.

Примечание: эти лампы чувствительны к падениям напряжения. Они гаснут при снижении напряжения ниже 50% номинального значения и загораются вновь после охлаждения в течение около 4 минут.

Примечание: натриевые лампы низкого давления имеют светоотдачу выше, чем у всех других источников. Однако, применение этих ламп ограничивается тем фактом, что желто-оранжевое излучение делает практически невозможным распознание цветов.

Рис. A8. Потребление тока для газоразрядных ламп

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3.5 Светодиодные лампы и светильники

Смотрите также главу N, §4 «Осветительные сети».

Функционирование светодиодной лампы или светильника осуществляется от блока питания, который в свою очередь:

- может быть размещен в цоколе лампы, в данном случае потребляемая мощность равна номинальной мощности лампы;
- может быть выполнен отдельно от лампы или светильника (выносной блок питания), в данном случае потребляемая мощность равна сумме мощностей рассеивания в блоке питания и мощности лампы (светодиодного модуля) или нескольких ламп (запитанных от одного блока питания).

Фактическое время розжига светодиодной лампы очень мало. Однако, присутствует так называемый "пусковой ток" (бросок тока) в момент включения, который, как правило, гораздо выше, чем у люминесцентных ламп с электронным дросселем.

Примечание: значения мощности в ваттах, указанные на светодиодном модуле с вынесенным блоком питания, не включают в себя мощность рассеивания в блоке питания.

Установленная мощность (Вт) при 230 В	Коэффициент мощности	Начальный пусковой ток Ip/In	время отключения	полное время включения	Светоотдача (люмен на ватт)	Средний срок службы (ч)	Использование (утилизация)
3 – 400 Вт	> 0,9	До 250	< 250 мкс	< 0,5 – 1 с	100 – 140	20000 – 50000	■ Все осветительные приложения во всех областях (жилищное строительство, коммерческое и промышленное строительство, инфраструктура)

Рис. A9. Основные характеристики светодиодных ламп и светильников

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Силовая нагрузка электроустановки

Чтобы спроектировать электроустановку, необходимо оценить максимальную мощность, которая будет потребляться из питающей электросети.

Проектирование на основе простой арифметической суммы мощностей всех потребителей, подключенных к электроустановке, представляет собой крайне неэкономичный подход и недобросовестную инженерную практику.

Цель данной главы состоит в демонстрации способов оценки определенных факторов с учетом разновременности (работы всех устройств данной группы) и коэффициента использования (например, электродвигатель не работает, как правило, при своей полной мощности и т.д.) всех действующих и предполагаемых нагрузок. Приводимые значения основаны на опыте и зарегистрированных результатах работы действующих установок. Кроме обеспечения основных проектных данных по отдельным цепям установки в результате получаются общие значения всей установки, на основе которой могут определяться требования к системе питания (распределительная сеть, трансформатор высокого/низкого напряжения или генератор).

4.1 Установленная мощность (кВт)

Установленная мощность представляет собой сумму номинальных мощностей всех устройств-потребителей в установке.
Значение установленной мощности отличается от фактического потребления.

Большинство электроприемников (ЭП) имеет маркировку своей номинальной мощности (Pn).

Установленная мощность есть сумма номинальных мощностей всех ЭП в электроустановке. Это не есть та мощность, которая будет потребляться фактически. В случае электродвигателей номинальная мощность является мощностью на его валу. Очевидно, что потребляемая из сети мощность будет больше.

Люминесцентные и разрядные лампы со стабилизирующими балластными сопротивлениями (дросселями) являются другими примерами, когда номинальная мощность, указанная на лампе, меньше мощности, потребляемой лампой и ее балластным сопротивлением (дросселем).

Методы оценки фактического потребления мощности двигателями и осветительными приборами приводятся в разделе 3 данной главы.

Потребление мощности (кВт) необходимо знать для выбора номинальной мощности генератора или батареи, а также в случае учета требований к первичному двигателю.

Для подачи мощности от низковольтной системы электроснабжения или через трансформатор высокого/низкого напряжения, определяющей величиной является полная мощность в кВА.

4.2 Установленная полная мощность (кВА)

Установленная полная мощность обычно принимают равной арифметической сумме полных мощностей отдельных ЭП. Однако, максимальная расчетная полная мощность не равна общей установленной полной мощности.

Установленная полная мощность обычно полагается равной арифметической сумме полных мощностей отдельных ЭП. Однако, максимальная потребляемая мощность, которая должна подаваться, не равна общей установленной полной мощности.

Потребление полной мощности нагрузкой (которая может являться одним устройством) рассчитывается на основе ее номинальной мощности (при необходимости с поправкой, как указывается выше, для двигателей и т.д.) с использованием следующих коэффициентов:

η: КПД = выходная мощность / входная мощность

cos φ: коэффициент мощности = кВт / кВА

Полная (кажущаяся) мощность, потребляемая электроприемником:

$Pa = Pn / (\eta \times \cos \varphi)$

Из этого значения выводится полный ток Ia (A)[(1)], потребляемый ЭП:

- $Ia = \frac{Pa \times 10^3}{V}$

для одного ЭП с подсоединением между фазой и нейтралью.

- $Ia = \frac{Pa \times 10^3}{\sqrt{3} \times U}$

для 3-фазной симметричной нагрузки, где:
V – фазное напряжение (В);
U – линейное напряжение (В).
Следует отметить, что, строго говоря, полная мощность не является арифметической суммой расчетных номинальных значений полной мощности отдельных потребителей (если потребители имеют разный коэффициент мощности).

(1) Чтобы повысить точность, необходимо учитывать коэффициент максимального использования, как разъясняется в п. 4.3.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Силовая нагрузка электроустановки

Однако, общепринято делать простое арифметическое суммирование, результат которого дает значение кВА, которое превышает действительное значение на допустимый «расчетный запас».
Когда неизвестны некоторые или все нагрузочные характеристики, значения, приводимые в **рис. A10** на следующей странице, могут использоваться для получения приблизительной оценки потребления полной мощности в ВА (как правило, отдельные нагрузки слишком малы, чтобы выражаться в кВА или кВт).
Оценки удельной плотности осветительных нагрузок основаны на общей площади 500 м^2.

Люминесцентное освещение (с поправкой cos φ = 0.86)		
Тип применения	**Оценка (ВА/м^2) Люминесцентная лампа с пром. отражателем(1)**	**Средний уровень освещения (люкс = лм/м^2)**
Дороги и автострады, склады, работа с перерывами	7	150
Тяжелые режимы: изготовление и сборка больших заготовок	14	300
Повседневная работа: офис	24	500
Точные работы: КБ, высокоточные сборочные цеха	41	800
Силовые цепи		
Тип применения	**Оценка (ВА/м^2)**	
Насосные, сжатый воздух	3 – 6	
Вентиляция помещений	23	
Эл. конвекционные подогреватели: частные дома, квартиры	115 – 146 90	
Офисы	25	
Диспетчерские пункты	50	
Сборочный цех	70	
Механический цех	300	
Окрасочный цех	350	
Установка для термообработки	700	

(1) Пример: лампа 65 Вт (исключая балластное сопротивление), 5100 люмен (лм), светоотдача лампы = 78,5 лм / Вт.

Рис. A10. Оценка установленной полной мощности

4.3 Оценка максимальной нагрузки (кВА)

Все отдельные ЭП не обязательно работают при полной номинальной мощности и одновременно. Коэффициенты ku и ks позволяют определить максимальную полную мощность электроустановки.

Коэффициент максимального использования (ku)

В нормальных режимах работы потребление мощности обычно меньше номинальной мощности. Это довольно частое явление, которое оправдывает применение коэффициента использования (ku) при оценке реальных значений.

Этот коэффициент должен применяться для каждого ЭП, особенно для электродвигателей, которые крайне редко работают при полной нагрузке.

В промышленной установке этот коэффициент может оцениваться по среднему значению 0,75 для двигателей.

Для освещения лампами накаливания этот коэффициент всегда равен 1.

Для цепей со штепсельными розетками этот коэффициент полностью зависит от типа приборов, питаемых от штепсельных розеток.

Для электрического транспорта коэффициент использования будет систематически оцениваться в 1, так как для полной зарядки батарей требуется много времени (несколько часов), и в соответствии со стандартами потребуется применять специальную цепь для питания зарядной станции или настенного блока.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Силовая нагрузка электроустановки

Коэффициент одновременности (ks)

Практически одновременная работа всех ЭП определенной установки никогда не происходит, т.е. всегда существует некоторая степень разновременности, и этот факт учитывается при расчете путем применения коэффициента одновременности (ks).

Коэффициент ks применяется для каждой группы ЭП (например, запитываемых от главного или вторичного распределительного устройства). Определение этих коэффициентов входит в ответственность конструктора, поскольку требует детального знания установки и условий работы отдельных цепей. По этой причине невозможно дать точные значения для общего применения.

Коэффициент одновременности для жилой застройки

На **рис. A11** приведены некоторые типовые значения коэффициента одновременности для бытовых потребителей без электрического отопления, питающихся от 3-фазной 4-проводной сети 230/400 В. Для потребителей, отапливаемых электрическими обогревателями, рекомендуется принимать ks равным 0,8 вне зависимости от числа электроприемников (ЭП).

Число ЭП	Коэффициент одновременности (ks)
2 – 4	1
5 – 9	0,78
10 – 14	0,63
15 – 19	0,53
20 – 24	0,49
25 – 29	0,46
30 – 34	0,44
35 – 39	0,42
40 – 49	0,41
50 и более	0,38

Рис. A11. Значения коэффициента одновременности для жилой застройки без электрического отопления

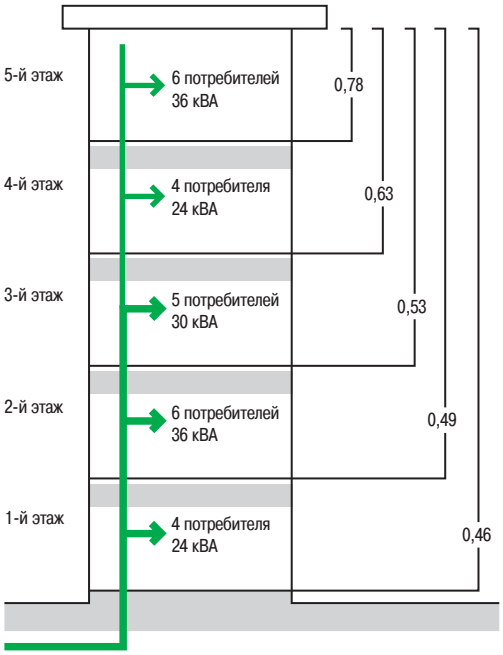


Рис. A12. Применение коэффициента одновременности (ks) для жилого 5-этажного здания

Пример (см. **рис. A12**):

Пятитиэтажное жилое здание с 25 потребителями с установленной мощностью 6 кВА для каждого.

Общая установленная мощность для здания: 36 + 24 + 30 + 36 + 24 = 150 кВА.

Полная мощность, потребляемая зданием: 150 x 0,46 = 69 кВА.

С помощью **рис. A12** можно определить величину тока в разных секциях общей питающей магистрали всех этажей. Для стояков, запитываемых на уровне первого этажа, площадь поперечного сечения проводников может постепенно снижаться от нижних к верхним этажам.

Как правило, такие изменения сечения проводника производятся с минимальным интервалом в 3 этажа.

В этом примере, ток, поступающий на стояк на уровне первого этажа, равен:

$$\frac{150 \times 0.46 \times 10^3}{400\sqrt{3}} = 100 \text{ A}$$

Ток, поступающий на 4-й этаж, равен:

$$\frac{(36+24) \times 0.63 \times 10^3}{400\sqrt{3}} = 55 \text{ A}$$

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Силовая нагрузка электроустановки

Коэффициент одновременности для распределительных устройств

Стандарты МЭК 61439-1 и 2 аналогичным образом определяют значения коэффициента одновременности для распределительных щитов (в этом случае ks всегда ≤ 1).

В МЭК 61439-2 также говорится, что в отсутствие соглашения между производителем (сборщиком панели) и заказчиком относительно фактических токов нагрузки (коэффициентов одновременности) предполагаемая нагрузка отходящих линий может быть основана на значениях, представленных на **рис. A13**.

Если цепи служат в основном для осветительных нагрузок, целесообразно принять значения ks, близкие к единице.

Тип нагрузки	Коэффициент одновременности (ks)
Распределение – 2 и 3 цепи	0,9
Распределение – 4 и 5 цепи	0,8
Распределение – 6 и 9 цепи	0,7
Распределение – 10 и более цепей	0,6
Электрический привод	0,2
Моторы ≤ 100 кВт	0,8
Моторы > 100 кВт	1,0

Рис. A13. Коэффициент одновременности для распределительных устройств (МЭК61439-2 таблица 101)

Коэффициент одновременности в зависимости от назначения цепи

Значения коэффициента ks, которые могут использоваться для цепей, питающих стандартные нагрузки, приводятся на **рис. A14**

Назначение цепи		Коэффициент одновремен. (ks)
Освещение		1
Отопление и кондиционирование воздуха		1
Штепсельные розетки		0,1 – 0,2 (1)
Лифты и подъемники(2)	■ Для самых мощных двигателей	1
	■ Для двигателей средней мощности	0,75
	■ Для остальных двигателей	0,60

(1) В определенных случаях, в частности, для промышленных установок, этот коэффициент может быть выше.

(2) Учитываемый ток равен номинальному току двигателя, увеличенному на треть его пускового тока.

Рис. A14. Коэффициент одновременности в зависимости от назначения цепи

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Силовая нагрузка электроустановки

4.4 Пример применения коэффициентов ku и ks

Пример оценки максимальных мощностей (кВА), потребляемых на всех уровнях электроустановки приводится на **рис. A15** (следующая страница).

В этом примере, общая установленная полная мощность составляет 126,6 кВА, что соответствует расчетной максимальной мощности на низковольтных зажимах трансформатора среднего/низкого напряжения, величиной 65 кВА.

Примечание: при выборе сечения кабелей для распределительных цепей установки, ток I (A) через цепь определяется по следующей формуле:

$$I = \frac{S \times 10^3}{U \sqrt{3}}$$

где:

S – значение максимальной 3-фазной полной мощности цепи (кВА);
U – междуфазное (линейное) напряжение (В).

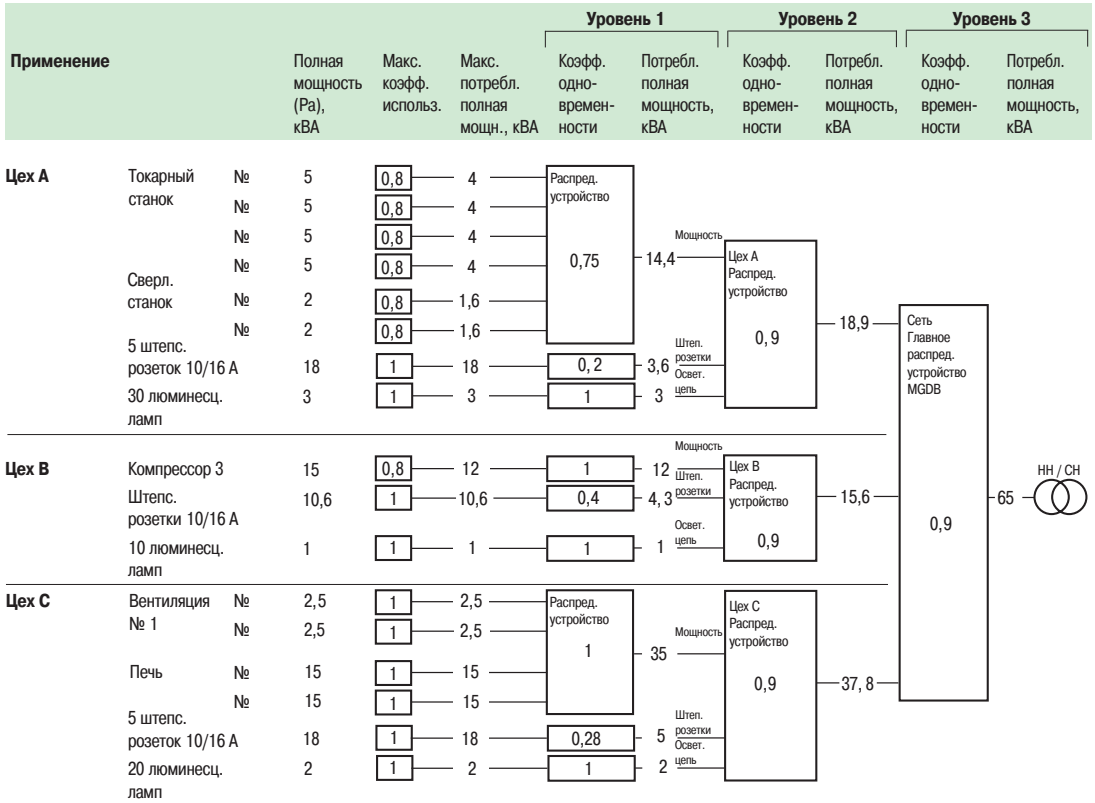


Рис. A15. Пример оценки максимальной ожидаемой мощности установки (используемые значения коэффициента служат только в справочных целях)

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Силовая нагрузка электроустановки

4.5 Выбор номинальной мощности трансформатора

Когда электроустановка питается непосредственно от трансформатора высокого/низкого напряжения, и определена максимальная полная мощность установки, необходимо определить соответствующую номинальную мощность трансформатора с учетом следующих факторов (см. **рис. A16**):

- Возможность повышения коэффициента мощности установки (см. главу L).
- Ожидаемые расширения установки.
- Ограничения по эксплуатации установки (например, температура).
- Стандартные номинальные параметры установки.

Номинальный полный ток нагрузки In на стороне низкого напряжения 3-фазного трансформатора рассчитывается по следующей формуле:

$$In = \frac{Pa \times 10^3}{U \sqrt{3}},$$

где:

- Pa = номинальная полная мощность (кВА) трансформатора;
- U = междуфазное напряжение холостого хода (237 или 410 В);
- In в амперах.

Для 1-фазного трансформатора:

$$In = \frac{Pa \times 10^3}{V},$$

где:

- V = фазное напряжение холостого хода (В).

Упрощенная формула для 400 В (3-фазная нагрузка):
In = kVA x 1,4.

Стандарт для силовых трансформаторов – МЭК 60076 (ГОСТ 30830-2002).

Полная мощность, кВА	In (A)	
	237 В (1)	410 В (1)
100	244	141
160	390	225
250	609	352
315	767	444
400	974	563
500	1218	704
630	1535	887
800	1949	1127
1000	2436	1408
1250	3045	1760
1600	3898	2253
2000	4872	2816
2500	6090	3520
3150	7673	4436

(1) Напряжение холостого хода трансформатора.

Рис. A16. Стандартные полные мощности трансформаторов высокого/низкого напряжения и соответствующие номинальные токи

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Силовая нагрузка электроустановки

4.6 Выбор источников питания

Важность поддержания бесперебойного электропитания ставит вопрос об использовании резервной силовой установки. Выбор характеристик таких альтернативных источников питания является частью выбора архитектуры, как описывается в главе D.

Как правило, для основного источника питания выбирают между подключением к сети электроснабжения высокого или низкого напряжения. В случаях, когда электроустановка удалена от локальной сети общего пользования (СН или НН) и доступ к ней затруднен, либо когда надежность сети общего пользования не соответствует минимальным ожидаемым требованиям, в качестве основного источника электроэнергии могут использоваться генераторы.

На практике подсоединение к источнику высокого напряжения может быть необходимо, когда нагрузки превышают (или запланировано их превышение) определенный уровень – как правило, порядка 250 кВА, или если требуется качество электроснабжения выше обеспечиваемого низковольтной сетью.

Более того, если установка может вызывать нарушение питания соседних потребителей при подсоединении к низковольтной сети, органы, регулирующие электроснабжение, могут предложить использование сети среднего напряжения.

Питание потребителя по сети среднего напряжения имеет определенные преимущества. Фактически, потребитель:

- не зависит от других потребителей, тогда как в случае низковольтного питания другие потребители могут нарушать его работу;
- может выбрать любой тип системы заземления низкого напряжения;
- имеет более широкий выбор тарифов;
- имеет возможность значительно повышать нагрузку.

Однако, следует отметить, что:

- Потребитель является собственником подстанции высокого/низкого напряжения и в некоторых странах он должен строить и оснащать такую подстанцию за свой счет. При определенных обстоятельствах энергоснабжающая организация может участвовать в инвестициях, например, на уровне линии высокого напряжения.
- Часть затрат на подсоединение может возмещаться, если второй потребитель подсоединяется к линии высокого напряжения в течение определенного времени после подсоединения первого потребителя.
- Потребитель имеет доступ только к низковольтной части установки. Доступ к части высокого напряжения резервируется для персонала энергоснабжающей организации (снятие показаний счетчиков, работы по обслуживанию и т.д.).

Однако, в некоторых странах защитный выключатель высокого напряжения (или выключатель нагрузки с предохранителем) может использоваться непосредственно потребителем.

- Тип и местоположение подстанции согласовываются между потребителем и энергоснабжающей организацией.

Все больше и больше, возобновляемые источники энергии, такие как фотоэлектрические панели используются для питания низковольтных электрических установок. В некоторых случаях эти фотоэлектрические панели соединены параллельно с электрической сетью или эти фотоэлектрические панели используются в автономном режиме без подключения к сети общего пользования. Переход от постоянного напряжения в переменное необходимо, так как номинальное напряжение этих фотоэлектрических панелей выше и выше (несколько сотен вольт), а также потому, что фотоэлектрические панели производят постоянные токи.

Смотрите также главу P «Фотоэлектрическая система».

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

Глава B

Подключение к распределительной сети среднего напряжения

1 Источник питания при среднем напряжении B2

1.1 Основные требования к источнику питания на среднем напряжении и типовым структурам ... B2
1.2 Средние напряжения и значения тока в соответствии со стандартами МЭК ... B4
1.3 Различные виды источников питания СН ... B5
1.4 Некоторые практические вопросы, касающиеся распределительных сетей СН ... B7

2 Процедура создания новой подстанции B10

2.1 Предварительная информация ... B10
2.2 Информация и требования сетевой организации ... B11
2.3 Ввод в эксплуатацию, испытания, электроснабжение ... B11

3 Защита от поражения электрическим током, неисправностей и неправильной работы электроустановок B12

3.1 Общий принцип защиты от поражения электрическим током в электроустановках ... B12
3.2 Защита трансформатора и линий ... B14
3.3 Защита понижающего трансформатора автоматическим выключателем ... B17
3.4 Блокировки и обусловленные операции ... B19

4 Подстанция потребителя с учетом на стороне НН B23

4.1 Определение ... B23
4.2 Функции подстанции потребителя с учетом на стороне НН ... B23
4.3 Выбор оборудования НН ... B24

5 Подстанция потребителя с учетом на стороне СН B26

5.1 Определение ... B26
5.2 Функции подстанции с учетом на стороне СН ... B26
5.3 Выбор оборудования СН ... B28

6 Выбор и использование оборудования СН и понижающих трансформаторов B29

6.1 Выбор оборудования СН ... B29
6.2 Инструкции по использованию оборудования СН ... B30
6.3 Выбор понижающего трансформатора ... B31
6.4 Вентиляция в понижающих подстанциях ... B34

7 Подстанции с генераторами и параллельная работа трансформаторов B37

7.1 Автономные генераторы, не работающие в параллели с питающей сетью ... B37
7.2 Генераторы, работающие параллельно с сетью ... B37
7.3 Параллельная работа трансформаторов ... B39

8 Типы и конструкции распределительных подстанций B40

8.1 Различные типы подстанций ... B40
8.2 Подстанция внутренней установки ... B40
8.3 Подстанции наружной установки ... B42

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Источник питания при среднем напряжении

Термин «среднее напряжение» обычно используется для распределительных систем с напряжением выше 1 кВ и обычно применяется вплоть до 52 кВ [(1)]. По техническим и экономическим причинам, напряжение распределительных сетей среднего напряжения редко превышает 35 кВ.

В этой главе, сети, которые работают при 1000 В или менее, называются сетями низкого напряжения.

Подключение электроустановки к распределительной сети среднего напряжения всегда осуществляется с помощью специализированной подстанции, обычно называемой "главная подстанция". В зависимости от ее размера и конкретных критериев, в основном связанных с нагрузками (номинальное напряжение, количество, мощность, расположение и т.д.), установка может включать в себя дополнительные трансформаторные подстанции. Расположение этих подстанций тщательно подобрано для того, чтобы оптимизировать бюджет относительно силовых кабелей среднего и низкого напряжения. Они поступают из главной подстанции через внутреннюю распределительную сеть среднего напряжения.

Как правило, большинство потребителей НН получают питание от понижающих трансформаторов. Большие нагрузки, такие как асинхронные двигатели свыше 120 кВт, получают питание от сетей СН. В данном Руководстве рассматривается только потребители НН.

Понижающие трансформаторы могут быть расположены либо в главной подстанции, либо во вторичных подстанциях. Небольшие установки могут включать в себя только один понижающий трансформатор, установленный на главной подстанции в большинстве случаев.

Главная подстанция включает в себя пять основных функций:
Функция 1: Подключение к питающей сети СН
Функция 2: Общая защита установки
Функция 3: Питание и защита понижающих трансформаторов, расположенных на подстанции
Функция 4: Питание и защита внутренней распределительной сети СН
Функция 5: Измерения

Для установок, включающих один силовой трансформатор СН/НН, общая защита и защита трансформатора объединены.

Измерения могут быть выполнены на стороне СН или на стороне НН. Они могут производиться на стороне НН любой установки, включающей один понижающий трансформатор, при условии, что номинальная мощность трансформатора будет ниже пороговых значений, установленных местным поставщиком электроэнергии.

В дополнение к техническим требованиям, конструкция как основной, так и вспомогательных подстанций, должна соответствовать местным стандартам и правилам, касающимся защиты людей. Также при любых обстоятельствах должны быть приняты во внимание рекомендации МЭК.

1.1 Основные требования к источнику питания на среднем напряжении и типовым структурам

Характеристики электрооборудования (распределительных устройств, трансформаторов и т.д.), установленного на подстанциях, принимаются, исходя из номинальных значений напряжения и тока распределительной сети, питающей установку:
- Ur, номинальное напряжение, действующее значение, кВ
- Ud, номинальное выдерживаемое напряжение промышленной частоты, действующее значение, кВ в 1 мН
- Up: номинальное импульсное напряжение, пиковое значение, кВ
- Un, рабочее напряжение, действующее значение, кВ

Поскольку номинальное напряжение Ur указывает максимальное значение "самого высокого значения напряжения" в сетях, в которых данное оборудование может быть использовано, реальные значения рабочего напряжения Un в сети должны быть ниже значения номинального напряжения.
- Номинальный рабочий ток Ir, действующее значение, А
- Номинальный кратковременный выдерживаемый ток Ik, действующее значение, кА
- Номинальный ударный ток Ip, пиковое значение, кА

На основании описанных ранее требований и основных правил, определены четыре типа электрических установок для распределительных сетей СН:
Рис. B1: Один понижающий трансформатор с измерением на стороне НН
Рис. B2: Один понижающий трансформатор с измерением на стороне СН
Рис. B3: Несколько понижающих трансформаторов, расположенных в главной подстанции
Рис. B4: Несколько вспомогательных подстанций, запитываемых от внутренних распределительных сетей СН. Большинство понижающих трансформаторов расположены во вспомогательных подстанциях. При необходимости, некоторые из них могут быть установлены на главной подстанции

(1) В терминологии МЭК не существует четкой границы среднего и высокого напряжения. Местные и исторические факторы играют определенную роль, а ограничения, как правило, находятся в диапазоне от 30 до 100 кВ (см. МЭС 601-01-28). МЭК 62271-1 «Высоковольтное комплектное распределительное устройство. Часть 1. Общие технические требования»: «Этот стандарт высокого напряжения (см. МЭС 601-01-27) применяется для номинального напряжения выше 1000 В. Однако, термин среднего напряжения (см. МЭС 601-01- 28) обычно используется для распределительных систем напряжением от 1 кВ до 52 кВ».

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Источник питания при среднем напряжении

Функциональные требования и требования безопасности, определенные ранее, подробно описаны в этой главе, в следующих подпунктах:

- **От 1,2 до 1,4:** Напряжения и токи в соответствии со стандартами МЭК, различные типы источников питания СН; практические вопросы, касающиеся распределительных сетей СН
- **От 2,1 до 2,2:** Процедура создания новой подстанции
- **От 3,1 до 3,4:** Защита от поражения электрическим током по причине неисправностей и ошибок
- **От 4,1 до 4,2:** Подстанция потребителя с учетом на стороне НН
- **От 5,1 до 5,2:** Подстанция потребителя с учетом на стороне СН
- **От 6,1 до 6,4:** Выбор и использование оборудования СН и трансформаторов СН / НН
- **От 7,1 до 7,3:** Подстанции, включающие в себя генераторы, с параллельной работой трансформаторов
- **От 8,1 до 8,3:** Виды и конструкция распределительных подстанций СН / НН

Методика выбора архитектуры электроустановки СН / НН подробно описана в главе D.

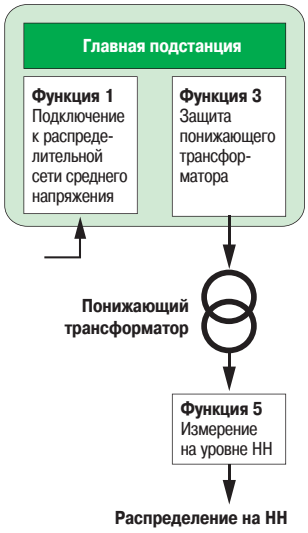


Рис. B1. Один понижающий трансформатор с измерением на стороне НН

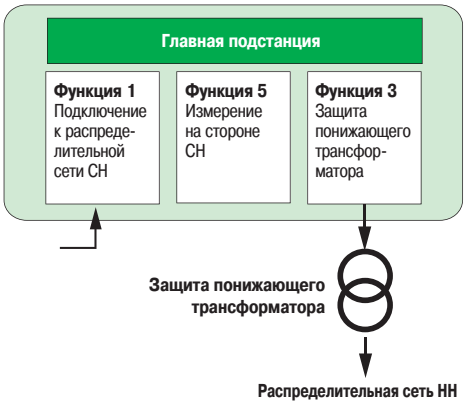


Рис. B2. Один понижающий трансформатор с измерением на стороне СН

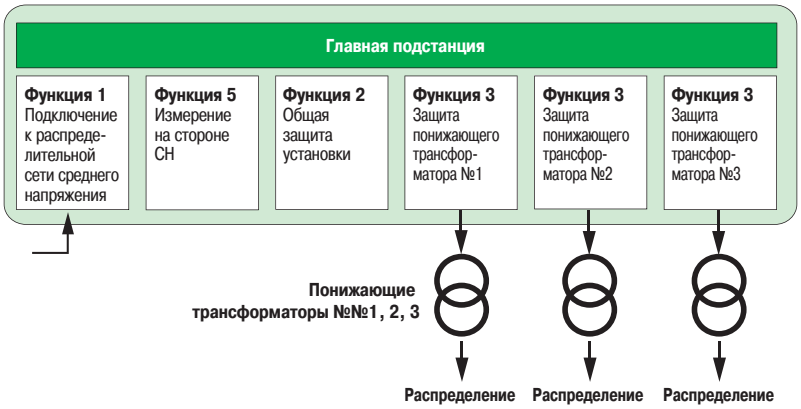


Рис. B3. Несколько понижающих трансформаторов, расположенных в главной подстанции

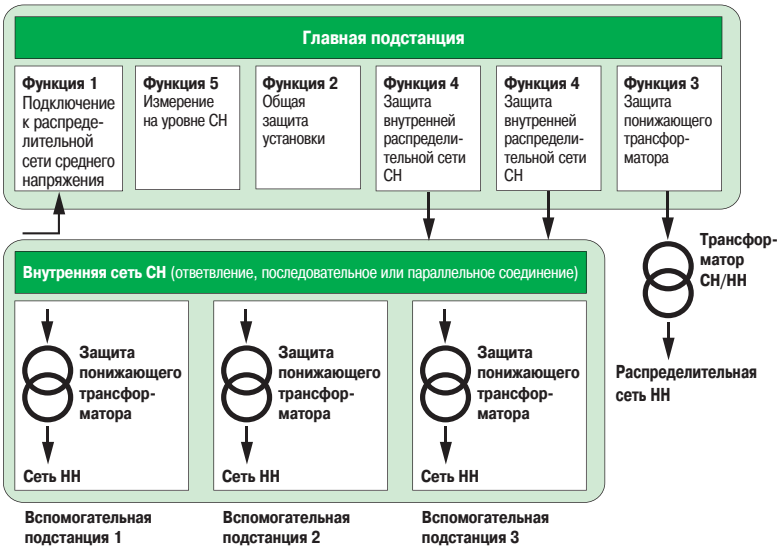


Рис. B4. Несколько вспомогательных подстанций внутренней распределительной сети СН. Большинство понижающих трансформаторов расположены во вспомогательных подстанциях. При необходимости, некоторые из них могут быть установлены на главной подстанции

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1.2 Средние напряжения и значения тока в соответствии со стандартами МЭК

1.2.1 Номинальные значения напряжения в соответствии со стандартом МЭК 60071-1 (Координация изоляции. Часть 1. Определения, принципы и правила) (см. рис. B5)

■ **Ur**, номинальное напряжение, действующее значение, кВ: это максимальное действующее значение напряжения, которое может длительно выдерживать оборудование (например, 24 кВ).
■ **Ud**, номинальное испытательное напряжение промышленной частоты, действующее значение, кВ в течение 1 мин: определяет уровень среднеквадратичного перенапряжения, которое может выдержать оборудование в течение 1 минуты (например, 50 кВ).
■ **Up**: номинальное импульсное напряжение, пиковое значение, кВ: определяет уровень грозовых перенапряжений, которые может выдержать оборудование (например, 125 кВ).
■ **Un**: рабочее напряжение, действующее значение, кВ: это напряжение, при котором работает распределительная сеть СН. Например, некоторые сети работают при Un=20 кВ. В этом случае должны быть установлены распределительные устройства с номинальным напряжением не менее 24 кВ.

Значения напряжения в соответствии со стандартом МЭК

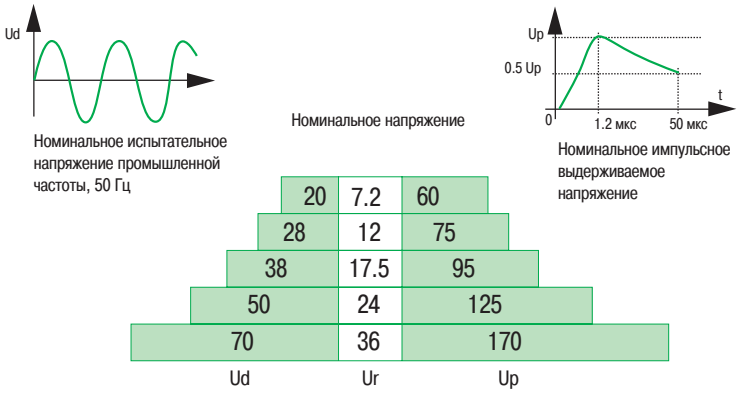


Рис. B5. Примеры стандартных значений Ur, Ud, Up (кВ)

1.2.2 Номинальные значения тока в соответствии со стандартом МЭК 62271-1 (Высоковольтное комплектное распределительное устройство. Часть 1. Общие технические требования)

■ Номинальный рабочий ток **Ir**, среднеквадратичное значение, А: это среднеквадратичное значение тока, которое оборудование может выдержать на постоянной основе, без превышения верхнего порога температуры, приведенного в стандартах (например, 630 А).
■ Номинальный кратковременный выдерживаемый ток **Ik**, среднеквадратичное значение, кА: это среднеквадратичное значение тока короткого замыкания, который оборудование может выдержать в течение определенного времени. Ik определяется в кА для 1 с, а иногда и 3 с. Используется для определения теплостойкости оборудования (например, 12 кА в течение 1 с).
■ Номинальный ударный ток **Ip**, пиковое значение, кА: это максимальное значение тока короткого замыкания, который оборудование может выдержать. Используется для определения электродинамической стойкости оборудования (например, 30 кА).

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Источник питания при среднем напряжении

1.3 Различные виды источников питания СН

В зависимости от типа сети СН применяются нижеследующие способы организации подачи питания.

1.3.1 Радиальная схема электроснабжения: 1 фидер

Подстанция питается от одной линии питания с распределительным устройством СН (подземный кабель или воздушная линия). Этот метод обеспечивает только односторонние питание (см. **рис. B6, A** и **B**). Он широко используется для установок, включающих в себя один понижающий трансформатор с измерением на стороне НН. Он также может быть использован без каких-либо ограничений для установок СН, включающих в себя несколько понижающих трансформаторов или даже внутреннюю распределительную сеть СН. Подключение осуществляется с помощью одного выключателя нагрузки, связанного с заземлителем через воздушную или подземную кабельную линию. Этот принцип может быть начальным шагом для двух других способов подключения (кольцевая схема и двойная магистраль). Модернизация подстанции обычно осуществляется при необходимости ее расширения установки или увеличения допустимых нагрузок.

Как правило, в сельских районах подстанция состоит из столбового трансформатора без коммутационной аппаратуры СН или предохранителей.
Защитные и коммутационные устройства находятся на расстоянии от трансформатора и обычно управляют главной воздушной линией, от которой ответвляются несколько линий энергоснабжения абонентов.

1.3.2 Кольцевая схема электроснабжения: подключение к контуру СН

Подстанция подключена к контуру (см. **рис. B6**, **C**) распределительной сети среднего напряжения. Линейный ток проходит через подстанцию, чем дает возможность поставлять энергию двумя различными способами.
При такой компоновке система имеет преимущества в надежном источнике питания на основе двух резервированных фидеров среднего напряжения.
Подключение осуществляется с помощью двух независимых выключателей нагрузки, каждый из которых связан с заземлителем или подземным кабелем заземления. Этот метод используется в основном для подземных распределительных сетей СН, которые можно обнаружить в городских районах.

1.3.3 Двойная магистраль электроснабжения: параллельные фидеры

Два параллельных подземных кабеля используются для питания подстанции. Каждый кабель подключен к подстанции с помощью выключателя нагрузки (см. **рис. B6**, **D**). Как уже упоминалось в описании радиальной и кольцевой схем, кабели заземления подключаются к заземлителям, связанным с выключателями нагрузки.
Два выключателя нагрузки взаимно блокируются, а это означает, что только один разъединитель нагрузки замкнут в данный момент.
Этот принцип дает возможность запитывать подстанции с помощью двух независимых источников, обеспечивающих полное резервирование.
В случае потери питания в установке один выключатель нагрузки должен быть включен, а второй должен быть отключен.
Эта последовательность может быть выполнена либо вручную, либо автоматически.
Этот метод используется для питания очень важных объектов, например, больниц. Он также часто используется для густонаселенных городских районов, запитанных с помощью подземных кабельных линий.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Источник питания при среднем напряжении

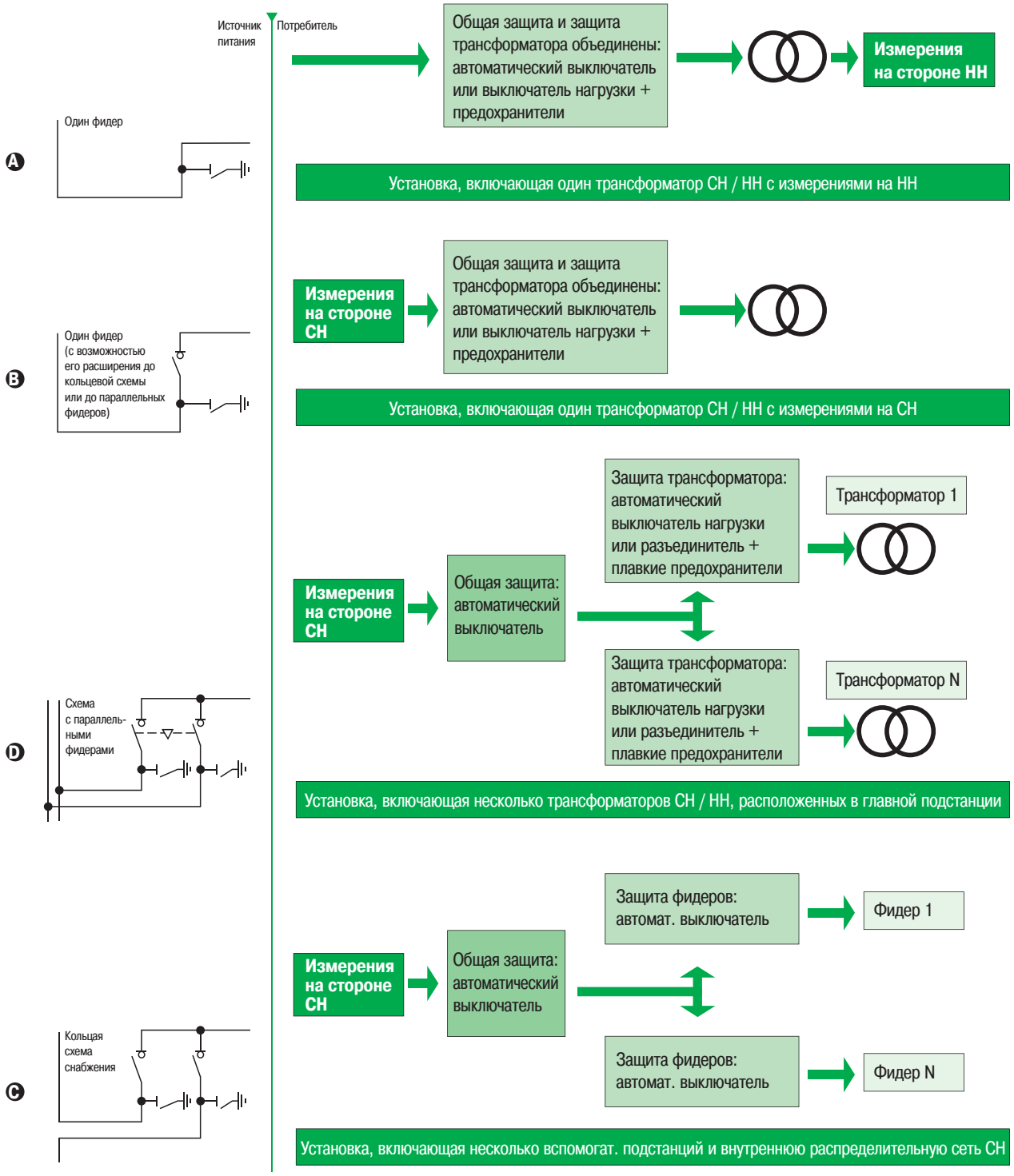


Рис. B6. A: Один фидер. B: Один фидер с возможностью его расширения до кольцевой схемы или до параллельных фидеров. C: Кольцая схема снабжения. D: Схема с параллельными фидерами.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Источник питания при среднем напряжении

1.4 Некоторые практические вопросы, касающиеся распределительных сетей СН

1.4.1 Воздушные линии

Погодные условия, например, ветер, могут привести к схлестыванию проводов и вызвать межфазное короткое замыкание.
Перенапряжение из-за ударов молнии может генерировать вспышки на керамических или стеклянных изоляторах и вызвать замыкание фаз на землю.
Временные контакты с растительностью, например, с деревьями, также могут генерировать замыкание фазы на землю.
Большинство этих аварий носят временный характер. Они исчезают естественным образом с отключением напряжения. Это означает, что энергоснабжение может быть восстановлено спустя короткое время после срабатывания. Эта задержку обычно называют бестоковой паузой.

Таким образом, последовательность устранения повреждения и восстановления напряжения в воздушной линии выглядит следующим образом:
- ■ Обнаружение неисправностей по межфазному замыканию или замыканию фаза-земля
- ■ Срабатывание автоматического выключателя, неисправная линия обесточена
- ■ Бестоковая пауза
- ■ Отключение автоматического выключателя. После повторного включения возможны две ситуации:
  - □ Неисправность была устранена от прерывания напряжения, то есть повторное включение прошло успешно
  - □ Линия по-прежнему неисправна, происходит новое отключение с последующим автоматическим повторным включением
- ■ Может быть активировано несколько последовательных расцеплений в зависимости от рабочей сети
- ■ Если после выполнения предварительно выбранного числа повторных включений неисправность по-прежнему присутствует, автоматический выключатель блокируется, и, следовательно, поврежденная часть сети остается неисправной до тех пор, пока повреждение не будет локализовано и устранено

Таким образом, можно значительно улучшить непрерывность обслуживания воздушных сетей с помощью автоматического повторного включения. Как правило, повторное включение выключателя настроено индивидуально для каждой воздушной линии.

1.4.2 Подземные сети

Неисправности подземных кабелей СН могут возникать по следующим причинам:
- ■ Низкое качество прокладки кабеля, отсутствие механической защиты
- ■ Плохое качество концевых кабельных муфт
- ■ Повреждения, вызванные экскаваторами или инструментами, например, отбойным молотком
- ■ Перенапряжение, генерируемое ударами молнии, на воздушной линии, подключенной к подземным кабелям. Перенапряжение может быть усилено на уровне переходов между воздушными линиями и подземными кабелями, что вызовет разрушение концевых кабельных муфт. Часто в этих местах устанавливают молниеотводы с целью ограничения возможных повреждений.

Опыт показывает, что неисправности на подземных кабельных линиях случаются реже, чем на воздушных линиях электропередачи. Однако поиск места и устранение причины их возникновения неизменно занимают больше времени.
Структура контура (см **рис. B10**), включающая в себя измерительную аппаратуру, датчики, выключатели нагрузки-разъединители с мотор-редуктором, позволяет в течение короткого периода времени определить неисправный кабель, отключить его и восстановить подачу питания на подстанции в составе контура.

Операции обнаружения неисправностей, отключения и восстановления питания могут автоматически выполнятся менее чем за одну минуту с помощью специальных функций, обычно интегрированных в системы дистанционного управления и мониторинга сетей среднего напряжения.

1.4.3 Пульт дистанционного управления и мониторинга для сетей среднего напряжения (см. **рис. B7**)

Дистанционное управление и контроль фидеров среднего напряжения позволяет уменьшить потерю питания в результате повреждения кабеля, а также поддерживать быструю и эффективную реконфигурацию цикла.
Дистанционное управление с пульта диспетчеризации возможно только в том случае, если подстанции контура оснащены автоматическими выключателями нагрузки-разъединителями с мотор-редукторами и устройствами обнаружения неисправностей, соединенными с системой диспетчеризации. Электроснабжение таких подстанций может быть восстановлено удаленно, в то время как для устранения аварий на других подстанциях требуются дополнительные ручные операции.

Использование централизованного дистанционного управления и контроля на основе SCADA (системы диспетчерского управления и сбора данных) и последние разработки в области цифровой коммуникационной технологии становятся все более распространенным и в странах, где сложность, связанная с высокой взаимосвязанностью сетей, оправдывает необходимые инвестиции.

Рис. B7. Диспетчерская на базе системы управления и сбора данных SCADA

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Источник питания при среднем напряжении

1.4.4 Значения токов замыкания на землю в сетях среднего напряжения

(см. **рис. B8** и **рис. B9**)

Значения токов замыкания на землю в распределительных сетях среднего напряжения зависят от системы заземления нейтрали СН. Эти значения должны быть ограничены, чтобы уменьшить их влияние во избежание таких явлений, как:

- Повреждения оборудования
- Временные перенапряжения
- Переходные перенапряжения
- Шаговое напряжение и напряжение прикосновения

Нейтраль в сети СН может быть заземлена пятью различными способами, в зависимости от типа (резистивной, индуктивной) и значения (от нуля до бесконечности) полного сопротивления Zn, подключенного между нейтралью и землей:

- $Z_n = \infty$ в системе с изолированной нейтралью, не намеренное соединение нейтрали с заземлением
- Z_n относится к сопротивлению с достаточно высоким значением
- Z_n относится к реактивному сопротивлению, как правило, с низким значением
- Z_n относится к компенсации реактивного сопротивления, предназначенного для компенсации емкости сети
- $Z_n = 0$: нейтраль глухозаземлена

	Способы заземления нейтрали				
	Изолированная нейтраль	**Сопротивление**	**Реактивное сопротивление**	**Компенсация реактивной мощности**	**Нейтраль глухозаземлена**
Повреждения	Очень низкое	Низкое	Низкое	Очень низкое	Очень высокое
Временные перенапряжения	Высокое	Среднее	Среднее	Среднее	Низкое
Переходные перенапряжения	Высокое	Низкое	Высокое	Высокое	Низкое
Шаговое напряжение и напряжение прикосновения	Очень низкое	Низкое	Низкое	Низкое	Высокое

Рис. B8. Влияние замыкания фазы на землю

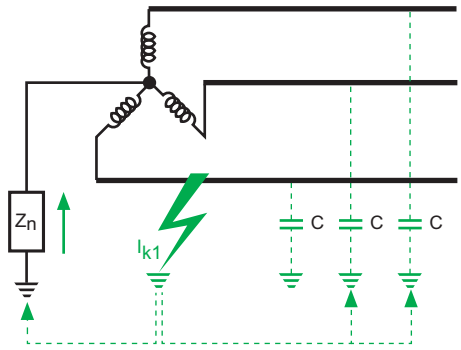


Рис. B9. Циркуляция тока замыкания на землю

Ток I_{k1} замыкания является суммой двух компонентов:
- ток нейтрали протекает через полное сопротивление Z_n
- емкостный ток протекает через конденсаторы на землю

Когда Z_n является полностью реактивным, эти два тока направлены навстречу друг другу, что означает, что реактивное сопротивление компенсирует емкостный ток. Если компенсация в норме, текущее значение тока равно нулю.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Источник питания при среднем напряжении

1.4.5 Контур среднего напряжения (см. рис. B10)

Контур среднего напряжения, как правило, подключен к двум отдельным первичным подстанциям. Он запитывает вторичные подстанции среднего / низкого напряжения, питающие низковольтную распределительную сеть и частные электрические установки.

Вторичные понижающие подстанции и те, от которых подключаются частные электрические установки, соединены последовательно с помощью подземных кабелей.

Два выключателя нагрузки используются для подключения каждой вторичной подстанции.

Контур обычно разомкнут, а все выключатели нагрузки замкнуты, за исключением одного.

В случае неисправности между выключателями A и B, автоматический выключатель C срабатывает. Две подстанции S1 и S2 обесточены. Восстановление питания на всех подстанциях реализуется следующим образом:

1 – При нарушении изоляции кабеля происходит размыкание силовых выключателей A и B.
2 – Выключатель D замкнут.
3 – Повторное замыкание выключателя C. Разрыв цепи находится между S1 и S2.

Эта последовательность отсоединения неисправного кабеля с последующим восстановлением энергоснабжения может выполняться вручную операторами сети СН или автоматически, с помощью специальных функций, встроенных в систему дистанционного мониторинга и контроля сетей среднего напряжения.

Ручные операции, как правило, занимают много времени, тогда как автоматическое восстановление питания может быть выполнено менее чем за одну минуту с помощью системы дистанционного управления. Эти автоматические функции доступны в любой системе управления, только требуется подходящие оборудование контура:

- ■ Устройства обнаружения неисправностей на обоих концах подземных кабелей
- ■ Выключатель-разъединитель с мотор-редуктором
- ■ Терминал дистанционного управления на каждой вторичной подстанции со следующими функциями:
  - □ Мониторинг датчиков неисправностей и выключателей нагрузки
  - □ Контроль локального оборудования
  - □ Команды для выключателей нагрузки
  - □ Связь с пультом дистанционного управления и центром мониторинга
- ■ Вспомогательный источник питания постоянного тока на каждой подстанции

Как было описано выше, большинство контуров исторически оборудованы выключателями нагрузки и защищены на каждом конце только при помощи автоматических выключателей, расположенных в главных понижающих подстанциях. В случае неисправности, все потребители, подключенные к неисправному фидеру обесточены. Но на самом деле потребители, подключенные выше по сети от места ошибки, могут не отключаться.

Добавление автоматических выключателей, расположенных в нужном месте и связанных с соответствующими реле защиты, может привести к снижению числа потребителей, отключенных в случае неисправности.

Например, контур при использовании двух дополнительных выключателей делится на четыре независимые секции. Предположим, разрыв линии расположен между двумя дополнительными выключателями. В случае неисправности в секции, ограниченной этими двумя выключателями, только часть вторичных подстанций, подключенных к секции, будет отключена, все остальные останутся под напряжением.

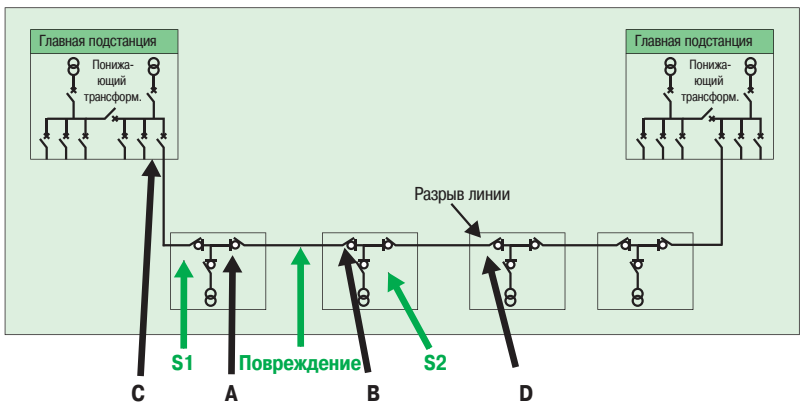


Рис. B10. Конфигурация и операции в открытом контуре

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Процедура создания новой подстанции

Крупные потребители электроэнергии, как правило, питаются от сети среднего напряжения.

В сетях низкого напряжения на 120/208 В (3 фазы, 4 провода), нагрузка в 50 кВА может считаться «большой», тогда как в 3-фазной сети на 230/400 В «крупный» потребитель может иметь нагрузку, превышающую 100 кВА. Оба типа сетей низкого напряжения широко применяются по всему миру. См. главу A, п. 2.1 «Определение диапазонов напряжений».

Стандарт МЭК рекомендует использовать в качестве «основного» стандарта напряжение 230/400 В для 3-фазных 4-проводных сетей. Это компромиссный уровень, который позволит существующим сетям, работающим на напряжениях 220/380 В и 240/415 В или с приближенными к ним значениями, соответствовать стандарту, регулируя РПН нагрузки для распределительных трансформаторов СН / НН.

Выбор наиболее подходящего уровня напряжения новой электроустановки зависит от параметров электрической сети, к которой установка, как предполагается, должна быть подключена.

Решение основывается главным образом на двух критериях:
- Расстояние до первичной подстанции, от которой будет происходить электроснабжение.
- Полная мощность, потребляемая установкой.

Другие критерии, такие как коэффициент готовности электроснабжения, также принимаются во внимание.

Решение выбора сети питания низкого или среднего напряжения будет зависеть от местных условий и правил, описанных выше, и обычно принимается поставщиками энергии для данного района.
Когда принято решение о питании от высоковольтной сети, имеется два широко распространенных метода действий:
1 – Поставщик электроэнергии строит стандартную подстанцию близко к месту расположения потребителя, но понижающий(ие) трансформатор(ы) расположен(ы) внутри помещений потребителя, близко к центру нагрузки.
2 – Потребитель сам строит и оснащает подстанцию на собственной территории, к которой поставщик энергии производит подключение высоковольтной линии.
При методе **1** поставщик энергии владеет подстанцией, кабелями, ведущими к трансформатору, самим трансформатором и помещением для его размещения, куда поставщик имеет неограниченный доступ.
Помещение для трансформатора сооружается потребителем (согласно планам и требованиям, предоставленным поставщиком) и включает в себя цоколи, маслоотводы, стены и потолки, вентиляцию, освещение и системы заземления в противопожарном исполнении. Все это должно быть одобрено представителем поставщика.
Структура тарифов покрывает согласованную часть затрат, требуемых для предоставления услуг.

Независимо от выбранного метода, при разработке концепции и реализации проекта должны применяться одни и те же принципы. Примечания ниже относятся к методу **2**.

Следующие главы относятся только к строительству подстанции владельцем электроустановки.

2.1 Предварительная информация

В большинстве случаев проект строительства новой подстанции должен быть представлен до любых дальнейших детальных исследований с целью утверждения операционной сети СН, которая будет снабжать подстанцию. Перечень информации, предоставляемой для утверждения, может быть результатом предварительных обсуждений с сетевой компанией. Среди всей информации, как правило, требуется следующее:

2.1.1 Максимальная ожидаемая мощность потребления (кВА)

Определение этого значения подробно описано в главе A, и оно должно учитывать возможность дополнительного увеличения нагрузки в будущем.
Согласно главе A, в предлагаемом методе используются два фактора, связанные с нагрузками:
- коэффициент использования оборудования (ku);
- коэффициент одновременности нагрузки (ks).

2.1.2 Планы территории с указанием высотных отметок и места предлагаемого размещения подстанции

Следующая информация может потребоваться:
- Положение подстанции с учетом местонахождения проезжей части
- Расположение подстанции внутри установки
- Распоряжения, предусмотренные для неограниченного доступа обслуживающего персонала
- Чертежи с указанием четкого расположения электрооборудования (распределительный щит СН, трансформаторы, измерительные приборы, ...)
- Прокладка кабелей среднего напряжения
- Однолинейная схема и тип защиты от фазных коротких замыканий и замыканий на землю
- Основные характеристики электрооборудования
- Решения, предусмотренные для компенсации реактивной мощности
- Принцип системы заземления
- Наличие в установке генератора, работающего параллельно с сетью СН и т.д.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2.1.3 Требуемая степень бесперебойности питания

Потребитель должен оценить последствия в длительности перебоя электроснабжении с точки зрения:

- безопасности персонала;
- воздействия на окружающую среду;
- сохранности оборудования;
- производственных потерь.

Потребитель должен указать сетевой организации допустимое время в перебое электроэнергии.

2.2 Информация и требования сетевой организации

На основании информации, предоставленной потребителем, сетевая организация должна предоставить свое предложение, её обязательства и её собственные требования, касающиеся подключения к подстанции:

- уровень напряжения
- электроснабжение по ВЛ
- электроснабжение по КЛ
- схему электроснабжения (радиальная, магистральная, кольцевая)
- номинальные значения напряжения
- номинальное значение тока
- подробности относительно применяемого тарифа и выставления счетов за электрическую энергию
- комментарии к чертежам и информации, предоставленной потребителем
- конкретные требования, предъявляемые к подстанции

При детальном рассмотрении подстанции необходимо учитывать все эти параметры и требования.

2.3 Ввод в эксплуатацию, испытания, электроснабжение

По требованию местных властей, пусконаладочные испытания и проверки должны быть успешно завершены, чтобы получить разрешение на электроснабжение новой установки.

Следующие испытания и проверки, как правило, являются обязательными и применяются ко всей установке:

- Проверка на то, что главная подстанция отвечает всем требованиям электроснабжающей организации
- Измерение сопротивления заземляющего устройства
- Электрическая непрерывность всех эквипотенциальных и соединительных проводников
- Осмотр и функциональное тестирование всех компонентов сети СН
- Испытание прочности изоляции распределительных устройств и трансформаторов
- Проверка и испытание частей установки НН
- Проверка механических и электрических соединений
- Проверка релейной защиты
- Другие дополнительные испытания и проверки, которые могут быть необходимы

Как только выдается официальный документ соответствия, электроснабжающая организация выполняет подачу напряжения на установку.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Защита от поражения электрическим током, неисправностей и неправильной работы электроустановок

В промышленности и электрических установках имеется большое количество объектов для защиты. Защита охватывает многие аспекты, такие как:
- Защита людей и животных от поражения электрическим током
- Защита оборудования и установок от пробоев напряжения, возникающих вследствие короткого замыкания, грозовые перенапряжения, нестабильность питания системы, а также другие электрические возмущения
- Защита имущества и оборудования от повреждений и разрушений
- Защита от производственных потерь
- Защита обслуживающего персонала, населения и окружающей среды от пожаров, взрывов, токсичных газов и т.д.
- Защита операторов и электрооборудования от последствий неправильных действий. Это означает, что коммутационные устройства (выключатели нагрузки, разъединители, заземлители) должны работать надлежащим образом. Возможная блокировка требует строгого соблюдения правильной последовательности операций.

В данном Руководстве подробно описаны четыре аспекта защиты:
- Защита от поражения электрическим током
- Защита трансформаторов от внешних ограничений и внутренних неисправностей
- Улучшение защиты трансформатора СН/НН с помощью автоматического выключателя с расцепителем с автономным питанием
- Защита операторов от последствий неправильных действий соответствующими блокировками

3.1 Общий принцип защиты от поражения электрическим током в электроустановках

Защитные меры от поражения электрическим током направлены против двух хорошо известных опасностей:
- Прямое прикосновение: контакт с активным проводником, т.е. проводником, который находится под напряжением по отношению к земле при нормальных условиях. (см. **рис. B11**).
- Косвенное прикосновение: контакт с токоведущей частью оборудования, которое обычно не находится под напряжением и заземлено, но в данный момент является токоведущим из-за внутреннего повреждения изоляции. (см. **рис. B12**). Прикосновение к токоведущей части рукой вызовет прохождение тока через руку и обе ноги пораженного электрическим током человека.

Величина тока, проходящего через тело человека, зависит от:
- Уровня напряжения прикосновения, генерируемого током короткого замыкания, идущим через заземленный электрод (см. **рис. B12**)
- Сопротивления человеческого тела
- Значения дополнительных сопротивлений, например, обуви

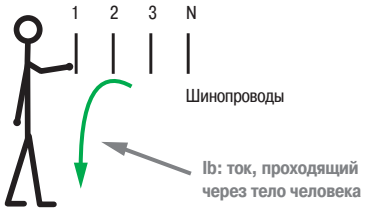
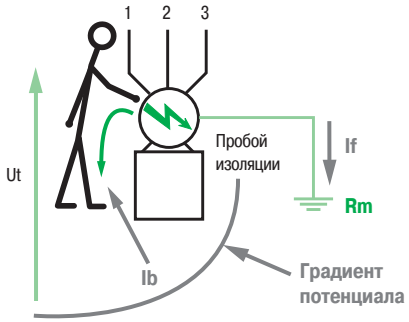


Рис. B11. Прямое прикосновение



- Ut: Напряжение прикосновения
- Ut ⩽ Ue
- Ue: Электрический потенциал земли
- Ue = Rm x If
- Ib: Ток, проходящий через тело человека
- Ib = Ut/Rb
- Rb: Сопротивление тела человека
- If: Ток замыкания на землю
- Rm: Сопротивление заземляющего электрода

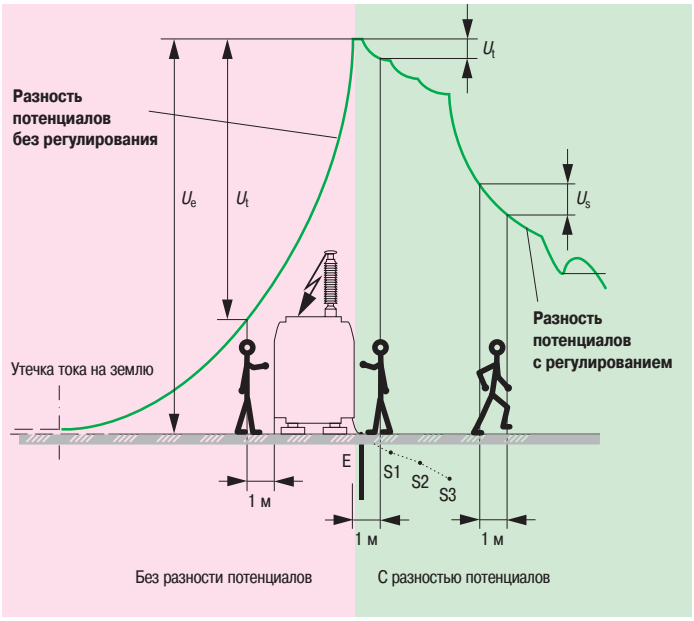
Примечание. Напряжение прикосновения Ut ниже потенциала земли Ue. Ut зависит от разности электрического потенциала на поверхности земли.

Рис. B12. Косвенное прикосновение

На **рис. B13**, зеленая кривая показывает изменение потенциала поверхности земли: это самая высокая точка, где ток короткого замыкания поступает в землю и уменьшается с расстоянием. Таким образом, значение напряжения прикосновения Ut, как правило, ниже, чем потенциал земли Ue.
С левой стороны он показывает изменение потенциала земли без градации потенциальных электродов заземления. С правой стороны он описывает, как заглублены электроды из меди с градацией потенциальных заземлений (S1, S2, Sn), способствующих уменьшению контактных напряжений (Ut, Us).
Третий тип опасности поражения электрическим током также показан на **рис. B13**. Это шаговое напряжение (Us): ток входит в одну ногу и выходит из другой. Эта опасность существует в непосредственной близости от заземлителей СН и НН, токов замыкания на землю. Это происходит из-за разности потенциалов на поверхности земли. Животные с относительно длинным пролетом ног особенно чувствительны к действию шагового напряжения.
Ясно видно, что чем выше разность потенциалов (Ue), тем больше уровень напряжения прикосновения (Ut) и шагового напряжения (Us).
Наличие соединительных проводников между всеми металлическими частями армирования бетона, в значительной степени, способствует уменьшению контактных напряжений (прикосновения, шаг).
Кроме того, любой заземляющий контур из оголенной меди вблизи установки СН способствует расширению эквипотенциальной области.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Защита от поражения электрическим током, неисправностей и неправильной работы электроустановок



- **Ue**: Потенциал земли
- **Ut**: Ожидаемое напряжение прикосновения
- **Us**: Ожидаемое шаговое напряжение
- **E**: Заземляющий электрод
- **S1, S2, S3**: Выравнивание потенциала заземляющими электродами (например, стержневыми круглого сечения), соединенными с заземляющим электродом E

Рис. B13. Уравнивание потенциалов – EN 50522 – Заземление силовых установок, выше 1 кВ пер. тока

3.1.1 Защита от прямого контакта или базовая защита

Существуют четыре основных принципа защиты от прямых прикосновений:

- Все токоведущие части должны быть расположены в корпусах, выполненных из электроизоляционного материала, или в металлических заземленных ячейках.

Для распределительного устройства СН стандарт МЭК 62271-200 (Сборный металлический корпус распределения и управления напряжением до 52 кВ) определяет минимальный индекс защиты (степень IP) IP2X для обеспечения защиты от прямого контакта. Кроме того, ячейки должны демонстрировать непрерывность электрической цепи между всеми внутренними и внешними металлическими частями.

- Токопроводящие части должны быть размещены вне досягаемости. Данный принцип применяется в Открытых Распределительных Устройствах (ОРУ) (см. **рис. B15**)
- Должны быть установлены защитные барьеры, которые также применяются на ОРУ (см. **рис. B14**)
- Должна обеспечиваться защита изоляцией. Хорошим примером использования изоляции являются кабели НН и ВН

Рис. B14. Защита путем установки барьеров. Безопасное расстояние устанавливается согласно стандарту МЭК 61936

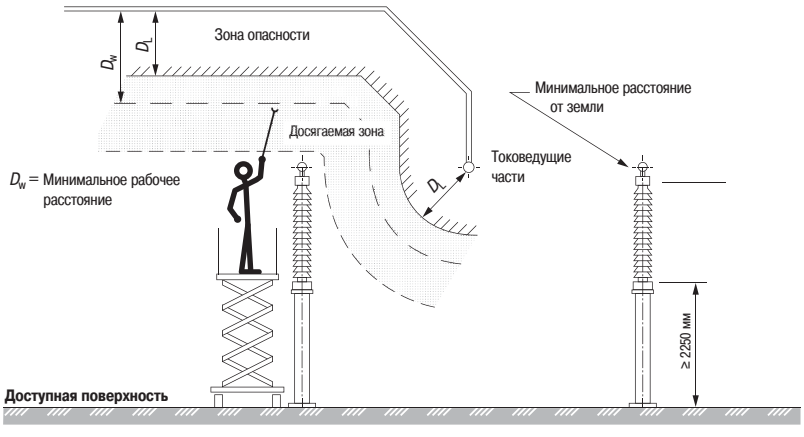


Рис. B15. Защита путем размещения токоведущих частей вне досягаемости. Безопасные расстояния устанавливаются стандартом МЭК 61936

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Защита от поражения электрическим током, неисправностей и неправильной работы электроустановок

3.1.2 Защита от косвенного прикосновения или защита от замыканий

Как было описано выше, человек, касаясь металлического корпуса или каркаса электроустановки с внутренним повреждением изоляции, подвержен косвенному контакту.
Всесторонние исследования показали, что ток ниже 30 мА, проходящий через тело человека, может рассматриваться как неопасный. Это соответствует значению напряжения прикосновения примерно 50 В.
Это означает, что работа установок может продолжаться при наличии замыкания на землю, если значение напряжения прикосновения будет поддерживаться на уровне, меньшем 50 В. Во всех других ситуациях, когда ожидаемые значения напряжения прикосновения ожидается выше 50 В, то прерывание в электропитание является обязательным. Чем больше ожидаемое значение напряжения прикосновения, тем ниже должно быть время прерывания. Максимально допустимое время прерывания и соответствующие значения ожидаемых напряжений прикосновения указаны в стандартах МЭК 60364 и МЭК 61936 для систем ВН и НН соответственно.

В случае неисправности в низковольтных системах

Только система с изолированной нейтралью (IT) позволяет поддерживать напряжение прикосновения на уровне ниже 50 В и не требует отключения электропитания в случае межфазного короткого замыкания и замыкания на землю. Две другие системы нейтрали (TT и TN) всегда подвержены превышению нормативного значения напряжения прикосновения 50 В. В этих случаях отключение напряжения является обязательным. Это обеспечивается в течение времени, указанного в стандарте МЭК 60364, с помощью автоматических выключателей или предохранителей, защищающих электрические цепи. Для получения более подробной информации о косвенном прикосновении в системе низкого напряжения обратитесь к главе F.

Опасность косвенного прикосновения в случае неисправности в сетях СН

В электрических системах среднего напряжения ожидаемое напряжение прикосновения может достигать значений, требующих отключения подачи электроэнергии в более короткое время, чем время размыкания автоматических выключателей. Принципы защиты, использующиеся в системах низкого напряжения, не применимы в установках среднего напряжения.
Одним из возможных решений для защиты людей является создание эквипотенциальных систем с помощью проводников, соединяющих все металлические части установки: корпуса распределительных устройств, рамы электрических машин, стальные конструкции, металлические трубы на полу и т.д. Такой метод позволяет поддерживать напряжение прикосновения ниже опасного уровня.

Более сложный подход к защите людей от косвенного прикосновения в установках среднего и высокого напряжения представлен в стандарте МЭК 61936 и EN 50522. Метод, разработанный в этих стандартах, допускает более высокие уровни напряжения прикосновения. Это объясняется более высоким значением сопротивления человеческого тела и дополнительных сопротивлений, например, обуви или щебня.

3.2 Защита трансформатора и линий

Электрооборудование и цепи подстанции должны быть защищены во избежание повреждений, вызываемых сверхтоками и/или перенапряжениями.
Все оборудование, обычно используемое в электроустановках, имеет стандартные значения допустимых кратковременных перегрузок по току и напряжению.
Роль защитной системы – обеспечить, чтобы допустимые пределы никогда не были превышены. Повреждение должно быть ликвидировано как можно быстрее, с обязательным обеспечением селективности защиты.
Селективность означает, что любое повреждение должно быть ликвидировано ближайшим к месту повреждения устройством (автоматическим выключателем или предохранителем), даже если оно было одновременно обнаружено несколькими устройствами защиты.
Например, при коротком замыкании на вторичной обмотке силового трансформатора должен срабатывать только автоматический выключатель, установленный на вторичной обмотке. Автоматический выключатель, установленный на первичной обмотке, должен быть замкнут.
Если трансформатор защищен с помощью высоковольтных предохранителей, то они не должны срабатывать. Как правило, два основных устройства, которые способны отключать токи короткого замыкания – это автоматические выключатели и предохранители:
- ■ Автоматические выключатели должны быть связаны с релейной защитой, имеющей три основные функции:
  - □ Измерение токов
  - □ Обнаружение неисправностей
  - □ Подача сигнала на срабатывание автоматического выключателя
- ■ Плавкие предохранители срабатывают при определенных условиях неисправности

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Защита от поражения электрическим током, неисправностей и неправильной работы электроустановок

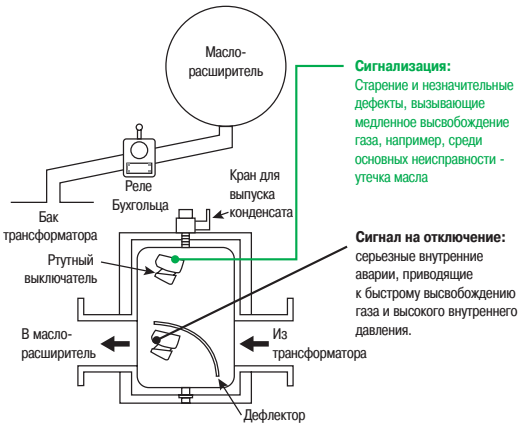


Рис. B16a. Трансформатор с системой закачки воздуха, защищаемый с помощью реле Бухгольца

Рис. B16b. Трансформатор с расширительным баком

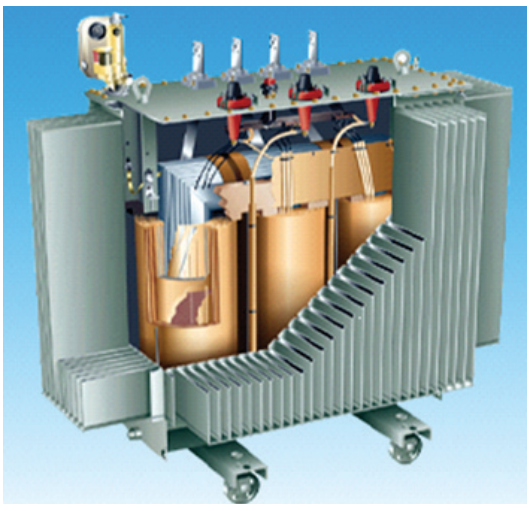


Рис. B17. Трансформатор без расширительного бака

3.2.1 Защита трансформатора

Перенапряжения в системе электроснабжения

Два типа перенапряжения, которые могут повредить или разрушить трансформатор:

■ Атмосферные перенапряжения

Атмосферные перенапряжения являются следствием удара молнии, попадающей на линию или рядом с воздушной линией электропередач, где установлен трансформатор.

■ Коммутационные перенапряжения, являющиеся следствием эксплуатационных переключений в системе электроснабжения, например, автоматического выключателя или выключателя нагрузки.

Защита от этих двух типов перенапряжений может быть необходима и часто обеспечивается с помощью разрядников, связанных с высоковольтной частью трансформатора.

Токовые перегрузки

Перегрузка трансформатора происходит из-за увеличения потребления полной мощности (кВА) всей электроустановкой. Увеличение нагрузки вызвано расширением предприятия, постройкой новых зданий и т.д.

Данное действие вызывает повышение температуры масла и обмоток трансформатора и ведет к снижению срока службы оборудования.

Защита трансформатора от перегрузок осуществляется специальной защитой, как правило, обеспечиваемой реле тепловой перегрузки. Этот тип защиты имитирует температуру обмоток трансформатора. Моделирование основано на измерении тока и тепловой постоянной времени трансформатора. Некоторые реле имеют возможность учитывать влияние гармоник тока вследствие нелинейных нагрузок, таких как выпрямители, компьютеры, преобразователи частоты и т.д. Этот тип реле также способен оценить оставшееся время до срабатывания выключателя и время задержки перед повторным включением трансформатора.

Кроме того, масляные трансформаторы оснащены термостатами для регулирования температуры масла.

Сухие трансформаторы используют тепловые датчики, встроенные в изоляцию обмоток.

Каждое из этих устройств (тепловое реле, термостат, тепловые датчики) обычно обеспечивает два уровня обнаружения:

■ Низкий уровень, используемый для передачи сигнала обслуживающему персоналу о превышении заданных параметров температуры трансформатора

■ Высокий уровень – аварийное отключение трансформатора

Внутренние неисправности масляных трансформаторов

В масляных трансформаторах внутренние неисправности могут быть классифицированы следующим образом:

■ Неисправности, вследствие которых происходит выброс газов, главным образом:

□ микродуги, возникающие в результате зарождающихся дефектов в изоляции обмотки;

□ медленное старение изоляционных материалов;

□ короткие замыкания.

■ Неисправности, вследствие которых происходит повышение внутреннего давления одновременно с высоким уровнем тока в линии:

□ короткое замыкание между фазой и землей;

□ междуфазное короткое замыкание.

Эти повреждения могут быть следствием перенапряжения или перепадов напряжения. Для трансформаторов различного типа предлагаются два типа устройств обнаружения внутренних неисправностей:

■ Реле Бухгольца, устанавливаемое в рассечке трубопровода, соединяющего бак трансформатора и маслорасширитель, и предназначенное для обнаружение газов (см. **рис. B16 a,b**)

■ Реле DGPT для обнаружения газа, превышения давления и температуры предназначено для заполнения интегрального трансформаторов (см. **рис. B17**, **рис. B18a** и **рис. B18b**). Этот тип трансформатора производится до 10 МВА. DGPT, как и реле Бухгольца обнаруживает выбросы газов и избыточное внутреннее давление и контролирует температуру масла.

Реле Бухгольца и реле DGPT имеют два уровня обнаружения газа и контроля температуры:

■ Низкий уровень, используемый для передачи сигнала обслуживающему персоналу

■ Высокий уровень для отключения коммутационного устройства, установленного на первичной обмотке (автоматический выключатель или выключатель нагрузки с предохранителями).

Кроме того, реле Бухгольца и реле защиты трансформатора DGPT пригодны для обнаружения утечки масла.

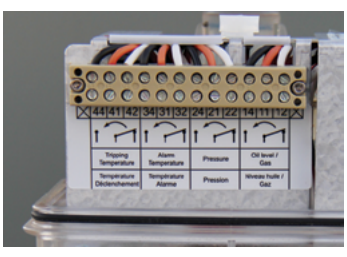


Рис. B18a. Контакты реле защиты трансформатора DGPT (со снятой крышкой)

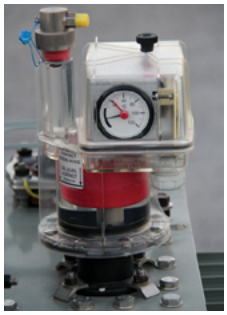


Рис. B18b. Реле защиты трансформатора DGPT

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Защита от поражения электрическим током, неисправностей и неправильной работы электроустановок

Рис. B19. Трансформатор сухого типа

Рис. B20. Тепловое реле для защиты трансформатора сухого типа

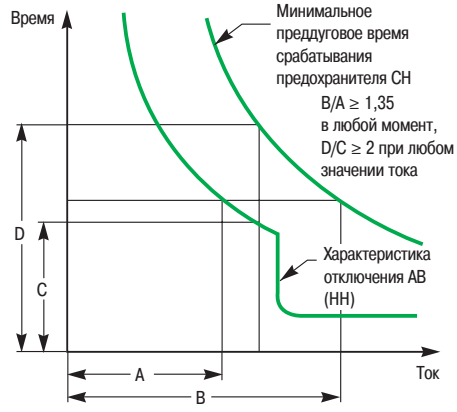


Рис. B21. Селективность в работе предохранителя СН и низковольтного автоматического выключателя, установленных для защиты трансформатора

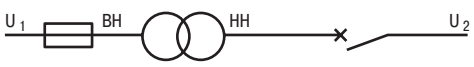


Рис. B22. Работа плавкого предохранителя СН и низковольтного автоматического выключателя

Перегрузки и внутренние неисправности сухих трансформаторов (см. **рис. B19** и **рис. B20**)

Трансформаторы сухого типа из-за возможных перегрузок защищены от чрезмерного нагрева с помощью специального реле тепловой защиты и термодатчиков, встраиваемых в обмотки трансформатора (см. **рис. B20**).

Внутренние повреждения, в основном, межвитковые замыкания и короткие замыкания между фазой и землей, возникающие внутри сухих трансформаторов, исчезают при срабатывании выключателя или предохранителей, установленных на первичной стороне трансформатора. Срабатывание выключателей происходит при межфазном замыкании и замыкании на землю.

Следующим неисправностям необходимо уделить особое внимание:

■ Как правило, они порождают сверхтоки. Например, когда на ВН 5 % витков обмотки замыкаются, то линейный ток трансформатора не превышает 2 In. Если короткое замыкание затрагивает 10 % витков обмотки, то линейный ток ограничен 3 In

■ Плавкие предохранители не подходят для отключения такого эффекта

■ Трансформаторы сухого типа не оснащаются дополнительными защитными устройствами, такими как реле DGPT (обнаружение газа, контроля давления и температуры), предназначенными для обнаружения внутренних неисправностей

Следовательно, внутренние неисправности, сопровождающиеся низкими уровнями перегрузки по току, не могут быть безопасно отключены с помощью предохранителей. Защита при помощи реле максимального тока с адекватной характеристикой и параметрами является предпочтительной (например, реле Schneider Electric VIP).

Различие между устройствами высокого и низкого напряжения для защиты трансформатора

Для обеспечения селективной работы между автоматическим выключателем СН или предохранителями, установленными на стороне первичной обмотки трансформатора и низковольтного автоматического выключателя.

Характеристики отключения низковольтного автоматического выключателя должны быть такими, чтобы в условиях перегрузки или КЗ ниже выключателя, он отключался бы достаточно быстро, чтобы предотвратить воздействие сверхтока на предохранители и выключатель СН. Автоматический выключатель СН должен оставаться включенным, и предохранители не должны срабатывать.

Кривые зависимости времени отключения выключателя СН, предохранителей СН и выключателя НН даны на графике зависимости времени отключения устройств и тока, проходящего через них.

Обе кривые имеют общую обратнозависимую характеристику «время/ток» (с резким разрывом в кривой выключателя при значении тока, превышающим значение, при котором происходит «мгновенное» отключение).

Типовой вид этой зависимости показан на **рис. B21**.

Различие между автоматическим выключателем низкого напряжения и высоковольтным плавким предохранителем (см. **рис. B21** и **рис. B22**)

■ Кривая предохранителя СН должна находиться выше и правее кривой автоматического выключателя НН.

■ Для того чтобы предохранитель не срабатывал (то есть, не перегорал) должны быть выполнены два условия:

□ Все части минимальной преддуговой кривой предохранителя СН должны располагаться правее кривой выключателя НН в 1,35 раз и более.

- Например, там, где в момент времени T кривая выключателя проходит через точку 100 A, кривая предохранителя должна проходить через точку 135 A или выше и т.д.

□ Все части кривой предохранителя должны располагаться выше кривой выключателя в 2 раза и более

- Например, там, где при значении тока I кривая выключателя проходит через точку 1,5 с, кривая предохранителя при том же значении тока должна проходить через точку, соответствующую 3 с или более, и т.д.

Коэффициенты 1,35 и 2 основаны на стандартных максимальных допусках, применяемых при изготовлении плавких предохранителей СН (ПП) и автоматических выключателей низкого напряжения (НН).

Для того чтобы сравнить две кривые, высоковольтные токи нужно конвертировать в эквивалентные низковольтные токи и наоборот.

Различие между автоматическим выключателем низкого напряжения и автоматическим выключателем высокого напряжения

■ Все части минимальной преддуговой кривой предохранителя должны располагаться правее кривой выключателя в 1,35 раз и более

- Например, там, где в момент времени T кривая низковольтного автоматического выключателя проходит через точку 100 A, кривая выключателя СН должна проходить через точку 135 A или выше и т.д.

■ Все части кривой автоматического выключателя СН должны располагаться выше кривой низковольтного выключателя. Разница во времени между двумя кривыми должна быть 0,3 с, по крайней мере для значений тока.

Коэффициенты 1,35 и 0,3 с основаны на стандартных максимальных допусках для трансформаторов тока СН, реле защиты оборудования СН и низковольтных автоматических выключателей.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Защита от поражения электрическим током, неисправностей и неправильной работы электроустановок

Рис. B23. Реле VIP 40 для базовой защиты трансформатора (Schneider Electric)

Рис. B24. Реле с автономным питанием VIP 400 с обратнозависимой характеристикой выдержки времени, с защитой от сверхтоков и замыкания на землю (Schneider Electric)

3.3 Защита понижающего трансформатора автоматическим выключателем

Защита понижающего трансформатора выключателем обычно используется в больших коммерческих, промышленных и строительных системах, и особенно когда мощность трансформатора превышает 800 кВА. В этих системах, распределительные устройства изготовлены из модульных блоков и обеспечивают высокую гибкость.

Каждый блок защиты может содержать реле с питанием от контролируемой сети (см. **рис. B23** и **рис. B24**), вследствие чего обеспечивается высокий уровень безопасности и оптимизация трансформаторов тока (см. **рис. B25**).

Это решение обеспечивает интересные преимущества, касающиеся:
- обслуживания;
- улучшения защиты трансформатора;
- улучшения селективности с низковольтной установкой;
- отсутствия влияния пусковых токов;
- обнаружения низких величин токов замыкания на землю.

Рис. B25. Распределительные щиты SM6 и Premset включают в себя защиту понижающего трансформатора выключателем связанным с реле, подключенным к контролируемой сети (Schneider Electric)

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Защита от поражения электрическим током, неисправностей и неправильной работы электроустановок

3.3.1 Техническое обслуживание

Для современных защитных реле теперь почти не требуется техническое обслуживание, так как они включают в себя функции самодиагностики. Однако техническое обслуживание по-прежнему необходимо для того, чтобы проверить цепи защиты при вводе в эксплуатацию и выполнять периодические проверки (каждые 5 или 10 лет).

3.3.2 Эффективность защиты

Автоматические выключатели в сочетании с электронными реле защиты обеспечивают множество преимуществ селективной защиты, в том числе:
- координацию устройств;
- отсутствие влияния пусковых токов;
- обнаружение низкого уровня межфазного замыкания и замыкания токов на землю.

3.3.3 Селективность с низковольтной установкой

В тех случаях, когда низковольтная установка содержит низковольтный воздушный автоматический выключатель, то селективность с автоматическим выключателем СН выполняется легко, при правильном выборе кривой срабатывания реле для обеспечения селективности между защитами СН и НН.

3.3.4 Пусковой ток

Силовой трансформатор производит очень большой переходной пусковой ток, который может достигать пиковых значений, вплоть до значений, которые примерно в десять раз превышают пик номинального тока для понижающего трансформатора, и в 25 раз для повышающего трансформатора. Это естественное явление, и защита не должна сработать. Автоматический выключатель обеспечивает высокую гибкость для обеспечения отключения тока при сохранении требуемого уровня защиты в зависимости от времятоковой характеристики электронного реле.

3.3.5 Низкая величина тока межфазного короткого замыкания

Понижающий трансформатор имеет, как правило, очень низкий процент неисправностей. Большинство из них составляют межвитковые замыкания или замыкания на землю. Замыкание обмотки на металлический корпус на стороне СН случается реже (см. **рис. B26**).

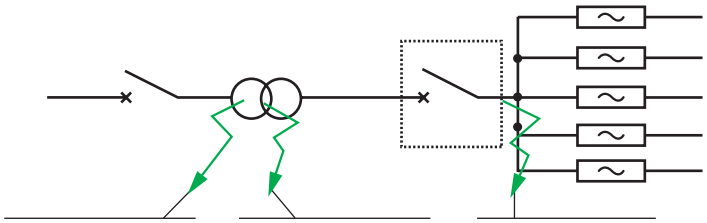


Рис. B26. Локализация неисправности

Наиболее распространенные неисправности при межвитковом коротком замыкании возникают на стороне СН при достаточно низких значениях тока КЗ (в 1 – 6 раз выше номинального тока), см. **рис. B26**.
В случае защиты посредствам автоматического выключателя, как только обнаруживается ошибка, реле подает сигнал на безопасное отключение автоматического выключателя, изолируя трансформатор СН от сети.

3.3.6 Токи замыкания большой величины

В редком случае происходит короткое замыкание обмотки трансформатора на металлический корпус, при котором защита должна сработать быстро. В этом случае автоматический выключатель сработает медленнее, чем предохранитель СН, который имеет токоограничивающие возможности. Тем не менее, автоматический выключатель будет отключаться менее чем за 100 мс, и это достаточно эффективно, чтобы избежать каких-либо серьезных повреждений.

3.3.7 Низкий уровень замыкания на землю в сети СН

В случае высокого сопротивления при замыкании на землю обмотки СН или глухо заземленной нейтрали системы через сопротивление, величина замыкания на землю будет ниже номинального тока трансформатора.
Современные реле с питанием от контролируемой сети имеют чувствительную защиту от замыканий на землю, а также обеспечивают эффективное выполнение данной функции.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Защита от поражения электрическим током, неисправностей и неправильной работы электроустановок

3.3.8 Электрическая сеть общего пользования

В общественных сетях среднего напряжения с кольцевой топологией, сетевая организация подключает простейшие повторяющиеся понижающие подстанции, которые рассредоточены в большой географической зоне. Мощность понижающего трансформатора, как правило, ограничивается 630 кВА или меньшим значением. Компактные распределительные устройства защиты с 3 функциями определяются сетевыми организациями. В этих случаях защита понижающих трансформаторов выполняется посредствам высоковольтных предохранителей, которые являются оптимальным решением (см. **рис. B27**).

Рис. B27. Компактное распределительное устройство с 3 функциями

3.4 Блокировки и обусловленные операции

Неправильные действия в электроустановках могут подвергнуть обслуживающий персонал опасности и привести к несчастным случаям.
В качестве меры защиты от неправильных действий обслуживающего персонала применяются механические и электрические блокировки, которые включены в механизмы и в цепи управления электрооборудованием.
Блокировки могут быть классифицированы по двум категориям:
■ Функциональные блокировки включены в конструкцию блока СН и предназначены для выполнения операций только в данном блоке. Они, как правило, реализуются с помощью специальных механических устройств, связанных с аппаратом.
■ Блокировки между конструкциями функциональных блоков или между конструкцией функционального блока и другого оборудования, таких как трансформатор. Большинство из этих блокировок реализуются с помощью ключей и основаны на принципе их передачи.
Они могут быть улучшены за счет дополнительных электрических блокировок.

3.4.1 Функциональные блокировки

Некоторые функции блокировок обязательно выполняются в одном функциональном блоке согласно стандарту МЭК 62271-200 (ГОСТ Р 55190-2012), расположенном в металлическом корпусе распределительного устройства, и служат для предотвращения:
■ манипуляций с выключателем, выключателем нагрузки или контактором, если соответствующий разъединитель не будет находиться во включенном, отключенном положении или положении заземления;
■ включения выключателя, выключателя нагрузки или контактора в положении обслуживания, если не подсоединены какие-либо вспомогательные цепи, связанные с автоматическим отключением.
И наоборот, блокировка не должна допускать отсоединения вспомогательных цепей включенного аппарата в положении обслуживания.

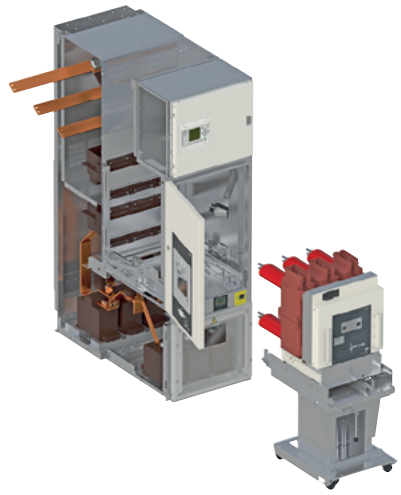
Конкретные дополнительные блокировки могут быть заданы пользователями при необходимости соблюдения их правил эксплуатации, например:
■ разрешение на открытие кабельного отсека СН, только если выключатель находится в отключенном положении и заземлен.
Доступ к отсеку СН требует определенного количества операций, которые должны проводиться в заранее определенном порядке. Для того чтобы вернуть систему в прежнее состояние, необходимо выполнить операции в обратном порядке.
Определенные процедуры и инструкции могут также гарантировать, что операции выполняются в правильной последовательности.
Следовательно, доступ к отсекам СН может быть получен при помощи управления блокировками либо при помощи определенных процедур.
Разблокировка отсека может осуществляться только с помощью инструментов, если доступ к нему не является необходимым для нормальной эксплуатации и технического обслуживания распределительного устройства. В противном случае, он может быть запрещен либо невозможен (см. **рис. B28**).

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Защита от поражения электрическим током, неисправностей и неправильной работы электроустановок

Тип доступности	Возможности доступа	Описание
Блокировка управления	Открытие для нормальной эксплуатации и технического обслуживания, например, для замены предохранителей.	Доступ к органам управления ограничивается самой конструкцией распределительного устройства, то есть встроенные взаимоблокировки предотвращают несанкционированное открытие.
На основе процедуры	Открытие для нормальной эксплуатации или технического обслуживания, например, для замены предохранителей.	Контроль доступа осуществляется посредством определенной процедуры, описанной в инструкции для персонала, в сочетании с блокирующим устройством (замком).
С помощью инструментов	Открытие при внештатной ситуации, например, для проверки кабелей	Доступ возможен только с помощью специального инструмента для открытия, процедура описана в инструкции для персонала.
Отсутствие доступа	Открытие отсека невозможно, так как может привести к его повреждению. Это относится в основном к отсекам с газонаполненными устройствами и оборудованию с элегазовой изоляцией. Такие распределительные устройства не требуют технического обслуживания и им не требуются специальные климатические условия.	

Рис. B28. Типы доступа в отсек



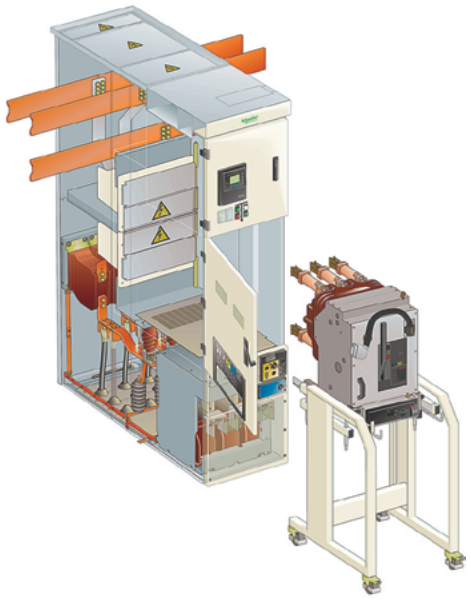


Рис. B29. Пример структуры функционального блока с отсеками, поддерживающего непрерывность обслуживания

3.4.2 Взаимоблокировка устройств ключом

При взаимоблокировке устройств, расположенных в различных функциональных блоках СН, а также, например, функционального блока и понижающего трансформатора используется принцип передачи ключа.

Принцип основан на возможности передачи одного или нескольких ключей (без которых невозможно выполнить те или иные операции) только при выполнении определенных условий. Например, запрет или разрешение на работу одного или нескольких ключей. Эти условия можно комбинировать в уникальные или обязательные последовательности, таким образом гарантируя безопасность персонала и оборудования путем недопущения ошибочных действий персонала.

Примечание: важно продумать схему блокировки устройств на стадии проектирования понижающей подстанции. Таким образом, оборудование будет изготовлено и установлено правильно, с обеспечением совместимости ключей и устройств блокировки.

3.4.3 Непрерывность эксплуатации

Категория потери непрерывности эксплуатации: LSC (см. **рис. B29** и **рис. B30**)
Категория, устанавливающая возможность сохранять отсеки и/или функциональные блоки под напряжением при открывании отсека главной цепи.
Стандарт МЭК 62271-200 (ГОСТ Р 55190-2012) определяет четыре категории потери непрерывности эксплуатации: LSC1, LSC2, LSC2A, LSC2B.
Каждая категория определяет, какие отсеки и/или функциональные блоки остаются под напряжением, если отсек главной цепи открыт в данном функциональном блоке.

Для распределительных устройств с одной силовой шиной применимы следующие определения:

■ Функциональный блок LSC1

Функциональный блок имеет один или несколько отсеков и не предназначен для обеспечения непрерывности эксплуатации при проведении технического обслуживания. Может потребоваться полное отсоединение распределительного устройства от системы и снятие напряжения до организации доступа внутрь оболочки.

■ Функциональный блок LSC2

Функциональный блок, имеющий доступные отсеки, кроме отсека сборных шин. При открытом любом доступном отсеке в функциональном блоке все другие функциональные блоки остаются под напряжением и работают в нормальном режиме.

Примечание: Различают две подгруппы функционального блока LSC2 – LSC2A и LSC2B.

■ Функциональный блок LSC2A

Функциональный блок, в котором при организации доступа к компонентам одного функционального блока другие функциональные блоки распределительного устройства могут продолжать работать.

■ Функциональный блок LSC2B

Функциональный блок, в котором при организации доступа к компонентам одного функционального блока другие функциональные блоки распределительного устройства могут продолжать работать, и входящие высоковольтные кабели функционального блока, к которому организуется доступ, могут оставаться под напряжением. Это означает, что имеется точка отсоединения и отделения коммутационного устройства от кабеля.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

		Комментарии
LSC1	Когда какой-нибудь отсек функционального блока шинопровода и один или несколько других функциональных блоков КРУ должны быть обесточены	Доступен один или несколько отсеков в рассматриваемом функциональном блоке
LSC2	Когда открытая шина кабельного отсека может оставаться под напряжением, и все остальные функциональные блоки распределительного устройства могут работать нормально	Доступен только отсек подключения в рассматриваемом функциональном блоке
LSC2A	Сборные шины могут оставаться под напряжением, когда любой другой доступный отсек открыт. Все остальные функциональные блоки распределительного устройства могут продолжать работать в нормальном режиме	Доступны несколько отсеков в рассматриваемом функциональном блоке
LSC2B	Соединения входящих высоковольтных кабелей и сборных шин могут оставаться под напряжением, когда любой другой доступный отсек открыт. Все остальные функциональные блоки распределительного устройства могут продолжать работать в нормальном режиме	Доступны несколько отсеков в рассматриваемом функциональном блоке

Рис. B30. Определения возможных видов потери непрерывности эксплуатации

3.4.4 Блокировки на подстанциях

Пример функциональных блокировок, встроенных в отдельные функциональные блоки

- Выключатель нагрузки замкнут: дверь должна быть закрыта, а выключатель заземления разомкнут
- Выключатель в положении заземления: дверь должна быть закрыта и связана с автоматическим выключателем, выключатель и / или изолирующий аппарат разомкнут
- Доступ к доступному отсеку: соответствующий автоматический выключатель, выключатель и / или изолирующее устройство должны быть разомкнуты, и выключатель заземления замкнут.

Пример функциональных блокировок, включающих в себя несколько функциональных блоков или отдельного оборудования (см. **рис. B31**)

Давайте рассмотрим понижающий трансформатор, поставляемый с функциональным блоком СН, включая:

- выключатель нагрузки;
- набор предохранителей среднего напряжения;
- выключатель сети заземления.

Трансформатор установлен в специальном шкафу.

Доступ к понижающему трансформатору разрешается при соблюдении следующих условий:

- выключатель нагрузки СН отключен;
- заземление на стороне СН включено и зафиксировано во включенном положении;
- автоматический выключатель НН отключен и заблокирован в отключенном положении.

Требуемая последовательность операций, при соблюдении которой гарантируется безопасность:

- **Шаг 1**: Отключите низковольтный выключатель и зафиксируйте его в отключенном положении ключом O. Ключ O при этом разблокируется.
- **Шаг 2**: Отключите высоковольтный выключатель. Проверьте, что индикаторы наличия напряжения не горят, когда высоковольтный выключатель отключен.
- **Шаг 3**: Замкните переключатель СН на заземление и зафиксируйте его в замкнутом положении ключом S. Ключ S при этом разблокируется.
- **Шаг 4**: Ключ S позволяет открыть дверь трансформаторной ячейки. Когда дверь открыта, ключ S заблокирован.

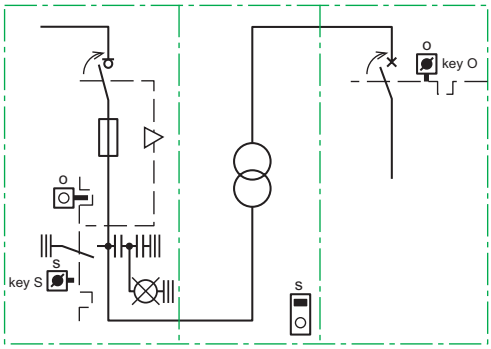
Восстановление питания на распределительном щите НН производится с выполнением обратной последовательности операции:

- **Шаг 1**: дверь шкафа трансформатора закрыта.
- **Шаг 2**: заземляющий выключатель СН разомкнут.
- **Шаг 3**: разъединитель нагрузки СН замкнут.
- **Шаг 4**: автоматический выключатель НН замкнут.

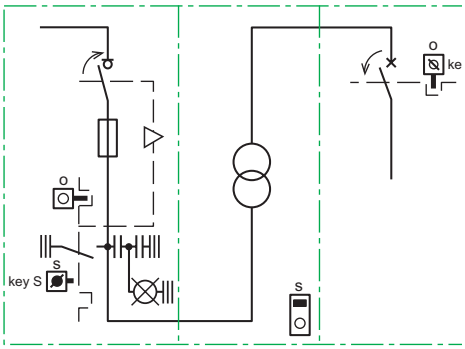
В сетях НН некоторые национальные правила требуют наличия системы заземления в качестве временного или постоянного устройства для безопасной работы трансформаторов, и соединение с заземлением должно быть интегрировано в рамках процедуры блокировки.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

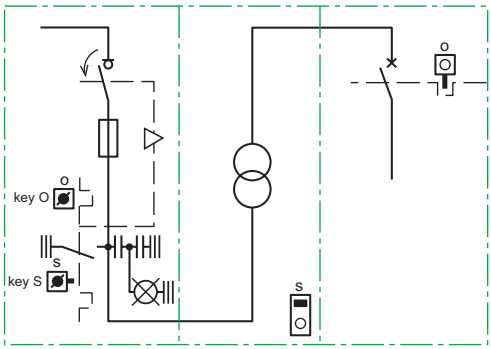
3 Защита от поражения электрическим током, неисправностей и неправильной работы электроустановок



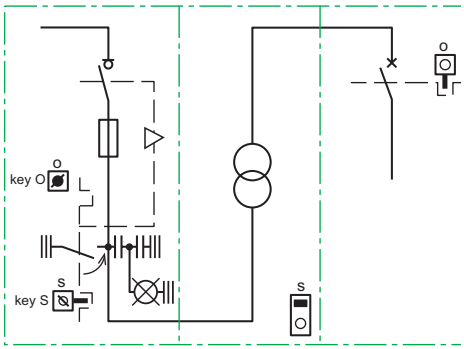
Конфигурация установки: Электроснабжение распределительного устройства НН. Выключатель нагрузки СН замкнут. Автоматический выключатель НН замкнут. Выключатель сети заземления разомкнут и заблокирован в разомкнутом положении. Ключ O заблокирован. Ключ S заблокирован.



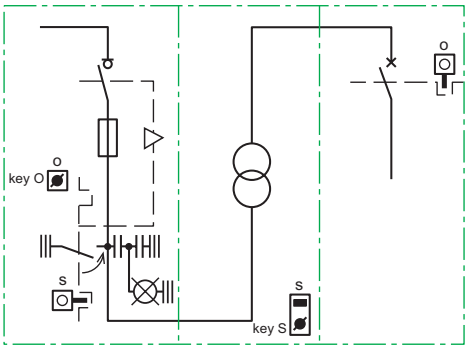
Шаг 1: Выключатель нагрузки замкнут. Низковольтный выключатель разомкнут и зафиксирован. Заземляющий выключатель разомкнут и зафиксирован в разомкнутом положении. Ключ O разблокирован, ключ S заблокирован.



Шаг 2: Выключатель нагрузки разомкнут. Низковольтный выключатель разомкнут и зафиксирован в разомкнутом состоянии. Заземляющий выключатель разблокирован. Ключ O заблокирован, ключ S заблокирован.



Шаг 3: Выключатель нагрузки разомкнут. Низковольтный выключатель разомкнут и зафиксирован в разомкнутом состоянии. Заземляющий выключатель замкнут и заблокирован. Ключ O заблокирован, ключ S разблокирован.



Шаг 4: Выключатель нагрузки разомкнут. Низковольтный выключатель разомкнут и зафиксирован в разомкнутом состоянии. Заземляющий выключатель замкнут и заблокирован, дверь в трансформаторный отсек открыта. Ключ O заблокирован, ключ S заблокирован.

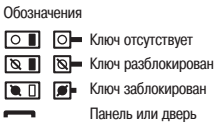


Рис. B31. Пример системы взаимной блокировки СН / НН

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Подстанция потребителя с учетом на стороне НН

4.1 Определение

Подстанция потребителя (абонента) с учетом энергии на стороне низкого напряжения представляет собой электроустановку, подсоединенную к системе электроснабжения с номинальным напряжением 1-35 кВ, с одним понижающим трансформатором, обычно не более 1250 кВА.
Все составные части подстанции располагаются в одном помещении, которое находится в уже существующем или в специально построенном здании или отдельных модульных зданиях.

4.2 Функции подстанции потребителя с учетом на стороне НН

4.2.1 Подключение к высоковольтной сети

Подключение к высоковольтной сети может быть выполнено:
- по одному кабелю или по воздушной линии электропередач;
- через два выключателя нагрузки с механической взаимоблокировкой, подключенных к двум кабелям от дублирующих линий питания;
- через два выключателя нагрузки распределительного устройства кольцевой схемы.

4.2.2 Понижающий трансформатор

Так как использование трансформаторов на основе ПХБ (полихлорированного бифенила) запрещено в большинстве стран, предпочтительными являются:
- масляные трансформаторы для подстанций наружной установки;
- сухие трансформаторы с литой изоляцией для внутренней установки, то есть в многоэтажных зданиях, общественных помещениях и т.д.

Местные правила определяют, где использование трансформаторов с литой изоляцией является обязательным.

4.2.3 Измерение

Большинство тарифных планов учитывают потери в понижающих трансформаторах.
Характеристики и местонахождение ТН и ТТ, предназначенных для измерения должны соответствовать требованиям энергоснабжающей организации.
Измерительные трансформаторы тока, как правило, установлены в ячейки распределительного устройства силового трансформатора на стороне НН, в качестве альтернативы, они могут быть установлены в отдельной ячейки в ГРЩ.
Ячейки, в которых будут размещаться ТН и ТТ, как правило, опечатываются энергоснабжающей организацией.
Счетчики установлены в специальном шкафу, доступном энергоснабжающей организации в любое время.

4.2.4 Местные аварийные генераторы

Аварийные генераторы в режиме ожидания предназначены для поддержания питания основных нагрузок в случае отказа сетевого питания.
Подстанции с учетом на стороне низкого напряжения могут выключать в себя один аварийный генератор, подключенный к шинам НН главного низковольтного распределительного щита.
Мощность генератора может быть рассчитана на потребляемую мощность всей установки или только ее части. В этом случае система сброса нагрузки должна быть связана с генератором. Нагрузки, требующие бесперебойной работы, также могут быть сгруппированы на выделенной сборной шине НН (см. **рис. B32**).
Источник бесперебойного питания (ИБП) может быть добавлен при необходимости на уровне НН, чтобы избежать исчезновения напряжения на время запуска аварийного генератора.

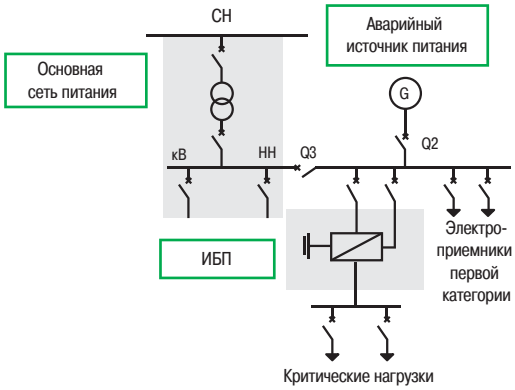


Рис. B32. Аварийный генератор на стороне низкого напряжения

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4.2.5 Конденсаторы

Конденсаторы предназначены для поддержания коэффициента мощности установки на уровне, определенном энергоснабжающей организацией. Конденсаторные батареи подключаются к ГРЩ и могут быть статическими или регулируемыми с автоматическим переключением ступеней.
Смотрите главу L «Компенсация реактивной мощности и фильтрация гармоник».

4.2.6 Главный низковольтный распределительный щит

Понижающий трансформатор подключен к главному низковольтному распределительному щиту, оборудованному общим выключателем на стороне низкого напряжения:
- ■ Общая защита установки низкого напряжения.
- ■ Общая изоляция цепей низкого напряжения в соответствии с правилами защиты лиц, работающих в электроустановках.
- ■ Защита понижающего трансформатора от перегрузки.

Для того чтобы соответствовать требованиям взаимоблокировки, указанным в пункте 3.4, автоматический выключатель должен быть оборудован навесным замком для его блокировки в отключенном положении.

4.2.7 Упрощенная схема электрической сети

Схема (**рис. B33**) показывает:
- ■ Различные способы подключения понижающей подстанции для питания потребителей:
- □ Питание по одной линии
- □ Питание по одной линии (с предусмотренным расширением до кольцевой схемы питания или по двум линиям)
- □ Питание по двум линиям
- □ Петля или кольцевая схема питания
- ■ Защита понижающего трансформатора с помощью выключателя нагрузки или автоматического выключателя
- ■ Учет энергии на стороне НН
- ■ Главный распределительный щит

4.3 Выбор оборудования НН
(обратитесь к разделу 6)

Оборудование среднего напряжения должно соответствовать действующим стандартам МЭК и местным правилам.
Оборудование среднего напряжения должно быть выбрано в соответствии с электрическими и экологическими параметрами, согласно нормативным документам тех сфер, в которых предполагается эксплуатация.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Подстанция потребителя с учетом на стороне НН

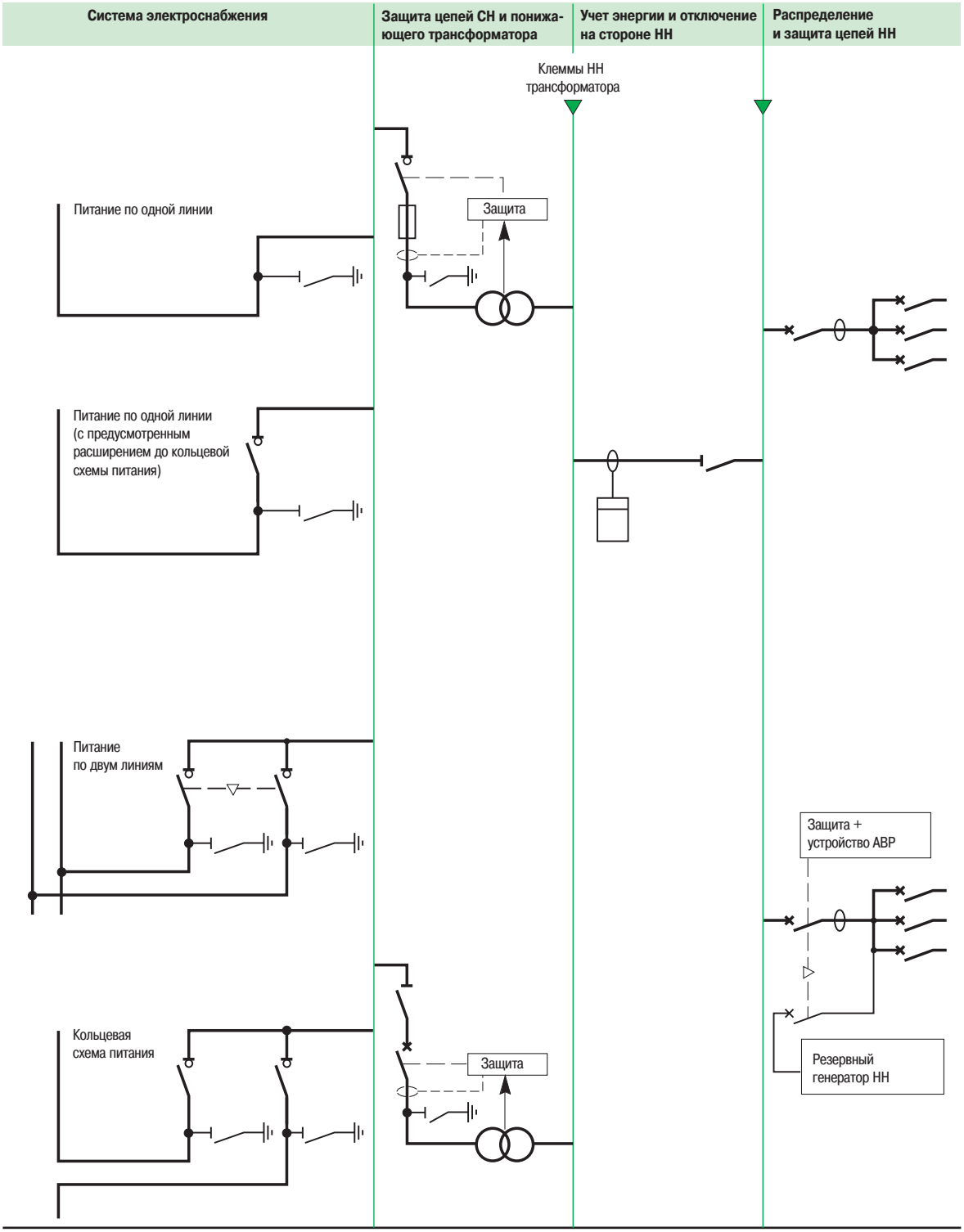


Рис. B33. Подстанция потребителя с учетом на стороне НН

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Подстанция потребителя с учетом на стороне СН

5.1 Определение

Подстанция потребителя с учетом на стороне СН представляет собой электроустановку, подсоединенную к сети питания с номинальным напряжением 1-35 кВ, которая может состоять:
- Из одного понижающего трансформатора мощностью свыше 1250 кВА
- Из нескольких понижающих трансформаторов
- Из одной или нескольких понижающих подстанций

Однолинейная схема и расположение подстанции потребителя с учетом на стороне СН зависят от сложности установки и наличия вторичных подстанций.
Например, подстанция может:
- находиться в одном помещении, в котором размещаются высоковольтное распределительное устройство и измерительные панели, а также трансформатор(ы) и главные распределительные устройства НН;
- состоять из одного или нескольких трансформаторов, каждый из которых должен быть установлен в определенном помещении, включающем в себя соответствующий главный низковольтный распределительный щит;
- снабжать питанием одну или несколько вторичных понижающих подстанций.

5.2 Функции подстанции с учетом на стороне СН

5.2.1 Подключение к высоковольтной сети

Подключение к высоковольтной сети может быть выполнено:
- по одному кабелю или воздушной линии;
- через два фидера с двумя механическими взаимоблокировками выключателей нагрузки;
- через два выключателя нагрузки кольцевой линии.

5.2.2 Понижающие трансформаторы и внутреннее распределение на стороне СН

Как и в подстанциях с учетом на стороне НН, возможно применение масляных и сухих трансформаторов с соблюдением тех же правил установки.
При установке нескольких понижающих трансформаторов напряжения и / или вторичных понижающих подстанций требуется внутренняя распределительная сеть СН.
В соответствии с требуемым уровнем надежности электроснабжения сетей СН к трансформаторам и вторичным подстанциям могут быть выполнены следующие подключения:
- путем простых радиальных фидеров, подключенных непосредственно к трансформаторам или вторичным подстанциям;
- по одной или нескольким кольцевым схемам, включая вторичные понижающие подстанции (**рис. B10**);
- по дублирующим фидерам, питающим подстанции.

В двух последних решениях в функциональных блоках распределительных щитов СН, расположенных на каждой вторичной подстанции, устанавливаются по 2 выключателя нагрузки для подключения подстанции к внутренней распределительной сети СН и по 1 блоку защиты для каждого трансформатора, установленного на подстанции.
Уровень надежности может быть повышен за счет использования двух трансформаторов, работающих параллельно или расположенных в сдвоенной конфигурации с системой автоматического переключения.
Не рекомендуется использовать понижающие трансформаторы напряжения мощностью выше 2500 кВА ввиду:
- высоких уровней тока короткого замыкания, генерируемых в ГРЩ;
- большого количества кабелей низкого напряжения, необходимых для подключения трансформатора к распределительному щиту НН.

5.2.3 Измерение

Характеристики и расположение трансформаторов тока и напряжения, предназначенных для измерения должны соответствовать требованиям точности измерений.
Трансформаторы напряжения и тока обычно устанавливаются в высоковольтном распределительном щите.
Выделенный функциональный блок в большинстве случаев необходим для установки трансформаторов напряжения, в то время как трансформаторы тока могут устанавливаться в функциональном блоке с автоматическими выключателями, обеспечивающими общую защиту подстанции.
Шкаф управления с приборами учета должен быть доступен для энергоснабжающей организации в любое время.

5.2.4 Локальные аварийные генераторы

Аварийные генераторы предназначены для обеспечения питания важных потребителей в случае исчезновения (отключения) напряжения в системе электроснабжения.
В зависимости от потребностей в электроэнергии установка может содержать один или несколько аварийных генераторов.
Генераторы могут быть подключены:
- На стороне СН к основной понижающей подстанции (см. **рис. B34**) . Мощность генератора могут быть рассчитана для питания всей установки или только ее части. В этом случае система отключения нагрузки должна быть связана с генератором.
- На стороне НН к одному или нескольким распределительным щитам НН, требующим экстренного питания. В каждом случае нагрузки, требующие экстренного питания, могут быть сгруппированы на выделенной сборной шине НН, подключаемой к резервному генератору (см. **рис. B32**).

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Подстанция потребителя с учетом на стороне СН

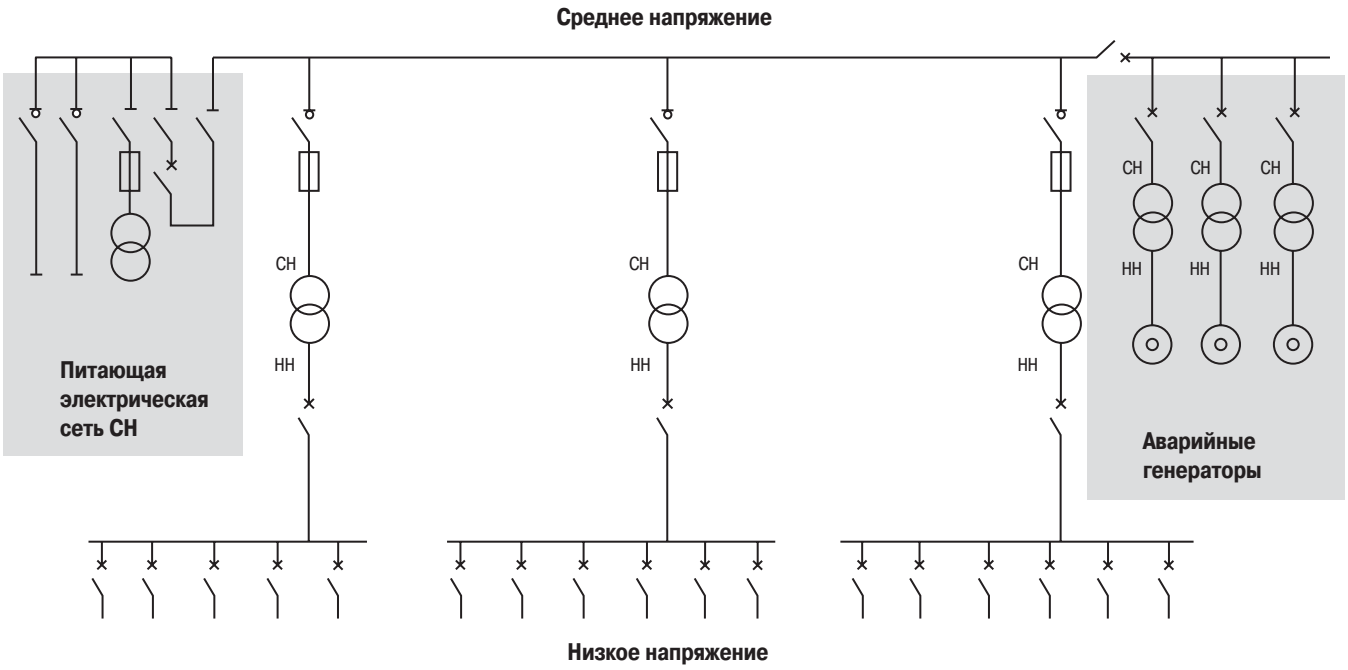


Рис. B34. Подключение аварийных генераторов на стороне среднего напряжения

5.2.5 Конденсаторы

Конденсаторы предназначены для поддержания коэффициента мощности установки на регламентируемом энергоснабжающей организации уровне. Конденсаторные батареи могут быть статическими или регулируемыми с помощью ступеней. Они могут подключаться:

- на стороне СН к основной понижающей подстанции;
- на стороне НН к низковольтным распределительным щитам.

5.2.6 Низковольтный главный распределительный щит

Каждый понижающий трансформатор подключается к ГРЩ, отвечающему требованиям, перечисленным для подстанций потребителя с учетом на стороне НН (см. раздел 4.2.6).

5.2.7 Упрощенная схема электрической сети

На **рис. B35** (см. след. стр.) показаны:

- Различные способы подключения подстанции СН/НН:
  - подключение к одной линии;
  - подключение к одной линии с возможностью расширения до кольцевой схемы питания;
  - двойное электроснабжение (от двух дублирующих линий питания);
  - кольцевая схема питания.
- Общая схема защиты на стороне СН.
- Функции учета на стороне СН
- Защита цепей СН.
- Низковольтный распределительный щит.

По сравнению с подстанцией с учетом на стороне НН, подстанция с учетом на стороне СН дополнительно включает в себя:

- функциональный блок с автоматическим выключателем для общей защиты подстанции СН;
- функциональный блок с измерительными приборами на стороне СН;
- функциональные блоки, содержащие устройства связи и защиты на СН:
  - понижающие трансформаторы;
  - фидеры СН, снабжающие питанием вторичные подстанции;
  - конденсаторы СН;
  - аварийные генераторы.

Общая защита, как правило, включает в себя защиту от межфазного короткого замыкания и замыкания на землю. Параметры должны быть скоординированы с защитой, установленной на основной подстанции, питающей установку.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Подстанция потребителя с учетом на стороне СН

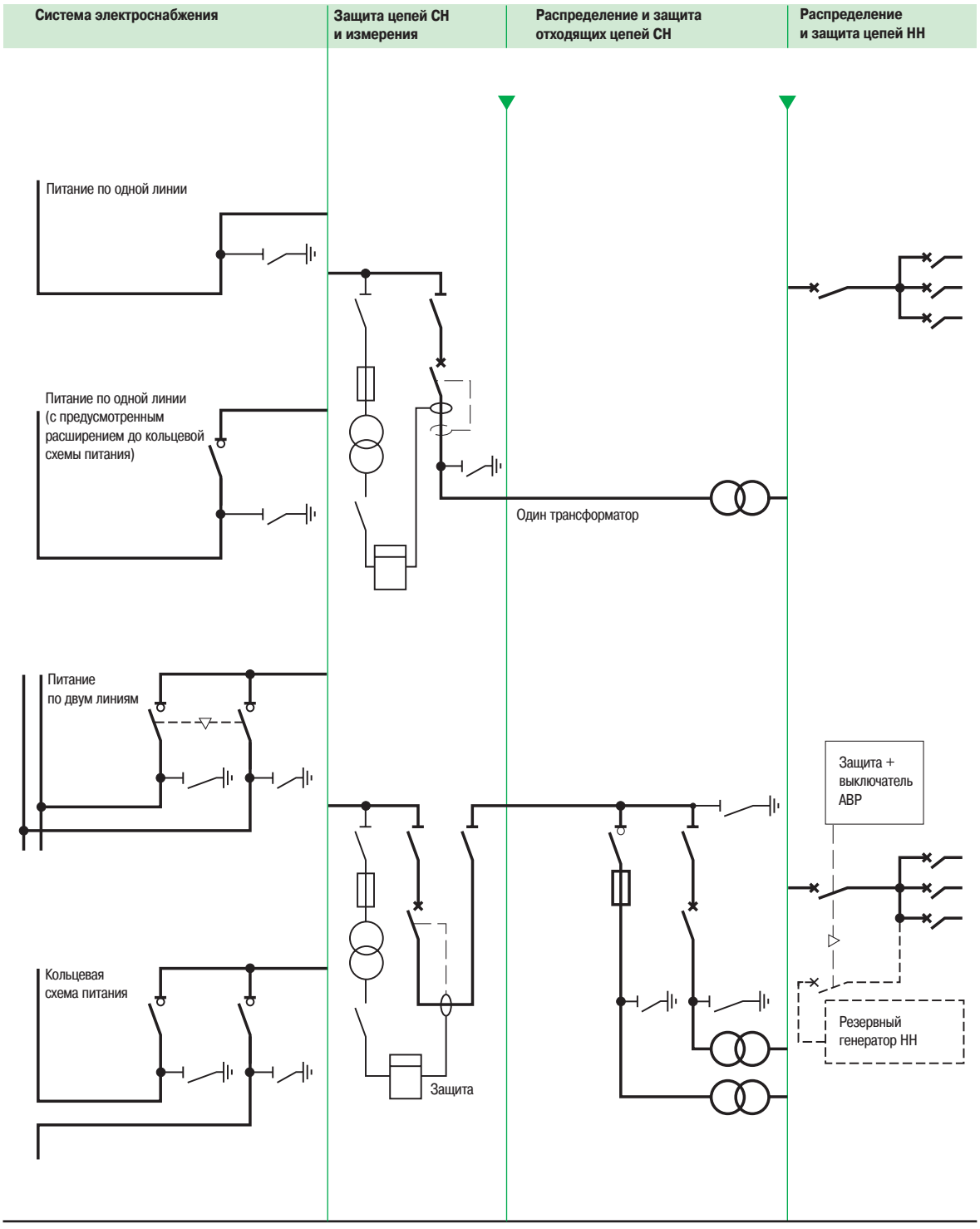


Рис. B35. Подстанция потребителя с учетом на стороне СН

5.3 Выбор оборудования СН
(обратитесь к главе 6)

Оборудование среднего напряжения должно соответствовать действующим стандартам МЭК и местным нормативно-техническим документам.
Оно должно быть выбрано в соответствии с электрическими и экологическими параметрами согласно нормативным документам тех сфер, в которых предполагается эксплуатация.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

6 Выбор и использование оборудования СН и понижающих трансформаторов

6.1 Выбор оборудования СН

Электрическое оборудование должно выдерживать как электрические, так и экологические ограничения согласно нормативным документам тех сфер, в которых оно будет эксплуатироваться в течение всего срока службы без каких-либо механических и диэлектрических изменений, отрицательно влияющих на его уровень производительности.

6.1.1 Стандарты и сертификаты

Все устройства, компоненты и продукты, использующиеся в распределительном устройстве СН, должны быть рассмотрены на предмет соответствия следующим стандартам:
- МЭК 62271-1 (ГОСТ Р 54828-2011), 62271-100 (ГОСТ Р 52565-2006) , 62271-102, 62271-103, 62271-105, 62271-200 (ГОСТ Р 55190-2012).

Также внутренние законы могут требовать соответствия национальным стандартам:
- ANSI / IEEE для США
- EN для Европейского Союза
- ГОСТ для России
- GB / DL для Китая

6.1.2 Виды оборудования СН

Подстанции должны быть спроектированы и построены в соответствии с местными стандартами и правилами.
Могут быть использованы следующие типы оборудования:
- модульные блоки, разделенные на отсеки, подходящие для всех типов однолинейных схем и компоновок;
- компактное решение с двумя кабельными вводами при кольцевой схеме энергоснабжения.

Блок с двумя кабельными вводами включает в себя два выключателя нагрузки для подключения подстанции к кольцевой схеме энергоснабжения и блок защиты трансформатора. Некоторые компактные конструкции с двумя кабельными вводами особенно полезны, когда применяются в суровых условиях окружающей среды.

6.1.3 Модульное распределительное устройство в металлическом корпусе (рис. B36)

Стандарт МЭК 62271-200 (ГОСТ Р 55190-2012) определяет требования к «распределительному устройству в металлическом корпусе и шкафам управления на номинальное напряжение от 1 до 52 кВ пер. тока».
Категории комплектных распределительных устройств в металлическом корпусе определяются в зависимости от обеспечения непрерывности электроснабжения при проведении их технического обслуживания.
При классификации категорий должны быть приняты во внимание различные аспекты:
- Определение функционального блока: «компонент распределительного устройства, содержащийся в металлическом корпусе и включающий в себя все основное и вспомогательное оборудование цепи, необходимое для выполнения одной функции» – обычно модульный блок
- Определение отсека: компонент распределительного устройства, содержащийся в закрытом металлическом корпусе. Производитель определяет содержимое (например, сборные шины, кабельные соединения и т.д.)
- Доступность отдельных отсеков (см. раздел 3.4.1):
  - Контроль блокировок
  - Соответствие процедурам для отсеков, которые могут быть открыты во время нормальной работы
  - Использование инструментов; для отсеков, которые не должны быть открыты во время нормальной работы
  - Отсутствие доступа для отсеков, которые не должны быть открыты
- Потеря непрерывности обслуживания (LSC) (см. раздел 3.4.3), определяющая степень защиты, при которой другие отсеки могут оставаться под напряжением, когда один отсек открыт. Определены четыре категории LSC:
  - LSC1, LSC2, LSC2 A, LSC2 B
- Определение раздела: компонент распределительного устройства, содержащийся в металлическом корпусе и отделение одно отделения от другого. Есть два типа разделов:
  - PM: металлические перегородки
  - PI: перегородки из изоляционного материала

В металлическом корпусе распределительного устройства может устанавливаться любое коммутационное оборудование на основе следующих современных технологий:
- AIS (воздушная изоляция)
- SIS (твердотельная изоляция)
- ГИС (газовая изоляция)
- 2SIS (экранированная твердотельная изоляция).

Рис. B36. Модульное распределительное устройство в металлическом корпусе

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

6 Выбор и использование оборудования СН и понижающих трансформаторов

Рис. B37. Модульное распределительное устройство SM6

Рис. B38. Распределительное устройство Premset, представляющее собой систему с экранированной твердой изоляцией

6.1.4 Выбор оборудования СН для подключения трансформатора

Обычно применяется коммутационная аппаратура трех типов:

- выключатель нагрузки-предохранитель СН без координации между плавким предохранителем и отключающей способностью выключателя нагрузки
- выключатель нагрузки-предохранитель СН с координацией между плавким предохранителем и отключающей способностью выключателя нагрузки
- автоматический выключатель

Как поясняется в пункте 3.3, автоматический выключатель со специальным реле защиты обеспечивает более эффективную защиту трансформатора, чем предохранители СН с координацией по отключающей способности с выключателем нагрузки или без нее.

Примечание: предохранители, используемые в комбинации выключатель нагрузки-предохранитель обеспечивают отключение 3-полюсного выключателя нагрузки, при срабатывании одного (или более) предохранителя(ей).

6.2 Инструкции по использованию оборудования СН

Цель этого раздела заключается в том, чтобы дать общие рекомендации о мерах, позволяющих избежать или значительно уменьшить повреждение оборудования СН на участках, подверженных воздействию влаги и загрязнению окружающей среды.

6.2.1 Нормальные условия эксплуатации для оборудования СН внутренней установки

Все оборудование предназначено для использования в нормальных условиях, как это определено в стандарте МЭК 62271-1 (ГОСТ Р 54828-2011) "Общие технические характеристики для распределительных устройств высокого напряжения и аппаратуры управления".

Например, в отношении влажности, стандарт определяет:

- Среднее значение относительной влажности, измеренной в течение 24 ч, не должно превышать 95 %;
- Среднее значение давления водяного пара, измеренное в течение 24 ч, не должно превышать 2,2 кПа;
- Среднее значение относительной влажности в течение одного месяца не должно превышать 90 %;
- Среднее значение давления водяного пара в течение одного месяца не должно превышать 1,8 кПа.

Как указано в стандарте, конденсация может иногда возникать даже при нормальных условиях. В таких условиях эксплуатации должны быть использованы специальные распределительные устройства и / или применены специальные меры, касающиеся помещения подстанции, которые могут быть реализованы для предотвращения образования конденсата, например, установка системы вентиляции и отопления.

6.2.2 Использование в жестких условиях

При определенных неблагоприятных условиях в отношении влажности и загрязнения окружающей среды, в основном за пределами нормальных условий использования, упомянутых выше, электрическое оборудование может быть подвержено коррозии металлических деталей и деградации поверхности изоляционных деталей. Примеры подходящих мер защиты от конденсации и загрязнения окружающей среды перечислены ниже.

Меры для решения проблем конденсации

- Разработка системы вентиляции подстанции или адаптация уже установленной.
- Исключение колебаний температуры.
- Исключение источника влажности в окружающей среде подстанции.
- Установка систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (HVAC).
- Кабельные соединения, выполненные в соответствии с действующими нормами.

Меры для решения проблем загрязнения

- Оборудовать подстанцию вентиляционными отверстиями с решетками типа «шеврон», чтобы уменьшить попадание пыли и загрязнений, особенно, когда трансформатор установлен в одном помещении с распределительными устройствами или механизмами управления.
- Установить трансформатор в отдельном помещении, чтобы использовать более эффективные вентиляционные решетки, если таковые имеются.
- Поддерживать вентиляцию подстанции на необходимом минимуме для отвода тепла трансформатора, чтобы уменьшить попадание загрязнений и пыли.
- Использовать распределительные устройства СН с достаточной степенью защиты (IP).
- Использовать систему кондиционирования или воздушно-принудительного охлаждения с фильтрами, установленными на входе в воздуховод, чтобы ограничить попадание загрязнений и пыли.
- Регулярно очищать все следы загрязнения на металле и изолирующих частей.
- Вместо того, чтобы использовать оборудование AIS (**рис. B37**), выбирайте оборудование, которое не чувствительно к окружающей среде, типа GIS или 2SIS (см. **рис. B38**).

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

6 Выбор и использование оборудования СН и понижающих трансформаторов

6.3 Выбор понижающего трансформатора

Трансформаторы должны соответствовать стандарту МЭК 60076 (ГОСТ 30830-2002). Трансформатор характеризуется своими электрическими параметрами, а также технологией изготовления и условиями использования.

6.3.1 Электрические параметры трансформатора

■ **Номинальная мощность**: условная полная мощность в кВА, на которой основаны конструкция трансформатора и другие величины расчетных параметров, используемых при проектировании. Испытания производителя и гарантии относятся именно к этому значению.
■ **Частота**: для систем распределения электроэнергии, рассматриваемых в данном руководстве, частота 50 или 60 Гц
■ **Номинальное первичное напряжение**: напряжение питающей электрической сети, к которой подключена первичная обмотка трансформатора
■ **Номинальное вторичное напряжение**: номинальное значение напряжения вторичной обмотки трансформатора – это значение напряжения холостого хода.
■ **Коэффициент трансформации**: действующее значение номинального первичного напряжения, деленное на действующее значение номинального вторичного напряжения.
■ **Номинальные уровни изоляции**: характеризуются величинами напряжений, которые используются при испытаниях изоляции повышенным напряжением промышленной частоты, а также высоковольтными импульсами напряжения, имитирующими разряд молнии. При уровнях напряжения, описанных в данном Руководстве, перенапряжения, вызываемые операциями коммутации, обычно гораздо меньше, чем вызываемые молнией, поэтому отдельные испытания для волн перенапряжений, вызванных операциями коммутации, не проводятся.
■ **Переключатель отпаек без нагрузки РПН**: позволяет регулировать номинальное первичное напряжение и, следовательно, коэффициент трансформации в диапазоне ± 2,5 % и ± 5 %. Напряжение с трансформатора должно быть снято перед тем, как работать с этим переключателем.
■ **Схемы и группы соединения обмоток трансформатора**: соединения обмоток высокого и низкого напряжения звездой, треугольником и зигзагом обозначаются буквенно-цифровым кодом. Этот код читается слева направо, первая буква относится к обмотке с самым высоким напряжением, вторая – к обмотке с напряжением, следующим по величине:
□ Заглавные буквы используются для обмоток высокого напряжения
- D = соединение треугольником
- Y = соединение звездой
- Z = соединение зигзагом
- N = нейтральная точка, выведенная на клеммник

□ Строчные буквы используются для обмотки низкого напряжения
- d = дельта
- y = звезда
- z = звезда с внутренними соединениями (или зигзаг)
- n = нейтральная точка, выведенная на клеммник

□ Число от 0 до 11 указывает на сдвиг фаз между напряжением первичной и вторичной обмоток.
□ Обычная схема соединения обмоток в распределительных трансформаторах является схема Dyn 11:
- первичные обмотки высокого напряжения выполнены по схеме «треугольник»;
- вторичные обмотки низкого напряжения выполнены по схеме «звезда»;
- нейтраль по низкому напряжению выведена на клеммник;
- сдвиг фаз между первичным и вторичным напряжением составляет 30°.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

6 Выбор и использование оборудования СН и понижающих трансформаторов

Рис. B39. Трансформатор сухого типа

6.3.2 Технология и применение трансформаторов

Есть два основных типа распределительных трансформаторов:
- Трансформаторы сухого типа с литой изоляцией
- Трансформаторы, заполненные жидкостью (масляные)

Стандартные условия эксплуатации трансформаторов наружной и внутренней установки в соответствии с МЭК 60076 (ГОСТ 30830-2002):
- Высота над уровнем моря: ≤ 1000 м.
- Максимальная температура окружающей среды: 40 °C.
- Максимальная среднесуточная температура окружающего воздуха: 30 °C.
- Максимальная среднегодовая температура окружающего воздуха: 20 °C.

При других условиях эксплуатации:
- Для масляного трансформатора согласно стандарту МЭК 60076-2 определяют повышение температуры масла и обмотки.
- Для сухого трансформатора согласно стандарту МЭК 60076-11 (ГОСТ Р 54827-2011) определяют тепловой класс.

Температура вокруг трансформатора зависит от его нагрузки, климатических условий и эффективности режима охлаждения при установке в помещении. Два нормативных документа (МЭК 60076-7 и МЭК 60076-12 (ГОСТ Р 54419-2011)) могут помочь проверить правильность выбора трансформатора в соответствии с ожидаемой продолжительностью эксплуатации.
В приложении о комплектных подстанциях СН/НН стандарта МЭК 62271-202 приведены несколько примеров установок, реализаванных в соответствии свышеперечисленными рекомендациями.

6.3.3 Трансформаторы сухого типа (см. **рис. B39**)

Трансформаторы сухого типа должны соответствовать стандарту МЭК 60076-11 (ГОСТ Р 54827-2011).
Обмотки этих трансформаторов изолированы смолой, заливаемой под вакуумом.
Обмотки высокого напряжения, обмотки низкого напряжения и рамы разделены воздушным зазором.

Для герметизации обмотки используют три компонента:
- Эпоксидная смола на основе бифенола А с вязкостью, которая обеспечивает полную пропитку обмотки.
- Ангидридный отвердитель, модифицированный в целях достижения такой степени вязкости в корпусе, которая позволит избежать образования трещин во время температурных циклов, присутствующих при нормальном режиме работы.
- Порошковая добавка из тригидрата алюминия Al (OH) 3 и кварца, которая улучшает механические и тепловые свойства изолятора, а также придает исключительные внутренние качества изоляции при высокой температуре.

Эта трехкомпонентная система обеспечивает температуру системы изоляции 155 °C со средней температурой обмотки ($\Delta\theta$ = 100 K) при номинальном токе, которая обеспечивает отличные качества пожаробезопасности и немедленного самозатухания.

Такая изоляция обмотки не содержит галогенные компоненты (хлор, бром и т.д.) или другие компоненты, способные выделить коррозионные или токсичные загрязнители, тем самым гарантируя высокую степень безопасности персонала в чрезвычайных ситуациях, в частности, в случае возникновения пожара.
Такие трансформаторы классифицируются как невозгораемые. Невозгораемые трансформаторы обладают низкой горючестью и самозатуханием в момент возгорания.
Они также исключительно хорошо приспособлены для использования в промышленности с агрессивной средой и соответствуют следующим требованиям класса среды:
- Класс E3: до 95 % влажности и / или высокий уровень загрязнения.
- Класс C3: утилизация, транспортировка и хранение при температуре до -50 °C.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

6 Выбор и использование оборудования СН и понижающих трансформаторов

6.3.4 Трансформаторы, заполненные жидкостью

Наиболее распространенной изоляционной жидкостью, используемой в этих трансформаторах, является минеральное масло, которое также действует в качестве охлаждающей среды.
Минеральные масла описаны в стандарте МЭК 60296 (ГОСТ Р 54331-2011), они не должны содержать PCB (полихлорированных бифенилов).
Минеральное масло может быть заменено альтернативной изоляционной жидкостью. Применяются углеводороды с высокой плотностью, сложные эфиры, силиконы, галогенные жидкости.
Минеральное масло воспламеняемо, во многих странах обязательными являются меры безопасности, особенно при внутренней установке.

Жидкие диэлектрики подразделяются на несколько классов в зависимости от их огнестойкости и оцениваются по двум критериям (см. **рис. B40**):
- Температура вспышки.
- Минимальная теплотворная способность.

Класс	Жидкий диэлектрик	Температура вспышки (°C)	Мин. теплотворная способность (МДж / кг)
O1	Минеральное масло	< 300	-
K1	Углеводороды с высокой плотностью	> 300	48
K2	Эфиры	> 300	34 – 37
K3	Силиконы	> 300	27 – 28
L3	Изолирующие галогенные жидкости	-	12

Рис. B40. Классификация жидких диэлектриков

Рис. B41. Герметичный бак с полным заполнением

Рис. B42. Расширитель для масла с воздушной подушкой при атмосферном давлении

Есть два типа гидрозаполненных трансформаторов: герметичный бак с полным заполнением и расширитель для масла с воздушной подушкой при атмосферном давлении.

- Герметичный бак с полным заполнением (трансформаторы до 10 MBA) (см. **рис. B41**)

Для этого типа трансформаторов расширение жидкости компенсируется эластичной деформацией маслоохлаждающих секций, присоединенных к баку.
Защита от внутренних повреждений обеспечивается с помощью устройства DGPT: обнаружение газа, повышенного давления и температуры.
Технология «полного заполнения» имеет много преимуществ:
- Исключение попадания воды в бак
- Полное исключение окисления диэлектрической жидкости
- Отсутствие необходимости в устройстве осушения воздуха, а также в последующем техобслуживании (проверка и замена влагопоглотителя)
- Нет необходимости в проведении испытания электрической прочности жидкости в течение 10 лет;

- Расширитель для масла с воздушной подушкой при атмосферном давлении (см. **рис. B42**)

В трансформаторах этого типа расширение изолирующей жидкости сопровождается повышением ее уровня в расширительном баке, который смонтирован над главным баком трансформатора.
Расширительный бак обязателен для трансформаторов номиналом выше 10 MBA (что в настоящее время является верхним пределом для трансформаторов с полным заполнением). Пространство над жидкостью в расширительном баке может быть заполнено воздухом, который затягивается, когда уровень жидкости падает, и частично выпускается при подъеме уровня жидкости. Воздух должен быть сухим во избежание окисления. Когда воздух затягивается из окружающей атмосферы, он проходит через сальник перед тем, как попасть в осушительное устройство (обычно содержащее кристаллы силикагеля), и затем уже попадает в расширительный бак. Воздух входит и выходит из деформирующегося воздушного компенсатора через сальник и осушитель, как это было описано выше. Защита системы воздухообмена осуществляется при помощи реле Бухгольца, которое устанавливается на трубе, соединяющей главный бак с расширителем. Реле Бухгольца позволяет обнаружить выбросы газов и повышение внутреннего давления. Повышение температуры масла определяет дополнительный термостат.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

6 Выбор и использование оборудования СН и понижающих трансформаторов

6.3.5 Выбор технологии

Как было написано ранее, можно выбрать трансформатор с жидким диэлектриком или сухой трансформатор. При номинальной мощности до 10 МВА альтернативой трансформаторам с расширительным баком являются герметичные трансформаторы.
Выбор зависит от ряда факторов, включая:
- Местные правила и официальные рекомендации. В некоторых странах трансформаторы сухого типа являются обязательными для использования в общественных зданиях, таких как больницы, торговые помещения и т.д.
- Риск пожара.
- Цены и преимущества каждой из технологий.

6.3.6 Определение оптимальной мощности

Завышение номинальной мощности трансформатора приводит к следующему:
- Чрезмерные капиталовложения.
- Излишне высокие потери холостого хода.
- Снижение нагрузочных потерь.

Занижение номинальной мощности трансформатора приводит к следующему:
- Пониженный КПД при полной нагрузке (максимальный КПД при 50-70 % полной нагрузки).
- Долговременная перегрузка вызывает тяжелые последствия для трансформатора, вследствие старения изоляции обмоток (это может привести к повреждению изоляции и выходу из строя трансформатора).

Определение оптимальной мощности
Для того чтобы выбрать оптимальную номинальную мощность (кВА) трансформатора, необходимо выполнить следующие действия:
- Составить перечень мощностей установленных электроприемников (оборудования), определить коэффициент использования и потребления, как описывается в главе A.
- Определить продолжительность включения установки с учетом периодичности нагрузок или перегрузок.
- Принять во внимание все возможные будущие расширения установки.
- В обоснованных случаях, обеспечить компенсацию реактивной мощности в следующих целях:
  - снижение штрафов при тарифах, частично основанных на максимальной потребляемой мощности (кВА);
  - снижение стоимости заявленного максимума нагрузки (P(кВА) = P (кВт)//cos ϕ.
- Выбрать трансформатор из диапазона доступных стандартных мощностей.

Во избежание перегрева и, следовательно, преждевременного старения трансформатора, важно обеспечить соответствие охлаждающих устройств уровню повышения температуры трансформатора.

Примечания:
- Неправильный контроль повышения температуры обмотки или ошибочный выбор термического класса может привести к уменьшению срока эксплуатации.
- Неправильная оценка условий эксплуатации, связанных с графиком нагрузки, может вызвать уменьшение срока эксплуатации. Например, необходимо учитывать, что максимальная нагрузка на фотоэлектрическую установку производится в течение светового дня, или, что максимальный перепад между зимней и летней температурой воздуха в России составляет 70 °C.

6.4 Вентиляция в понижающих подстанциях

Как правило, система вентиляции подстанции необходима для отвода тепла, выделяемого трансформаторами и другим оборудованием, а также для сушки в периоды повышенной влажности. Однако, ряд исследований показывает, что избыточная вентиляция может значительно увеличивать конденсацию.
Далее приводятся рекомендации и практические советы для обеспечения надлежащей вентиляции в понижающих подстанциях, а также подробная информация об естественной вентиляции трансформатора.

6.4.1 Особенности комплектной понижающей подстанции наружной установки в особых условиях эксплуатации

- Любая установка трансформатора в одном помещении или в одном шкафу с распределительным устройством ВН и НН повлияет на срок службы оборудования.
- Любой воздушный поток, создаваемый за счет нагрева трансформатора, снижает влияние теплового излучения. Этот воздушный поток является естественной конвекцией в соответствии с требованиями стандарта МЭК 62271-202.
- Любое отделение трансформатора перегородкой от распределительных устройств ВН и НН улучшает эксплуатационное состояние распределительных устройств в умеренном климате.
- При наружной установке любое распределительное устройство должно быть предпочтительно установлено в теплоизолирующем корпусе, защищающем от внешних воздействий (пыль, влажность, солнечная радиация и т.д.), особенно в условиях очень теплого и холодного климата.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

6 Выбор и использование оборудования СН и понижающих трансформаторов

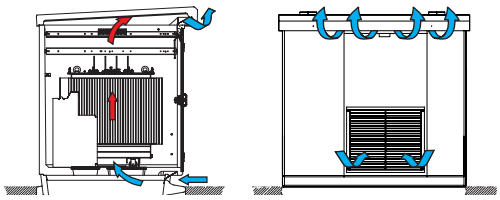


Рис. B43. Два различных примера конструкций понижающей подстанции с естественной вентиляцией, в соответствии с компоновкой, приведенной на рис. B54

Рис. B44. Пример протестированной комплектной понижающей подстанции с трансформатором, заполненным жидкостью мощностью 1250 кВА

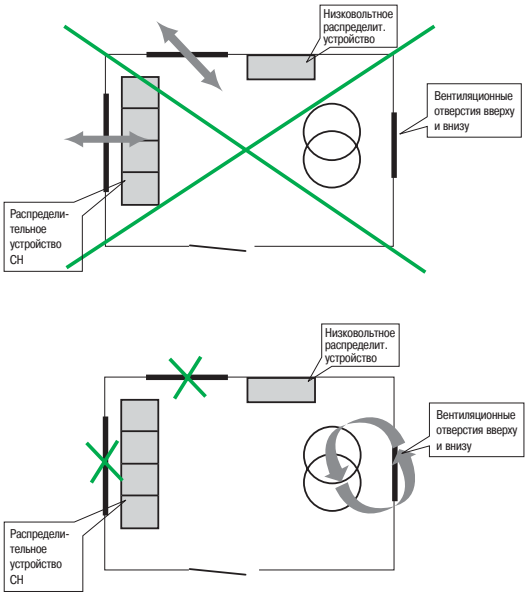


Рис. B45. Расположение вентиляционных отверстий

6.4.2 Рекомендации по вентиляции понижающих подстанций

Общие требования

Вентиляция должна поддерживаться на минимальном требуемом уровне.

Более того, вентиляция не должна вызывать внезапные колебания температуры, которые могут привести к достижению точки росы.
По этой причине естественная вентиляция должна использоваться всякий раз, когда это возможно. Отопление может потребоваться на период, когда установка будет обесточена; это необходимо, чтобы поддерживать минимальный воздушный поток. При использовании принудительной вентиляции вентиляторы должны работать непрерывно для предотвращения колебаний температуры. При недостаточной принудительной вентиляции для обеспечения работоспособного состояния распределительного устройства, или когда установка является опасной зоной, блок вентиляции и кондиционирования необходимо разделить на внутреннюю и наружную вентиляционные системы.

Естественная вентиляция является основным методом охлаждения для высоковольтного оборудования (см. **рис. B43** и **рис. B44**), ориентиры для определения требуемых размеров входных и выходных вентиляционных отверстий в понижающей подстанции представлены далее.

Расположение вентиляционных отверстий

Для того чтобы максимизировать отвод тепла, выделяемого трансформатором посредством естественной конвекции, вентиляционные отверстия должны располагаться вверху и внизу стенки около трансформатора. Теплота, рассеиваемая распределительным устройством СН, пренебрежимо мала. Чтобы предотвратить конденсацию, вентиляционные отверстия подстанции должны располагаться как можно дальше от распределительного устройства СН (см. **рис. B45**).

Тип вентиляционных отверстий

Для того чтобы снизить поступление пыли, загрязнений, тумана и т.д., вентиляционные отверстия подстанции должны обеспечиваться перегородками с шевронными пластинами при установке трансформатора в одном помещении с распределительным щитом. В противном случае использование вентиляционных решеток с более высокой эффективностью рекомендуется, когда суммарные потери превышают 15 кВт.

Колебания температуры внутри корпуса

Для уменьшения колебания температуры внутри корпуса следует использовать отопление, если средняя относительная влажность может оставаться высокой в течение длительного периода времени. Отопление должно работать непрерывно – 24 часа в сутки круглый год. Систему отопления подстанции не подключайте к контролю температуры или системе регулирования, так как это может привести к колебаниям температуры и конденсации, а также к короткому сроку службы нагревательных элементов. Убедитесь в том, что обеспечивается приемлемый срок службы нагревательных элементов.

Колебания температуры внутри подстанции

Следующие меры могут приниматься для снижения колебаний температуры внутри подстанции:
- Улучшение теплоизоляции подстанции для снижения воздействия колебаний наружной температуры на температуру внутри подстанции.
- По возможности не следует использовать отопление подстанции. Если отопление необходимо, обеспечьте, чтобы система регулирования и/или термостат были достаточно точными и рассчитанными на предотвращение чрезмерных скачков температуры (например, не более 1 °C). При отсутствии достаточно точной системы регулирования температуры, отопление должно быть непрерывным – 24 часа в сутки, круглый год.
- Необходимо исключить поступление холодного воздуха из кабельных траншей под ячейками или из проемов в подстанции (под дверями, на стыках крыши и т.д.).

Окружающая среда подстанции и влажность

Разные факторы снаружи подстанции могут влиять на влажность внутри нее.
- Растения:

Следует избегать чрезмерного количества растений вокруг подстанции и засорения вентиляционных отверстий.
- Гидроизоляция подстанции:

Крыша подстанции не должна протекать. Необходимо избегать использования плоских крыш, гидроизоляцию которых трудно реализовать и поддерживать.
- Влага от кабельных траншей:

Необходимо поддерживать кабельные траншеи в сухом состоянии при любых условиях. Отчасти, решение состоит в добавлении песка на дно траншеи.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

6 Выбор и использование оборудования СН и понижающих трансформаторов

Защита от загрязнения и очистка

Чрезмерное загрязнение способствует образованию токов утечки и перекрытию изоляторов. Чтобы предотвратить ухудшение работы оборудования высокого напряжения, необходимо защитить оборудование от загрязнения или регулярно очищать оборудование от загрязнений.

Защита

Закрытое распределительное устройство среднего напряжения может защищаться корпусом, обеспечивающим высокую степень защиты (IP).

Очистка

Если не обеспечивается полная защита от загрязнения, оборудование среднего напряжения подлежит регулярной очистке для предотвращения постепенного ухудшения его работы из-за загрязнения.
Очистка – это важный процесс. Использование ненадлежащих продуктов может привести к необратимому повреждению оборудования.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

7 Подстанции с генераторами и параллельная работа трансформаторов

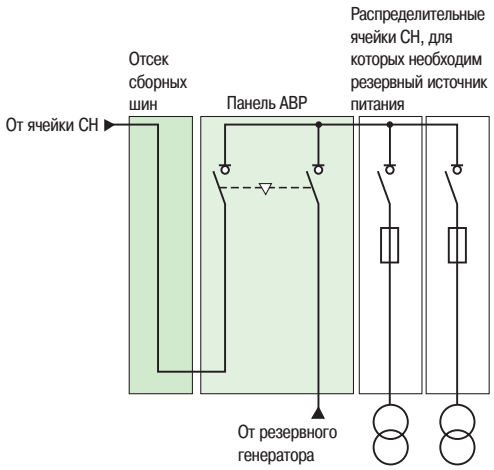


Рис. B46. Система автоматического ввода резерва с использованием резервного генератора

В этой главе рассматриваются только генераторы, подключенные на стороне среднего напряжения.

7.1 Автономные генераторы, не работающие в параллели с питающей сетью

Если электроустановка требует высокой надежности питания, можно использовать один или несколько резервных генераторов среднего напряжения. В любом случае электроустановка должна включать в себя систему автоматического ввода резерва (АВР) от сети, в случае выхода генераторов из строя (см. **рис. B46**).

Для защиты генератора предусмотрены специальные защитные устройства. Для генераторов среднего размера, как правило, используются следующие средства защиты:
- защита от междуфазного замыкания и замыкания фазы на землю
- дифференциальная защита с торможением
- защита от перегрузки по току обратной последовательности
- защита от перегрузки
- защита от неисправности корпуса статора
- защита от неисправность обмотки ротора
- защита от потери активной мощности
- защита от потери реактивной мощности или потери поля
- защита от потери синхронизма
- защита от повышенного/пониженного напряжения
- защита от повышенной/пониженной частоты
- защита от перегрева подшипников

Следует отметить, что в связи с тем, что мощность короткого замыкания при питании от генератора очень мала по сравнению с мощностью короткого замыкания при питании от сети, необходимо обращать особое внимание на селективность (избирательность) защиты. Рекомендуется при заказе генератора(ов), чтобы производитель протестировал его (их) током короткого замыкания, для обеспечения надежности работы межфазной защиты от короткого замыкания. В случае возникновения трудностей при возбуждении генератора обязательно следует зафиксировать неисправности и передать производителю.

Управление напряжением и частотой

Напряжение и частота управляются первичным регулятором (ами) генератора (ов). Частота контролируется регулятором (ами) скорости, в то время как напряжение контролируется регулятором (ами) возбуждения.

Когда несколько генераторов работают параллельно под управлением АРН, требуется выполнить обмен активной и реактивной мощностями между параллельно подключенными генераторами.

Принцип работы заключается в следующем:
- Активная мощность, передаваемая от генератора, увеличивается, когда рабочая машина ускоряется, и наоборот
- Реактивная мощность, передаваемая от генератора, возрастает, когда его ток возбуждения увеличивается, и наоборот.

Выделенные модули, установленные для выполнения этой задачи, в основном обеспечивают выполнение других задач, таких как автоматическая синхронизация и соединение генераторов (см. **рис. B47**).

7.2 Генераторы, работающие параллельно с сетью

Когда один или несколько генераторов предназначены для параллельной работы с сетью, обычно требуется согласие поставщика электроэнергии. Поставщиком электроэнергии задаются условия эксплуатации генераторов и характеристики применяемого оборудования.
Энергоснабжающая организация, как правило, требует информацию, касающуюся генераторов, такую как:
- уровень тока короткого замыкания, вырабатываемого генератором в сеть, в случае возникновения неисправности
- максимальная активная мощность вырабатываемого генератором в сеть, в случае возникновения неисправности
- принцип действия контролем управляющего напряжения
- возможность генератора управлять коэффициентом мощности установки

В случае неисправности в сети питания обычно требуется мгновенное отключение генераторов. Это достигается с помощью специальной защиты, указанной энергоснабжающей организацией. Эта защита срабатывает в следующих условиях:
- повышенное/пониженное напряжение
- повышенная/пониженная частота
- повышенное напряжение нулевой последовательности

Защита, как правило, управляет отключением главного выключателя, обеспечивающего подключение установки к сети, в то время как генераторы продолжают снабжать группу внутренних потребителей или её часть, в зависимости от требуемой полной мощности (см. **рис. B34**). В этом случае сброс нагрузки должен быть одновременно выполнен с отключением главного выключателя.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

7 Подстанции с генераторами и параллельная работа трансформаторов

Управление

Когда генераторы на потребительской подстанции работают в островном режиме (энергопитание от сети отсутствует), напряжение и частота вырабатываются генераторами на уровне основной подстанции и, следовательно, системы управления генераторами работают в установившемся режиме по напряжению / частоте (см. **рис. B47**).

Когда энергоснабжающая сеть подключается, то напряжение и частота фиксируются с помощью внешней сети, и системы управления генераторами должны быть переключены из режима напряжения / частоты (режим V / F управления) в режим активной / реактивной мощности (режим P / Q управления) (см. **рис. B47**).

Функцией режима управления P / Q является контроль обмена активной и реактивной мощности с помощью питающей сети. Типичный принцип работы используется в большинстве стандартных программных продуктов и является следующим:

- Сумма активной и реактивной мощности задаются в соответствии с требованиями к питающей сети и устанавливаются оператором. Эти настройки могут быть определены энергоснабжающей организацией.
- Система управления поддерживает отношение активной и реактивной мощности на необходимом уровне путем воздействия на скорость вращения генератора для контроля активной мощности и тока, путем воздействия на возбуждение генератора для контроля реактивной мощности.
- Отношение активной и реактивной мощности между генераторами остается в требуемых параметрах.

Режим управления P / Q позволяет:

- строго ограничить потребление активной мощности из питающей сети в соответствии с возможностью генераторов, когда требования установки превышают их мощность;
- ограничение поставляемой активной мощности, когда требования установки ниже возможностей генераторов;
- поддержание коэффициента мощности установки на уровне договорной стоимости, указанной энергоснабжающей организацией.

При недостаточных возможностях генераторов для обеспечения необходимого уровня реактивной мощности требуется привлечение дополнительных средств для соблюдения договорного коэффициента, например, использование дополнительных конденсаторных батарей.

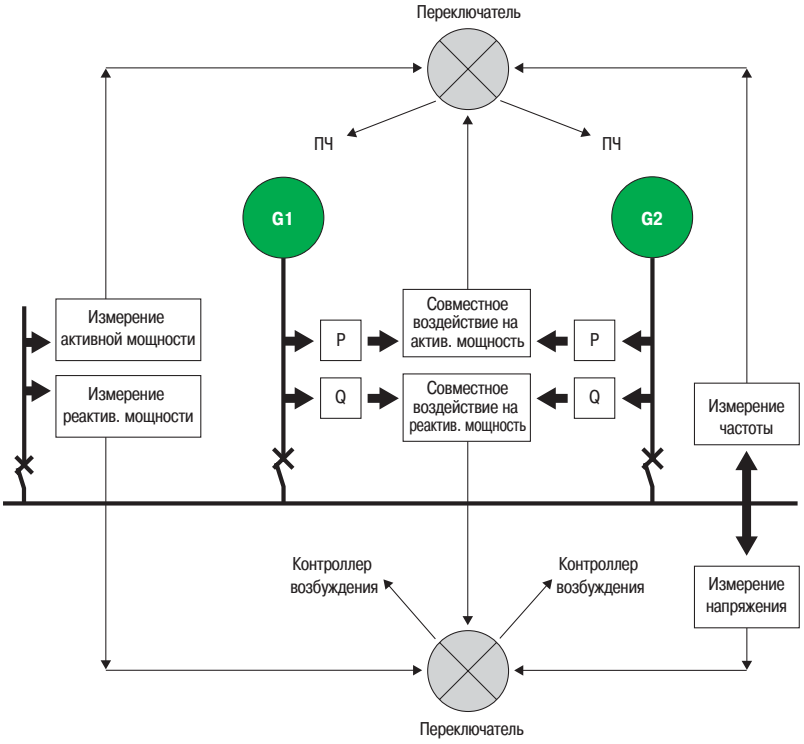


Рис. B47. Управление генераторами, работающими параллельно с сетью

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

7 Подстанции с генераторами и параллельная работа трансформаторов

7.3 Параллельная работа трансформаторов

Необходимость параллельной работы двух или более трансформаторов может потребоваться в следующих случаях:
- для обеспечения безопасности (вероятность отказа обоих трансформаторов одновременно очень мала);
- при недостаточной мощности трансформатора в связи с расширением установки;
- при отсутствии достаточного пространства (высоты) для одного большого трансформатора;
- в случае применения трансформаторов стандартного размера для всей электроустановки.

Не рекомендуется подключать более двух трансформаторов параллельно, поскольку ток короткого замыкания на стороне низкого напряжения может стать слишком высоким.

7.3.1 Полная мощность (кВА)

Значение полной мощности (кВА) при параллельной работе двух трансформаторов с одинаковым номиналом мощности равно сумме отдельных мощностей при условии равенства сопротивлений и коэффициентов трансформации по напряжению.
Трансформаторы одинаковой номинальной мощности будут распределять нагрузку, равную общей нагрузке, требуемой установкой и разделенной на количество трансформаторов, работающих параллельно.
Трансформаторы разного номинала мощности разделяют нагрузку практически (но не точно) пропорционально своим номиналам, при условии, что их коэффициенты трансформации по напряжению равны или почти равны.

7.3.2 Необходимые условия для параллельной работы

Требуются следующие условия для параллельного подключения силовых трансформаторов:
Предпочтительно, чтобы соединенные в параллель трансформаторы имели схожие характеристики:
- одинаковый коэффициент трансформации;
- одинаковую номинальную мощность;
- одинаковое сопротивление токам короткого замыкания;
- одинаковое соединение обмоток, например, Dyn 11;
- то же сопротивление между трансформаторами и основным распределительным щитом НН, где реализуется подключение.

Если трансформаторы имеют разную номинальную мощность, то их внутренние сопротивления находятся в таком же соотношении, что и номинальные мощности.
Не рекомендуется параллельное подключение трансформаторов, если соотношение их мощности равно 2 или больше.
Если трансформаторы не соответствуют указанным выше требованиям, рекомендации по их подключению будут предложены изготовителем.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

8 Типы и конструкции распределительных подстанций

Распределительные понижающие подстанции могут устанавливаться в общественных местах, таких как парки, жилые районы или в частных владениях. В этом случае персонал энергоснабжающей организации должен иметь неограниченный доступ к подстанции. Это требование обычно обеспечивается установкой подстанции таким образом, чтобы стена с дверью, через которую происходит доступ персонала, располагалась на границе частных владений.

8.1 Различные типы подстанций

По типу установки подстанции могут быть:
- внутренней установки в здании, в отдельном помещении;
- наружной установки, в специально предназначенном для этого корпусе, в который помещается оборудование внутренней установки;
- наружной установки, без корпуса;
- столбовые.

8.2 Подстанция внутренней установки

8.2.1 Типовое расположение оборудования в понижающей подстанции

На **рис. B48** и **рис. B49** показано типовое расположение оборудования, рекомендуемое для подстанции с учетом измерений на стороне НН.

Примечание: при использовании сухих трансформаторов с изоляцией из эпоксидной смолы (с «литой» изоляцией) противопожарный маслосборник не применяется. Однако необходимо предусмотреть периодическую чистку.

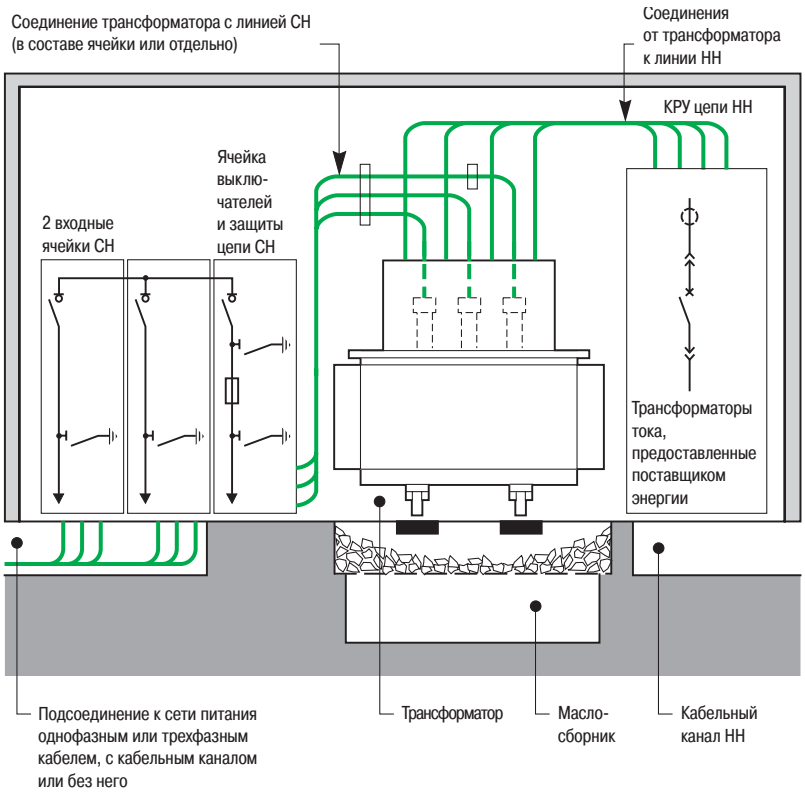
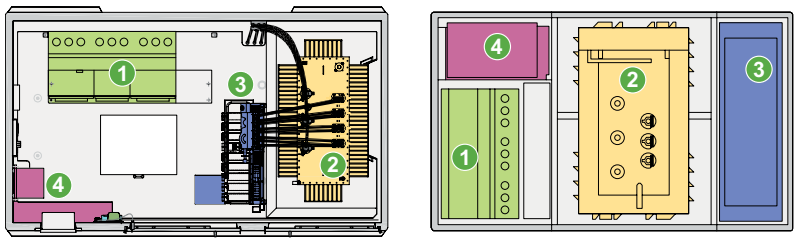


Рис. B48. Типовое расположение оборудования в понижающей подстанции с учетом измерений на стороне НН

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

8 Типы и конструкции распределительных подстанций



1 Распределительный щит ВН
2 Трансформатор
3 Распределительный щит НН
4 Электронные устройства / компенсаторы

Рис. B49. Примеры общего расположения оборудования в понижающей подстанции с учетом измерений на стороне НН, вид сверху

8.2.2 Подключение к сети питания и соединения между оборудованием СН и НН

Присоединение к сети СН производится энергоснабжающей организацией, и она несет за это ответственность.
Соединения между высоковольтным КРУ и трансформаторами могут быть выполнены:
■ Короткими медными шинами, где трансформатор помещается в отсек, образующий часть высоковольтного КРУ.
■ Однофазными экранированными кабелями с синтетической изоляцией с возможным использованием прямого кабельного ввода трансформатора.
Соединения между низковольтными кабельными вводами трансформатора и распредустройством низкого напряжения могут быть выполнены:
■ однофазными кабелями;
■ медными шинами (круглого или прямоугольного сечения) с термоусадочной изоляцией.

Настоятельно рекомендуется использование шинопровода для подключения трансформаторов, требующих более пяти одиночных кабелей низкого напряжения параллельно в одной фазе. Подключение пяти одножильных кабелей к одной фазе с равной долей тока в каждом кабеле является неосуществимым.

8.2.3 Заземляющие контуры

Для обеспечения безопасности персонала в подстанции должна быть предусмотрена эквипотенциальная система, соответствующая следующим рекомендациям:
■ Создание заземляющего электрода под подстанцией посредством медных проводников
■ Подключение защитных проводников ко всем открытым проводящим частям установки:
□ Корпусам электрооборудования
□ Экранам кабелей СН
□ Корпусу трансформатора
□ Металлическим дверям и т.д.
■ Подключение всех защитных проводников к одной общей точке
■ Соединение общей точки защитных проводников и арматурных стержней бетонной плиты, установленной под подстанцией, с наружными заземляющими электродами

8.2.4 Освещение

Энергоснабжение цепей освещения может быть выполнено от точки, расположенной выше или ниже по цепи главного входного автоматического выключателя НН. Соответствующие выключатели низкого напряжения должны обеспечивать защиту низковольтных цепей освещения.
Надлежащим образом должны быть освещены:
■ рукоятки управления оборудованием;
■ механические индикаторы состояния электрооборудования;
■ вся информация, отображающаяся на индикаторах и на реле защиты;
■ все указательные таблички по эксплуатации и обеспечению безопасности.
Из соображений безопасности рекомендуется установить систему аварийного освещения, снабженную аккумуляторными батареями.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

8.2.5 Оборудование для обеспечения безопасности

В соответствии с местными правилами безопасности подстанция должна быть оснащены:
- ■ средствами обеспечения безопасной эксплуатации подстанции:
- □ изолированной подставкой;
- □ диэлектрическим ковриком;
- □ парой диэлектрических перчаток, которые хранятся в специальном конверте;
- □ указателем напряжения для использования на высоковольтном оборудовании;
- ■ устройствами противопожарной защиты в соответствии с местными нормами;
- ■ предупредительными и указательными табличками по:
- □ эксплуатации подстанции;
- □ безопасности персонала;
- □ оказанию первой помощи пострадавшим от поражения электрическим током.

8.3 Подстанции наружной установки

8.3.1 Комплектная подстанция заводского изготовления для наружной установки

Комплектные понижающие подстанции наружной установки (см. **рис. B50**) отвечают требованиям стандарта МЭК 62271-202.

■ Все комплектные подстанции наружной установки подвергаются следующим испытаниям и проверкам:
- □ степень защиты;
- □ температурный класс;
- □ невоспламеняющиеся материалы;
- □ механическая прочность корпуса;
- □ уровень шума;
- □ уровень изоляции;
- □ испытания на воздействие внутренней дуги;
- □ проверка цепи заземления;
- □ маслоудерживающая способность;
- □ функционирование подстанции.

Основные преимущества

Комплектные подстанции представляют собой оптимальное решение со следующими преимуществами:
- ■ Сокращенное времени поставки
- ■ Небольшой объем строительных работ
- ■ Легкий монтаж
- ■ Быстрый ввод в эксплуатацию
- ■ Разумная общая стоимость

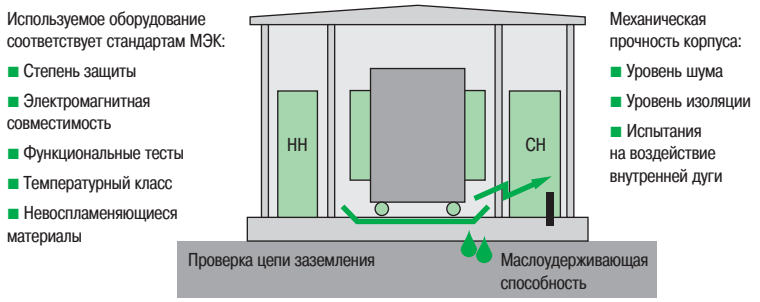


Рис. B50. Типы испытаний подстанции в соответствии с требованиями стандарта МЭК 62271-202

Стандарт МЭК 62271-202 определяет требования для двух типов подстанций наружной установки (см. **рис. B51**):
- ■ С доступом людей
- ■ Без доступа людей

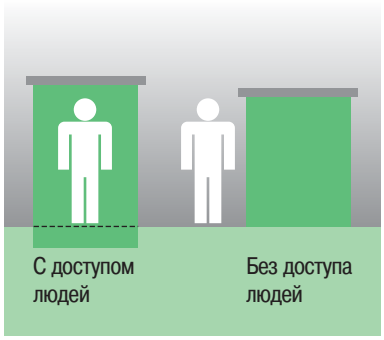


Рис. B51. Подстанции с доступом и без доступа людей

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

8 Типы и конструкции распределительных подстанций

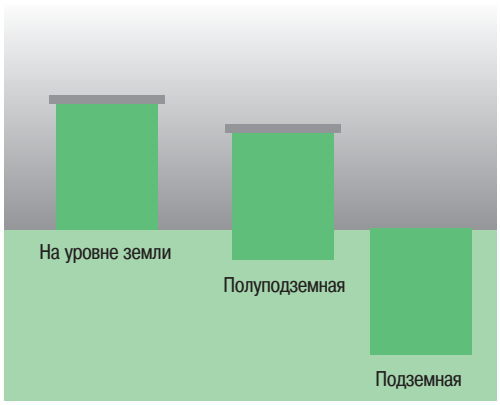


Рис. B52. Три типа конструкции подстанций наружной установки

a - **b -**

Рис. B53. На уровне земли [a], полуподземная [b]

Рис. B54. Подстанция наружной установки без корпуса

Подстанции могут быть расположены на уровне земли, иметь полуподземную или подземную конструкцию, как показано на **рис. B52** и **рис. B53**).

8.3.2 Открытая подстанция наружной установки (см. рис. B54)

Открытые подстанции широко распространены в некоторых странах и обеспечиваются защитой от атмосферных воздействий. Такие подстанции входят, как правило, в кольцевые схемы СН и включают в себя следующее оборудование:

- ■ два вводных функциональных блока для присоединения подстанции к питающей сети;
- ■ один функциональный блок для питания и защиты трансформатора СН/НН, обычно представлен автоматическим выключателем;
- ■ один понижающий трансформатор СН/НН
- ■ один распределительный щит НН.

Корпуса силового трансформатора и распределительного щита представляют собой специальное исполнение для наружной установки.

8.3.3 Трансформаторная столбовая подстанция

Область применения

Эти подстанции используются, в основном, для питания отдельных сельских потребителей от воздушных распределительных сетей СН.

Конструкция

Подстанция данного типа включает в себя (см. **рис. B55**):

- ■ Один столбовой силовой трансформатор СН/НН, к которому, в соответствии с местными правилами, может быть подключены следующие устройства:
  - □ выключатель нагрузки;
  - □ набор из трех предохранителей;
  - □ набор из трех разрядников.
- ■ Автоматический выключатель цепи НН.
- ■ Заземляющий электрод, подключенный к оборудованию посредством проводника.

Подстанция должна быть расположена таким образом, чтобы были обеспечены свободный доступ персонала и возможность проведения погрузочно-разгрузочных операций.

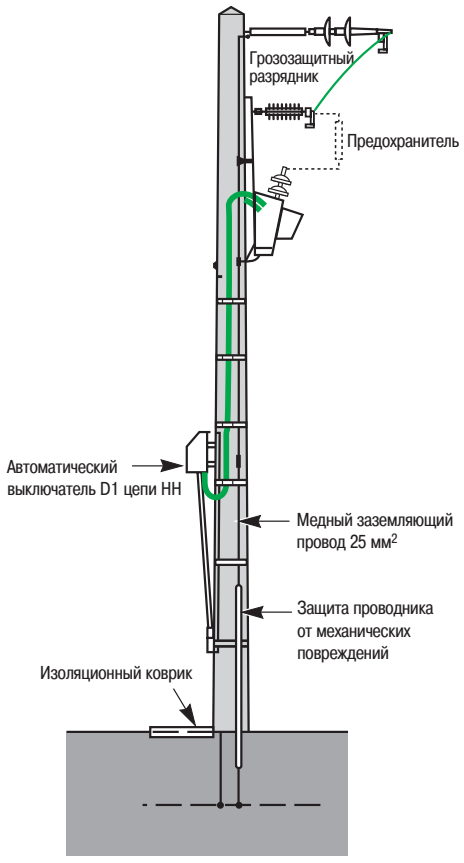


Рис. B55. Трансформаторная столбовая подстанция

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

Глава C

Подключение к распределительной сети низкого напряжения

1 Низковольтные сети электроснабжения C2

1.1 Низковольтные потребители C2
1.2 Низковольтные распределительные сети C10
1.3 Присоединение потребителей к сети C11
1.4 Качество поставляемой электроэнергии C15

2 Тарифы и учет электроэнергии C16

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Низковольтные сети электроснабжения

Самые распространенные низковольтные системы электроснабжения охватывают диапазон от однофазных сетей напряжением 120 В до трехфазных четырехпроводных сетей напряжением 240/415 В. Питание нагрузок мощностью до 250 кВА может осуществляться от низковольтных сетей электроснабжения, а при уровнях нагрузки, соответствующих предельным возможностям низковольтных сетей, поставщиками электроэнергии обычно предлагается питание на среднем напряжении. В соответствии со стандартом МЭК 60038 (ГОСТ 29322-2014) рекомендуемым напряжением для трехфазных четырехпроводных низковольтных распределительных систем является 230/400 В.

1.1 Низковольтные потребители

В Европе до 2008 года продлен период перехода на допустимое отклонение напряжения 230 В/400 В ±10%.

По определению, к низковольтным потребителям относятся те потребители, нагрузки которых могут удовлетворительно питаться от низковольтной распределительной сети, расположенной в их населённом пункте.

Напряжение локальной низковольтной сети электроснабжения может составлять 120/208 В или 240/415 В, что соответствует нижнему или верхнему пределам наиболее распространенных уровней трехфазного напряжения, или же иметь некоторый промежуточный уровень (**рис. C1**).

Страна	Частота (Гц) + отклонение (%)	Бытовое напряжение (В)	Коммерческое напряжение (В)	Промышленное напряжение (В)
Австралия	50 ± 0,1	415/240 (a) 240 (k)	415/240 (a) 440/250 (a) 440 (m)	22000 11000 6600 415/240 440/250
Австрия	50 ± 0,1	230 (k)	380/220 (a) (b) 220 (k)	5000 380/220 (a)
Азербайджан	50 ± 0,1	208/120 (a) 240/120 (k)	208/120 (a) 240/120 (k)	
Алжир	50 ± 1,5	220/127 (e) 220 (k)	380/220 (a) 220/127 (a)	10000 5500 6600 380/220 (a)
Ангола	50	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a)	380/220 (a)
Антигуа и Малые Антильские острова	60	240 (k) 120 (k)	400/230 (a) 120/208 (a)	400/230 (a) 120/208 (a)
Аргентина	50 ± 2	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a) 220 (k)	
Армения	50 ± 5	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a)
Афганистан	50	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a)	380/220 (a)
Бангладеш	50 ± 2	410/220 (a) 220 (k)	410/220 (a)	11000 415/240 (a) 240 (k)
Барбадос	50 ± 6	230/115 (j) 115 (k)	230/115 (j) 200/115 (a) 220/115 (a)	230/400 (g) 230/155 (j)
Бахрейн	50 ± 0,1	415/240 (a) 240 (k)	415/240 (a) 240 (k)	11000 415/240 (a) 240 (k)
Беларусь	50	380/220 (a) 220 (k) 220/127 (a) 127 (k)	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a)
Бельгия	50 ± 5	230 (k) 230 (a) 3N, 400	230 (k) 230 (a) 3N, 400	6600 10000 11000 15000
Болгария	50 ± 0,1	220	220/240	1000 690 380
Боливия	50 ± 0,5	230 (k)	400/230 (a) 230 (k)	400/230 (a)
Ботсвана	50 ± 3	220 (k)	380/220 (a)	380/220 (a)

Рис. C1. Напряжение локальных низковольтных распределительных сетей и соответствующие схемы соединений (продолжение на след. стр.)

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Низковольтные сети электроснабжения

Страна	Частота (Гц) + отклонение (%)	Бытовое напряжение (В)	Коммерческое напряжение (В)	Промышленное напряжение (В)
Бразилия	60 ±3	220 (k) 127 (k)	220/380 (a) 127/220 (a)	69000 23200 13800 11200 220/380 (a) 127/200 (a)
Бруней	50 ± 2	230	230	11000 68000
Великобритания (без Северной Ирландии)	50 ± 1	230 (k)	400/230 (a)	22000 11000 6600 3300 400/230 (a)
Великобритания (включая Северную Ирландию)	50 ± 0,4	230 (k) 220 (k)	400/230 (a) 380/220 (a)	400/230 (a) 380/220 (a)
Венгрия	50 ± 5	220	220	220/380
Вьетнам	50 ± 0,1	220 (k)	380/220 (a)	35000 15000 10000 6000
Гамбия	50	220 (k)	220/380	380
Гана	50 ± 5	220/240	220/240	415/240 (a)
Германия	50 ± 0,3	400/230 (a) 230 (k)	400/230 (a) 230 (k)	20000 10000 6000 690/400 400/230
Гибралтар	50 ± 1	415/240 (a)	415/240 (a)	415/240 (a)
Гонконг	50 ± 2	220 (k)	380/220 (a)	11000 386/220 (a)
Гренада	50	230 (k)	400/230 (a)	400/230 (a)
Греция	50	220 (k) 230	6,000 380/220 (a)	22000 20000 15000 6600
Грузия	50 ± 0,5	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a)
Дания	50 ± 1	400/230 (a)	400/230 (a)	400/230 (a)
Джибути	50		400/230 (a)	400/230 (a)
Доминиканская республика	50	230 (k)	400/230 (a)	400/230 (a)
Египет	50 ± 0,5	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a) 220 (k)	66000 33000 20000 11000 6600 380/220 (a)
Замбия	50 ± 2,5	250 (k)	380/220 (a)	380 (a)
Зимбабве	50	250 (k)	390/225 (a)	11000 390/225 (a)
Израиль	50 ± 0,2	400/230 (a) 230 (k)	400/230 (a) 230 (k)	22000 12600 6300 400/230 (a)
Индия	50 ± 1,5	440/250 (a) 230 (k)	440/250 (a) 230 (k)	11000 400/230 (a) 440/250 (a)
Индонезия	50 ± 2	220 (k)	380/220 (a)	150000 20000 380/220 (a)
Иордания	50	380/220 (a) 400/230 (k)	380/220 (a)	400 (a)
Ирак	50	220 (k)	380/220 (a)	11000 6600 3000 380/220 (a)
Иран	60 ± 5	220 (k)	380/220 (a)	20000 11000 400/230 (a) 380/220 (a)

Рис. C1. Напряжение локальных низковольтных распределительных сетей и соответствующие схемы соединений (продолжение на след. стр.)

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Низковольтные сети электроснабжения

Страна	Частота (Гц) + отклонение (%)	Бытовое напряжение (В)	Коммерческое напряжение (В)	Промышленное напряжение (В)
Ирландия	50 ± 2	230 (k)	400/230 (a)	20000 12600 6300 400/230 (a)
Исландия	50 ± 0,1	230	230/400	230/400
Испания	50 ± 3	380/220 (a) (e) 220 (k) 220/127 (a) 127 (k)	380/220 (a) 220/127 (a) (e)	15000 11000 380/220 (a)
Италия	50 ± 0,4	400/230 (a) 230 (k)	400/230 (a)	20000 15000 10000 400/230 (a)
Йемен	50	250 (k)	440/250 (a)	440/250 (a)
Кабо-Верде		220	220	380/400
Казахстан	50	380/220 (a) 220 (k) 220/127 (a) 127 (k)	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a)
Камбоджа	50 ± 1	220 (k)	220/300	220/380
Камерун	50 ± 1	220/260 (k)	220/380 (a)	220/380 (a)
Канада	60 ± 0,02	120/240 (j)	347/600 (a) 480 (f) 240 (f) 120/240 (j) 120/208 (a)	7200/12500 347/600 (a) 120/208 600 (f) 480 (f) 240 (f)
Катар	50 ± 0,1	415/240 (k)	415/240 (a)	11000 415/240 (a)
Кения	50	240 (k)	415/240 (a)	415/240 (a)
Кипр	50 ± 0,1	240 (k)	415/240	11000 415/240
Киргизия	50	380/220 (a) 220 (k) 220/127 (a) 127 (k)	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a)
Китай	50 ± 0,5	220 (k)	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a) 220 (k)
Колумбия	60 ± 1	120/240 (g) 120 (k)	120/240 (g) 120 (k)	13200 120/240 (g)
Конго	50	220 (k)	240/120 (j) 120 (k)	380/220 (a)
Кувейт	50 ± 3	240 (k)	415/240 (a)	415/240 (a)
Лаос	50 ± 8	380/220 (a)	380/220 (a)	380/220 (a)
Латвия	50 ± 0,4	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a)
Лесото		220 (k)	380/220 (a)	380/220 (a)
Ливан	50	220 (k)	380/220 (a)	380/220 (a)
Ливия	50	230 (k) 127 (k)	400/230 (a) 220/127 (a) 230 (k) 127 (k)	400/230 (a) 220/127 (a)
Литва	50 ± 0,5	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a)
Люксембург	50 ± 0,5	380/220 (a)	380/220 (a)	20000 15000 5000
Мавритания	50 ± 1	230 (k)	400/230 (a)	400/230 (a)
Мадагаскар	50	220/110 (k)	380/220 (a)	35000 5000 380/220
Македония	50	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a) 220 (k)	10000 6600 380/220 (a)
Малави	50 ± 2,5	230 (k)	400 (a) 230 (k)	400 (a)
Малайзия	50 ± 1	240 (k) 415 (a)	415/240 (a)	415/240 (a)

Рис. C1. Напряжение локальных низковольтных распределительных сетей и соответствующие схемы соединений (продолжение на след. стр.)

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Низковольтные сети электроснабжения

Страна	Частота (Гц) + отклонение (%)	Бытовое напряжение (В)	Коммерческое напряжение (В)	Промышленное напряжение (В)
Мали	50	220 (k) 127 (k)	380/220 (a) 220/127 (a) 220 (k) 127 (k)	380/220 (a) 220/127 (a)
Мальта	50 ± 2	240 (k)	415/240 (a)	415/240 (a)
Марокко	50 ± 5	380/220 (a) 220/110 (a)	380/220 (a)	225000 150000 60000 22000 20000
Мартиника	50	127 (k)	220/127 (a) 127 (k)	220/127 (a)
Мексика	60 ± 0,2	12/220 (a) 120/240 (j)	127/220 (a) 120/240 (j)	4160 13800 23000 34500 277/480 (a) 127/220 (b)
Мозамбик	50	380/220 (a)	380/220 (a)	6000 10000
Молдавия	50	380/220 (a) 220 (k) 220/127 (a) 127 (k)	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a)
Непал	50 ± 1	220 (k)	440/220 (a) 220 (k)	11000 440/220 (a)
Нигер	60 ± 1	230 (k)	380/220 (a)	15000 380/220 (a)
Нигерия	50 ± 1	230 (k) 220 (k)	400/230 (a) 380/220 (a)	15000 11000 400/230 (a) 380/220 (a)
Нидерланды	50 ± 0,4	230/400 (a) 230 (k)	230/400 (a)	25000 20000 12000 10000 230/400
Новая Зеландия	50 ± 1,5	400/230 (e) (a) 230 (k) 460/230 (e)	400/230 (e) (a) 230 (k)	11000 400/230 (a)
Норвегия	50 ± 2	230/400	230/400	230/400 690
Объединенные Арабские Эмираты	50 ± 1	220 (k)	415/240 (a) 380/220 (a) 220 (k)	6600 415/240 (a) 380/220 (a)
Оман	50	240 (k)	415/240 (a) 240 (k)	415/240 (a)
Острова Фиджи	50 ± 2	415/240 (a) 240 (k)	415/240 (a) 240 (k)	11000 415/240 (a)
Пакистан	50	230 (k)	400/230 (a) 240 (k)	415/230 (a)
Папуа-Новая Гвинея	50 ± 2	240 (k)	415/240 (a) 240 (k)	22000 11000 415/240 (a)
Парагвай	50 ± 0,5	220 (k)	380/220 (a) 220 (k)	22000 380/220 (a)
Польша	50 ± 0,1	230 (k)	400/230 (a)	1000 690/400 400/230 (a)
Португалия	50 ± 1	380/220 (a) 220 (k)	15,000 5,000 380/220 (a) 220 (k)	15000 5000 380/220 (a)
Россия	50 ± 0,2	380/220 (a)	380/220 (a)	380/220 (a)
Руанда	50 ± 1	220 (k)	380/220 (a)	15000 6600 380/220 (a)
Румыния	50 ± 0,5	220 (k) 220/380 (a)	220/380 (a)	20000 10000 6000 220/380 (a)
Самоа		400/230		

Рис. C1. Напряжение локальных низковольтных распределительных сетей и соответствующие схемы соединений (продолжение на след. стр.)

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Низковольтные сети электроснабжения

Страна	Частота (Гц) + отклонение (%)	Бытовое напряжение (В)	Коммерческое напряжение (В)	Промышленное напряжение (В)
Сан-Марино	50 ± 1	230/220	380	15000 380
Саудовская Аравия	60	220/127 (a)	220/127 (a) 380/220 (a)	11000 7200 380/220 (a)
Свазиленд	50 ± 2,5	230 (k)	400/230 (a) 230 (k)	11000 400/230 (a)
Северная Корея	60 +0, -5	220 (k)	220/380 (a)	13600 6800
Сейшелы	50 ± 1	400/230 (a)	400/230 (a)	11000 400/230 (a)
Сенегал	50 ± 5	220 (a) 127 (k)	380/220 (a) 220/127 (k)	90000 30000 6600
Сент-Люсия	50 ± 3	240 (k)	415/240 (a)	11000 415/240 (a)
Сербия и Черногория	50	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a) 220 (k)	10000 6600 380/220 (a)
Сингапур	50	400/230 (a) 230 (k)	400/230 (a)	22000 6600 400/230 (a)
Сирия	50	220 (k) 115 (k)	380/220 (a) 220 (k) 200/115 (a)	380/220 (a)
Словакия	50 ± 0,5	230	230	230/400
Словения	50 ± 0,1	220 (k)	380/220 (a)	10000 6600 380/220 (a)
Соломоновы Острова	50 ± 2	240	415/240	415/240
Сомали	50	230 (k) 220 (k) 110 (k)	440/220 (j) 220/110 (j) 230 (k)	440/220 (g) 220/110 (g)
Судан	50	240 (k)	415/240 (a) 240 (k)	415/240 (a)
США, Детройт (штат Мичиган)	60 ± 0,2	120/240 (j) 120/208 (a)	480 (f) 120/240 (h) 120/208 (a)	13200 4800 4160 480 (f) 120/240 (h) 120/208 (a)
США, Лос-Анджелес (штат Калифорния)	60 ± 0,2	120/240 (j)	4,800 120/240 (g)	4800 120/240 (g)
США, Майами (штат Флорида)	60 ± 0,3	120/240 (j) 120/208 (a)	120/240 (j) 120/240 (h) 120/208 (a)	13200 2400 480/277 (a) 120/240 (h)
США, Нью-Йорк (штат Нью-Йорк)	60	120/240 (j) 120/208 (a)	120/240 (j) 120/208 (a) 240 (f)	12470 4160 277/480 (a) 480 (f)
США, Питтсбург (штат Пенсильвания)	60 ± 0,03	120/240 (j)	265/460 (a) 120/240 (j) 120/208 (a) 460 (f) 230 (f)	13200 11500 2400 265/460 (a) 120/208 (a) 460 (f) 230 (f)
США, Портленд (штат Орегона)	60	120/240 (j)	227/480 (a) 120/240 (j) 120/208 (a) 480 (f) 240 (f)	19900 12000 7200 2400 277/480 (a) 120/208 (a) 480 (f) 240 (f)
США, Сан-Франциско (штат Калифорния)	60 ± 0,08	120/240 (j)	277/480 (a) 120/240 (j)	20800 12000 4160 277/480 (a) 120/240 (g)

Рис. C1. Напряжение локальных низковольтных распределительных сетей и соответствующие схемы соединений (продолжение на след. стр.)

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Низковольтные сети электроснабжения

Страна	Частота (Гц) + отклонение (%)	Бытовое напряжение (В)	Коммерческое напряжение (В)	Промышленное напряжение (В)
США, Толедо (штат Огайо)	60 ± 0,08	120/240 (j) 120/208 (a)	277/480 (c) 120/240(h) 120/208 (j)	12470 7200 4800 4160 480 (f) 277/480 (a) 120/208 (a)
США, Шарлотт (штат Северная Каролина)	60 ± 0,06	120/240 (j) 120/208 (a)	265/460 (a) 120/240 (j) 120/208 (a)	14400 7200 2400 575 (f) 460 (f) 240 (f) 265/460 (a) 120/240 (j) 120/208 (a)
Сьерра Леоне	50 ± 5	230 (k)	400/230 (a)	22000 6600 400/230 (a)
Таджикистан	50	380/220 (a) 220 (k) 220/127 (a) 127 (k)	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a)
Таиланд	50	220 (k)	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a)
Танзания	50	400/230 (a)	400/230 (a)	11000 400/230 (a)
Того	50	220 (k)	380/220 (a)	20000 5500 380/220 (a)
Тунис	50 ± 2	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a) 220 (k)	30000 15000
				10000 380/220 (a)
Туркменистан	50	380/220 (a) 220 (k) 220/127 (a) 127 (k)	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a)
Турция	50 ± 1	380/220 (a)	380/220 (a)	15000 6300 380/220 (a)
Уганда	+ 0,1	240 (k)	415/240 (a)	11000 415/240 (a)
Украина	+ 0,2 /- 1,5	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a) 220 (k)
Уругвай	50 ± 1	220 (b) (k)	220 (b) (k)	15000 6000 220 (b)
Филиппины	50 ± 0,16	110/220 (j)	13,800 4,160 2,400 110/220 (h)	13800 4160 2400 440 (b) 110/220 (h)
Финляндия	50 ± 0,1	230 (k)	400/230 (a)	690/400 (a) 400/230 (a)
Фолклендские острова	50 ± 3	230 (k)	415/230 (a)	415/230 (a)
Франция	50 ± 1	400/230 (a) 230 (a)	400/230 690/400 590/100	20000 10000 230/400
Хорватия	50	400/230 (a) 230 (k)	400/230 (a) 230 (k)	400/230 (a)
Чад	50 ± 1	220 (k)	220 (k)	380/220 (a)
Чехия	50 ± 1	230	500 230/400	400000 220000 110000 35000 22000 10000 6000 3000
Чили	50 ± 1	220 (k)	380/220 (a)	380/220 (a)

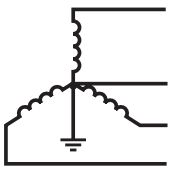
Рис. C1. Напряжение локальных низковольтных распределительных сетей и соответствующие схемы соединений (продолжение на след. стр.)

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

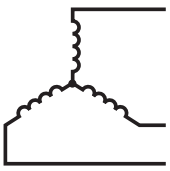
1 Низковольтные сети электроснабжения

Страна	Частота (Гц) + отклонение (%)	Бытовое напряжение (В)	Коммерческое напряжение (В)	Промышленное напряжение (В)
Швейцария	50 ± 2	400/230 **(a)**	400/230 **(a)**	20000 10000 3000 1000 690/500
Швеция	50 ± 0,5	400/230 **(a)** 230 **(k)**	400/230 **(a)** 230 **(k)**	6000 400/230 **(a)**
Шри-Ланка	50 ± 2	230 **(k)**	400/230 **(a)** 230 **(k)**	11000 400/230 **(a)**
Эстония	50 ± 1	380/220 **(a)** 220 **(k)**	380/220 **(a)** 220 **(k)**	380/220 **(a)**
Эфиопия	50 ± 2,5	220 **(k)**	380/231 **(a)**	15000 380/231 **(a)**
Южная Африка	50 ± 2,5	433/250 **(a)** 400/230 **(a)** 380/220 **(a)** 220 **(k)**	11,000 6,600 3,300 433/250 **(a)** 400/230 **(a)** 380/220 **(a)**	11000 6600 3300 500 **(b)** 380/220 **(a)**
Южная Корея	60 ± 0,2	220 **(k)**	380/220 **(a)**	380/220 **(a)**
Ямайка	50 ± 1	220/110 **(g)** **(j)**	220/110 **(g)** **(j)**	4000 2300 220/110 **(g)**
Япония (восточная часть)	50 $^{+0,1}_{-0,3}$	200/100 **(h)**	200/100 **(h)** (до 50 кВт)	140000 60000 20000 6000 200/100 **(h)**

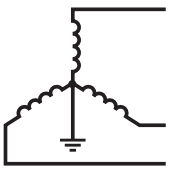
Схемы соединений



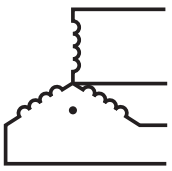
(a) Трехфазное четырехпроводное соединение «звездой» с заземленной нейтралью



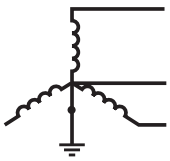
(b) Трехфазное трехпроводное соединение «звездой»



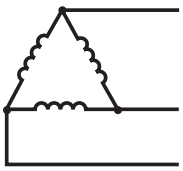
(c) Трехфазное трехпроводное соединение «звездой» с заземленной нейтралью



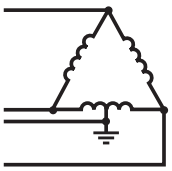
(d) Трехфазное четырехпроводное соединение «звездой» с незаземленной нейтралью



(e) Двухфазное трехпроводное соединение «звездой» с заземленной нейтралью

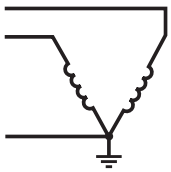


(f) Трехфазное трехпроводное соединение треугольником

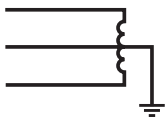


(g) Трехфазное четырехпроводное соединение треугольником с заземленной средней точкой одной фазы

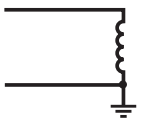
(h) Трехфазное четырехпроводное соединение открытым треугольником с заземленной средней точкой одной фазы



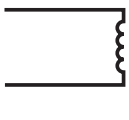
(i) Трехфазное соединение открытым треугольником с заземленным соединением фаз



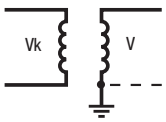
(j) Однофазное трехпроводное соединение с заземленной средней точкой



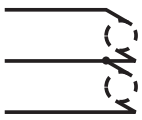
(k) Однофазное двухпроводное соединение с заземленным концом фазы



(l) Однофазное двухпроводное соединение без заземления



(m) Однопроводное соединение с заземленным отводом



(n) Трехпроводное соединение цепей постоянного тока без заземления

Рис. C1. Напряжение локальных низковольтных распределительных сетей и соответствующие схемы соединений

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Низковольтные сети электроснабжения

Бытовые и коммерческие потребители

Назначение низковольтной распределительной сети – обеспечить присоединение потребителей к силовому подземному кабелю или воздушной линии электропередач.

Номинальный ток распределительных сетей определяется количеством присоединяемых потребителей и номинальной величиной электрической мощности каждого потребителя.

Имеются два основных ограничивающих параметра распределительной сети:

- максимальный ток, который она может длительно пропускать;
- максимальная длина кабеля, при которой при передаче максимального тока не превышается максимально допустимое падение напряжения.

Эти параметры означают, что величина нагрузок, которые могут быть присоединены к низковольтным распределительным системам, ограничена.

Для диапазона низковольтных систем, перечисленных во втором параграфе подпункта 1.1 – от однофазных напряжением 120 В до трехфазных напряжением 240/415 В – максимально допустимые электрические нагрузки, подсоединяемые к низковольтной распределительной сети, могут составлять величины[(1)], указанные на **рис. C2**.

Система		Максимально допустимый ток в расчете на один ввод (А)	кВА
120 В	1-фазная 2-проводная	60	7,2
120/240 В	1-фазная 3-проводная	60	14,4
120/208 В	3-фазная 4-проводная	60	22
120/208 В	3-фазная 4-проводная	120	80
220/380 В	3-фазная 4-проводная	120	83
240/415 В	3-фазная 4-проводная	120	86

Рис. C2. Типовые максимально допустимые нагрузки, подсоединяемые к низковольтной распределительной сети

Правила эксплуатации, принятые различными поставщиками электроэнергии, заметно различаются, и поэтому трудно указать какие-то «стандартные» значения.

Должны учитываться следующие факторы:

- Мощность существующей распределительной сети, к которой должна быть подключена рассматриваемая новая нагрузка.
- Суммарная нагрузка, уже присоединенная к данной распределительной сети.
- Месторасположение новой нагрузки вдоль трассы распределительной сети, т.е. вблизи подстанции или на отдалении.

Каждый случай должен рассматриваться индивидуально.

Указанные выше уровни нагрузок применимы ко всем бытовым потребителям и будут достаточны для электроустановок многих административных, коммерческих и аналогичных зданий.

Малые и средние промышленные потребители (питание по выделенным низковольтным линиям непосредственно от подстанции СН/НН системы электроснабжения)

Малые и средние промышленные потребители тоже могут вполне удовлетворительно питаться от сетей низкого напряжения.

Для питания нагрузок, превышающих максимально допустимый предел по потребляемой мощности на один ввод от распределительной системы, обычно используется отдельный кабель, который может быть проложен от низковольтного распределительного щита с плавкими предохранителями или автоматическими выключателями, установленного в подстанции системы электроснабжения общего пользования.

Максимально допустимая нагрузка, питание которой быть может быть обеспечено таким способом, обычно ограничена только наличием резервной мощности трансформатора на данной подстанции.

На практике же:

- большие электрические нагрузки (например, > 300 кВА) требуют соответственно кабелей большего сечения, поэтому, если центр нагрузки не расположен вблизи подстанции, такой способ может оказаться экономически невыгодным;
- многие сети энергоснабжения предпочитают обеспечивать питание нагрузок, потребляющих свыше 200 кВА (эта величина варьируется для разных поставщиков), на СН.

По этим причинам выделенные низковольтные линии (напряжением от 220/380 В до 240/415 В) обычно используются для питания нагрузок, потребляющих от 80 до 250 кВА.

Потребители, питание которых обычно осуществляется от низковольтных сетей:

- жилые здания;
- магазины и коммерческие здания;
- небольшие фабрики, цеха и заправочные станции;
- рестораны;
- фермы и др.

(1) Значения, приведенные на **рис. C2**, являются только ориентировочными. Для первых трех систем произвольно выбрано максимальное значение рабочего тока 60 А, поскольку для установленного допустимого отклонения напряжения в процентах меньшие падения напряжения допускаются при этих более низких напряжениях. Для второй группы систем тоже произвольно было выбрано максимальное допустимое значение тока 120 А.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Низковольтные сети электроснабжения

В городах и больших населенных пунктах стандартные низковольтные распределительные кабели, защищенные предохранителем с помощью распределительных коробок, образуют сеть. В распределительных коробках некоторые перемычки удаляются, и поэтому каждая электрораспределительная линия, выходящая из подстанции, образует разветвленную расширяемую радиальную систему, как показано на **рис. C3**.

1.2 Низковольтные распределительные сети

В европейских странах стандартными напряжениями для трехфазных четырехпроводных систем электроснабжения приняты 220/380 В или 230/400 В. В настоящее время, в соответствии со стандартом МЭК 60038 (ГОСТ 29322-2014), многие страны переоборудуют свои низковольтные сети под номинальное напряжение 230/400 В. В городах и населенных пунктах средних и больших размеров используются подземные кабельные распределительные системы.

Распределительные понижающие подстанции, расположенные на расстоянии 500-600 метров друг от друга, обычно включают в себя:

- Распредустройство СН, состоящее из трех или четырех шкафов, в которые устанавливаются:
  - вводный и выходной выключатели нагрузки, образующие кольцевую магистраль;
  - один или два выключателя (или выключатели нагрузки со встроенными предохранителями) для подключения трансформатора.
- Один или два трансформатора мощностью до 1000 кВА.
- Один или два распределительных щита на 6-8 отходящих линий с защитой плавкими предохранителями для трехфазной четырехпроводной низковольтной системы или с автоматическими выключателями в пластиковом корпусе, предназначенными для контроля и защиты 4-жильных отходящих распределительных кабелей.

Выход трансформатора соединяется с низковольтными шинами через выключатель нагрузки или просто через разъединительные вставки.

В районах с высокой плотностью нагрузки прокладывается сеть распределительных кабелей стандартных сечений, при этом обычно один кабель прокладывается вдоль каждого тротуара, а 4-сторонние распределительные коробки устанавливаются в люках на углах улиц, где два кабеля пересекаются.

Тенденция последнего времени – применение всепогодных наземных шкафов, устанавливаемых вплотную к стене или, по возможности, “заподлицо” со стеной.

Перемычки в распределительных коробках устанавливаются так, чтобы на выходе из подстанции распределительные кабели образовывали радиальные цепи с разомкнутыми концами (**рис. C3**). В том месте, где распределительная коробка объединяет распределительный кабель от одной подстанции с распределительным кабелем от соседней подстанции, перемычки между фазами удаляются или заменяются плавкими предохранителями, однако перемычка для нейтрали остается на месте.

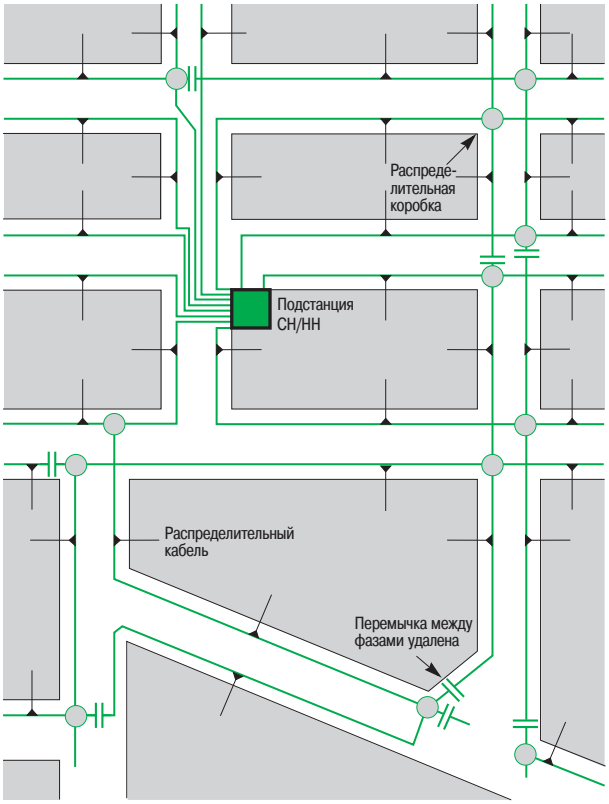


Рис. C3. Одна из возможных схем построения низковольтной сети с радиальными разветвленными распределительными линиями путем удаления перемычек между фазами

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Низковольтные сети электроснабжения

Такая схема позволяет создать очень гибкую систему, в которой целая подстанция может быть выведена из эксплуатации, а участок, который она обычно снабжала электроэнергией, будет обслуживаться из распределительных коробок соседних подстанций.

Кроме того, короткие участки силовых кабелей (между двумя распределительными коробками) могут быть отсоединены для поиска повреждений и ремонта.

В городских районах с меньшей плотностью электрических нагрузок обычно используется более экономичный вариант системы радиального распределения энергии, в котором по мере удаления от питающей электрической подстанции устанавливаются провода меньшего сечения.

В случае большой плотности нагрузки подстанции располагаются ближе друг к другу, и иногда требуется применение трансформаторов мощностью до 1500 кВА.

В районах с меньшей плотностью нагрузки широко применяются другие схемы построения городской низковольтной распределительной сети на основе отдельно стоящих стоек, установленных на земле в стратегических точках этой сети. Такая схема основана на принципе использования радиальных распределительных кабелей постепенно уменьшающегося сечения, у которых размер токоведущей жилы уменьшается по мере сокращения числа потребителей с удалением от подстанции.

В такой схеме несколько крупносекционированных низковольтных радиальных фидеров питают от распределительного щита данной подстанции шины распределительной стойки, от которой распределительные кабели меньшего сечения снабжают энергией потребителей, непосредственно окружающих эту стойку.

В городках, деревнях и селах распределение энергии на протяжении многих лет традиционно основывалось на использовании неизолированных медных проводов, закрепленных на деревянных, бетонных или стальных опорах и питаемых от трансформаторов, установленных на опорах или земле.

Использование усовершенствованных методов с применением воздушного кабеля из изолированных скрученных проводов, установленного на опорах, является в настоящее время принятой практикой во многих странах.

В последние годы были разработаны низковольтные изолированные провода, из которых скручиванием получают двух- или четырехжильный самонесущий кабель для использования в воздушных линиях электропередачи. Они считаются более безопасными, чем неизолированные медные провода.

Интересно, что аналогичный способ используется при более высоких напряжениях. Сейчас на рынке имеются самонесущие жгуты из изолированных проводов для наземных установок напряжением 24 кВ.

В случаях, когда для электроснабжения поселка используются несколько подстанций, соединение соответствующих фаз осуществляется на опорах, где встречаются низковольтные линии от разных подстанций.

В Европе каждая подстанция системы энергоснабжения способна обеспечить низковольтное питание района, расположенного в радиусе приблизительно 300 м. Системы, применяемые в странах Северной и Центральной Америки, состоят из сети СН, от которой много небольших понижающих трансформаторов питают каждый одного или нескольких потребителей по прямому питающему кабелю, идущему от трансформатора.

Практика, принятая в странах Северной и Центральной Америки, разительно отличается от той, которая используется в Европе. Там низковольтные распределительные сети практически отсутствуют, и случаи подачи трехфазного питания к жилым помещениям в жилом районе редки.

Распределение электроэнергии эффективно осуществляется на СН, и применяемый способ вновь отличается от стандартной европейской практики. Применяемая система среднего напряжения представляет собой фактически трехфазную четырехпроводную систему, от которой однофазные распределительные сети (линейный и нулевой провода) подают питание на множество однофазных трансформаторов. Вторичные обмотки этих трансформаторов имеют выведенную среднюю точку для получения однофазного трехпроводного питания напряжением 120/240 В. Центральные провода являются нейтральными проводами низковольтной сети, которые вместе с нейтральными проводами сети среднего напряжения глухо заземлены через определенные интервалы вдоль своей длины.

Каждый понижающий трансформатор обычно питает один или несколько домов с прилегающими постройками непосредственно с помощью радиального питающего кабеля (кабелей) или воздушной линии (линий) электропередачи.

В этих странах существует много других систем, но описанная выше является самой распространенной.

На **рис. C4**, приведенном на следующей странице, показаны основные особенности этих двух систем.

1.3 Присоединение потребителей к сети

Ранее устройства ввода и счетчики электроэнергии устанавливались внутри здания потребителя. Современная тенденция состоит в том, чтобы размещать эти устройства вне здания в защищенном шкафу.

В прошлом подземные кабели или настенные изолированные провода от воздушной линии электропередачи неизменно оканчивались внутри помещений потребителя, где устанавливались вводная кабельная коробка, стандартные плавкие предохранители (не доступные для этого пользователя) и счетчики электроэнергии.

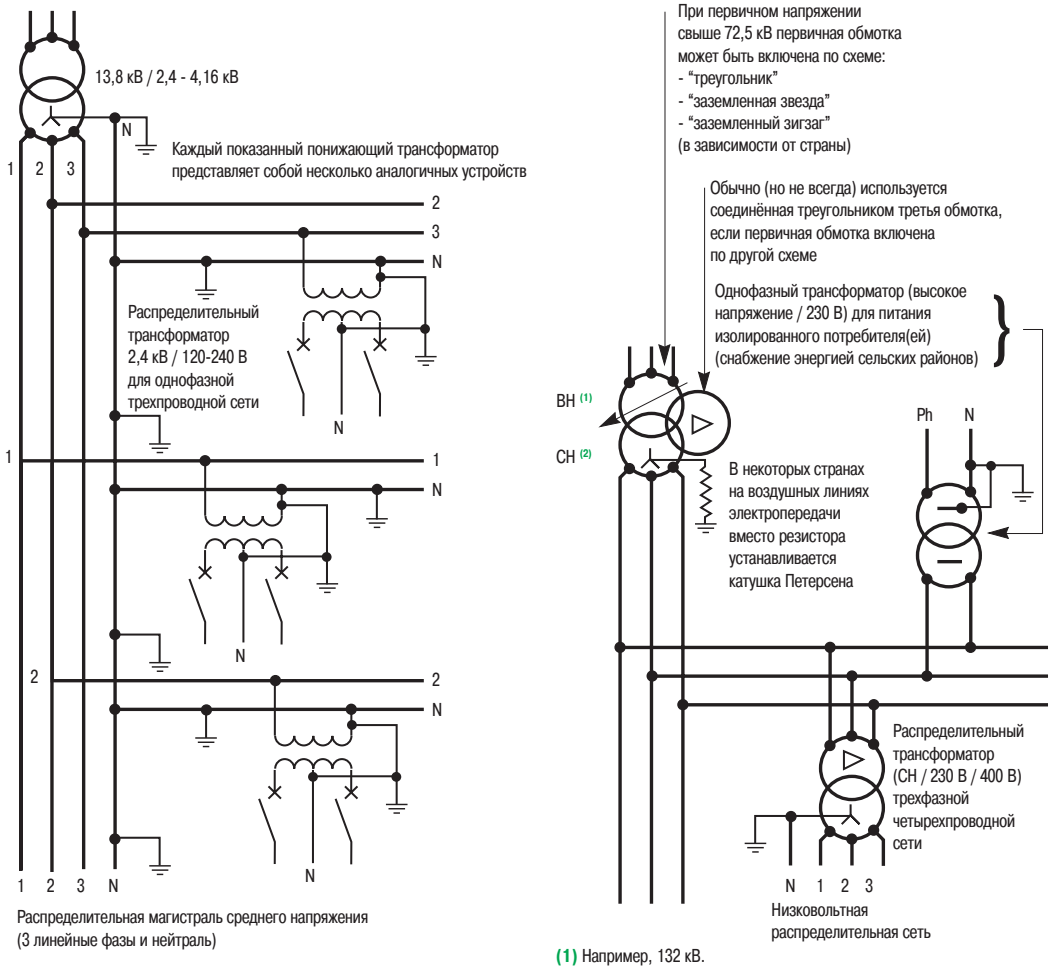
Тенденция последнего времени заключается в размещении этих вводных устройств по возможности в защищенном корпусе вне пределов здания.

Точкой присоединения потребителя к сети электроснабжения часто являются выходные клеммы счетчика(ов) электроэнергии или, в некоторых случаях, выходные клеммы главного автоматического выключателя защиты электроустановки (в зависимости от принятой местной практики), к которым сотрудниками сети энергоснабжения после удовлетворительного испытания и проверки рассматриваемой установки делается подключение.

Типовая схема подключения показана на **рис. C5** на следующей странице.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Низковольтные сети электроснабжения



Примечание: на подстанциях при первичном напряжении свыше 72,5 кВ в некоторых европейских странах первичная обмотка включается по схеме «заземленная звезда», а вторичная – по схеме «треугольник». В этом случае на стороне вторичной обмотки подключается заземляющий реактор со схемой соединения обмоток в зигзаг, нейтраль которого через резистор соединяется с землей.
Часто такой заземляющий реактор имеет вторичную обмотку для обеспечения этой подстанции низковольтным трехфазным питанием. В этом случае его называют «заземляющим трансформатором».

Рис. C4. Широко применяемые американские и европейские системы подключения потребителей к сети электроснабжения

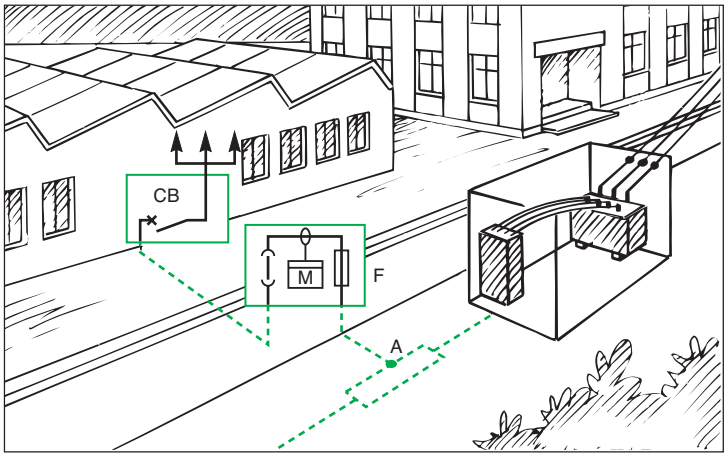


Рис. C5. Типовая схема подключения потребителей для систем с заземлением типа TT

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Низковольтные сети электроснабжения

Низковольтные потребители обычно снабжаются электроэнергией по системам TN или TT, описанным в главах E и F. Главный автомат защиты электроустановки, питающейся от системы TT, должен обязательно включать в свой состав устройство защиты от тока утечки на землю. При использовании системы TN для максимальной токовой защиты требуется выключатель или плавкий предохранитель-выключатель нагрузки.

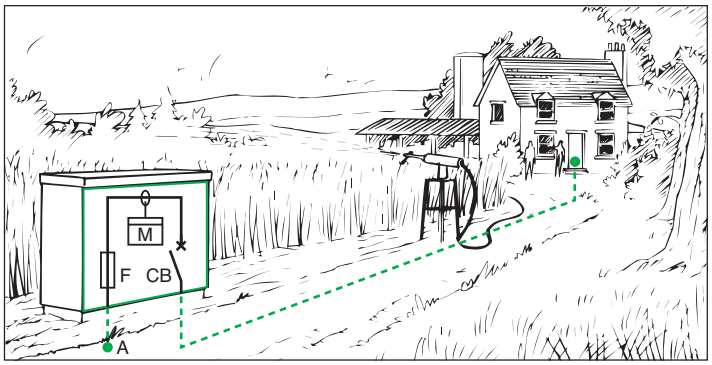
Применение автоматического выключателя в литом корпусе с функцией защиты от токов утечки на землю УЗО (устройство защитного отключения) является обязательным на вводе любой низковольтной электроустановки и является частью системы заземления типа TT. Причины использования этой функции и соответствующие уровни токов утечки, при которых срабатывает выключатель, рассматриваются в пункте 3 главы F.

Еще одной причиной использования такого выключателя в литом корпусе является то, что потребитель не может превысить заявленную им и отраженную в договоре с энергоснабжающей организацией максимальную величину потребляемой мощности, поскольку при превышении установленного уровня устройство защиты от перегрузки, настроенное и опломбированное энергоснабжающей организацией, отключит подачу питания. Включение и отключение выключателя в литом корпусе доступно пользователю без ограничений, поэтому если такой выключатель самопроизвольно сработал при перегрузке или из-за неисправности бытового электроприбора, питание может быть быстро восстановлено после устранения причины аномального отключения.

Для удобства и потребителя и контролера, считывающего показания счётчиков электроэнергии, счетчики размещают в настоящее время:

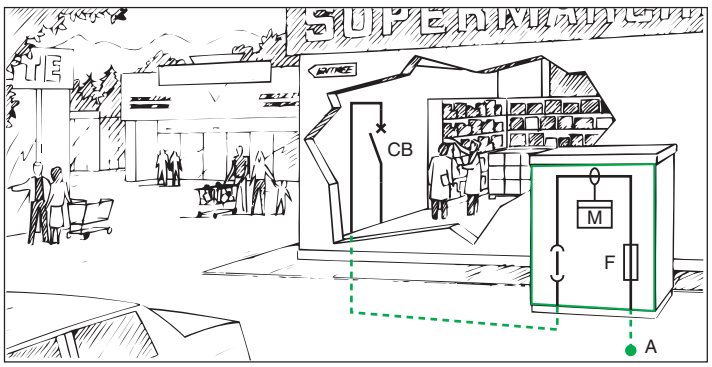
- в отдельно стоящей будке, закрепленной на столбе (**рис. C6** и **D7**);
- внутри здания, но при этом кабельный ввод и плавкие предохранители, устанавливаемые энергоснабжающей организацией, должны располагаться в установленном «заподлицо» защищенном шкафу, к которому возможен доступ со стороны дороги общего пользования (см. **рис. C8** на следующей странице);
- в защищенном шкафу, установленном вертикально на металлической раме в палисаднике или «заподлицо» на стене-ограде и доступном для уполномоченного персонала со стороны тротуара.

На **рис. C9** показана общая схема, в которой отключение цепи обеспечивается съемными плавкими вставками.



Для такого типа электроустановки часто требуется размещать главный автомат защиты на некотором расстоянии от места использования электроэнергии, например, лесопилки, насосных станций и т.п.

Рис. C6. Типовая электроустановка сельского типа

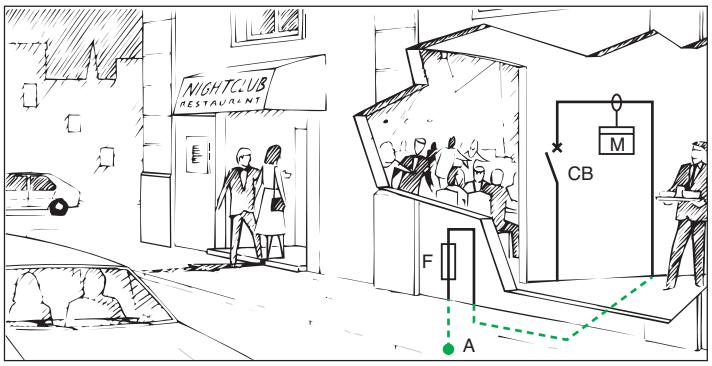


Главный автомат защиты установки располагается на территории домовладения в случаях, когда он настроен на срабатывание при превышении заявленной величины потребляемой мощности

Рис. C7. Электроустановки полугородского типа (торговые центры и др.)

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Низковольтные сети электроснабжения



Питающий кабель заканчивается в установленном «заподлицо» настенном шкафу, где находятся разъединительные плавкие вставки, к которым возможен доступ со стороны дороги. Этот метод предпочтителен по эстетическим причинам, когда потребитель может обеспечить удобное расположение счетчика и главного автомата защиты.

Рис. C8. Подключение электроустановок в центре города

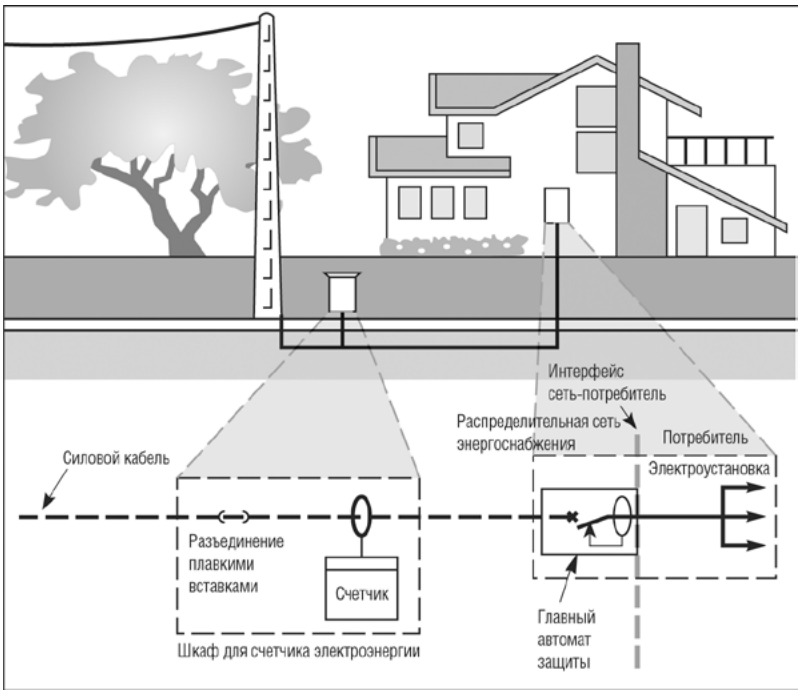


Рис. C9. Типовая схема подвода низковольтного питания к частным потребителям

В области электронного учета электроэнергии для энергоснабжающих организаций были разработаны эффективные методы измерения количества потребленной электроэнергии и выставления потребителям счетов на оплату потребленной электроэнергии. При этом либерализация рынка увеличила потребности в сборе большего объема данных со счетчиков. Например, системы электронного измерения могут также помочь энергоснабжающим компаниям понять графики потребления энергии потребителями. Аналогично, они будут полезны для развития связи по ЛЭП и радиоканалам.

Если это экономически обосновано, применяются также системы предоплаты. Такие системы основаны на том, что потребители, сделавшие предоплату в специальных пунктах приема платежей, получают электронные карточки, с помощью которых информация, касающаяся этого платежа, передается на счетчики. Судя по всему, к настоящему времени основные вопросы для этих систем – безопасность и эксплуатационная совместимость – успешно решены. Привлекательность таких систем заключается в том, что они заменяют не только счетчики, но и системы выставления счетов, а также считывание показаний счетчиков контролерами и контроль за сбором платежей.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Низковольтные сети электроснабжения

Необходимый уровень напряжения на входных клеммах питания потребителя важен для успешной работы оборудования и бытовых приборов. Фактические значения тока и соответствующие потери напряжения в типовой низковольтной сети показывают важность поддержания высокого коэффициента мощности как способа снижения потерь напряжения.

1.4 Качество поставляемой электроэнергии

В самом широком смысле качество электроэнергии в низковольтной распределительной сети означает:

- соответствие нормативным требованиям в отношении величины напряжения и частоты;
- отсутствие недопустимых колебаний и отклонений напряжения;
- бесперебойное снабжение электроэнергией, за исключением отключений на плановое техническое обслуживание или отключений, вызванных системными неисправностями или другими чрезвычайными ситуациями;
- сохранение формы кривой напряжения, близкой к синусоидальной.

В данном подразделе будет рассмотрено только поддержание величины напряжения, остальные вопросы обсуждаются в подразделе 1.3 главы E.

В большинстве стран органы, отвечающие за электроснабжение, обязаны поддерживать уровень напряжения на входных клеммах потребителей в пределах ±5% (или в некоторых случаях ±6% и больше – см. **рис. C1**) от заявленного номинального значения.

И вновь МЭК и большинство национальных стандартов рекомендуют, чтобы низковольтные приборы проектировались и испытывались на функционирование при изменениях напряжения в пределах ±10% от номинального значения. Это оставляет запас в 5% на самые худшие условия допустимой потери напряжения в сети электроустановки (например, –5% на входных клеммах).

Отклонения напряжения в типовой системе распределения электроэнергии происходят следующим образом: напряжение на клеммах СН понижающего трансформатора обычно поддерживается в пределах диапазона ±2% с помощью автоматических переключателей (под нагрузкой) отпаек трансформаторов на подстанциях, питающих эту сеть СН от распределительной сети более высокого напряжения.

Если рассматриваемый понижающий трансформатор расположен вблизи подстанции, эти 2% диапазона отклонений напряжения могут приходиться на уровень, превышающий номинальную величину СН. Например, в системе 20 кВ напряжение может составлять 20,5 кВ ±2%. В этом случае в распределительном понижающем трансформаторе переключатель отпаек должен быть установлен в положение +2,5%.

И наоборот, в местах, удаленных от подстанций, возможна величина напряжения 19,5 кВ ±2%, и в этом случае переключатель отпаек должен быть установлен в положение –5%.

Разные уровни напряжения в системе допустимы и зависят от схемы перетоков мощности. Кроме того, эти различия являются причиной использования термина «номинальное» применительно к напряжению в системе.

Практическое применение

Если на понижающем трансформаторе правильно установлен переключатель отпаек, напряжение на выходе ненагруженного трансформатора будет поддерживаться в пределах ±2% от его выходного напряжения холостого хода.

Для того чтобы нагруженный трансформатор мог поддерживать необходимый уровень напряжения, выходное напряжение холостого хода должно быть максимально возможным, но не превышать верхний предел +5% (эта величина взята для примера). В современной практике соотношение обмоток трансформатора обычно дает выходное напряжение холостого хода около 104% от номинального значения[(1)], если к обмотке СН прикладывается номинальное напряжение, или оно корректируется регулятором коэффициента трансформации в соответствии с описанным выше способом. В рассматриваемом случае это приведет к диапазону изменения напряжений от 102 до 106%.

Типовой трансформатор низковольтной распределительной сети имеет напряжение короткого замыкания – $U_k\% = 5\%$. Если предположить, что его активная составляющая напряжения имеет 0,1 от этой величины, то потеря напряжения в таком трансформаторе при полной нагрузке и коэффициенте мощности 0,8 составит:

Потеря напряжения (%) = $R\% \cos\varphi + X\% \sin\varphi = 0{,}5 \times 0{,}8 + 5 \times 0{,}6 = 0{,}4 + 3 = 3{,}4\%$.

При этом диапазон напряжений на выходных клеммах полностью нагруженного трансформатора составит от (102 – 3,4) = 98,6% до (106 – 3,4) = 102,6%.

Тогда максимально допустимая потеря напряжения на распределительном кабеле составит: 98,6 – 95 = 3,6%.

В практическом смысле это означает, что в трехфазной четырехпроводной распределительной сети напряжением 230/400 В кабель средних размеров с медными жилами сечением 240 мм^2 сможет обеспечить питание суммарной электрической нагрузки 292 кВА (при коэффициенте мощности 0,8), распределенной равномерно по длине кабеля на 306 м. Или же может быть обеспечено питание такой же нагрузки, расположенной на территории одного потребителя на расстоянии 153 м от трансформатора при такой же потере напряжения и т.д.

Интересно, что согласно расчетам, приведенным в стандарте МЭК 60287 (1982 г.), максимальная мощность, передаваемая таким кабелем, составляет 290 кВА, и поэтому диапазон допустимых напряжений в 3,6% не является чрезмерно ограничительным, т.е. такой кабель может полностью нагружаться для передачи мощности на расстояния, обычно требуемые в низковольтных распределительных системах.

Кроме того, коэффициент мощности 0,8 соответствует промышленным нагрузкам. В смешанных полупромышленных районах типовым является значение этого коэффициента 0,85, а для расчетов применительно к жилым районам обычно используется значение 0,9. Поэтому приведенная выше потеря напряжения может рассматриваться как худший случай.

(1) Трансформаторы, спроектированные в соответствии со стандартом МЭК на напряжение 230/400 В будут иметь выходное напряжение холостого хода 420 В, т.е. 105% от номинального напряжения.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Тарифы и учет электроэнергии

В данном Руководстве не рассматриваются конкретные тарифы, поскольку в мире действуют столько же различных тарифов, сколько энергоснабжающих компаний.

Некоторые из тарифов очень сложные по структуре, но определенные элементы являются для всех них общими и направленными на то, чтобы стимулировать потребителей к контролю потребления и снижения стоимости, производства, передачи и распределения.

Имеются два основных метода, которые позволяют снизить стоимость электроэнергии, поставляемой потребителям:

- снижение потерь энергии при ее производстве, передаче и распределении; в принципе, минимальные потери в энергосистеме достигаются тогда, когда все ее компоненты функционируют при коэффициенте мощности, равном 1;
- снижение пикового спроса на электроэнергию при одновременном увеличении спроса в периоды низкого энергопотребления, благодаря чему обеспечивается более полное использование генерирующей установки и минимизируется степень ее резервирования.

Снижение потерь

Хотя оптимальное условие, указанное выше в первом способе снижения стоимости электроэнергии, не может быть реализовано на практике, многие структуры тарифов основаны частично как на величине максимума нагрузки кВА, так и на потребленных кВт·ч. Поскольку при заданной нагрузке в кВт·ч минимальное значение кВА имеет место при коэффициенте мощности, равном единице, то потребитель может минимизировать свои затраты на оплату энергии, приняв меры по повышению коэффициента мощности своей нагрузки (этот вопрос рассматривается в главе K). Максимум нагрузки кВА, обычно используемый для тарифных целей, представляет собой наибольшее, среднее за фиксированный промежуток времени (обычно 10, 30 или 60 минут) значение нагрузки в кВА, имевшее место в течение каждого расчетного периода. Этот принцип описан ниже в подразделе «Принцип учета максимального потребления электроэнергии».

Снижение пикового спроса на электроэнергию

Вторая цель, т.е. снижение пикового спроса на электроэнергию при одновременном увеличении спроса в периоды низкого энергопотребления, привела к появлению тарифов, которые предлагают существенное снижение стоимости электроэнергии:

- в определенные часы в течение суток;
- в определенные периоды года.

Простейшим примером является бытовой потребитель с водонагревателем накопительного типа (или комнатным электрообогревателем накопительного типа). Датчик электроэнергии имеет два цифровых регистра, один из которых работает днем, а другой (переключаемый таймером) – ночью. Контактор, управляемый этим таймером, замыкает цепь питания водонагревателя, и потребление им электроэнергии показывается регистром, к которому применяется сниженный тариф. Этот нагреватель может быть включен и выключен в любое время в течение дня, но учет энергии будет проводиться по обычному тарифу. Крупные промышленные потребители могут иметь три или четыре тарифа, действующие в разные периоды суток, и аналогичное число тарифов для разных периодов года. В таких схемах соотношение стоимости киловатт в час в периоды максимального и минимального спроса в течение года может достигать 10:1.

Счетчики энергии

Следует отметить, что для реализации этого вида учета с использованием традиционного электромеханического оборудования необходимы высококачественные приборы и устройства. К настоящему времени внедрены в эксплуатацию последние разработки в области электронного учета, микропроцессоров и дистанционного управления[(1)] из диспетчерского центра энергоснабжающей организации (призванного изменить распределение периодов пикового потребления по времени, на протяжении года и др.). Это позволило значительно облегчить применение рассмотренных выше принципов.

Как отмечалось выше, в большинстве стран некоторые тарифы частично основаны на учете не только потребленных киловатт в час, но и потребленной полной мощности (кВт·ч) в течение расчетных (обычно трехмесячных) периодов. Максимальное потребление полной мощности, зафиксированное счетчиком, который будет описан далее, представляет собой фактически максимальное среднее количество кВА, зафиксированное в последующие интервалы на протяжении расчетного периода, т.е. максимум нагрузки в кВА.

(1) Система дистанционного управления представляет собой систему управления, в которой на соответствующих подстанциях в низковольтную сеть подается ток звуковой частоты (обычно 175 Гц). Этот сигнал передается в виде кодированных импульсов. В системе используются реле, настроенные на эту частоту сигнала и распознающие используемый код, которые срабатывают и инициируют выполнение требуемой функции. Предусмотрены до 960 дискретных управляющих сигналов.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Тарифы и учет электроэнергии

На **рис. C10** показана типовая кривая спроса на электроэнергию для двухчасового периода, разделенного на 10-минутные интервалы. Счетчик измеряет среднее значение кВА в течение каждого из этих 10-минутных интервалов.

Рис. C10. Максимальное среднее значение мощности за двухчасовой период

Принцип учета максимального потребления электроэнергии

Счетчик кВА·ч во многом аналогичен счетчику кВт·ч потребленной энергии с той разницей, что в нем соотношение фаз тока и напряжения было изменено с тем, чтобы он измерял кВА·ч. Кроме того, вместо набора шкал декадных датчиков, используемых в обычном счетчике электроэнергии, данный прибор оснащен вращающимся стрелочным указателем. Когда этот указатель поворачивается, он измеряет кВА·ч, перемещая перед собой красный индикатор. По окончании 10 минут стрелочный указатель поворачивается на определенную часть шкалы (он спроектирован так, что не сможет совершить полный оборот за 10 минут), а затем электрически сбрасывается в нулевое положение, чтобы начать новый 10-минутный цикл. Красный индикатор остается в положении, которое было достигнуто измерительным указателем, и это положение соответствует количеству кВА·ч, потребленных нагрузкой в течение 10 минут. Вместо шкалы, градуированной в кВА·ч, можно использовать градуировку в единицах средней мощности (кВА). Эта ситуация поясняется ниже.

Предположим, что точка, в которой остановился красный индикатор, соответствует 5 кВА·ч. Известно, что в течение 10 мин, т.е. 1/6 часа, имели место потоки реактивной мощности.

Если теперь 5 кВА·ч разделить на количество часов, то можно получить среднее количество кВА за этот период.

В данном случае среднее количество кВА за указанный период составит:

$$5 \cdot \frac{1}{\frac{1}{6}} = 5 \cdot 6 = 30 \text{ кВА}$$

Каждая точка шкалы будет аналогичным образом градуирована, т.е. среднее величина кВА будет в шесть раз больше, чем величина кВА·ч для данной точки. Аналогичное рассуждение можно применить к любому другому интервалу времени возврата указателя в исходное положение.

В конце расчетного периода красный индикатор будет находиться в максимальном из всех средних значений, зафиксированных за рассматриваемый отчетный период.

В начале каждого расчетного периода красный индикатор возвращается в нулевое положение. Описанные выше электромеханические счетчики в настоящее время быстро заменяются электронными приборами. Однако, основные принципы измерения, используемые в этих электронных счетчиках, остались такими же, что и описанные выше.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

Глава D

Руководство по выбору архитектуры сети среднего и низкого напряжения

1 Основные положения проектирования D2

2 Упрощение процесса проектирования D3
2.1 Процесс проектирования ... D3
2.2 Полный процесс ... D4

3 Характеристики электроустановки D6

4 Технические характеристики D10

5 Критерии оценки архитектуры D11

6 Выбор основных элементов D13
6.1 Подключение к питающей сети ... D13
6.2 Конфигурация схемы среднего напряжения ... D15
6.3 Количество и расстановка трансформаторных подстанций среднего/низкого напряжения ... D16
6.4 Количество трансформаторов среднего/низкого напряжения ... D16
6.5 Резервный генератор среднего напряжения ... D16

7 Выбор структурных элементов D17
7.1 Компоновка ... D17
7.2 Централизованная или децентрализованная (распределенная) компоновка ... D18
7.3 Использование резервных генераторов низкого напряжения ... D20
7.4 Использование источников бесперебойного питания (ИБП) ... D21
7.5 Конфигурация цепей низкого напряжения ... D21

8 Выбор оборудования D24

9 Рекомендации по оптимизации архитектуры D25

10 Глоссарий D29

11 Пример: электроснабжение типографии D30

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Основные положения проектирования

Выбор структуры распределительной сети

Эта глава посвящена структуре электротехнического проектирования для средних и больших зданий. Несмотря на различные типы зданий (офис, гостиница, промышленность, жилье и т.д.) проектирование в электротехнической сфере опирается на основные принципы, с практическими соображениями, описанные в этой главе.

Выбор структуры распределительной сети оказывает решающее влияние на характеристики установки в течение ее жизненного цикла:

- Начиная со стадии строительства, такой выбор может оказывать значительное влияние на сроки монтажа, производительность, требуемую квалификацию монтажных бригад и т.д.
- Кроме того, такой выбор оказывает влияние на показатели на стадии эксплуатации, такие как качество и бесперебойность энергоснабжения, критические нагрузки, потери мощности в силовых цепях.
- И наконец, он влияет на возможность утилизации установки в конце ее срока службы.

Проектирование структуры распределительной электросети включает в себя пространственную конфигурацию, выбор источников питания, определение уровней распределения, создание однолинейной схемы и выбор оборудования.
Выбор оптимальной структуры часто связан с поиском компромисса между критериями эффективности, представляющими интерес для заказчика, который будет эксплуатировать установку на этапах ее жизненного цикла. Чем раньше начинается поиск решений, тем больше возможностей оптимизации можно найти (см. **рис. D1**).

Эти темы стали частью стандарта МЭК 60364 главы 8 (МЭК 60364-8-1: Электроустановки низковольтные – энергоэффективность).

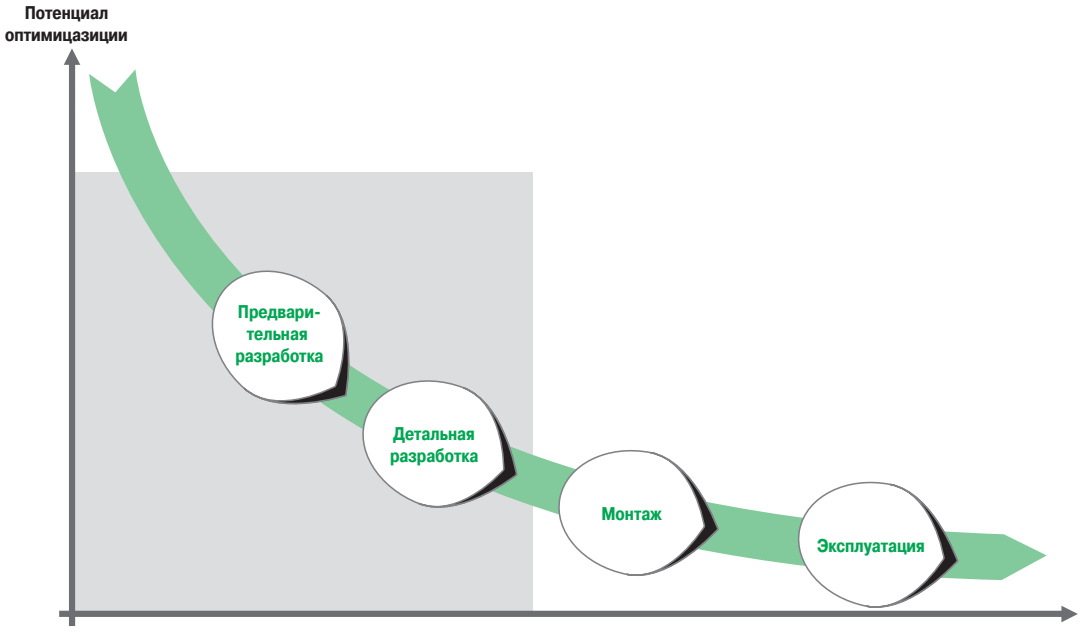


Рис. D1. Потенциал оптимизации

Успех поиска оптимального решения в значительной степени связан с возможностью обмена информацией между участниками процесса разработки разделов проекта:

- архитектор, который определяет строительную организацию согласно требованиям пользователя;
- разработчики технических разделов (освещение, отопление, кондиционирование воздуха, водоснабжение и т.д.);
- представители пользователя, например, определяющие техпроцесс.

В следующих разделах описываются критерии выбора, а также процесс проектирования структуры в соответствии с критериями эффективности проекта в контексте зданий производственного назначения и сферы услуг (исключая крупные объекты).

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Упрощение процесса проектирования

2.1 Процесс проектирования

Процесс проектирования, рассматриваемый в данном документе, относится к этапу технического проекта (см. **рис. D3**). Как правило, он включает в себя уровни главного распределения среднего/низкого напряжения, низковольтное распределение и уровень потребления (см. **рис. D2**).

В зданиях все потребители подключены к низкому напряжению. Это означает, что распределение по среднему напряжению состоит из:

- подключения к питающей сети;
- распределения на подстанции СН/НН;
- самой подстанции СН/НН.

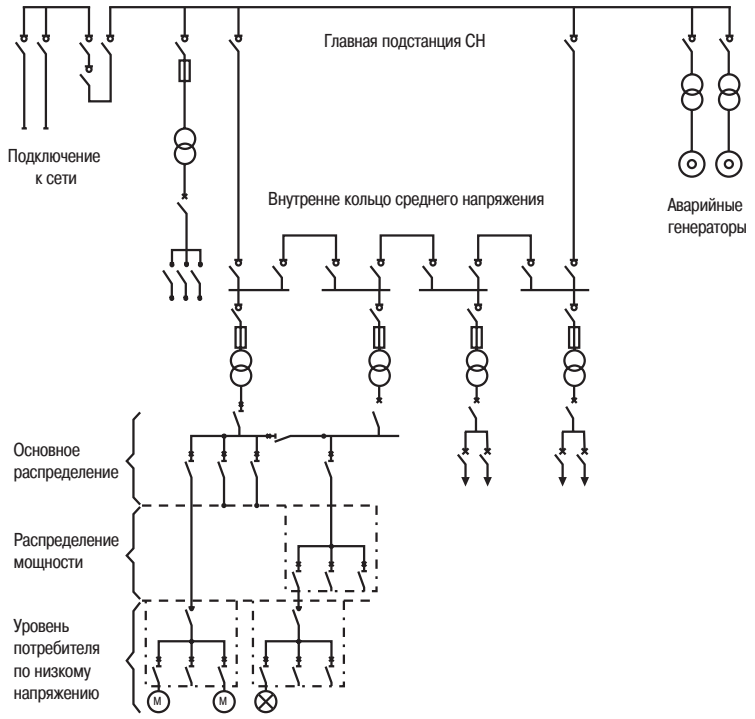


Рис. D2. Пример однолинейной схемы

Структура проектирования распределительной сети может быть описана в виде 3-этапного итерационного процесса. Этот процесс учитывает характеристики установки и критерии, которым необходимо соответствовать.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Упрощение процесса проектирования

2.2 Полный процесс

Полный процесс описывается кратко в следующих разделах и показан на **рис. D3**.

Процесс, описываемый в данном документе, нельзя считать единственно возможным. Этот документ является руководством, предназначенным для использования проектировщиками электроустановок.

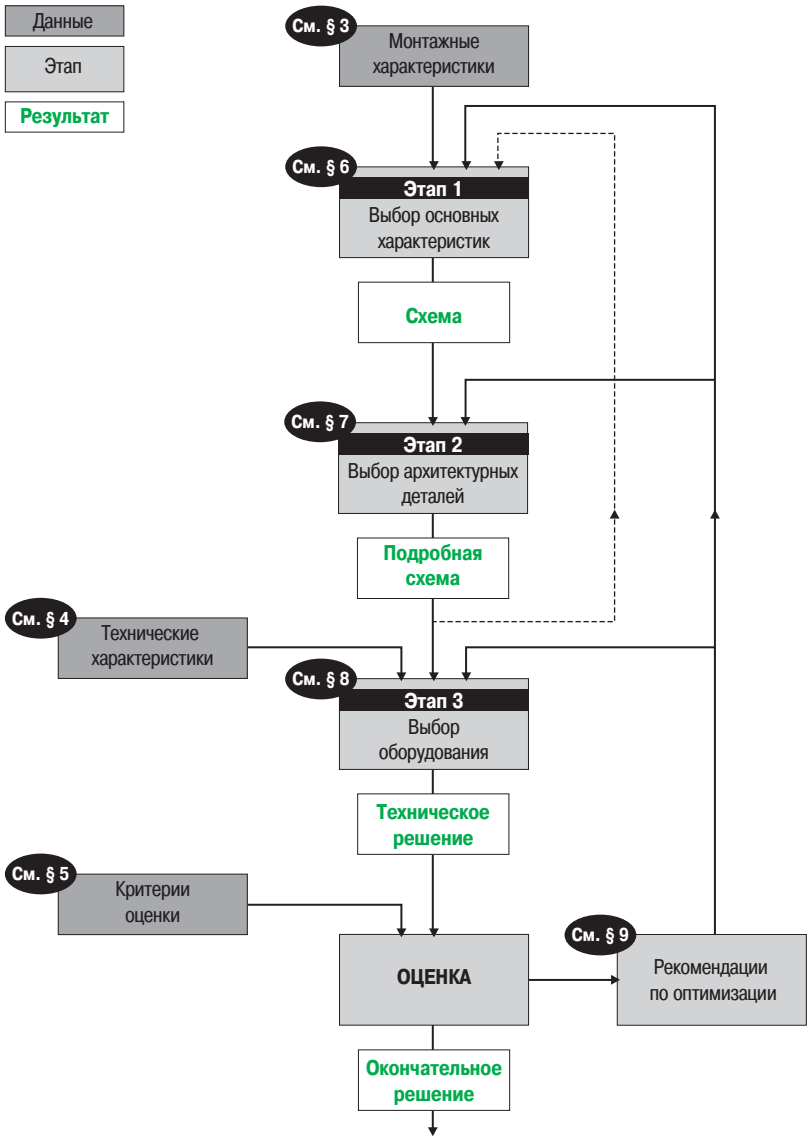


Рис. D3. Блок-схема выбора архитектуры электрической распределительной сети

Этап 1: Выбор основных характеристик структуры электрической распределительной сети

Этот этап включает в себя определение общих характеристик электроустановки и основан на учете ее макроскопических характеристик и использования.

Такие характеристики влияют на соединение с питающей сетью, цепями среднего напряжения, числом трансформаторных подстанций и т.д.

Результатом этого этапа является несколько решений по схемам распределения, которые используются в качестве исходной точки для разработки однолинейной схемы. Окончательный выбор делается в конце второго этапа.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Упрощение процесса проектирования

Этап 2: Выбор структуры

Этот этап включает в себя более детальное определение электроустановки и основывается на результатах предыдущего этапа, а также на критериях, касающихся внедрения и эксплуатации установки.
Если критерии не удовлетворены, процесс возвращается назад, на этап 1. Итерационный процесс обеспечивает анализ нескольких комбинаций критериев оценки.
Результатом этого этапа является детальная однолинейная схема электроснабжения.

Этап 3: Выбор оборудования

На этом этапе осуществляется выбор оборудования на основе смоделированной схемы электроснабжения на предыдущих этапах. Выбор производится по каталогам изготовителей электрооборудования с целью удовлетворения определенных критериев. Если характеристики выбранного оборудования не соответствуют критериям, процесс возвращается на этап 2.

Оценка

Этап оценки позволяет проектно-конструкторскому бюро получить требуемые данные в качестве основы для обсуждения с заказчиком и другими участниками.
По результатам таких обсуждений может потребоваться вернуться назад на этап 1, 2 или 3.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Характеристики электроустановки

Основные характеристики установки, которые позволяют определить основные элементы и детали архитектуры распределительной электрической сети. Для каждой из таких характеристик мы предоставляем ее определение и различные категории или возможные значения.

3.1 Секторы деятельности

Определение:

В данной главе представлены основные определения, приведенные в п. 3.4 стандарта МЭК 60364-8-1 (ГОСТ Р 50571.8.1-2018).

Жилые дома

- Помещения, сконструированные и предназначенные для проживания

Коммерческие здания

- Помещения, сконструированные и предназначенные для коммерческой деятельности (1)

Промышленные помещения

- Помещения, сконструированные и предназначенные для выполнения процессов производства и переработки (2)

Инфраструктура

- Системы или помещения, спроектированные и предназначенные для транспортных и сопутствующих операций (3)

3.2 Топология объекта

Определение:

Архитектурные характеристики зданий с учетом количества зданий и этажей, а также площади каждого этажа.

Категории:

- Одноэтажное здание
- Многоэтажное здание
- Комплекс зданий
- Высотное здание

3.3 Компоновка

Определение:

Характеристики, учитывающие ограничения по размещению электрооборудования в здании:

- эстетика;
- доступность;
- наличие специальных мест;
- использование технических коридоров (на этаж);
- использование технических каналов (вертикальных).

Категории:

- Низкий уровень: положение электрооборудования полностью задано и определяет заданные критерии
- Средний уровень: положение электрооборудования частично задано и должно учитываться при удовлетворении заданных критериев
- Высокий уровень: без ограничений по положению – положение электрооборудование может определяться с обеспечением оптимального удовлетворения заданных критериев

(1) Примеры коммерческих зданий: офисы, объекты розничной торговли, общественные здания, банки, гостиницы.
(2) Примеры промышленных зданий: фабрики, мастерские, логистические центры.
(3) Примеры инфраструктуры: аэропорты, порты, железнодорожные и транспортные объекты.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Характеристики электроустановки

3.4 Надежность питания

Определение:

Способность энергосистемы обеспечивать энергоснабжение при указанных условиях в течение определенного периода времени.

Категории:

- Минимальный уровень: этот уровень надежности питания включает в себя риск перебоев электропитания в связи с ограничениями, которые носят географический характер (отдельная сеть, удаленность от центров производства энергии), технический (воздушная сеть, сложно замкнутая сеть) или экономический характер (недостаточное техобслуживание, недостаточная выработка энергии)
- Стандартный уровень
- Улучшенный уровень: этот уровень надежности питания может достигаться посредством специальных мер, принимаемых для снижения вероятности перебоев питания (подземная сеть, оптимальное резервирование, аварийные генераторы и т.д.)

3.5 Ремонтопригодность

Определение:

Характеристики, учитываемые при проектировании для ограничения влияния работ по техобслуживанию на работу всей установки или ее части.

Категории:

- Минимальный уровень: установка должна останавливаться для выполнения операций по техническому обслуживанию
- Стандартный уровень: работы по техническому обслуживанию могут проводиться при работе установки, но при пониженных рабочих характеристиках. Такие работы рекомендуется планировать на периоды низкой нагрузки. Пример: несколько трансформаторов с раздельным резервированием и сбросом нагрузки
- Улучшенный уровень: принимаются специальные меры для обеспечения проведения технического обслуживания без нарушения режимов работы установки. Пример: конфигурация с двумя симметричными вводами

3.6 Гибкость установки

Определение:

Возможность легко изменять точки подачи электроэнергии в установке или легко увеличивать мощность, подаваемую в определенные точки. Гибкость является критерием, учитываемым на предпроектной стадии.

Категории:

- Отсутствие гибкости: фиксированное положение нагрузок в течение жизненного цикла из-за ограничений, связанных со строительством или обеспечиваемым производственным процессом. Например: плавильный завод
- Гибкость в проектировании: количество точек подачи электроэнергии, мощность нагрузок или их положение точно неизвестны
- Гибкость во внедрении: нагрузки могут устанавливаться после ввода установки в эксплуатацию
- Эксплуатационная гибкость: возможность изменения нагрузок при изменении техпроцесса

Примеры:

- производственное здание: расширение, разветвление и изменение целевого использования;
- административное здание: разветвление.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Характеристики электроустановки

3.7 Потребляемая мощность

Определение:

Максимальная мощность (кВА) и полная мощность необходимы для определения габаритов электроустановки (для получения дополнительной информации см. главу A раздел 4):
- < 630 кВА
- 630 – 1250 кВА
- 1250 – 2500 кВА
- > 2500 кВА

3.8 Распределение нагрузки

Определение:

Характеристика, связанная с равномерностью распределения нагрузки (кВА/м^2) по области или зданию.

Категории:

- Равномерное распределение: ЭП имеют, как правило, невысокую мощность и распределены по площади здания (равномерная плотность).

Например: освещение, отдельные автоматизированные рабочие места
- Неравномерное распределение: ЭП имеют, как правило, среднюю мощность и сгруппированы по всей площади здания.

Например: сборочные машины, транспортеры, автоматизированные рабочие места, модульные объекты МТО
- Локализованные нагрузки: ЭП имеют, как правило, высокую мощность и локализованы в нескольких местах здания.

Например: системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.

3.9 Чувствительность к отключениям питания

Определение:

Способность цепи выдерживать перебои питания.

Категории:

- «Неответственная» цепь: возможность отключения в любое время на неопределенный период
- Цепь со стойкостью к длительным отключениям: время перерыва > 3 минут (*)
- Цепь со стойкостью к коротким отключениям: время перерыва < 3 минут (*)
- Цепь с отсутствием стойкости к отключениям

По возможным последствиям можно выделить несколько уровней опасности перерыва питания:
- Отсутствие значительных последствий
- Производственные потери
- Ухудшение работы производственного оборудования или потеря важных данных
- Смертельная опасность

Классификация по критичности перерыва питания нагрузок или цепей.
- Нулевая критичность

Нагрузка или цепь может «сбрасываться» в любое время. Например: цепь подогрева воды для бытового потребления.
- Низкая критичность

Перерыв питания приводит к временным неудобствам для жильцов дома без каких-либо финансовых последствий. Продолжительный перерыв свыше критического времени может приводить к производственным потерям или снижению производительности. Например: системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (HVAC).
- Средняя критичность

Перерыв питания приводит к кратковременному перерыву в производстве или обслуживании. Продолжительный перерыв свыше критического времени может приводить к ухудшению работы производственного оборудования или затратам по перезапуску. Например: холодильные установки, лифты.
- Высокая критичность

Любое прерывание питания вызывает смертельную опасность или неприемлемые финансовые потери. Например: операционная, информационный отдел, отдел безопасности.

* Ориентировочное значение по стандарту EN50160 "Характеристики напряжения, подаваемого через распределительные сети общего пользования".

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Характеристики электроустановки

3.10 Чувствительность к помехам

Определение:

Способность цепи работать надлежащим образом в присутствии помех от силовых линий электропередачи. Помехи могут приводить к нарушениям работы различной степени. Например: остановка работы, неправильная работа, ускоренное старение, повышение потерь и т.д.
Типы помех с влиянием на режимы работы цепей:

- перенапряжения;
- искажение кривой напряжения;
- падение напряжения;
- колебания напряжения;
- несимметрия напряжений.

Категории:

- Низкая чувствительность: нарушения по напряжениям питания оказывают малое влияние на режимы работы.

Например: нагревательный прибор.

- Средняя чувствительность: нарушения по напряжению вызывают значительное ухудшение режимов работы.

Например: электродвигатели, осветительные приборы.

- Высокая чувствительность: нарушения по напряжению могут вызывать остановку работы или даже ухудшение рабочих характеристик оборудования.

Например: информационное оборудование.
Чувствительность цепей к помехам определяет схему разделяемых или специальных силовых цепей. Лучше отделить «чувствительные» нагрузки от «нарушающих» нагрузок. Например: отделение осветительных цепей от цепей питания электродвигателей. Такой выбор зависит от рабочих характеристик.
Например: отдельное питание осветительных цепей для обеспечения учета потребления электроэнергии.

3.11 Способность цепей создавать помехи

Определение:

Способность электрической цепи нарушать работу соседних цепей из-за таких явлений, как гармоники, броски тока, несимметрия, токи высокой частоты, электромагнитное излучение и т.д.

Категории:

- Не вызывают нарушений: не требуется принятие специальных мер.
- Вызывают умеренные или случайные нарушения: может потребоваться отдельный источник питания при наличии цепей со средней или высокой чувствительностью к помехам. Например: осветительная цепь, генерирующая гармонические токи.
- Вызывают сильные нарушения: необходима специальная силовая цепь или меры по снижению помех для устранения нарушений работы установки. Например: электродвигатель с большим пусковым током, сварочный аппарат, создающий резко переменную нагрузку.

3.12 Другие меры или ограничения

- Специальные правила

Например: больницы, высотные здания и т.д.

- Нормы электроснабжающей организации

Пример: ограничения по подсоединению к сетям низкого напряжения, доступу к подстанции среднего напряжения и т.д.

- Подсоединяемые нагрузки

Нагрузки, подсоединяемые к двум независимым источникам.

- Опыт проектирования

Согласование с предыдущими конструкциями или частичное использование предыдущих конструкций, стандартизация узлов, наличие установленного оборудования.

- Ограничения по питанию нагрузок

Уровень напряжения (230, 400, 690 В), система напряжений (1 фаза, 3 фазы с нейтралью или без нее и т.д.).

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Технические характеристики

Рассматриваемые технические решения касаются различных типов оборудования среднего и низкого напряжения, а также систем сборных шин.
Выбор технических решений осуществляется на основе выбора однолинейной схемы и в соответствии с характеристиками, приводимыми ниже.

4.1 Окружающая среда, атмосфера

Учет всех ограничений, связанных с окружающей средой (средняя температура окружающей среды, высота над уровнем моря, влажность, коррозия, пыль, удар и т.д.) и согласование степеней защиты IP и IK.
Категории:
- Стандартный уровень: без особых ограничений по окружающей среде.
- Улучшенный уровень: неблагоприятные условия и параметры окружающей среды вводят значительные ограничения для устанавливаемого оборудования.
- Специальный уровень: нестандартные условия окружающей среды, требующие специальных мер.

4.2 Сервисный показатель

Сервисный показатель (IS) – это значение, которое позволяет охарактеризовать распределительное устройство низкого напряжения по требованиям пользователя к работе, техобслуживанию и расширяемости. Он обеспечивает эффективное определение распределительных щитов в соответствии со стандартом МЭК 61439-1 (2) (ГОСТ IEC 61439-1-2013 и ГОСТ Р МЭК 61439.2-2012) и, подразделяются по следующим критериям:
- Будущее развитие.
- Техническое обслуживание.
- Требования к устройствам.

Сервисный показатель характеризуется оценками от 1 до 3, которые отражают:
- Уровень требований к устройствам.
- Уровень необходимого технического обслуживания.
- Уровень необходимого будущего развития.

Уровни представлены в **рис. D4**

	Рабочий (1): первый номер	**Техническое обслуживание (2): второй номер**	**Будущее развитие (3): третий номер**
Уровень 1	Может потребоваться полное отключение распределительного устройства.	Может потребоваться полное отключение распределительного устройства	Может потребоваться полное отключение распределительного устройства
Уровень 2	Может потребоваться отключение только функционального блока (4)	Может потребоваться отключение только функционального блока (4) с работой на соединениях	Может потребоваться отключение только функционального блока (4) с работой резервных функциональных блоков
Уровень 3	Может потребоваться отключение питания только функционального блока (4)	Может потребоваться отключения только функционального блока (4) без работы на соединениях	Может потребоваться отключение только функционального блока (4). Не требует предварительного оборудование запасных функциональных блоков

Рис. D4. Определение значений сервисного показателя

4.3 Другие факторы

Другие факторы, влияющие на выбор технических решений:
- Опыт проектирования
- Согласование с предыдущими конструкциями или частичное использование предыдущих конструкций
- Стандартизация узлов
- Существование установленного оборудования
- Требования энергосистем общего пользования
- Технические критерии: заданный коэффициент мощности, резервное питание нагрузок, присутствие генераторов гармоник и т. д.

Эти факторы должны учитываться на этапе детального проектирования электрической сети после предпроектной стадии.

(1) Работа: совокупность действий на распределительном щите, которые могут быть выполнены неэлектротехническим персоналом.
(2) Обслуживание: касается действий по контролю, диагностике, техническому обслуживанию, ремонту, капитальному ремонту, выполняемых электротехническим персоналом.
(3) Будущее развитие: адаптация оборудования путем добавления устройства, увеличение спроса на электроэнергию.
(4) Функциональный блок: подмножество устройств НН, включая все механические и электрические части, предназначенные для выполнения определенной функции, например: ввод, главный фидер, собственные нужды и т.д.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Критерии оценки архитектуры

Определенные решающие критерии оцениваются в конце этапа 3 при определении архитектуры для проверки ее выбора. Эти критерии перечисляются ниже с указанием присвоенных уровней приоритета.

5.1 Длительность монтажа

Время монтажа электрооборудования на объекте.

Уровни приоритета:

- Вторичный уровень: время работы на объекте может увеличиваться, если это позволяет снизить общие монтажные затраты.
- Специальный уровень: необходимо минимизировать время работы на объекте без значительных дополнительных затрат.
- Критический уровень: время работы на объекте должно быть сокращено, даже если это приводит к повышению общих затрат на монтаж.

5.2 Воздействие на окружающую среду

Ограничения, которые учитывают воздействие на окружающую среду при проектировании установки. Такой учет включает в себя потребление природных ресурсов, тепловые потери (связанные с выбросами CO_2), возможность утилизации в течение жизненного цикла установки.

Уровни приоритета:

- Незначимый уровень: ограничения, накладываемые окружающими условиями, не требуют особого учета.
- Минимальный уровень: установка проектируется с учетом минимальных нормативных требований.
- Значимый уровень: установка проектируется с особым вниманием к охране окружающей среды (энергосберегающие здания, экологически чистые строения и т.д.)

Воздействие установки на окружающую среду определяется посредством анализа жизненного цикла установки, в котором выделяются 3 этапа:

- монтаж;
- эксплуатация;
- завершение срока службы (демонтаж, утилизация).

По воздействию на окружающую среду при проектировании электроустановки необходимо учитывать не менее 3 показателей. Хотя определенный этап жизненного цикла вносит вклад во все три показателя, каждый их этих показателей связан, главным образом, с одним этапом, в частности:

- потребление природных ресурсов на этапе строительства (сталь, медь, алюминий);
- потребление энергии на этапе эксплуатации (потери мощности в течение всего периода эксплуатации);
- возможность утилизации влияет на завершение срока службы (наличие опасного материала, количество изоляционного материала).

В следующей таблице приводятся факторы, вносящие вклад в 3 экологических показателя (**рис. D5**).

Показатели	Факторы
Потребление природных ресурсов	Масса и тип проводниковых материалов (медь, сталь, алюминий)
Потребление энергии	Включая потери в проводниках, трансформаторах при полной нагрузке и без нагрузки
Возможность утилизации	Масса и тип изоляционного материалов, наличие опасных материалов

Рис. D5. Предрасполагающие факторы трех экологических показателей

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Критерии оценки архитектуры

5.3 Уровень профилактического технического обслуживания

Определение:

Количество часов и сложность технического обслуживания, проводимого в течение эксплуатации в соответствии с рекомендациями изготовителя для обеспечения надежной работы установки и поддержания уровней качества работы (предотвращение отказов: отключение, простой и т.д.).

Категории:

- Стандартный уровень: согласно рекомендациям изготовителя.
- Улучшенный уровень: согласно рекомендациям изготовителя при неблагоприятных условиях окружающей среды.
- Специальный уровень: специальный план техобслуживания, отвечающий требованиям к обеспечению бесперебойного обслуживания и требующий высокого уровня квалификации обслуживающего персонала.

5.4 Эксплуатационная готовность электроустановки

Определение:

Это вероятность того, что электроустановка способна подавать качественную электроэнергию в соответствии с техническими требованиями питаемых электроприемников. Формула расчета уровня готовности:

Готовность (%) = (1 – MTTR/ MTBF) x 100, где

MTTR – среднее время ремонта: среднее время доведения электроустановки до рабочего состояния после отказа (включая обнаружение причины отказа, ремонт и пусконаладочные работы).

MTBF – средняя наработка на отказ: среднее время, в течение которого электроустановка находится в работоспособном состоянии; измерение этого времени позволяет планировать техническое обслуживание и ремонт.

Определение категории эксплуатационной готовности зависит от типа установки. Например: больницы, центры обработки данных.

Пример классификации, используемой для центров обработки данных:

Уровень 1: электропитание и кондиционирование воздуха осуществляются посредством одного канала без резервирования, что обеспечивает эксплуатационную готовность 99,671%.

Уровень 2: электропитание и кондиционирование воздуха осуществляются посредством одного канала с резервированием, что обеспечивает эксплуатационную готовность 99,741%.

Уровень 3: электропитание и кондиционирование воздуха осуществляются посредством нескольких каналов с одним резервным каналом, что обеспечивает эксплуатационную готовность 99,982%.

Уровень 4: электропитание и кондиционирование воздуха осуществляются посредством нескольких каналов с резервированием, что обеспечивает эксплуатационную готовность 99,995%.

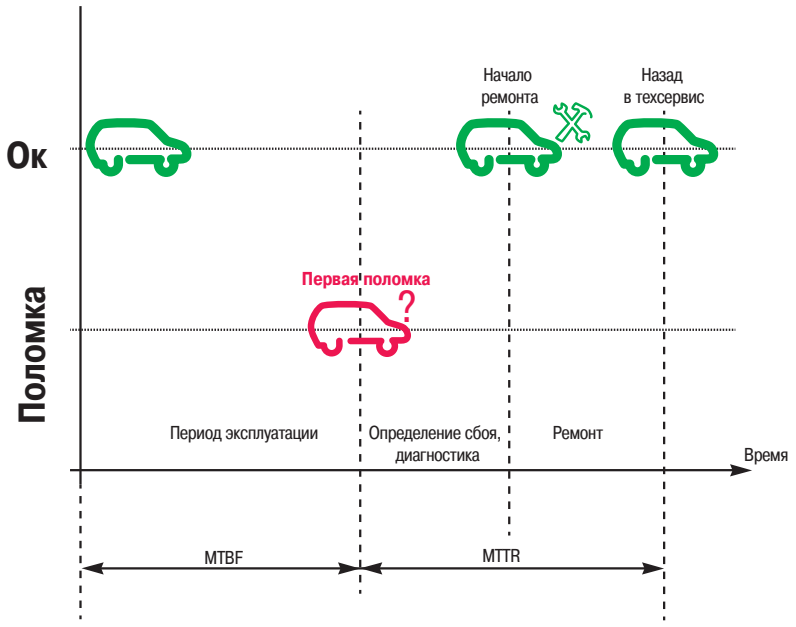


Рис. D6. Определение MTBF и MTTR

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

6 Выбор основных элементов

Однолинейная схема может быть разбита на основные элементы, которые проектируются в 2 последовательных этапа.

■ На первом этапе выполняется:

□ Выбор способа подключения электроустановки к питающей сети

□ Конфигурация цепей среднего напряжения:

- определение количества и расстановка трансформаторных подстанций;
- определение количества силовых трансформаторов;
- определение резервного генератора среднего напряжения.

■ На втором этапе рассматривается принцип электроснабжения низковольтных потребителей.

6.1 Подключение к питающей сети

Возможные решения для подключения установки к питающей сети:

■ Подключение к сети низкого напряжения для установок малой и средней мощности, требующих менее 400 кВА. Контроль за подключением находится под ответственностью местной энергоснабжающей организации.

■ Превышение предела предыдущего, подключение к сети среднего напряжения с измерением значений на сторонах НН и СН. Измерение на стороне НН, как правило, разрешается использовать в установках с одним понижающим трансформатором, в которых номинальная мощность сети не превышает, как правило, около 1250 кВА.

Возможны следующие подключения к питающей СН сети (см. **рис. D8, D9** и **D10**):

□ Одиночная радиальная линия

□ Кольцевая магистраль

□ Двойная магистраль с односторонним питанием

□ Двойная магистраль с двусторонним питанием и двумя секциями шин с секционным выключателем

Два вводных секционных выключателя оснащены автоматическим включением резерва.

Сравнение этих четырех режимов подключения приведены на **рис. D7.**

	Конфигурация				
	Низкое напряжение	Среднее напряжение			
Характеристики		**Одиночная радиальная линия**	**Кольцевая магистраль**	**Двойная магистраль с односторонним питанием**	**Двойная магистраль с двусторонним питанием**
Тип производственной деятельности	Любой	Любой	Любой	Высокие технологии, sensitive office, health-care	Высокочувствительные устройства
Топология объекта	Одно здание	Одно здание	Одно здание	Одно здание	Несколько зданий
Надежность электроснабжения	Минимальный уровень	Минимальный уровень	Стандартный уровень	Улучшенный уровень	Очень высокий уровень
Потребляемая мощность	< 400 кВА	≤ 1250 кВА	Любая	Любая	Любая
Другие ограничения по подключению	Любые	Отдельный объект	Городской район с низкой плотностью застройки	Городской район с высокой плотностью застройки	Такие же ограничения, как и для питающей сети

Рис. D7. Сравнение режимов подключения

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

6 Выбор основных элементов

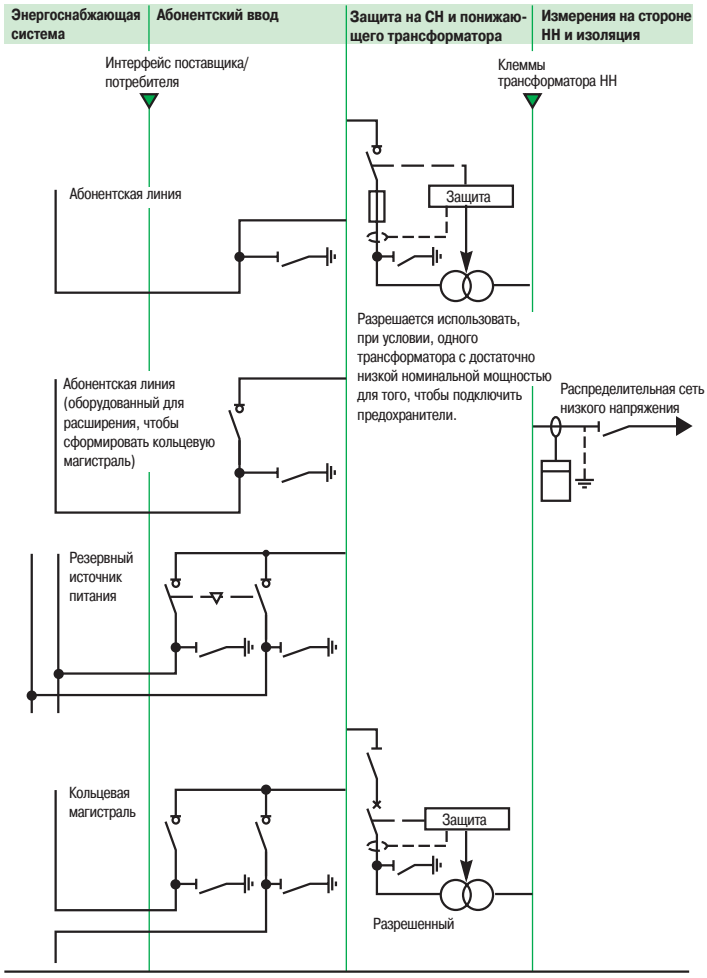


Рис. D8. Подключение к сети СН с измерением на стороне НН

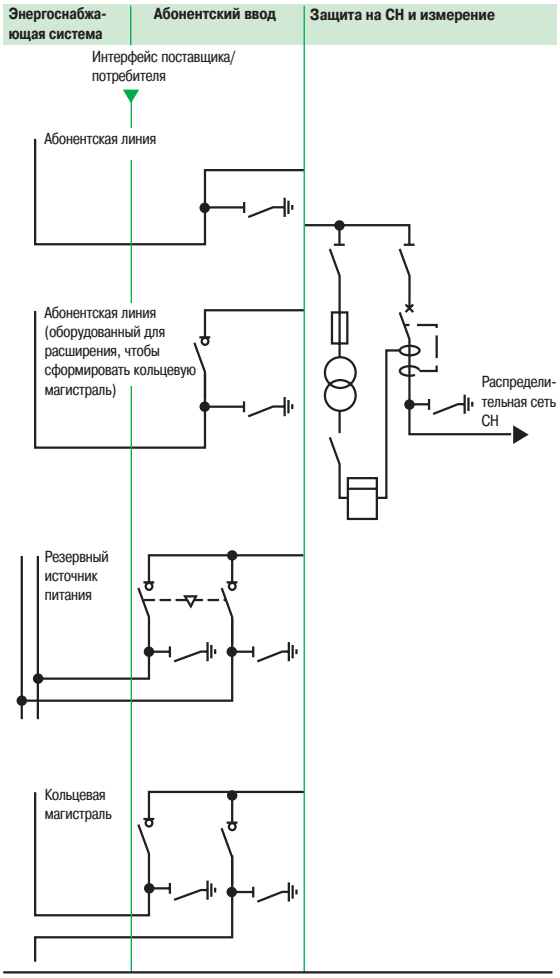


Рис. D9. Подключение к сети СН с измерением на стороне СН

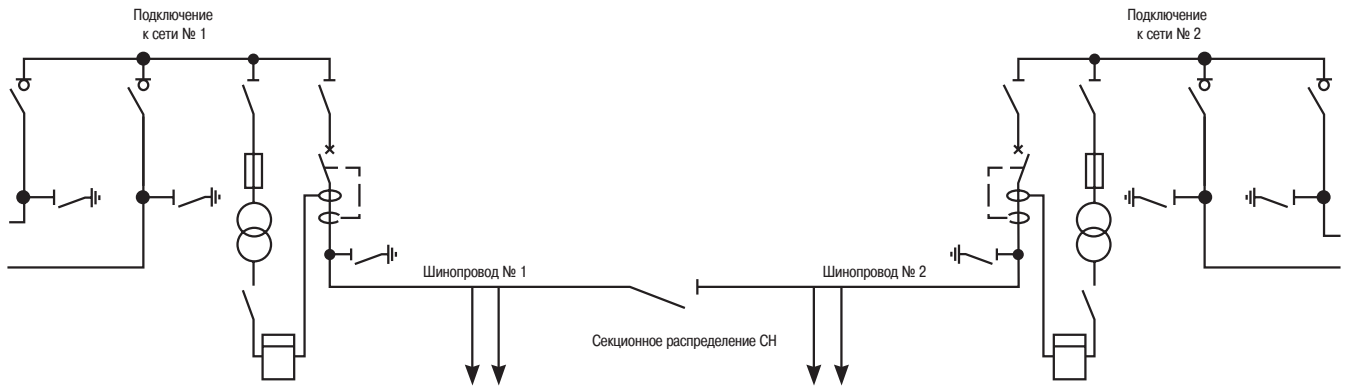


Рис. D10. Двойное подключение к сети СН с измерением на стороне СН

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

6 Выбор основных элементов

6.2 Конфигурация схемы среднего напряжения

Внутренние схемы СН предназначены для электроснабжения подстанций СН/НН . Основные три возможные конфигурации подключения приводятся ниже (**рис. D11**):

- радиальная линия;
- один ввод среднего напряжения;
- два ввода среднего напряжения.

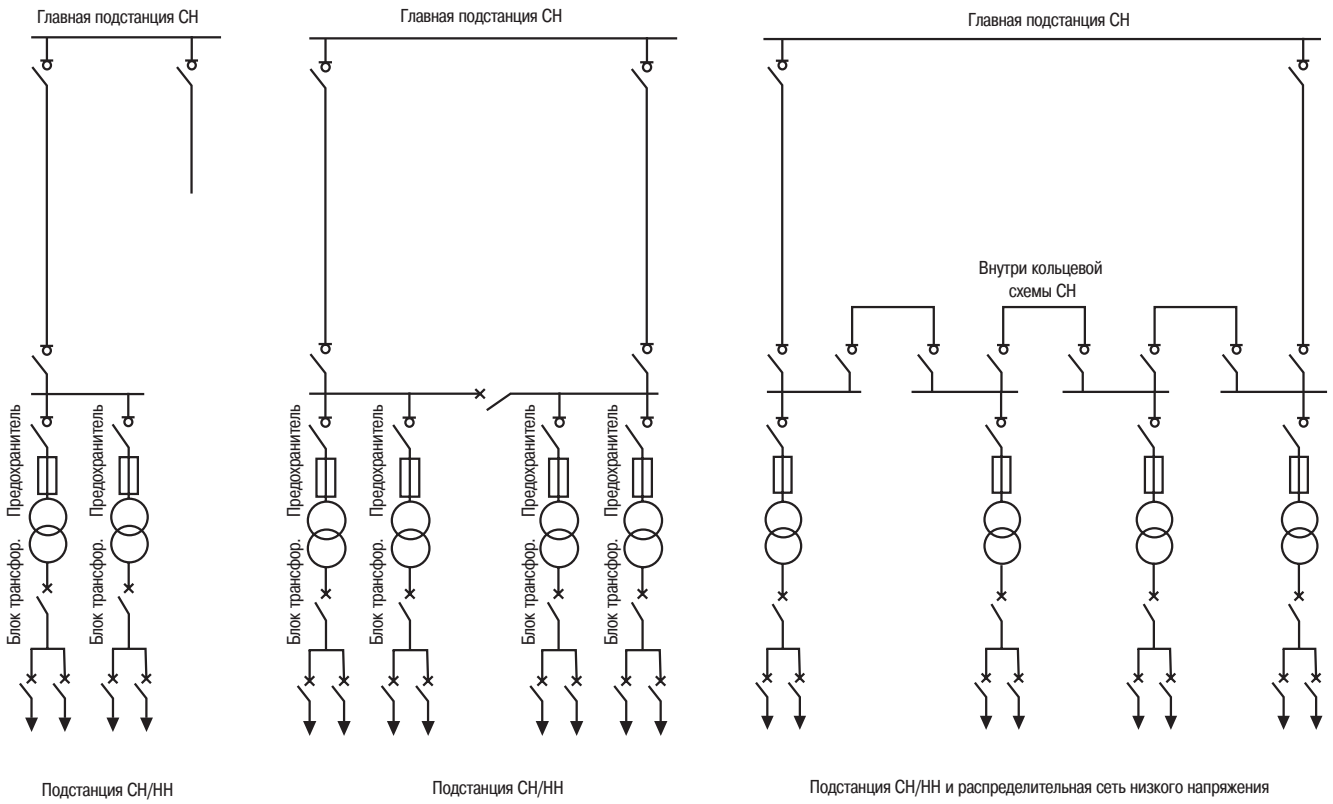


Рис. D11. Радиальная линия, два ввода среднего напряжения, кольцевая схема.

Сравнение этих трех конфигураций подключения приводятся ниже (**рис. D12**).

	Конфигурация схемы среднего напряжения		
Учитываемая характеристика	**Радиальная линия**	**Кольцевая схема**	**Два ввода среднего напряжения**
Топология	Любая	Одно или несколько зданий	Одно или несколько зданий
Потребляемая мощность	Любая	> 1250 кВА	> 2500 кВА
Чувствительность к перерывам питания	Длительные перерывы	Короткие перерывы	Короткие перерывы не приемлемы

Рис. D12. Сравнение конфигураций подключения

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

6 Выбор основных элементов

6.3 Количество и расстановка трансформаторных подстанций среднего/низкого напряжения

Основными критериями для определения количества и расположения трансформаторных подстанций СН/НН являются следующие:
- Количество зданий
- Площадь здания или объекта
- Количество этажей в здании
- Максимальная мощность потребителей
- Потребляемая мощность на единицу площади, этажа, здания
- Чувствительность к прерыванию, необходимость резервирования

Чтобы определить количество и расположение понижающих трансформаторных подстанций, мы можем, указать следующие основные признаки:
- Малый и средний размер здания: одна единственная трансформаторная подстанция СН/НН
- Большое здание: одна или несколько трансформаторных подстанций СН/НН в зависимости от мощности и категории потребителей
- Здание с несколькими этажами: одна или несколько трансформаторных подстанций СН/НН в зависимости от мощности и категории потребителей. Одна трансформаторная подстанция СН/НН может быть предусмотрена для потребителей каждого этажа
- Большой участок с несколькими зданиями: одна трансформаторная подстанция СН/НН может быть предназначена для каждого здания

6.4 Количество трансформаторов среднего/низкого напряжения

Основные характеристики, учитываемые при определении количества силовых трансформаторов, устанавливаемых в подстанций СН/НН:
- Общая установленная мощность электроприемников
- Стандартизация номинальной мощности, чтобы уменьшить количество резервных трансформаторов
- Предел номинальной мощности трансформатора. Рекомендуется устанавливать предел, не более 1250 кВА, с тем чтобы облегчить ремонт и замену трансформаторов
- Расширяемость установки
- Необходимость разделения чувствительных электроприемников от электроприемников, создающих помехи и электрические возмущения
- Необходимо выделить трансформатор для питания нагрузок, чувствительных к провалам напряжения, гармоникам, колебаниям напряжения в электрической сети
- Необходимость частичного резервирования (возможность снижения рабочих характеристик в случае отказа трансформатора) или полное резервирование (обеспечение нормальной работы при отказе трансформатора). При необходимости, устанавливаются два трансформатора, каждый из которых рассчитан на полную нагрузку и оснащен автоматическим переключением резерва
- Нагрузки, требующие специальной системы заземления нейтрали. Например система IT, для обеспечения непрерывности работы в случае короткого замыкания фазы на землю

6.5 Резервный генератор среднего напряжения

Высоковольтные генераторы необходимы для резервирования, когда, в случае отказа основного источника, необходимо обеспечить беспрерывность электроснабжения всех нагрузок или большую часть из них.

Для всех других ситуаций достаточно установить низковольтный генератор.

Основными критериями для установки СН резервных генераторов являются:
- Тип производственной деятельности
- Чувствительность нагрузок к перерывам питания
- Низкая эксплуатационная готовность распределительной сети общего пользования
- Процесс с комбинированным потреблением тепла и электроэнергии
- Оптимизация затрат на электроэнергию

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

7 Выбор структурных элементов

Это второй этап проектирования электроустановки. На этом этапе делается следующий выбор:
- Компоновка
- Централизованное или децентрализованное распределение
- Необходимость использования резервных генераторов
- Необходимость использования источников бесперебойного питания (ИБП)
- Конфигурация сети низкого напряжения
- Архитектурные комбинации

7.1 Компоновка

Схема расположения основного оборудования среднего и низкого напряжения на объекте или в здании. Выбор компоновки применяется к результатам этапа 1.

Рекомендации по выбору:

В соответствии с рекомендациями стандарта МЭК 60364-8-1 (ГОСТ Р 50571.8.1-2018) §6.3 трансформаторная подстанция СН/НН устанавливается в центре электрических нагрузок:
- с учетом условий обслуживания: в специально отведенных помещениях, если условия в цехе накладывают большие ограничения (температура, вибрация, пыль и т.д.);
- размещение тяжелого оборудования (трансформаторы, генераторы и т.д.) вблизи стен или основных выходов для облегчения технического обслуживания.

Пример компоновки приводится на следующей схеме (**рис. D13**):

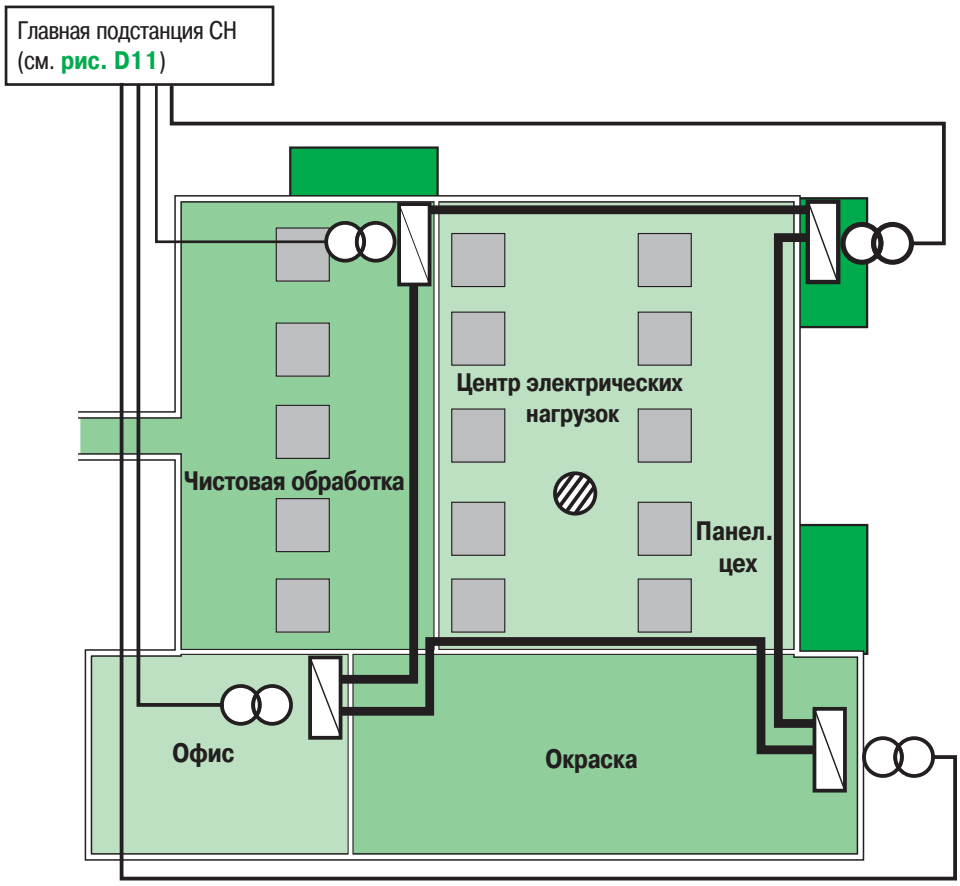


Рис. D13. Положение центра электрических нагрузок служит ориентиром для размещения источников питания

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

7 Выбор структурных элементов

7.2 Централизованная или децентрализованная (распределенная) компоновка

В централизованной компоновке каждый электроприемник подключен непосредственно к источнику питания (**рис. D14**):

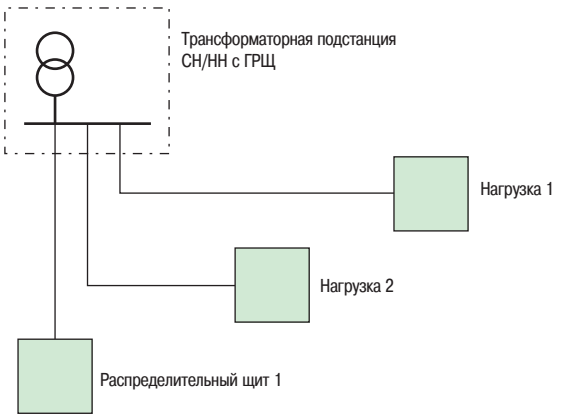


Рис. D14. Пример централизованной компоновки

В децентрализованной компоновке электроприемники подключаются к источникам питания через шинопровод. Данный тип распределения хорошо подходит для питания большого количества нагрузок, которые рассредоточены, что упрощает замену, перемещение или добавление электроприемников (**рис. D15**):

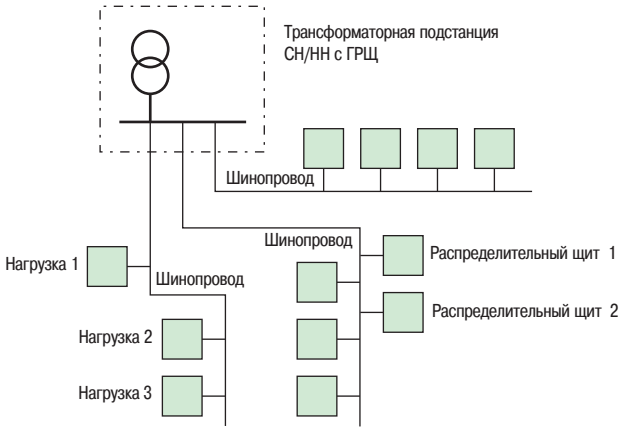


Рис. D15. Пример децентрализованной компоновки с шинопроводами

Характеристики централизованной компоновки (см. сводную таблицу на **рис. D16**):
- гибкость установки: отсутствует;
- распределение нагрузки: локализованные нагрузки (мощные электроприемники).

Характеристики децентрализованной компоновки:
- гибкость установки: гибкость во внедрении (перемещение автоматизированных рабочих мест и т.д.);
- распределение нагрузки: равномерное распределение электроприемников низкой мощности.

Централизованное распределение дает большую независимость цепей, снижая последствия отказа с точки зрения эксплуатационной готовности электроустановки.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

7 Выбор структурных элементов

	Распределение нагрузки		
Гибкость	**Локализованные нагрузки**	**Промежуточное распределение**	**Равномерное распределение**
Отсутствие гибкости	Централизованная		Децентрализованная
Гибкость в проектировании			
Гибкость во внедрении	Централизованная	Децентрализованная	
Эксплуатационная гибкость			

Рис. D16. Рекомендации по выбору централизованной или децентрализованной компоновки

D19

Использование децентрализованной компоновки с шинопроводами позволяет объединять цепи питания нагрузок в одну схему: она позволяет учитывать коэффициент использования (Кс), который способствует экономии на проводнике (см. **рис. D17**). Выбор между централизованной и децентрализованной компоновкой в соответствии с коэффициентом использования позволяет найти экономически оптимальное соотношение между капитальными затратами, затратами на монтаж и эксплуатацию.

Эти два способа распределения часто объединяются.

Основные характеристики, учитываемые при внедрении резервного генератора низкого напряжения:

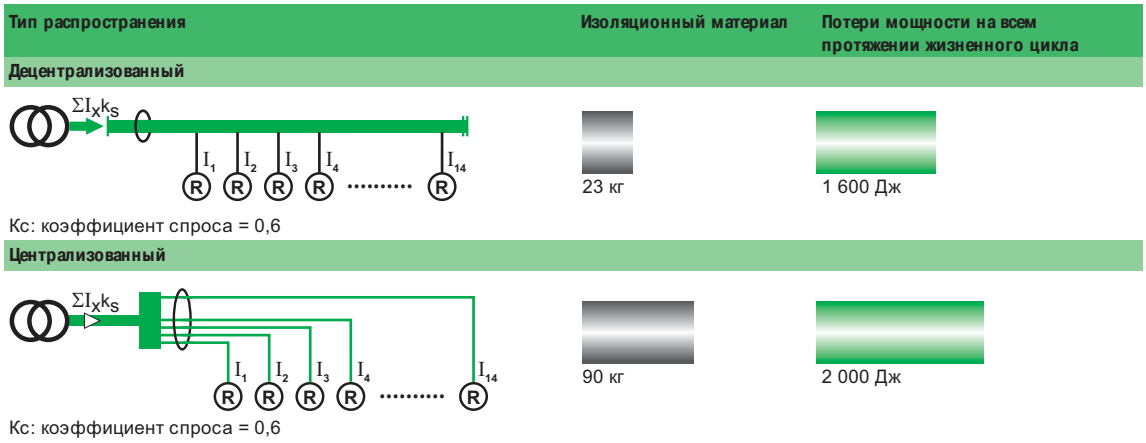


Рис. D17. Пример групповой нагрузки 14 x 25 A на расстоянии до 34 метров (для шинопровода Canalis KS 250A)

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

7 Выбор структурных элементов

7.3 Использование резервных генераторов низкого напряжения (см. **рис. D18**)

Резервный генератор низкого напряжения является объединением генератора переменного тока с механическим приводом от теплового двигателя.

Электроэнергия не может вырабатываться до достижения генератором номинальной скорости.
Поэтому этот тип машины не подходит для обеспечения бесперебойного электропитания.
В зависимости от способности генератора обеспечить питанием всю установку или только ее часть, возможно полное или частичное резервирование.
Как правило, резервный генератор отсоединен от сети. Поэтому необходима система переключения на такой источник питания.
Время резервной работы генератора зависит от количества имеющегося топлива.

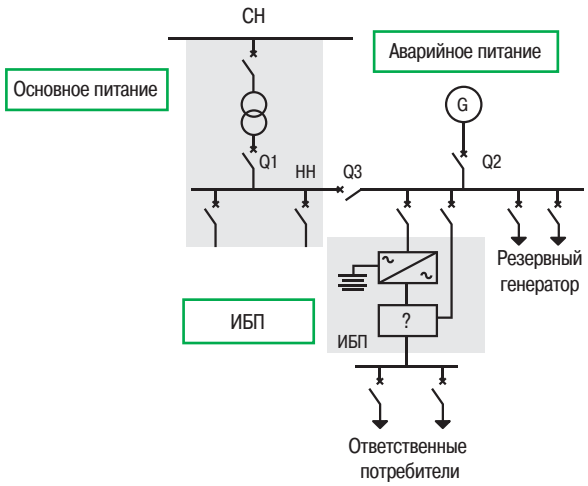


Рис. D18. Подключение резервного генератора

- Чувствительность нагрузок к перерывам питания (подробное описание см. в § 3.9).
- Эксплуатационная готовность распределительной сети общего пользования (подробное описание см. в § 3.4).
- Другие ограничения (например: использование генераторов обязательно в больницах или высотных зданиях).

Генераторы могут использоваться для снижения платежей за электроэнергию или комбинированной выработки тепла и электроэнергии. Эти два аспекта не рассматриваются в данном руководстве.

Использование резервного генератора необходимо, если нагрузки не могут отключаться внезапно на неопределенный период времени (приемлемы только длительные перерывы в электроснабжении), или если сеть энергосистемы имеет низкую эксплуатационную готовность.

Количество необходимых резервных генераторов определяется по тем же критериям, что и число необходимых трансформаторов, а также с учетом экономических факторов и эксплуатационной готовности (резервирование, пусковая надежность, наличие средств технического обслуживания).

Определение необходимой полной мощности, зависит от:

- от нагрузки потребителя;
- переходных процессов, которые могут возникнуть в электрических машинах, например, пускового тока.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

7 Выбор структурных элементов

7.4 Использование источников бесперебойного питания (ИБП)

Энергия, необходимая для работы ИБП, запасается в аккумуляторной батарее или маховике. Эта система позволяет предотвращать перебои в питании. Время работы ИБП ограничено: от нескольких минут до нескольких часов.
Одновременное использование резервного генератора и блока ИБП служит для постоянного питания нагрузок, для которых перебои в питании недопустимы (**рис. D17**). Время работы батареи или маховика должно быть сопоставимо с максимальным временем запуска генератора.
Блок ИБП служит также для питания нагрузок, чувствительных к помехам (генерация «чистого» напряжения независимо от сети).

Основные характеристики, учитываемые при внедрении блока ИБП:
- чувствительность нагрузок к перерывам питания (подробное описание см. в § 3.9);
- чувствительность цепей к помехам (подробное описание см. в § 3.10).

Использование блока ИБП необходимо только в случае недопустимости перебоев в питании.

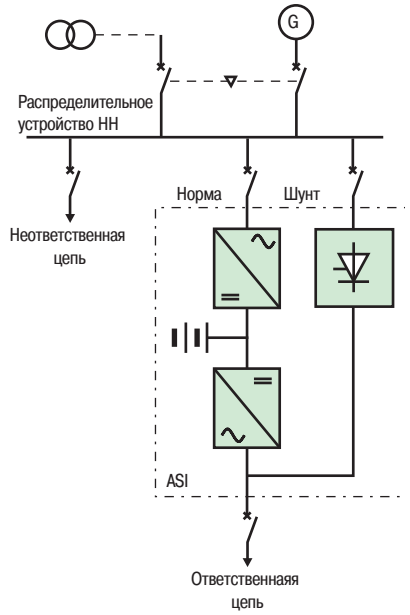


Рис. D19. Пример подключения ИБП

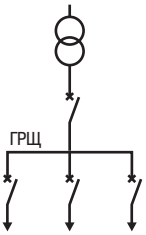


Рис. D20. Конфигурация с радиальной линией

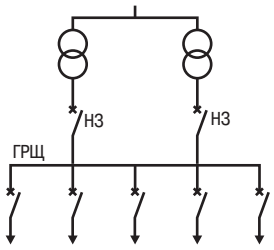


Рис. D21. Двухполюсная конфигурация

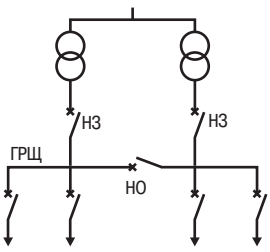


Рис. D22. Двухполюсная конфигурация с перемычкой

7.5 Конфигурация цепей низкого напряжения

Основные возможные конфигурации:
- **Конфигурация с радиальной линией (рис. D20):** это исходная и наиболее простая конфигурация. Нагрузка подсоединяется только к одному источнику. Такая конфигурация обеспечивает минимальный уровень эксплуатационной готовности, так как отсутствует резервирование на случай отказа источника питания.
- **Конфигурация с параллельными трансформаторами (рис. D21):** питание обеспечивается более 1 трансформатора, подсоединенных параллельно к ГРЩ.
- **Конфигурация с параллельными трансформаторами и секционным включателем (рис. D22).** Чтобы повысить эксплуатационную готовность на случай отказа одного ввода или проведения техобслуживания одного из трансформаторов, можно разделить главный распределительный щит (ГРЩ) на 2 секции с использованием перемычки с нормально открытым (НО) секционным выключателем. Как правило, такая конфигурация требует использования устройства автоматического включения резерва (АВР) на секционном выключателе.
Эти две конфигурации чаще применяются, когда требуется подключить нагрузку более 1 МВА.
- **Взаимосвязанные распределительные устройства (рис. D23):** если трансформаторы физически удалены друг от друга, они могут соединяться с помощью шинопроводов. Ответственная нагрузка может запитываться одним или другим трансформатором. Поэтому эксплуатационная готовность повышается, поскольку нагрузка может быть всегда запитана в случае отказа одного из источников. Резервирование может быть:
  - ☐ полным: каждый трансформатор способен питать всю установку;
  - ☐ частичным: каждый трансформатор способен питать только часть установки. В этом случае часть нагрузок должна отключаться (сброс нагрузки) при отказе одного из трансформаторов.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

7 Выбор структурных элементов

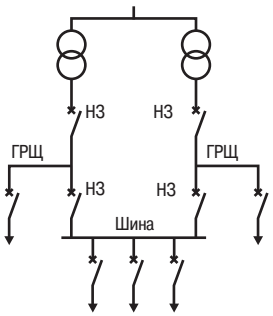


Рис. D23. ГРЩ соединены между собой с помощью шинопроводов

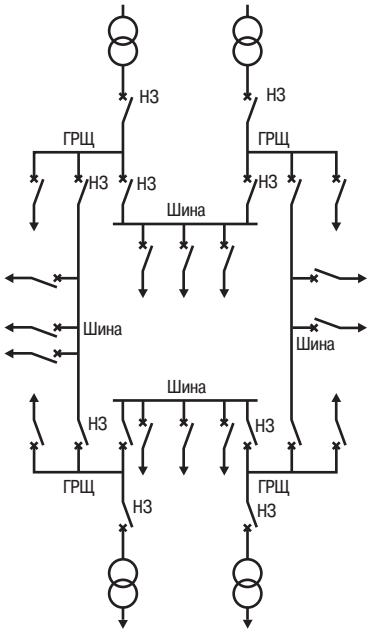


Рис. D24. Кольцевая конфигурация

■ **Кольцевая конфигурация (рис. D24):** эта конфигурация может рассматриваться в качестве расширения конфигурации с соединением между распределительными устройствами. Как правило, четыре трансформатора, подсоединенные к одной линии среднего напряжения, питают кольцевую сеть, образованную шинопроводами. Каждая нагрузка питается несколькими трансформаторами. Такая конфигурация хорошо подходит для установок с высокой плотностью нагрузки (кВА/м^2). Если все нагрузки могут запитываться через 3 трансформатора, то обеспечивается полное резервирование на случай отказа одного из трансформаторов. Фактически, каждый шинопровод может может получать питание с двух сторон. В ином случае необходимо учитывать ухудшение работы (с частичным сбросом нагрузки). Эта конфигурация требует разработки специальной селективной защиты при всех режимах короткого замыкания.

В предыдущей конфигурации этот тип установки обычно используется в автомобильной или обрабатывающей промышленности.

■ **Питание по двум вводам (рис. D25):** эта конфигурация реализуется при необходимости обеспечения максимальной эксплуатационной готовности. Она включает в себя 2 независимых источника питания, например:

- 2 трансформатора, питаемых от разных линий среднего напряжения;
- 1 трансформатор и 1 генератор;
- 1 трансформатор и 1 ИБП.

Устройство АВР используется для предотвращения параллельного подключения источников. Эта конфигурация обеспечивает проведение профилактического техобслуживания всей распределительной электросистемы на стороне питания без остановки производства.

■ **Комбинации конфигураций (рис. D26):** установка может состоять из нескольких блоков с разной конфигурацией в соответствии с требованиями по обеспечению эксплуатационной готовности для разных типов нагрузки. Например: генератор и ИБП, выбор по секциям (некоторые секции с питанием через кабели, а другие – через шинопроводы).

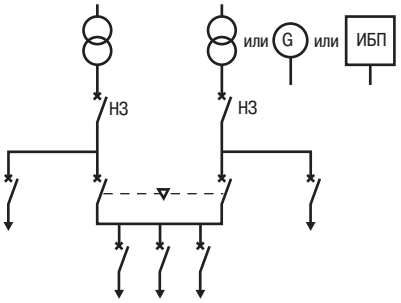


Рис. D25. Конфигурация с двумя вводами и устройством АВР

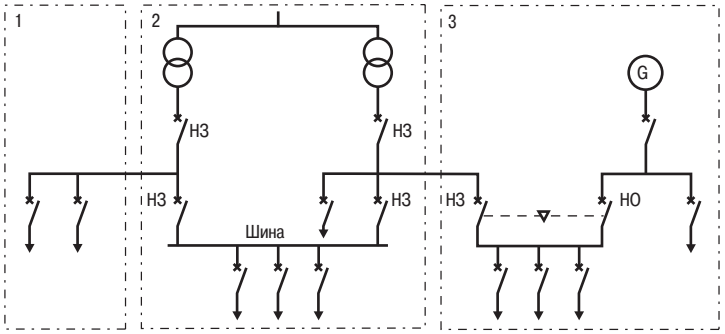


Рис. D26. Пример комбинации конфигураций
1 – радиальная линия, 2 – соединение распределительных устройств, 3 – с двумя вводами

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

7 Выбор структурных элементов

Наиболее вероятный и стандартный набор характеристик для различных возможных конфигураций приводится в следующей таблице:

Характеристика	Конфигурация				
	Конфигурация с радиальной линией (рис. D20)	**Параллельный трансформатор или трансформаторы соединены через перемычку (рис. D21-D22)**	**ГРЩ соединены между собой с помощью шинопроводов (рис. D23)**	**Кольцевая**	**С двумя вводами**
Топология объекта	Любая	Любая	Уровень 15- 25000 м^2	Уровень 15-25000 м^2	Любая
Потребляемая мощность	< 2500 кВА	Любая	⩾1250 кВА	>1250 кВА	Любая
Высота установки	Любая	Любая	Средняя или высокая	Средняя или высокая	Любая
Распределение нагрузки	Локализованные нагрузки	Локализованные нагрузки	Среднее или равномерное распределение	Среднее или равномерное распределение	Локализованные нагрузки
Ремонтопригодность	Минимальный уровень	Стандартный уровень	Стандартный уровень	Стандартный уровень	Улучшенный уровень
Чувствительность к помехам	Низкая	Высокая	Высокая	Высокая	Высокая

Рис. D27. Рекомендации по конфигурации цепей низкого напряжения

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

8 Выбор оборудования

Оборудование выбирается на этапе 3 при проектировании электроустановки. Цель этого этапа состоит в выборе оборудования по каталогам изготовителей. Выбор технических решений основан на выборе архитектуры.

Перечень оборудования:

- Подстанция среднего/низкого напряжения
- Распределительные устройства среднего напряжения
- Трансформаторы
- Распределительные устройства низкого напряжения
- Шинопроводы
- Блоки ИБП
- Устройства для компенсации реактивной мощности и фильтрации
- Генераторы

Учитываемые критерии:

- Условия эксплуатации (наличие воды, пыли и т.д.)
- Наличие мощности, в том числе сервисный показатель для ГРЩ
- Безопасность (для людей, использующих или эксплуатирующих электроустановку)
- Местные нормативные акты
- Область размещения
- Возможность закупки оборудования в стране
- Требования к энергоснабжению
- Учет предыдущих шагов проектирования

Выбор оборудования зависит, главным образом, от возможности его закупки в стране. Этот критерий учитывает наличие определенного ассортимента или местной технической поддержки.

Детальный выбор оборудования выходит за рамки данного документа.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

9 Рекомендации по оптимизации архитектуры

Эти рекомендации предназначены для проектировщиков и служат для усовершенствования архитектуры и критериев оценки.

9.1 Работы на объекте

Чтобы выдерживать сроки «специальных» или «критических» работ на объекте, рекомендуется минимизировать факторы неопределенности с помощью следующих рекомендаций:
- Используйте проверенные решения и оборудование, проверенное и испытанное изготовителем («функциональное» распределительное устройство или распределительное устройство «изготовителя» в зависимости от значимости устройства для электроустановки).
- Используйте оборудование, для которого имеется надежная система поставки и местная техническая поддержка (организованная поставщиком).
- Используйте оборудование заводского изготовления (подстанция среднего/низкого напряжения, шинопроводы), позволяющее сократить объем работ на объекте.
- Используйте однотипное оборудование (например, трансформаторы одинаковой мощности).
- Используйте оборудование одного изготовителя.

9.2 Воздействие на окружающую среду

Оптимизация влияния на окружающую среду включает в себя следующее:
- Снижение нагрузочных потерь мощности и потерь холостого хода в течение эксплуатации установки.
- Снижение массы материалов, используемых для изготовления установки.

В применении к отдельной единице оборудования эти две цели могут показаться несовместимыми. Однако, при рассмотрении установки в целом можно разработать архитектуру, удовлетворяющую обеим целям. Оптимальная установка не является суммой отдельных оптимальных единиц оборудования, а результатом оптимизации установки в качестве целостной системы. **Рисунок D28** показывает вклад каждой категории оборудования в массу и рассеивание энергии для установки мощностью 3500 кВА, рассредоточенной на площади свыше 10000 м^2.
- В среднем установка работает при 50% нагрузке, с коэффициентом мощности 0,8.
- Установка работает 6500 часов в год: 3 смены + снижение активности в ночное время и на выходных, полная остановка на 1 месяц в год для обслуживания.
- Потребление энергии составляет 9,1 ГВт в год.

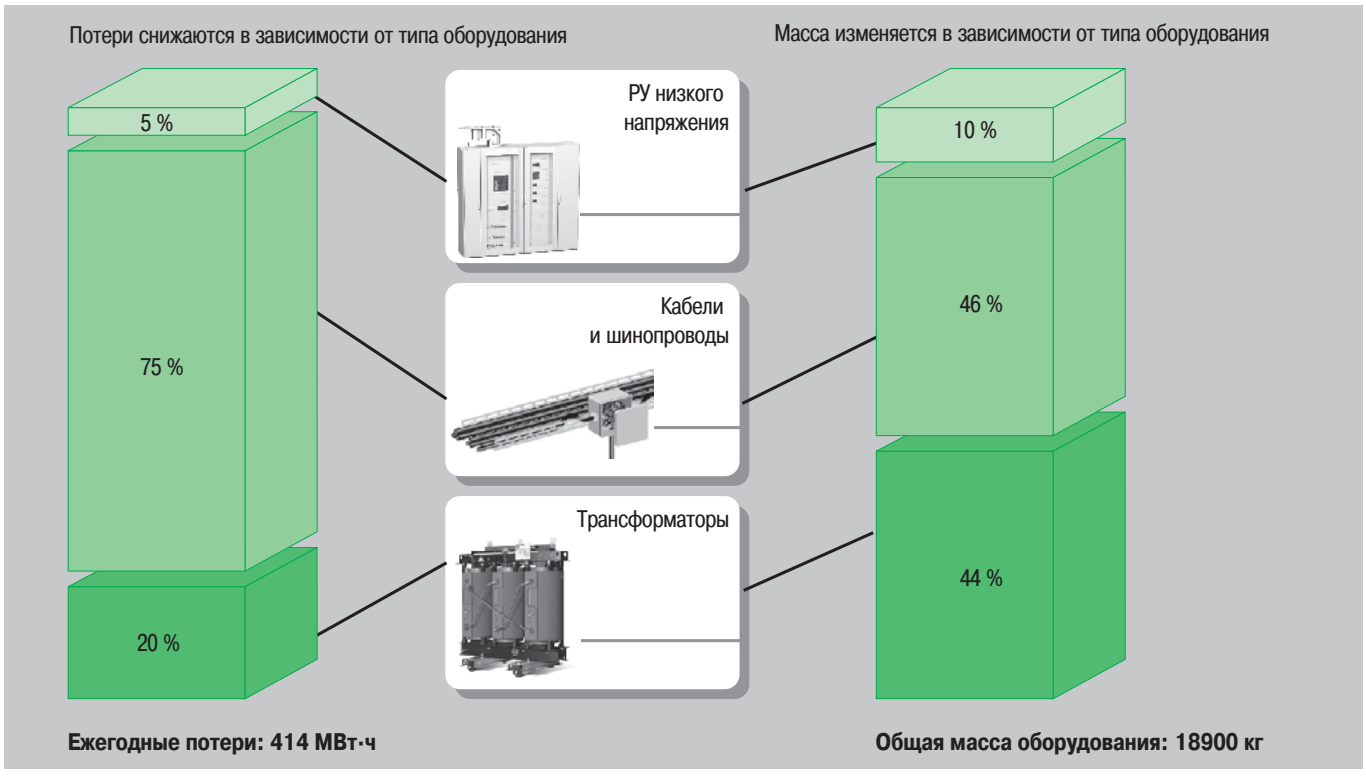


Рис. D28. Пример снижения потерь и изменения массы в зависимости от типа оборудования

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

9 Рекомендации по оптимизации архитектуры

Эти данные помогают понять и определить приоритеты потребления энергии и факторы затрат.
■ Главный фактор потребления электроэнергии – это использование энергии. Это может быть оптимизировано с соответствующим измерения и анализом нагрузок фактического потребления.
■ Во-вторых, реактивная энергия. Это приводит к дополнительной нагрузке на входе электрической сети и дополнительной стоимости энергии. Это может быть оптимизировано при помощи повышения коэффициентом мощности.
■ В-третьих, это системы проводки, которые представляют 75% потерь в установке. Потери в кабеле могут быть уменьшены путем соответствующей организации и структуре установки и использования шинопровода в местах, где это уместно.
■ Трансформаторы СН / НН занимают четвертое место с потерями в 20% (1% от потребления энергии установкой).
■ Распределительные щиты СН и НН на последнем месте – примерно 5% потерь (0,25% от потребления энергии установки).

Кабели и шинопроводы низкого напряжения, а также трансформаторы среднего/низкого напряжения вносят основной вклад в рабочие потери и массу используемого оборудования.
Поэтому оптимизация установки по архитектуре с точки зрения окружающей среды включает в себя:
■ минимизацию длины цепей низкого напряжения в установке с определением центра электрических нагрузок в §6.3 и § 7.1 в соответствии со стандартом МЭК 60364-8-1 (ГОСТ Р 50571.8.1-2018);
■ совмещение цепей низкого напряжения, где это возможно, чтобы использовать преимущества коэффициента одновременности Кс (см. главу A "Общие правила проектирования электроустановок", раздел "Силовая нагрузка установки", пункт 4.3 "Оценка максимальной полной потребляемой мощности").

Цели	Ресурсы
Минимизация длины цепей низкого напряжения	Размещение подстанций среднего/низкого напряжения как можно ближе к центру всех низковольтных нагрузок
Совмещение цепей низкого напряжения	При коэффициенте одновременности для группы нагрузок менее 0,7 совмещение цепей позволяет ограничить объем проводников, запитывающих такие нагрузки: ■ установка вторичных распределительных устройств как можно ближе к центру локализованных нагрузок; ■ прокладка шинопроводов как можно ближе к центру распределенных нагрузок. Поиск оптимального решения может включать в себя учет нескольких сценариев кластеризации. В любом случае минимизация расстояния между центром нагрузок и оборудованием, запитывающим их, позволяет уменьшить воздействие окружающей среды.

Рис. D29. Оптимизация оценки окружающей среды: цели и ресурсы

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

9 Рекомендации по оптимизации архитектуры

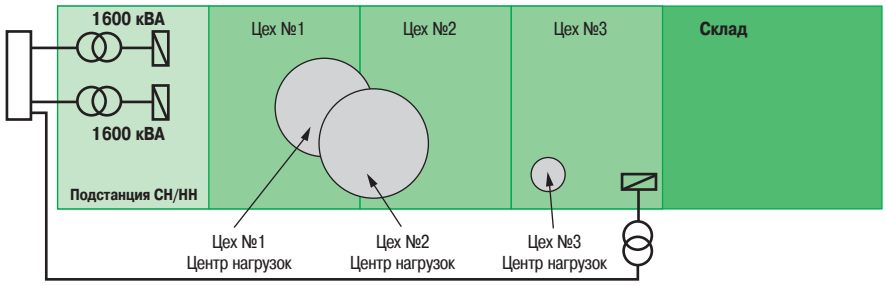
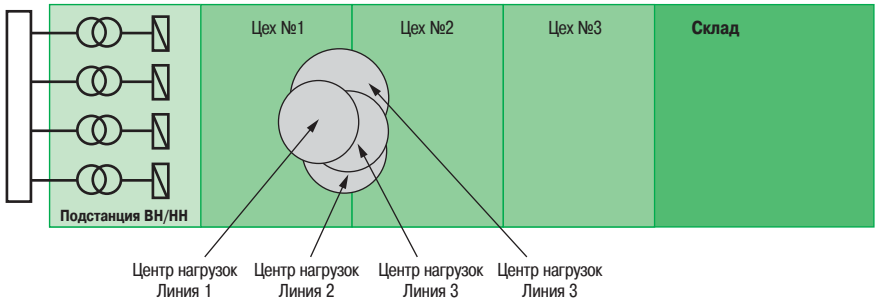
Решение	Положение центра
N°1	 Решение 1: 1 трансформатор в каждом цехе, 2 x 1600 кВА, 1 x 630 кВА
N°2	 Решение 2: 1 трансформатор на каждой линии процесса, 4 x 1000 кВА

Рис. D30. Пример определения положения центра нагрузок

В качестве примера **рис. D30** показывает влияние группирования цепей на уменьшение расстояния между центром электрических нагрузок и центром источников электрической энергии.
В этом примере рассматривается завод по розливу минеральной воды, для которого установленная мощность составляет около 4 MBA.

Решение №1 предусматривает распределение цепей по цехам.
Решение №2 предусматривает распределение цепей по технологическим функциям (производственным линиям).

В этом примере два различные решения которые могут применяться на уровне СН/НН:
- Решение 1: понижающий трансформатор устанавливается близко к цеху 3, чтобы оптимизировать свое место в соответствии с центром электрических нагрузок (это более экономично – передача мощности на уровне СН, когда это возможно).
- Решение 2: все понижающие трансформаторы находятся в той же подстанции и с теми же размерами, что позволяет работать в режиме пониженной мощности (1/2 завода).

В дополнение к оптимизации архитектуры следующие факторы также влияют на эффективность работы электроустановки:
- установка низковольтных компенсирующих устройств, позволяющих снизить потери в трансформаторах и в сети низкого напряжения;
- использование трансформаторов с малыми потерями;
- использование сборных шин низкого напряжения из алюминия, поскольку природные запасы этого металла достаточно велики.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

9 Рекомендации по оптимизации архитектуры

9.3 Объем профилактического техобслуживания

Рекомендации по сокращению объема профилактического техобслуживания:
- Снижение времени работы на объекте.
- Сосредоточение усилий на обслуживание ответственных присоединений.
- Использование стандартного оборудования.
- Использование оборудования, предназначенного для агрессивной среды, которое требует меньше обслуживания.

9.4 Эксплуатационная готовность

Рекомендации по повышению эксплуатационной готовности:
- Минимизация количества вводов в распределительное устройство для ограничения последствий возможного его отказа.
- Распределение цепей в соответствии с требованиями по обеспечению эксплуатационной готовности.
- Использование оборудования, отвечающего требованиям (см. п. 4.2 «Сервисный показатель»), Соблюдение рекомендаций по выбору для этапов 1 и 2 (см. **рис. D3**, стр. D5).

Рекомендации по повышению уровня эксплуатационной готовности:
- Использование двухполюсной конфигурации вместо конфигурации с радиальной линией.
- Использование конфигурации с двумя вводами среднего напряжения вместо двухполюсной конфигурации.
- Использование конфигурации с ИБП и устройством АВР вместо конфигурации с двумя выводами.
- Повышение уровня техобслуживания (уменьшение среднего времени ремонта, увеличивая время наработки на отказ).

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

10 Глоссарий

Архитектура: выбор однолинейной схемы и технических решений – от подключения к сети энергосистемы общего пользования до цепей питания нагрузок.

Главное распределение среднего/низкого напряжения: верхний уровень– от подсоединения к сети энергосистемы общего пользования через распределительное оборудование низкого напряжения на объекте (ГРЩ или эквивалентное устройство).

ГРЩ (главный распределительный щит низкого напряжения): главное распределительное устройство за трансформатором среднего/низкого напряжения, начальная точка распределения низкого напряжения.

Распределение низкого напряжения: промежуточный уровень архитектуры, за главным уровнем до вторичных распределительных устройств (пространственное и функциональное распределение электроэнергии).

Оконечное распределение низкого напряжения: нижний уровень архитектуры, за вторичными распределительными устройствами к ЭП. Этот уровень распределения не рассматривается в данном руководстве.

Однолинейная схема: общая электрическая схема основного электрооборудования и соединений.

Подстанция, трансформаторная подстанция среднего напряжения: помещения с оборудованием среднего напряжения и/или трансформаторами среднего/низкого напряжения. Эти помещения могут быть общими или отдельными в зависимости от компоновки объекта или оборудования. В некоторых странах подстанция среднего напряжения является питающей подстанцией.

Техническое решение: результат выбора оборудования по каталогам изготовителей.

Характеристики: технические данные или данные об окружающей среде, касающиеся установки и позволяющие сделать оптимальный выбор архитектуры.

Критерии: параметры оценки установки, позволяющие сделать выбор архитектуры, оптимально удовлетворяющей требованиям заказчиков.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

11 Пример: электроснабжение типографии

11.1 Краткое описание

Печать каталогов для заказов по почте.

11.2 Характеристики установки

Характеристика	Категория
Тип деятельности	Механические операции
Топология объекта	Одноэтажное здание, 10000 м² (производственная площадь – 8000 м², вспомогательная площадь – 2000 м²)
Компоновка	Высокая
Надежность обслуживания	Стандартный уровень
Ремонтопригодность	Стандартный уровень
Гибкость	■ Отсутствует для: □ HVAC (систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха) □ производства □ офисов ■ Возможна для: □ обработки, вкладывания в конверты □ специальных машин, установленных недавно □ ротационных печатных машин (фактор неопределенности на этапе эскизного проекта)
Потребляемая мощность	3500 кВА
Распределение нагрузки	Промежуточное распределение
Чувствительность к перерывам питания	■ Сбрасываемые (отключаемые в первую очередь) цепи: □ офисы (кроме розеток питания ПК) □ система кондиционирования и отопления офисов □ комнаты отдыха □ помещения для техобслуживания ■ Длительные прерывания: □ печатные машины □ система HVAC цехов (гигрометрическое регулирование) □ обработка, вкладывание в конверты □ производство (компрессор, циркуляция охлаждающей воды) ■ Перебои недопустимы: □ серверы, ПК
Чувствительность к помехам	■ Средняя чувствительность: □ двигатели, освещение ■ Высокая чувствительность: □ ПК Не требуются особые меры предосторожности в силу подсоединения к сети энергосистемы (низкий уровень помех)
Способность создавать помехи	Отсутствует
Другие ограничения	■ Здание с молниезащитой: установлены разрядники для защиты от грозовых перенапряжений ■ Электропитание по воздушной радиальной линии

11.3 Технические характеристики

Критерии	Категория
Атмосфера, окружающая среда	■ IP: стандартный уровень (без защиты от проникновения пыли и воды) ■ IK: стандартный уровень (использование технических колодцев, специальные помещения) ■ °C: стандартный уровень (регулируемая температура)
Сервисный показатель	211
Возможность закупки оборудования в стране	Без проблем (проект реализован во Франции)
Другие критерии	Отсутствуют

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

11 Пример: электроснабжение типографии

11.4 Критерии оценки архитектуры

Критерии	Категория
Длительность монтажа	Стандарт (см. 5.1)
Воздействие на окружающую среду	Минимальный уровень: соблюдение европейских норм
Затраты на профилактическое техобслуживание	Стандарт (см. 5.3)
Эксплуатационная готовность	Уровень 1 (см. 5.4)

Этап 1: Основные элементы архитектуры

Выбор	Основной критерий	Решение
Подключение к питающей сети	Отдельный объект	Один ввод
Цепи среднего напряжения	Компоновка + критичность	Радиальная линия
Количество трансформаторов	Мощность > 2500 кВА	2 x 2000 кВА
Количество и расположение подстанций	Площадь и распределение мощности	Два возможных решения: одна подстанция или две подстанции ■ Если одна подстанция: перемычка НО между секциями ГРЩ ■ Если две подстанции: взаимосвязанные распределительные устройства
Генератор среднего напряжения	Операции на объекте	Нет

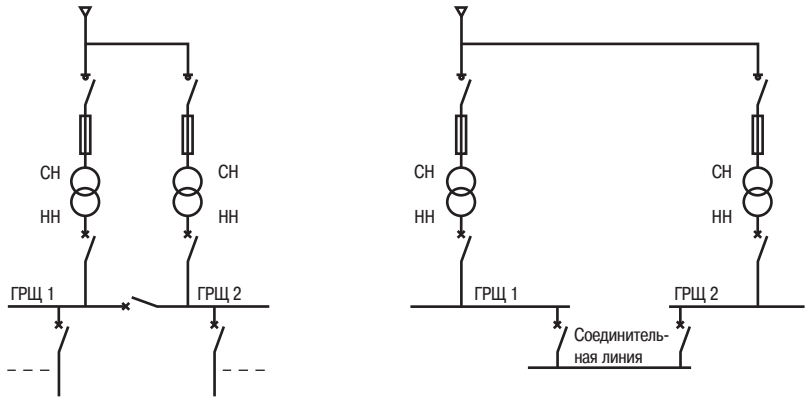


Рис. D31. Две возможные однолинейные схемы

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

11 Пример: электроснабжение типографии

Этап 2: Основные детали

Выбор	Основной критерий	Решение
Компоновка	Условия обслуживания	Специальные помещения
Конфигурация цепей низкого напряжения	Два трансформатора по спросу на электроэнергию	Возможные решение предоставлены на **рис. D22** или **D23**
Централизованная или децентрализованная компоновка	Равномерные нагрузки, распределенная мощность, возможности расширения Неравномерные нагрузки, радиальная линия от ГРЩ	■ Децентрализованная, шинопроводы: □ секция обработки, вкладывание в конверты ■ Централизованная с радиальными кабелями: □ спец. машины, ротац. печатн. машины, HVAC, производство, офисы (2 РУ), система кондиционирования воздуха в офисах, комнаты отдыха, техобслуживание
Использование резервного генератора	Критичность: низкая Готовность сети: стандартная	Без резервного генератора
Использование ИБП	Критичность: высокая	ИБП для серверов и офисных ПК

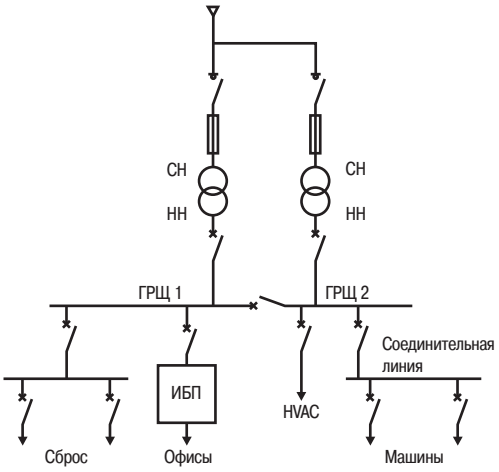


Рис. D32. Детальная однолинейная схема (1 подстанция на основе **рис. D22**)

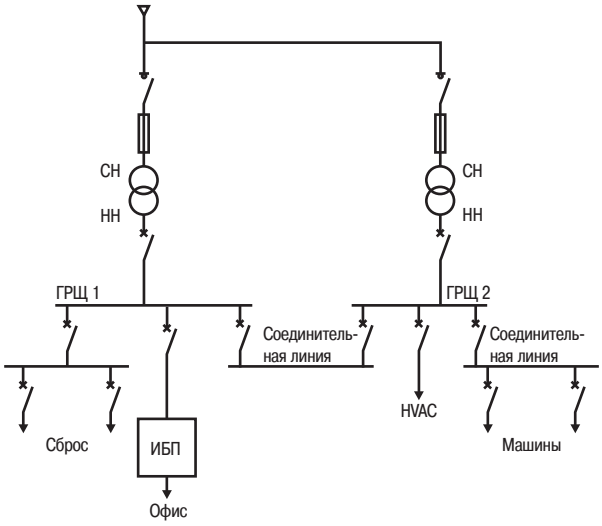


Рис. D33. Детальная однолинейная схема (2 подстанции на основе **рис. D24**)

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

11 Пример: электроснабжение типографии

11.5 Выбор технических решений

Выбор	Основные критерии	Решение
Подстанция среднего/низкого напряжения	Условия эксплуатации	Закрытая (специальные помещения)
Распределительное устройство среднего напряжения	Возможность закупки в стране	SM6 (ячейка КРУ, изготовленая в Европе)
Трансформаторы	Условия эксплуатации	Масляный, с литой изоляцией
Распределительное устройство низкого напряжения	Условия эксплуатации, сервисный показатель для распределительных щитов низкого напряжения	ГРЩ: Prisma P, вторичное распределение: Prisma
Шинопроводы	Распределение нагрузки	Canalis KS (**рис. D32** или **D33**) Canalis KT для главного распределения (**рис. D33**)
ИБП	Установленная мощность, время работы	Galaxy PW
Компенсация реактивной мощности	Обеспечение минимальной реактивной мощности при максимальной нагрузке без гармоник (см. главу L для получения дополнительной информации), наличие гармоник	Автоматическая компенсация на низком напряжении (без антирезонансного дросселя).

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

Глава E

Распределение в системах низкого напряжения

1 Системы заземления E2

1.1 Соединения с землей E2
1.2 Определение стандартных систем заземления E3
1.3 Характеристики систем TT, TN и IT E6
1.4 Критерии выбора систем TT, TN и IT E8
1.5 Выбор метода заземления и его реализация E10
1.6 Монтаж заземляющих устройств и замеры E11

2 Система установки E15

2.1 Распределительные устройства E15
2.2 Кабели и шинопроводы E25
2.3 Влияние гармонических токов при выборе шинопроводов E31

3 Внешние воздействия (МЭК 60364-5-51) E37

3.1 Определения и стандарты E37
3.2 Классификация E37
3.3 Перечень внешних воздействий E37
3.4 Защита закрытого оборудования: коды IP и IK E40

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Системы заземления

Соединение всех металлических частей здания и всех открытых проводящих частей оборудования с заземляющим электродом предотвращает возникновение опасно высоких напряжений между любыми двумя одновременно доступными металлическими частями.

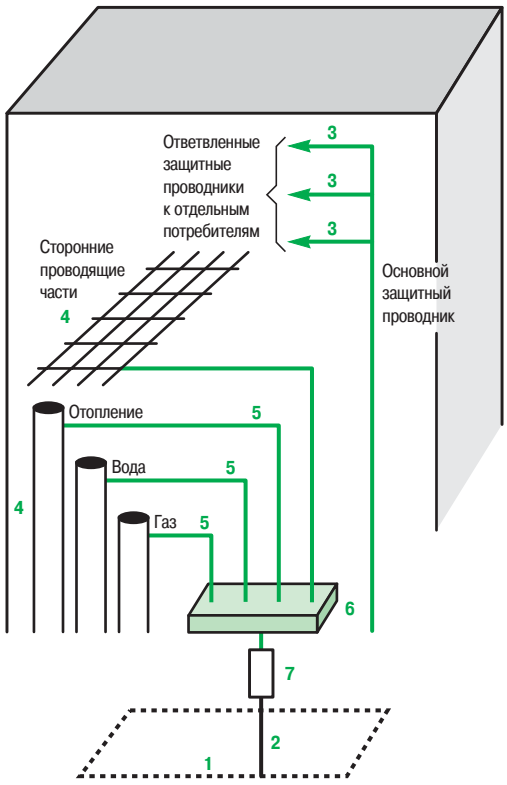


Рис. E1. Пример жилого здания, в котором ГЗШ **(6)** обеспечивает основное эквипотенциальное соединение; съемная перемычка **(7)** обеспечивает проверку сопротивления заземляющего электрода

1.1 Соединения с землей

Определения

Национальные и международные нормы (МЭК 60364) четко определяют различные элементы соединений с землей. Следующие термины общеприняты в промышленности и специальной литературе. Номера в скобках относятся к **рис. E1**:

■ Заземляющий электрод **(1)**: проводник или группа проводников, находящихся в непосредственном контакте и обеспечивающих электрическое соединение с землей (см. п.1.6 в главе E).

■ Земля: проводящая масса Земли, электрический потенциал которой в любой точке условно принимается равным нулю.

■ Электрически независимые заземляющие электроды: заземляющие электроды, расположенные на таком расстоянии друг от друга, что максимальный ток, который может протекать через один из них, не оказывает значительного влияния на потенциал других проводников.

■ Сопротивление заземляющего электрода: сопротивление контакта электрода с землей.

■ Заземляющий проводник **(2)**: защитный проводник, соединяющий главную заземляющую шину (ГЗШ) **(6)** установки с заземляющим электродом **(1)** или другим средством заземления (например, системы TN).

■ Открытая проводящая часть: проводящая часть оборудования, до которой можно дотронуться, и которая в нормальном режиме не находится под напряжением, но может быть под напряжением при режиме замыкания на корпус (повреждении).

■ Защитный проводник **(3)**: проводник, который используется для защиты от поражения электрическим током и служит для соединения любых из следующих частей:

□ открытые проводящие части;
□ сторонние проводящие части;
□ основной заземляющий зажим;
□ заземляющие электроды;
□ заземленная точка источника или искусственной нейтрали.

■ Сторонняя проводящая часть: проводящая часть, вводящая потенциал (как правило, потенциал Земли) и не входящая в состав электроустановки **(4)**.
Например:

□ неизолированные полы или стены, металлоконструкции зданий;
□ металлические каналы и трубопроводы (не в составе электроустановки) для воды, газа, отопления, сжатого воздуха и т.д. и металлические материалы, связанные с ними.

■ Шинка металлизации **(5)**: защитный проводник, обеспечивающий эквипотенциальное соединение.

■ Главная заземляющая шина (ГЗШ) **(6)**: зажим или вывод, служащий для присоединения защитных проводников, включая проводники уравнивания потенциала и проводники для функционального заземления (при наличии), в целях заземления.

Соединения

Основная система уравнивания потенциала

Проводники системы уравнивания потенциалов применяются с целью обеспечения того, что в случае возникновения потенциала во входящем стороннем проводнике (например, газопровод и т.д.) из-за повреждения вне здания не возникнет разности потенциалов между сторонними проводящими частями внутри установки. Проводники уравнивания потенциалов должны располагаться как можно ближе к точкам входа в здание и присоединяться к ГЗШ **(6)**. Однако соединение с землей металлических оболочек кабелей связи требует разрешения владельцев кабелей.

Дополнительная система уравнивания потенциала

Эти соединения служат для присоединения открытых проводящих частей и всех сторонних проводящих частей, доступных одновременно, когда не обеспечены условия надлежащей защиты, например, проводники основной системы уравнивания потенциала имеют недопустимо высокое сопротивление.

Соединение открытых проводящих частей с заземляющими электродами

Соединение выполняется с помощью защитных проводников с целью обеспечения низкоомной линии для токов повреждения на землю.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Системы заземления

Компоненты (см. рис. E2)

Эффективное соединение всей доступной металлической арматуры и всех открытых проводящих частей электрических приборов и оборудования необходимо для надежной защиты от поражения электрическим током.

Компоненты: открытые проводящие части	сторонние проводящие части
Кабелепроводы ■ Каналы ■ Изолированный пропитанной бумагой освинцованный кабель, армированный или нет ■ Кабель с неорганической изоляцией в металлической оболочке (pyrotenax и т.д.)	Элементы конструкции здания ■ Железобетон (ж/б): □ рамная стальная конструкция □ стержневая арматура □ сборные ж/б панели ■ Отделка поверхностей:
Распределительное устройство (РУ) ■ Опора съемного РУ	□ ж/б полы и стены без обработки поверхности □ поверхности, облицованные плиткой
Приборы ■ Открытые металлические части приборов с изоляцией класса 1	■ Металлическое покрытие: □ металлическое покрытие стен
Неэлектрические элементы ■ Металлическая арматура кабелепроводов (лотки, лестницы и т.д.) ■ Металлические объекты: □ вблизи воздушных линий или шин □ в контакте с электрооборудованием	Элементы инженерных сетей здания (кроме энергоснабжения) ■ Металлические трубы, каналы, соединительные линии и т.д. для систем газо- и водоснабжения, отопления и т.д. ■ Сопутствующие металлические элементы (печи, баки, емкости, радиаторы) ■ Металлическая арматура в ванных комнатах, санузлах и т.д. ■ Металлизированная бумага

Компоненты: открытые непроводящие части	сторонние непроводящие части
Различные служебные каналы и т.д. ■ Каналы из изолирующих материалов ■ Профилированные погонажные изделия из дерева или другого изолирующего материала ■ Проводники и кабели без металлических оболочек	■ Полы из паркетных досок ■ Полы с резиновым покрытием или линолеумом ■ Перегородки из гипсовых плит ■ Кирпичные стены ■ Ковры и ковровый настил на всю ширину
Распределительное устройство ■ Корпуса из изолирующего материала	
Приборы ■ Все приборы с классом изоляции II, независимо от типа корпуса	

Рис. E2. Перечень открытых и сторонних проводящих и непроводящих частей

Системы заземления характеризуют метод заземления установки за вторичной обмоткой трансформатора СН/НН и средства, используемые для заземления открытых проводящих частей питаемого низковольтного электроприемника (ЭП).

1.2 Определение стандартных систем заземления

Выбор этих методов определяет меры, необходимые для защиты от опасности косвенного прикосновения.

Разработка системы заземления требует от проектировщика электрической распределительной системы или установки определения с выбором трех независимых исходных параметров:

■ Тип соединения электросистемы (как правило, нейтраль) и открытых частей с заземляющими устройствами.

■ Использование отдельного защитного проводника или защитного проводника, совмещенного с нейтралью.

■ Использование защиты максимального тока для отключения больших токов замыкания на землю или использование дополнительных реле, способных обнаруживать и отключать небольшие токи замыкания на землю.

На практике эти решения сгруппированы и стандартизированы, как разъясняется ниже. Каждое из них обеспечивает стандартные системы заземления с тремя преимуществами и недостатками:

■ Присоединение открытых проводящих частей оборудования и нейтрали к PE-проводнику приводит к выравниванию потенциалов и снижению перенапряжений, но при этом - к повышению токов замыкания на землю.

■ Отдельный защитный проводник стоит довольно дорого даже при малой площади поперечного сечения, но намного менее подвержен воздействию перепадам напряжений, гармоникам и т.д., чем нейтраль. Кроме того, предотвращаются токи утечки в сторонних проводящих частях.

■ Реле токовой защиты нулевой последовательности или устройства контроля изоляции намного более чувствительны и позволяют во многих случаях отключать замыкания на землю до возникновения более серьезных повреждений (двигатели, пожары, поражение электрическим током). Кроме того, эта защита не зависит от изменений (расширений) существующей установки.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Системы заземления

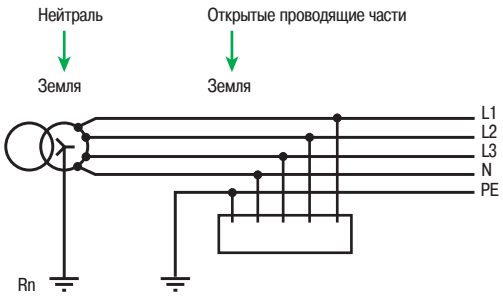


Рис. E3. Система TT

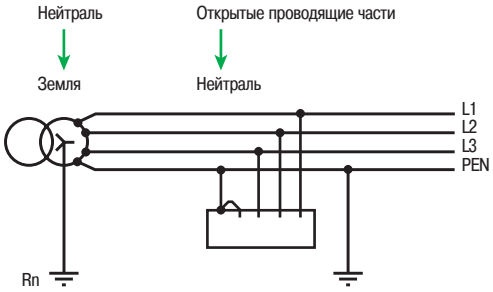


Рис. E4. Система TN-C

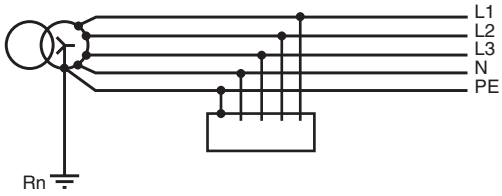


Рис. E5. Система TN-S

Система TT (заземленная нейтраль) (см. рис. E3)

Одна точка источника питания соединяется непосредственно с землей. Все открытые и сторонние проводящие части соединяются с отдельным заземляющим устройством установки. Электрод может быть как электрически независимым от заземляющего устройства источника, так и нет. Две зоны растекания электродов могут перекрываться без влияния на работу устройств защиты.

Системы TN (открытые проводящие части, соединенные с нейтралью)

Источник заземляется аналогично системе TT (выше). На установке все открытые и сторонние проводящие части соединяются с нейтралью (зануляются). Несколько вариантов системы TN показаны ниже.

Система TN-C (см. рис. E4)

Нейтраль служит также в качестве защитного проводника и обозначается PEN (защитный заземляющий нейтральный проводник). Эта система не допускается для проводников сечением менее 10 мм^2 или передвижного оборудования.

Система TN-C требует эффективной эквипотенциальной среды в пределах установки с рассредоточением заземляющих электродов как можно более равномерно, поскольку PEN-проводник является нейтралью и проводит токи несимметрии фаз, а также токи третьей гармоники (и кратные им).

Поэтому PEN-проводник должен присоединяться к нескольким заземляющим электродам на установке.

Предупреждение: в системе TN-C функция защитного проводника имеет более высокий приоритет, чем «функция нейтрали». В частности, PEN-проводник должен всегда подсоединяться к заземляющему зажиму нагрузки с использованием перемычки для подсоединения этого зажима к нейтральному выводу.

Система TN-S (см. рис. E5)

Система TN-S (5-проводная) обязательна для цепей с площадью поперечного сечения менее 10 мм^2 и для передвижного оборудования.

Защитный проводник и нейтраль разделены. В подземных кабельных системах, в которых используются освинцованные кабели, защитным проводником является, как правило, свинцовая оболочка.

Система TN-C-S (см. рис. E6 ниже и рис. E7 на следующей странице)

Системы TN-C и TN-S могут использоваться в одной установке. В системе TN-C-S система TN-C (4-проводная) не должна использоваться ниже системы TN-S (5-проводная), поскольку любой случайный обрыв нейтрали перед ней приведет к обрыву в защитном проводнике после нее, что опасно.

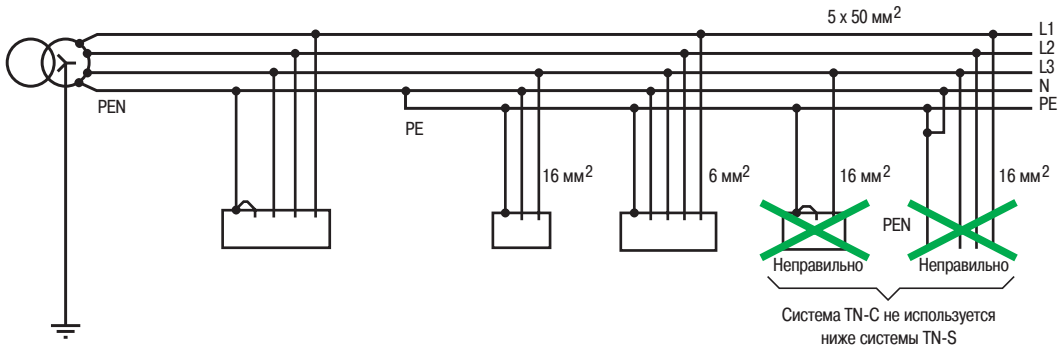


Рис. E6. Система TN-C-S

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Системы заземления

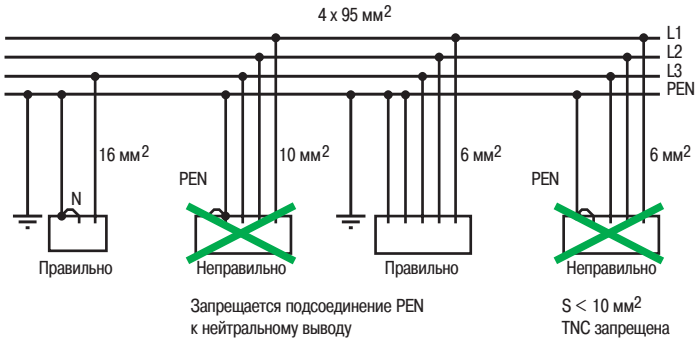


Рис. E7. Присоединение проводника PEN в системе TN-C

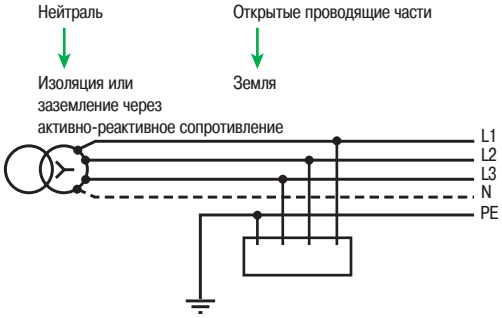


Рис. E8. Система IT (изолированная нейтраль)

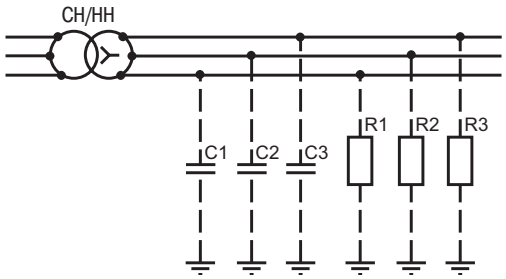


Рис. E9. Сопротивление току утечки на землю в системе IT

Система IT (изолированная нейтраль или нейтраль, заземленная через активно-реактивное сопротивление)

Система IT (изолированная нейтраль)

Не выполняется специальное соединение между нейтральной точкой источника питания и землей (см. **рис. E8**).

Открытые и сторонние проводящие части установки соединяются с заземляющим электродом.

На практике все цепи имеют сопротивление утечки на землю, поскольку не существует идеальной изоляции. Наряду с этим распределенным путем резистивной утечки, существует распределенный путь емкостного тока. Вместе два пути составляют нормальное сопротивление утечки на землю (см. **рис. E9**).

Пример (см. **рис. E10**)

В низковольтной 3-фазной 3-проводной системе 1 км кабеля имеет сопротивление утечки в силу конденсаторов C1, C2, C3 и резисторов R1, R2 и R3, эквивалентное полному сопротивлению заземления нейтрали (Zct) 3000 - 4000 Ом без учета фильтрующих емкостей электронных устройств.

Система IT (нейтраль, заземленная через активно-реактивное сопротивление)

Полное сопротивление Zs (порядка 1000 - 2000 Ом) постоянно подсоединено между нейтральной точкой низковольтной обмотки трансформатора и землей (см. **рис. E11**). Все открытые и внешние проводящие части подсоединены к заземляющему электроду. Такой способ заземления источника питания служит для фиксации потенциала сети относительно земли (Zs мало в сравнении с сопротивлением утечки) и снижения уровня перенапряжений (например, импульсы напряжения, передаваемые с обмоток среднего напряжения, статические заряды и т.д.) относительно земли. Однако, при этом возникает незначительное повышение уровня тока первого замыкания.

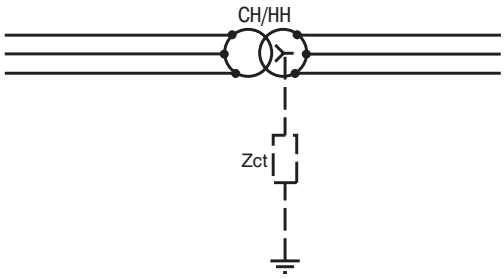


Рис. E10. Полное сопротивление, эквивалентное сопротивлениям утечки в системе IT

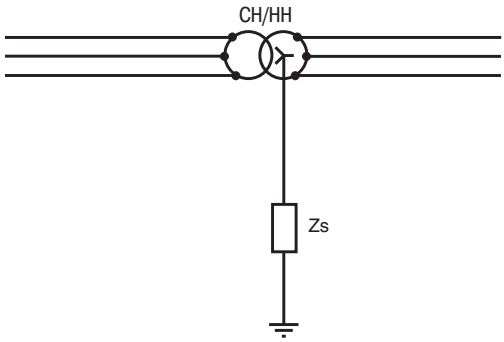


Рис. E11. Система IT (нейтраль, заземленная через активно-реактивное сопротивление)

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Системы заземления

1.3 Характеристики систем TT, TN и IT

Система TT:

■ Метод защиты людей: открытые проводящие части заземляются, используется устройство защиты от токов утечки (УЗО).

■ Принцип работы: отключение при первом замыкании на землю.

Система TT (см. рис. E12)

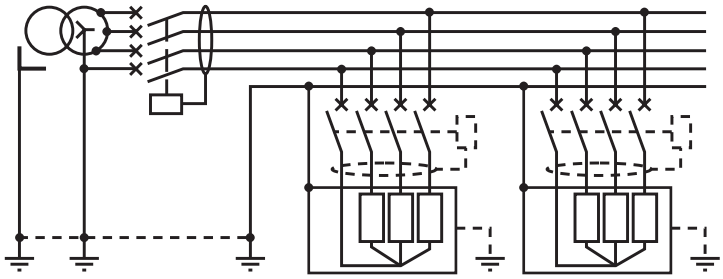


Рис. E12. Система TT

Примечание: если открытые проводящие части заземляются в нескольких точках, УЗО должно устанавливаться для каждой группы ЭП, подсоединенных к одному заземляющему электроду.

Основные характистики

■ Простейшее решение с точки зрения проектирования и монтажа используется на установках с питанием непосредственно через низковольтную распределительную сеть общего пользования.

■ Не требует постоянного контроля в процессе работы (могут требоваться только периодические проверки УЗО).

■ Защита обеспечивается с помощью УЗО (устройство защитного отключения, реагирующее на ток утечки на землю), что предотвращает риск пожара при уставке до 500 мА.

■ Каждое повреждение приводит к отключению питания только поврежденной цепи благодаря применению селективных УЗО на последовательных ступенях распределения.

■ ЭП или части установки, которые при нормальном режиме работы вызывают высокие токи утечки, требуют специальных мер для предотвращения излишних отключений, например, питание нагрузок через разделительный трансформатор или использование специальных УЗО (см. п.5.1 в главе F).

Система TN:

■ Метод защиты людей:

☐ соединение и заземление открытых проводящих частей и нейтрали является обязательным;

☐ при первом замыкании на землю цепь отключается устройствами защиты от сверхтока (автоматическими выключателями или предохранителями).

■ Принцип работы: отключение при первом замыкании на землю.

Система TN (см. рис. E13 и рис. E14)

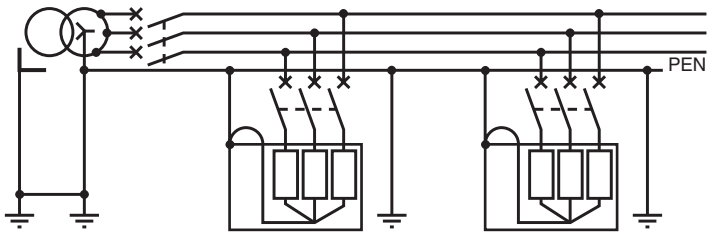


Рис. E13. Система TN-C

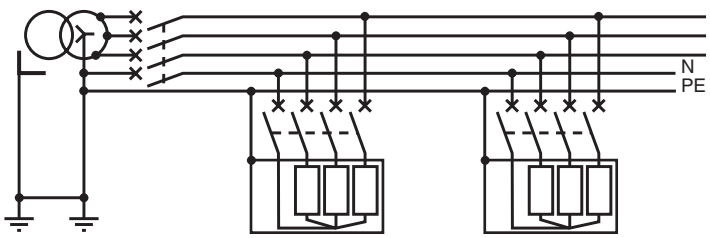


Рис. E14. Система TN-S

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Системы заземления

Основные характеристики

■ В целом, система TN:

□ требует установки заземляющих электродов с равными интервалами в пределах установки;

□ требует проверки эффективности отключения при первом однофазном КЗ посредством расчетов на этапе проектирования с последующими обязательными замерами для подтверждения эффективности отключения на этапе пуско-наладки;

□ требует, чтобы любое изменение или расширение проектировалось и выполнялось квалифицированным специалистом;

□ характеризуется тем,что КЗ на корпус может приводить к большому повреждению обмоток вращающихся машин;

□ имеет высокую опасность возникновения пожара из-за повышенного тока однофазного КЗ (70 – 80% всех замыканий).

■ Система TN-C:

□ с первого взгляда может показаться менее дорогостоящей (экономия одного проводника и одного полюса выключателей);

□ требует использования неподвижных и жестких проводников;

□ запрещена к использованию в определенных случаях:
- помещения с риском пожара;
- компьютерное оборудование (гармонические токи в нейтрали).

■ Система TN-S:

□ может использоваться даже с гибкими проводниками:

□ в силу разделения нейтрали и защитного проводника обеспечивает чистое защитное заземление (компьютеры и помещения с особыми рисками).

Система IT:

■ Метод защиты:

□ соединение и заземление открытых проводящих частей;

□ индикация первого замыкания на землю посредством устройства контроля изоляции (IMD);

□ отключение при втором замыкании (КЗ) с помощью защиты максимального тока (выключатели или плавкие предохранители).

■ Принцип работы:

□ сигнализация первого замыкания на землю;

□ обязательная локализация и устранение первого замыкания;

□ отключение при двойном замыкании на землю.

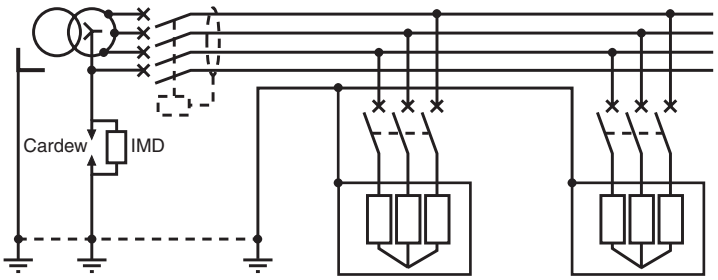


Рис. E15. Система IT

Система IT (см. рис. E15)

Основные характеристики

■ Решение, обеспечивающее максимальную бесперебойность питания.

■ Сигнализация первого замыкания с последующей обязательной локализацией и устранением повреждения обеспечивает систематическое предотвращение перерывов в электроснабжении.

■ Как правило, используется на установках с питанием через частный трансформатор высокого/низкого или низкого/низкого напряжения.

■ Требует обслуживающего персонала для контроля и работы.

■ Требует высокого уровня изоляции в сети (что означает разделение крупной сети и использование разделительного трансформатора для питания нагрузок с высокими токами утечки).

■ Проверка эффективности отключения при двойном замыкании (КЗ) должна проводиться посредством расчетов на этапе проектирования с последующими обязательными замерами на этапе пуско-наладки для каждой группы взаимосвязанных проводником PE открытых проводящих частей.

■ Защита нейтрали должна обеспечиваться, как указывается в п.7.2 главы G.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Системы заземления

Выбор не зависит от критериев безопасности.
Три системы эквивалентны по защите людей при условии соблюдения всех правил монтажа и эксплуатации.
Критерии выбора оптимальной системы зависят от нормативных требований, необходимой бесперебойности питания, рабочих условий и типов сети и нагрузок.

1.4 Критерии выбора систем TT, TN и IT

По защите людей три системы заземления сети (СЗС) эквивалентны при условии соблюдения всех правил монтажа и эксплуатации. Поэтому выбор не зависит от критериев безопасности.

Определить оптимальные системы можно путем объединения всех требований (нормы, бесперебойность питания, рабочие условия и типы сети и нагрузок) (см. **рис. E16**). Выбор определяется следующими факторами:

- Во-первых, действующие нормы, которые в некоторых случаях вводят обязательное использование определенных типов СЗС.
- Во-вторых, решение владельца в отношении электропитания – питание через частный трансформатор высокого/низкого напряжения (абонент высокого напряжения) или владелец имеет частный источник энергии (или разделительный трансформатор).

Если владелец сделал выбор, решение по СЗС принимается после обсуждений с разработчиком сети (КБ, подрядчик). Обсуждения должны включать в себя следующее:

- Во-первых, эксплуатационные требования (требуемый уровень бесперебойности питания) и рабочие условия (техобслуживание проводится электротехническим персоналом или нет, собственный или внешний персонал и т.д.).
- Во-вторых, конкретные характеристики сети и нагрузок (см. **рис. E17** на следующей странице).

	TT	TN-S	TN-C	IT1	IT2	Примечания
Электрические характеристики						
Ток повреждения (КЗ)	-	- -	- -	+	- -	Только система IT обеспечивает пренебрежимо малые токи первого замыкания на землю
Напряжение косвенного прикосновения	-	-	-	+	-	В системе IT напряжение косвенного прикосновения крайне мало при первом замыкании, но значительно при двойном
Напряжение косвенного прикосновения	+/- -	-	-	+	-	В системе TT напряжение косвенного прикосновения крайне мало при эквипотенциальной системе, в ином случае – высокое
Защита						
Защита людей от косвенного прикосновения	+	+	+	+	+	Все схемы СЗС эквивалентны при соблюдении правил
Защита людей при помощи аварийных энергоблоков	+	-	-	+	-	Системы, где защита обеспечивается с помощью УЗО, не чувствительны к изменению внутреннего сопротивления источника
Противопожарная защита (с УЗО)	+	+	Не существ.	+	+	Все схемы СЗС, в которых могут использоваться устройства УЗО, эквивалентны. Система TN-C запрещена в помещениях с опасностью пожара
Перенапряжения						
Непрерывное перенапряжение	+	+	+	-	+	При первом замыкании в системе IT напряжение на исправных фазах увеличивается до линейного
Переходное перенапряжение	+	-	-	+	-	Системы с высокими токами повреждения (КЗ) могут вызывать переходные перенапряж.
Перенапряжение при отказе трансформатора (первичная/вторичная обмотка)	-	+	+	+	+	В системе TT имеется асимметрия напряжений между разными заземляющими электродами. Другие системы соединяются с одним заземляющим электродом
Электромагнитная совместимость						
Устойчивость к близким разрядам молнии	-	+	+	+	+	В системе TT возможны асимметрии напряжений между заземляющими электродами. В системе TT имеется значительное сопротивление между двумя отдельными заземляющими электродами
Устойчивость к разрядам молнии на линиях среднего напряжения	-	-	-	-	-	Все системы заземления эквивалентны, когда линия высокого напряжения попадает под прямой разряд молнии
Непрерывное излучение электромагнитного поля	+	+	-	+	+	Подсоединение PEN к металлоконструкциям здания ведет к непрерывной генерации электромагнитных полей
Переходная неэквипотенциальность PE	+	-	-	+	-	PE не эквипотенциален при высоком токе повреждения (КЗ)
Бесперебойность питания						
Отключение при первом замыкании на землю	-	-	-	+	+	Только система IT продолжает работать при первом замыкании на землю
Понижение напряжения при однофазном замыкании	+	-	-	+	-	Системы TN-S, TN-C и IT (двойное замыкание) вызывают высокие токи повреждения (КЗ), которые могут привести к понижению фазного напряжения
Монтаж						
Специальные устройства	-	+	+	-	-	Система TT требует использования УЗО. Система IT требует использования устройств контроля изоляции
Число заземляющих устройств	-	+	+	-/+	-/+	Система TT требует два отдельных заземляющих устройства. Система IT обеспечивает выбор между одним или двумя заземляющими устройствами.
Число проводников	-	-	+	-	-	Только система TN-C обеспечивает (в определенных случаях) сокращение числа проводников
Техобслуживание						
Стоимость ремонтных работ	-	- -	- -	-	- -	Стоимость ремонтных работ зависит от степени повреждения, вызванного токами повреждения
Повреждение установки	+	-	-	++	-	Системы, вызывающие высокие токи повреждения (КЗ), требуют проверки после устранения повреждения

Рис. E16. Сравнение систем заземления электрических сетей

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Системы заземления

Тип сети		Рекомендуется	Используется	Не рекомендуется
Крупная сеть с высококачественными заземляющими электродами для открытых проводящих частей (≤ 10 Ом)			TT, TN, IT (1) или комбинацию	
Крупная сеть с низкокачественными заземляющими электродами для открытых проводящих частей (> 30 Ом)		TN	TN-S	IT (1) TN-C
Зона возмущения (например, теле- или радиопередатчик)		TN	TT	IT (2)
Сеть с высокими токами утечки (> 500 мА)		TN (4)	IT (4) TT (3) (4)	
Сеть с наружными воздушными линиями		TT (5)	TN (5) (6)	IT (6)
Аварийный резервный энергоблок		IT	TT	TN (7)
Тип нагрузок				
Нагрузки, чувствительные к высоким токам повреждения (КЗ) (двигатели и т.д.)		IT	TT	TN (8)
Нагрузки с низким уровнем изоляции (электропечи, сварочные аппараты, нагревательные элементы, погружные нагреватели, кухонное оборудование)		TN (9)	TT (9)	IT
Многочисленные 1-фазные нагрузки «фаза-нейтраль» (подвижные, полустационарные, передвижные)		TT (10) TN-S		IT (10) TN-C (10)
Нагрузки со значительными рисками (подъемники, конвейеры и т.д.)		TN (11)	TT (11)	IT (11)
Многочисленные вспомогательные устройства (станки)		TN-S	TN-C IT (12 bis)	TT (12)
Прочее				
Питание через силовой трансформатор с соединением «звезда-звезда» (13)		TT	IT Без нейтрали	IT (13) С нейтралью
Помещения с риском пожара		IT (15)	TN-S (15) TT (15)	TN-C (14)
Увеличение уровня мощности абонента низковольтной сети общего пользования, требуется частная подстанция		TT (16)		
Установка с частыми изменениями		TT (17)		TN (18) IT (18)
Установка с неопределенной непрерывностью цепей заземления (рабочие участки, старые установки)		TT (19)	TN-S	TN-C IT (19)
Электронное оборудование (компьютеры, ПЛК)		TN-S		TN-C
Сеть контроля и управления машинами, датчики ПЛК и приводы		IT (20)	TN-S, TT	

(1) Когда СЗС не предписывается нормами, она выбирается по уровню рабочих характеристик (бесперебойность питания, которая требуется по соображениям безопасности или необходима для обеспечения производительности, и т.д.).
Независимо от СЗС, вероятность повреждения изоляции повышается при увеличении протяженности сети. Может потребоваться разделить сеть, чтобы облегчить локализацию повреждений и позволить реализовать систему, рекомендованную выше, для каждого типа установки.
(2) Риск дугового разряда на ограничителе перенапряжений превращает изолированную нейтраль в заземленную нейтраль. Эти риски повышены для районов с частыми грозами или для установок с питанием через воздушную сеть. Если система IT выбирается для обеспечения повышенного уровня бесперебойности питания, разработчик системы должен точно рассчитать режим отключения при втором повреждении (КЗ).
(3) Риск излишних отключений УЗО.
(4) Независимо от СЗС, идеальное решение состоит в изоляции проблемной секции, если ее можно легко определить.
(5) Риск однофазных КЗ на землю, нарушающих эквипотенциальность.
(6) Фактор неопределенности, связанный с изоляцией, из-за влажности и проводящей пыли.
(7) Система TN не рекомендуется из-за риска повреждения генератора в случае внутреннего отказа (КЗ). Более того, если генераторы питают защитное оборудование, система не должна срабатывать при первом замыкании.
(8) Ток между фазой и землей может в несколько раз превышать In с риском повреждения обмоток двигателей или повреждения магнитопровода.
(9) Чтобы обеспечить бесперебойное питание и безопасность, необходимо (и настоятельно рекомендуется) отделить эти нагрузки от остальных нагрузок установки (трансформаторы с местным соединением нейтрали), независимо от СЗС.
(10) Если обеспечение качества оборудования не является приоритетной задачей при проектировании, существует риск быстрого снижения сопротивления изоляции. Система TT с УЗО представляет оптимальное решение этих проблем.
(11) Необходимо учитывать, что подвижность нагрузки этого типа приводит к частым повреждениям. Независимо от системы СЗС, рекомендуется запитывать эти цепи через трансформаторы с местным соединением нейтрали.
(12) Требует использования трансформаторов с местной системой TN для предотвращения эксплуатационных рисков и излишних отключений при первом повреждении (КЗ) (TT) или двойном повреждении (КЗ) (IT).
(12 bis) С двойным разрывом в цепи управления.
(13) Чрезмерное ограничение тока однофазного КЗ из-за высокого значения сопротивления нулевой последовательности (в 4-15 раз больше сопротивления прямой последовательности). Эта система должна заменяться схемой «звезда-треугольник».
(14) Высокие токи повреждения делают опасной систему TN. Система TN-C запрещена.
(15) Независимо от системы, УЗО должно устанавливаться на I n < 500 мА.
(16) На установке с низковольтным питанием должна использоваться система TT. Использование этой системы допускает только минимальное количество изменений существующей сети (не должны прокладываться дополнительные кабели, не должны изменяться устройства защиты).
(17) Для использования не требуется высококвалифицированный обслуживающий персонал.
(18) Установка этого типа требует особого внимания к обеспечению безопасности при техобслуживании. Необходимо профилактическое обслуживание системы TN, в ином случае со временем потребуется высококвалифицированный персонал для обеспечения безопасности.
(19) Риски разрыва проводников (питание, защита) могут привести к потере эквипотенциальности открытых проводящих частей. Рекомендуется и часто обязательна система TT или TN-S с УЗО на 30 мА. Система IT может использоваться только в специальных случаях.
(20) Это решение позволяет избежать излишних отключений при случайных утечках на землю.

Рис. E17. Влияние сети и нагрузок на выбор системы заземления

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Системы заземления

1.5 Выбор метода заземления и его реализация

После ознакомления с действующими нормами **рис. E16** и **E17** могут использоваться при принятии решения относительно разделения и гальванической развязки соответствующих секций предлагаемой установки.

Разделение источника

Это метод использования нескольких трансформаторов вместо одного большой мощности. В этом случае нагрузка, являющаяся источником сетевых нарушений (мощные двигатели, печи и т.д.), может запитываться через отдельный трансформатор.
Тем самым повышается качество и бесперебойность питания всей установки.
Стоимость распределительного устройства снижается (уровень тока КЗ ниже).
Экономические аспекты использования отдельных трансформаторов должны определяться в каждом конкретном случае.

Секционирование сети

Создание гальванически разделенных секций посредством трансформаторов высокого/низкого напряжения позволяет оптимизировать выбор методов заземления с учетом конкретных требований (см. **рис. E18** и **E19**).

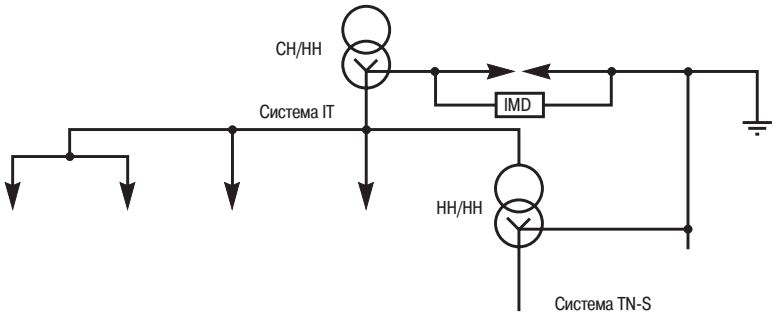


Рис. E18. Секция TN-S в системе IT

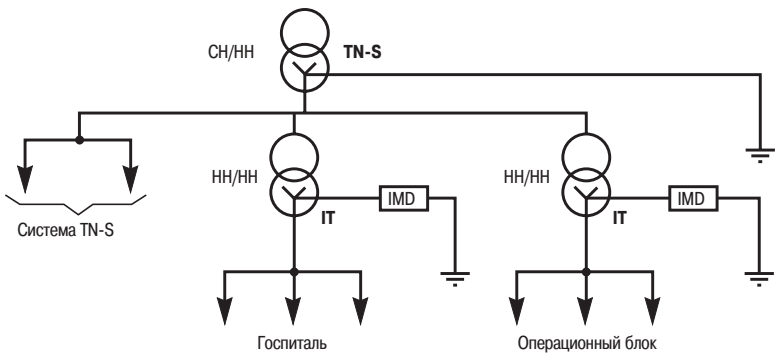


Рис. E19. Секция IT в системе TN-S

Заключение

Оптимизация характеристик всей установки определяет выбор системы заземления.

Необходимо учитывать:

- Начальные капиталовложения.
- Будущие эксплуатационные расходы, которые трудно оценить, связанные с недостаточной надежностью, качеством оборудования, безопасностью, бесперебойностью питания и т.д.

Идеальная система должна включать в себя основные источники питания, местные резервные источники питания (см. п.1.4 в главе E) и соответствующие устройства заземления.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Системы заземления

Эффективный метод обеспечения малого сопротивления заземления состоит в заглублении замкнутого контура в грунт дна котлована под фундамент здания.

Сопротивление R такого контура (в однородном грунте) составляет (приблизительно), $R = \frac{2\rho}{L}$, где:

L = длина заглубленного проводника;

ρ = удельное сопротивление грунта, Ом·м.

Для n стержней: $R = \frac{1}{n}\frac{\rho}{L}$.

1.6 Монтаж заземляющих устройств и замеры

Качество заземляющего устройства (как можно меньшее сопротивление) зависит в основном от двух факторов:

- Метод монтажа
- Тип грунта

Методы монтажа

Ниже описаны три общепринятых метода монтажа:

Заглубленная кольцевая цепь (см. **рис. E20**)

Это решение настоятельно рекомендуется, особенно в случае нового здания. Электроды должны заглубляться по периметру выемки под фундаменты. Необходимо, чтобы неизолированный проводник находился в непосредственном контакте с грунтом (и не находился в гравии или заполнителе, часто образующем основание для укладки бетона). Для монтажа соединений необходимо обеспечить как минимум четыре проводника от электрода, которые широко разнесены по вертикали. При возможности, каждый арматурный стержень в бетоне должен подсоединяться к электроду. Проводник, образующий заземляющий контур, особенно если он расположен в котловане под фундамент, должен заглубляться не менее чем на 50 см под заполнитель для бетонного основания. Заземляющий контур и вертикальные проводники к нижнему этажу не должны находиться в контакте с бетоном фундамента.

Для существующих зданий заземляющий контур должен заглубляться около наружной стены помещений на глубину не менее 1 м. Как правило, все вертикальные выводы от него к поверхности должны быть изолированы на номинальное напряжение (600-1000 В).

Возможные типы проводников:

- Медь: неизолированный (> 25 мм^2) или многоленточный (> 25 мм^2, толщина > 2 мм) кабель.
- Алюминий, со свинцовой оболочкой: кабель (> 35 мм^2).
- Оцинкованная сталь: неизолированный (> 95 мм^2) или многоленточный (> 100 мм^2, толщина > 3 мм) кабель.

Приблизительное сопротивление растекания электрода R, Ом:

$$R = \frac{2\rho}{L},$$

где:

L = длина проводника, ρ = удельное сопротивление грунта, Ом·м (см. "Влияние типа грунта" на следующей странице).

Заземляющие стержневые электроды (см. **рис. E21**)

Вертикально расположенные заземляющие стержни часто используются для существующих зданий и для улучшения существующих заземляющих контуров (т.е. снижения сопротивления).

Возможные типы стержней:

- Медь или (чаще) сталь с медным покрытием. Стержни из последнего материала имеют, как правило, длину 1 или 2 метра и обеспечиваются резьбой на концах и втулками для размещения на значительной глубине (например, уровень грунтовых вод в зонах с высоким удельным сопротивлением грунта).
- Трубка из оцинкованной стали (см. примечание **(1)** на следующей странице) диаметром ⩾ 25 мм или стержень диаметром ⩾ 15 мм, длиной ⩾ 2 м в каждом случае.

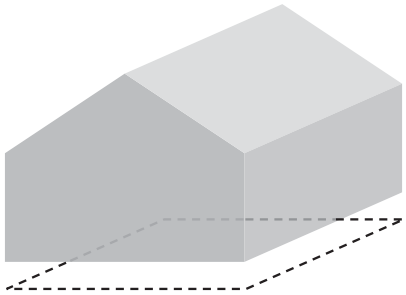


Рис. E20. Проводник, заглубленный ниже уровня фундамента (не в бетоне)

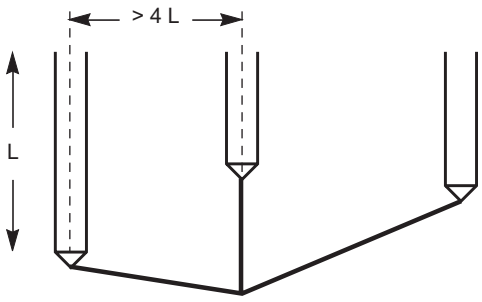


Рис. E21. Заземляющие стержневые электроды, соединенные параллельно

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Системы заземления

Часто необходимо использовать несколько стержней. В этом случае интервал между ними должен в 2-3 раза превышать их длину.

Общее сопротивление (в гомогенном грунте) равно сопротивлению одного стержня, разделенному на число стержней. Приблизительное сопротивление R:

$R = \frac{1}{n}\frac{\rho}{L}$, если интервал между стержнями > 4L,

где:

L = длина стержня, м

ρ = удельное сопротивление грунта, Ом·м (см. «Влияние типа грунта» ниже)

n = число стержней

Вертикальные пластины (см. **рис. E22**)

Прямоугольные пластины, каждая сторона которых должна быть > 0,5 м, обычно используются в качестве заземляющих электродов, заглубляемых в вертикальной плоскости таким образом, что центр пластины находится минимум на 1 м ниже поверхности грунта.

Возможные типы пластин:

- Медь, толщина 2 мм
- Оцинкованная (1) сталь, толщина 3 мм

Сопротивление R, Ом, равно (приблизительно):

$R = \frac{0.8\,\rho}{L}$, где:

L = периметр пластины, м

ρ = удельное сопротивление грунта, Ом·м (см. «Влияние типа грунта» ниже)

Для вертикального пластинчатого электрода:

$R = \frac{0.8\,\rho}{L}$.

Замеры на заземляющих электродах в аналогичных грунтах полезны для определения удельного сопротивления, используемого при расчете системы заземляющих электродов.

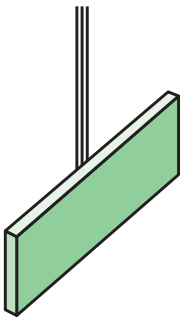


Рис. E22. Медная вертикальная пластина толщиной 2 мм

Влияние типа грунта

Тип грунта	Среднее значение удельного сопротивления, Ом
Заболоченная почва	1 - 30
Илистый наносной слой	20 - 100
Дерновая земля, гнилая листва	10 - 150
Торф	5 - 100
Мягкая глина	50
Глинистый известняк и уплотненная глина	100 - 200
Юрский известняк с содержанием глины	30 - 40
Глинистый песок	50 - 500
Кремнистый песок	200 - 300
Каменистый грунт	1500 - 3000
Задернованный каменистый грунт	300 - 500
Известняковый грунт	100 - 300
Известняк	1000 - 5000
Трещиноватый известняк	500 - 1000
Аспидный сланец	50 - 300
Слюдистый сланец	800
Гранит и песчаник	1500 - 10000
Измененный гранит и песчаник	100 - 600

Рис. E23. Удельное сопротивление (Ом·м) разных типов грунта

Тип грунта	Среднее значение удельного сопротивления, Ом
Плодородная почва, уплотненный насыпной грунт	50
Засушливая почва, гравий, неуплотненный неоднородный грунт	500
Каменистый грунт, открытый сухой песок, трещиноватые породы	3000

Рис. E24. Средние значения удельного сопротивления заземляющего электрода (Ом·м) для разных типов грунта

(1) Если используются заземляющие электроды из оцинкованных проводящих материалов, могут потребоваться протекторные аноды катодной защиты для предотвращения быстрой коррозии электродов в агрессивном грунте. Можно использовать специальные магниевые аноды (в пористом пакете, заполненном соответствующим грунтом) для прямого подсоединения к электродам. В этом случае следует проконсультироваться у специалиста.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Системы заземления

Измерение сопротивления растекания заземляющего контура

Сопротивление заземляющего устройства редко остается постоянным

Некоторые основные факторы, влияющие на такое сопротивление:

■ Влажность грунта

Сезонные изменения содержания влаги в грунте могут быть значительными на глубине до 2 метров. На глубине 1 метра удельное сопротивление (и, следовательно, сопротивление) может изменяться в 1-3 раза между влажной зимой и сухим летом в регионах с умеренным климатом.

■ Замерзание

Мерзлая земля может повышать удельное сопротивление грунта на несколько порядков. Это одна из причин, по которой рекомендуется монтировать электроды на большой глубине, особенно в районах с холодным климатом.

■ Старение

Характеристики материалов, используемых для изготовления электродов, ухудшаются в той или иной мере по разным причинам, например:

□ Химические реакции (в кислых или щелочных грунтах).

□ Гальванический эффект: из-за блуждающих постоянных токов в земле, например, от электрических железных дорог и т.д., или из-за разнородности металлов, составляющих первичные элементы. Разные грунты, действующие на участки одного проводника, могут также образовывать катодные и анодные зоны с последующей потерей поверхностного слоя металла. К сожалению, наиболее благоприятные условия для низкого сопротивления между землей и электродом (например, низкое удельное сопротивление грунта) также благоприятствуют образованию гальванических токов.

■ Окисление

Паяные и сварные швы и соединения являются местами, наиболее чувствительными к окислению. Для предупреждения окисления обычно используется тщательная очистка выполненного шва или соединения и обмотка промасленной лентой.

Измерение сопротивления между электродом и землей

Необходимо обеспечить съемные перемычки, которые позволяют изолировать заземляющий контур от электроустановки для периодической проверки сопротивления заземления. Для проведения таких проверок требуются два вспомогательных электрода.

■ Измерение с помощью амперметра (см. **рис. E25**):

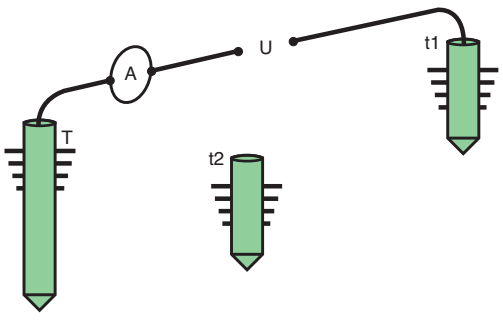


Рис. E25. Измерение сопротивления заземляющего устройства с помощью амперметра

$$A = R_T + R_{t1} = \frac{U_{Tt1}}{i_1}$$

$$B = R_{t1} + R_{t2} = \frac{U_{t1t2}}{i_2}$$

$$C = R_{t2} + R_T = \frac{U_{t2T}}{i_3}$$

При постоянном напряжении источника U (с одинаковой поправкой для каждой проверки):

$$R_T = \frac{U}{2}\left(\frac{1}{i_1} + \frac{1}{i_3} - \frac{1}{i_2}\right)$$

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Системы заземления

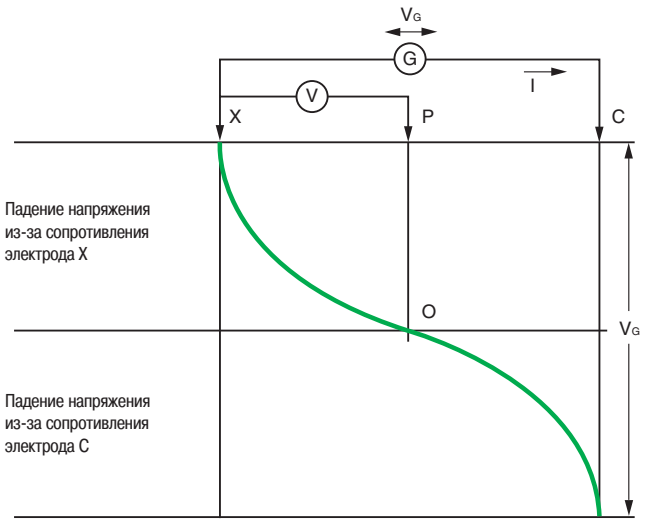
Чтобы устранить погрешности из-за блуждающих токов земли (гальванические постоянные токи или токи утечки от силовых сетей, сетей связи и т.д.), испытательный ток должен быть переменным с частотой, отличной от частоты энергосистемы или ее гармоник. Приборы, использующие генераторы с ручным приводом для выполнения этих измерений, обычно генерируют напряжение переменного тока при частоте 85-135 Гц.

Расстояния между электродами при данном способе измерения не имеют большого значения и могут измеряться в разных направлениях от проверяемого электрода в зависимости от местных условий. Как правило, выполняется ряд проверок при разных интервалах и направлениях для сверки результатов проверок.

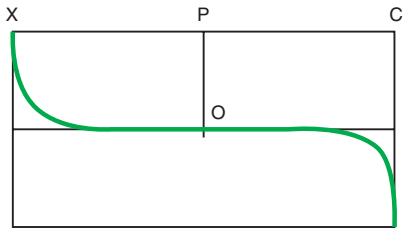
■ Использование омметра с прямым считыванием для измерения сопротивления заземления.

Этот прибор использует генератор с ручным приводом или электронный генератор переменного тока и два вспомогательных электрода, интервал между которыми должен быть таким, что зона влияния проверяемого электрода не перекрывает зону влияния контрольного электрода. Контрольный электрод C, самый дальний от проверяемого электрода X, проводит ток через землю и проверяемый электрод, а второй контрольный электрод P принимает напряжение. Это напряжение, измеренное между X и P, вызвано испытательным током и является мерой сопротивления (проверяемого электрода) в контакте с землей. Необходимо тщательно выбрать расстояние между X и P для обеспечения точных результатов. При увеличении расстояния между X и C зоны растекания электродов X и C удаляются друг от друга, и кривая потенциала (напряжения) становится все более горизонтальной около точки O.

Поэтому, при проверках расстояние между X и C увеличивается до получения аналогичных показаний, снимаемых с помощью электрода P в трех различных точках, например, в точке P и на расстоянии около 5 метров от точки P. Как правило, расстояние между X и P составляет около 0,68 расстояния между X и C.



a) Принцип измерения основан на предположении об однородности грунта. В случае перекрывания зон влияния электродов C и X трудно определить положение контрольного электрода P для получения удовлетворительных результатов.



b) Показывает эффект широкого разноса X и C на градиент потенциала. Положение контрольного электрода P не имеет большого значения и может быть легко определено.

Рис. E26. Измерение сопротивления растекания с помощью омметра

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Система установки

Распределительные устройства, включая главное РУ низкого напряжения (ГРЩ), играют решающую роль в обеспечении надежности электроустановки. Они должны соответствовать четко определенным нормам, регулирующим проектирование и изготовление распределительных устройств низкого напряжения.

2.1 Распределительные устройства

Распределительное устройство (РУ) – это электроустановка, в которой входящая электроэнергия распределяется по отдельным цепям, каждая из которых контролируется и защищается плавкими предохранителями или автоматическими выключателями. Распределительное устройство разделяется на ряд функциональных блоков, каждый из которых включает в себя все электрические и механические элементы, которые необходимы для выполнения заданной функции. Оно представляет собой ключевое звено в цепи обеспечения надежности.

Поэтому тип РУ должен идеально подходить для области применения. Проектирование и изготовление распределительного устройства должны осуществляться в соответствии с действующими нормами и стандартами и учитывать опыт эксплуатации.

Корпус РУ обеспечивает двойную защиту:

- Защита измерительных приборов, реле, плавких предохранителей от механических ударов, вибраций и других внешних воздействий, которые могут нарушать их работу (электромагнитные помехи, пыль, влажность, насекомые и т.д.).
- Защита людей от прямых прикосновений (см. степень защиты IP и показатель IK в п. 3.3, глава E).

2.1.1 Типы распределительных устройств

Распределительные устройства могут различаться по назначению и конструкции (особенно по компоновке шин).

Нагрузочные требования определяют тип распределительного устройства.

Типы распределительных устройств по назначению

Основные типы распределительных устройств:

- Главный распределительный щит низкого напряжения (см. **рис. E27, a**)
- Шкаф управления двигателями (см. **рис. E27, b**)
- Промежуточные (вторичные) РУ (см. **рис. E28**)
- Конечные РУ (см. **рис. E29**)

Распределительные устройства специального назначения (например, для систем отопления, лифтов, производственных процессов) могут располагаться:

- рядом с главным ГРЩ НН;
- около соответствующего оборудования.

Как правило, вторичные и конечные распределительные устройства распределяются по объекту.

a

b

Рис. E27. **a** – ГРЩ (Prisma P) с шинопроводами, **b** – Шкаф управления двигателями низкого напряжения (Okken)

Рис. E28. Промежуточное РУ (Prisma G)

a

b

c

Рис. E29. Конечное РУ: **a** – Mini Pragma, **b** – Kaedra, **c** – Prisma Pack 160

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Система установки

Различаются:
- Традиционные распределительные устройства, в которых выключатели, плавкие предохранители и т.д. установлены на монтажной плате в шкафу.
- Функциональные РУ специального назначения, модульной стандартной конструкции.

Рис. E30. Конечное РУ со стационарными функциональными блоками (Prisma G)

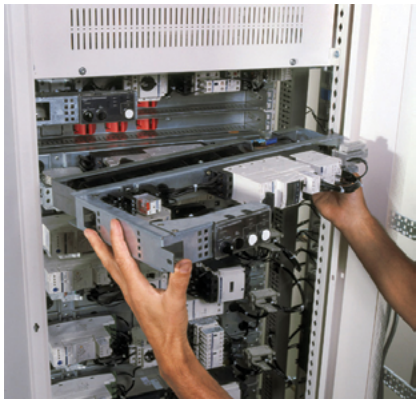


Рис. E31. РУ с втычными функциональными блоками

Рис. E32. РУ с выдвижными функциональными блоками

2.1.2 Два типа распределительных устройств

Универсальные распределительные щиты

Коммутационные аппараты, плавкие предохранители и т.д. расположены на монтажной плате внутри корпуса. Индикаторы и контрольные устройства (приборы, лампы, кнопки и т.д.) установлены на передней стороне РУ.

Размещение компонентов в корпусе требует тщательного анализа с учетом размеров каждого элемента и его соединений, а также зазоров, необходимых для обеспечения безопасной и безотказной работы.

Функциональные распределительные щиты

Как правило, это устройства специального назначения. Они состоят из функциональных блоков, которые включают в себя коммутационные аппараты и стандартные приспособления для монтажа и соединений, что обеспечивает высокий уровень надежности и большие возможности для изменений.

■ Преимущества

Функциональные распределительные устройства используются на всех уровнях низковольтного распределения (от главного РУ низкого напряжения (ГРЩ) до конечного распределения) в силу ряда их преимуществ:

□ Модульность системы, которая позволяет объединить многие функции в одном распределительном устройстве, включая защиту, контроль и управление электроустановками. Кроме того, модульная конструкция обеспечивает повышение уровня техобслуживания, эксплуатации и возможности модернизации.

□ Ускорение разработки распределительных устройств, поскольку нужно просто добавить дополнительные функциональные блоки.

□ Простота установки сборных компонентов.

□ Распределительные устройства проходят типовые испытания, которые обеспечивают высокий уровень надежности.

Новые распределительные устройства Prisma G и P компании Schneider Electric рассчитаны на ток до 3200 А и обеспечивают следующие преимущества:

□ Гибкость и простота монтажа.

□ Сертификация по стандарту МЭК 60439 и гарантия надежной работы при безопасных условиях.

□ Экономия времени на всех этапах – от разработки до монтажа, эксплуатации и модификации или модернизации.

□ Простота в адаптации, например, к привычным стилям работы и нормам в разных странах мира.

На **рис. E27a, E28** и **E29** представлены примеры функциональных распределительных устройств, рассчитанных на все номинальные мощности, а на **рис. E27b** – высокоэффективное функциональное распределительное устройство для промышленных цепей.

■ Основные типы функциональных блоков

В распределительных устройствах применяются три основных типа функциональных блоков:

□ Стационарные функциональные блоки (см. **рис. E30**)

Эти блоки не могут изолироваться от питания, так что любое вмешательство для техобслуживания, внесения изменений и т.д. требует отключения всего распределительного устройства. Однако, могут использоваться втычные или выдвижные устройства для минимизации времени простоя и повышения уровня готовности остального оборудования установки.

□ Втычные функциональные блоки (см. **рис. E31**)

Каждый функциональный блок смонтирован на съемной монтажной панели и обеспечен средствами изоляции от входной стороны (шины) и средствами разъединения на выходной стороне (выходящая цепь). Поэтому блок может сниматься для техобслуживания без отключения всего устройства.

□ Выдвижные функциональные блоки (см. **рис. E32**)

Коммутационные аппараты и сопутствующие приспособления для обеспечения выполнения функций смонтированы на шасси. Как правило, выполняемая функция является комплексной и часто связана с управлением двигателями.

Разъединение возможно на входной и выходной сторонах путем полного выдвижения секции, что позволяет быстро заменять поврежденный блок без отключения остальной части распределительного устройства.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Система установки

Соответствие действующим стандартам имеет важное значение для обеспечения требуемой степени надежности.

Три критерия стандарта МЭК 61439-1 и 2 вносят значительный вклад в надежность:

- Четкое определение функциональных блоков
- Формы разделения между соседними функциональными блоками в соответствии с требованиями пользователя
- Четко определенные испытания и процедура проверки

2.1.3 Стандарт МЭК 60439

Стандарт МЭК 61439 ("Устройства распределения и управления комплектные низковольтные») был разработан для того, чтобы предоставить конечным пользователям распределительных устройств высокий уровень надежности, с точки зрения безопасности и надежности энергоснабжения.

Аспекты безопасности включают в себя:
- Безопасность людей (риск удара электрическим током).
- Риск пожара.
- Опасность взрыва.

Надежность энергоснабжения является серьезной проблемой во многих отраслях промышленности, с высоким риском экономических последствий, в случае длительного перерыва в энергоснабжении распределительного щита возможен сбой в его работе.

Стандарты определяют требования к проектированию и контролю, а это означает, что снижается риск аварии в случае возникновения неисправностей или работы в суровых условиях окружающей среды.

Соответствие стандартам должно гарантировать, что распределительный щит будет корректно работать не только в нормальных, но и в сложных условиях.

Структура стандарта

Серия стандартов МЭК 61439 состоит из одного базового стандарта (МЭК 61439-1), который содержит общие правила, и нескольких связанных с ним стандартов, подробно описывающих, какие из этих общих правил применяются (или не применяются, или должны быть адаптированы) для конкретных типов сборок:

- МЭК/ТР 61439-0: Руководство по определению комплектности
- МЭК 61439-1: Часть 1. Общие правила
- МЭК 61439-2: Часть 2. Силовые комплектные устройства распределения и управления
- МЭК 61439-3: Часть 3. Распределительные щиты, предназначенные для обслуживания неквалифицированным персоналом
- МЭК 61439-4: Часть 4. Частные требования к комплектным устройствам для строительных площадок
- МЭК 61439-5: Часть 5. Комплектные устройства для силового распределения в сетях общественного пользования
- МЭК 61439-6: Часть 6. Системы сборных шин (шинопроводов)
- МЭК 61439-7: Комплектные устройства специального применения, например, на море, участках для лагеря, рыночных площадях, станциях зарядки электрических транспортных средств.

Первое издание (МЭК 61439-1 и 2) этих документов было опубликовано в 2009 году с поправками, внесенными в 2011 году.

Основные изменения в стандарте МЭК 61439

По сравнению с предыдущим стандартом МЭК 60439 были внесены несколько важных изменений в интересах конечных пользователей.

Требования, основанные на ожиданиях конечного пользователя

Различные требования, включенные в стандарты в соответствии с ожиданиями конечных пользователей:
- Возможность управления электрическим оборудованием
- Способность выдерживать критическое напряжение
- Возможность выдерживать критические токи
- Возможность выдерживать короткие замыкания
- Электромагнитная совместимость
- Защита от поражения электрическим током
- Техническое обслуживание и возможности улучшения
- Возможность монтажа
- Защита от риска возникновения пожара
- Защита от условий окружающей среды

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Система установки

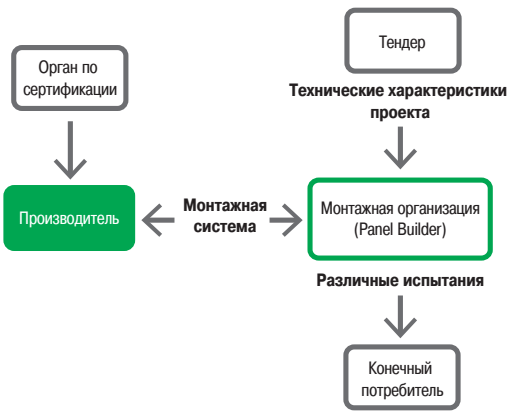


Рис. E33. Основные субъекты и обязанности, как определено в стандарте МЭК 61439-1, 2 (ГОСТ IEC 61439-1-2013 и ГОСТ Р МЭК 61439.2-2012)

Четкое определение ответственности

Роль различных субъектов была четко определена и показана ниже на **рис. E33**.

Распределительное устройство рассматривается как сборка, включающая в себя автоматические выключатели, устройства управления, измерения и защиты, регулирующее оборудование, все внутренние электрические и механические соединения и конструктивные элементы. Монтажные системы включают в себя механические и электрические компоненты (корпуса, сборные шины, функциональные блоки и т.д.).

Производитель - это организация, которая разработала конструкцию и произвела РУ, провела соответствующие испытания согласно действующим стандартам, например, МЭК 61439-2 (ГОСТ Р МЭК 61439.2-2012).

Испытания могут контролироваться органом по сертификации, который выдает сертификаты производителю. Эти сертификаты могут быть предоставлены по требованию конечному пользователю или местному регулятору.

Монтажная организация – это, как правило, организация, которая берет на себя ответственность за выполнение монтажа. Монтаж должен быть завершен в соответствии с инструкциями производителя. Если процедура сборки отличается от рекомендованной производителем, то потребуется проведение дополнительных испытаний и проверок.

В этом случае процедура сборки монтажной организации должна быть одобрена производителем.

По окончании сборки испытания должны проводиться производителем.

Производитель осуществляет проверку уже полностью собранной системы перед ее вводом в эксплуатацию.

Данная процедура проверки дает лучший результат для конечного потребителя по сравнению с «частичными типовыми испытаниями» и «полными типовыми испытаниями», описанными в предыдущей версии стандарта МЭК 60439.

Разъяснение проверки правильности проектирования, новых или обновленных требований к проектированию и контроля проверок

Стандарт МЭК 61439 также включает в себя:
- Обновленные или новые требования к проектированию (пример: способность к подъему)
- Детально разобранная структура проверки и приемлемые методы, которые могут быть использованы (или нет), чтобы сделать эти проверки, по каждому виду требований.

Для более подробной информации см. **рис. E34**
- Более подробный перечень плановых проверок, а также более строгие требования.

В нижеследующих пунктах приводятся сведения об этих изменениях.

Требования к проектированию

Для монтажа распределительного щита, который должен соответствовать стандартам, применяются различные требования. Эти требования 2-х типов:
- Требования **к конструкции**
- Требования **к рабочим характеристикам**

На **рис. E34** представлен полный перечень выполняемых проверок конструкции. Конструкция после сборки должна проходить проверку под контролем производителя.

Проверка конструкции

Проверка конструкции под контролем производителя призвана установить соответствие конструкции НКУ или системы НКУ требованиям, предъявляемым данной серией стандартов.

Проверка конструкции может быть выполнена путем:
- **проверочного испытания**, которое должно быть сделано для наиболее неблагоприятного варианта (наихудший случай);
- **проверочной оценки**, т. е. подтверждение правильности расчетов и соблюдения норм проектирования, включая достаточный резерв надежности;
- **проверочного сравнения** с испытанной контрольной конструкцией.

В стандарте МЭК 61439 уточнены многие определения различных вариантов проверки и точно указано, какие из этих 3 вариантов могут быть использованы для проверки каждого типа конструкции, как показано на **рис. E34.**

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Система установки

Номер	Проверяемая характеристика	Пункты	Варианты проверки		
			Испытанием	Сравнение с испытанной контрольной конструкцией	Расчетом
1	Прочность материалов и частей:	10.2			
	Коррозиестойкость	10.2.2	Да	Нет	Нет
	Свойства изоляционных материалов:	10.2.3			
	Теплостойкость	10.2.3.1	Да	Нет	Нет
	Устойчивость изоляционных материалов к нормальному нагреву	10.2.3.2	Да	Нет	Да
	Устойчивость к УФ излучению	10.2.4	Да	Нет	Да
	Способность к подъему	10.2.5	Да	Нет	Нет
	Механический удар	10.2.6	Да	Нет	Нет
	Маркировка	10.2.7	Да	Нет	Нет
2	Степень защиты оболочек	10.3	Да	Нет	Да
3	Воздушные зазоры	10.4	Да	Нет	Нет
4	Расстояния утечки	10.4	Да	Нет	Нет
5	Защита от поражения электрическим током и непрерывность защитных цепей:	10.5			
	Эффективная непрерывность между открытыми проводящими частями НКУ и защитной цепью	10.5.2	Да	Нет	Нет
	Эффективность НКУ для внешних повреждений	10.5.3	Да	Нет	Нет
6	Установка коммутационных устройств и комплектующих элементов	10.6	Нет	Нет	Да
7	Внутренние электрические цепи и соединения	10.7	Нет	Нет	Да
8	Зажимы для внешних проводников	10.8	Нет	Нет	Да
9	Электроизоляционные свойства:	10.9			
	Выдерживаемое напряжение промышленной частоты	10.9.2	Да	Нет	Нет
	Импульсное выдерживаемое напряжение	10.9.3	Да	Нет	Да
10	Пределы превышения температуры	10.10	Да	Да	Да(1)
11	Устойчивость к короткому замыканию	10.11	Да	Да(2)	Нет
12	Электромагнитная совместимость (ЭМС)	10.12	Да	Нет	Да
13	Работоспособность механических частей	10.13	Да	Нет	Нет

(1) Проверка пределов повышения температуры путем оценки приведена в стандарте МЭК 61439 (2011):

- для распределительного щита с одной ячейкой, номинальный ток ≤ 630 А: расчет допускается на основе сравнения общих потерь мощности всех компонентов, установленных в шкафу, и возможными потерями мощности (измеренными тестом с нагревательными резисторами), и производится с обязательным снижением номинального тока цепей на 20%
- для распределительного щита с одной или несколькими ячейками, каждая из которых имеет максимум 3 горизонтальных отсека, номинальный ток ≤ 1600 А: расчет допускается на основании МЭК/ТР 60890, но с обязательным снижением номинального тока цепей на 20%.
- для номинального тока > 1600 А расчет не производится, допускаются только испытания.

(2) Процедура испытания конструкции на стойкость к короткому замыканию по сравнению с эталонной конструкцией представлена в стандарте МЭК 61439.
На практике, в большинстве случаев обязательным условием выполнения этой проверки является наличие устройств защиты от короткого замыкания одного и того же производителя, все остальные элементы строго контролируются и соответствуют списку сравнений (таблица 13 - "Проверка короткого замыкания путем сравнения с эталонной конструкцией: список проверок" МЭК 61439-1 (ГОСТ IEC 61439-1-2013)).

Рис. E34. Перечень выполняемых проверок конструкции, которые должны быть выполнены, а также доступные варианты проверки (таблица D.1 приложения D стандарта МЭК 61439-1 (ГОСТ IEC 61439-1-2013))

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

Плановая проверка

Плановая проверка предназначена для обнаружения неисправностей в материалах и производственных дефектов, а также и для установления надлежащего функционирования выпускаемых распределительных устройств. Она находится под ответственностью монтажной компании или производителя. Типовые испытания проходит каждая изготовленная конструкция или распределительное устройство.

Проверки, которые должны быть выполнены:

Типовое испытание	Визуальный осмотр	Тесты
Степень защиты оболочек	■	
Воздушные зазоры	■	- Если D < 14 мм: выдерживаемое импульсное испытание - Если D < значения в 1,5 раза (21 мм): измерение
Расстояния утечки	■	Визуальный осмотр, измерения не применяются
Защита от поражения электрическим током и непрерывность защитных цепей	■	Случайная проверка герметичности соединений защитной цепи
Включение встроенных элементов	■	
Внутренние процессы в электрических цепях и соединениях	■	Случайная проверка герметичности
Зажимы для внешних проводников		Номер, тип и идентификация клемм
Работоспособность механических частей	■	Эффективность механических элементов блоков и блокировок, в том числе тех, которые связаны со сменными частями
Электроизоляционные свойства		Диэлектрические испытания и проверка сопротивления изоляции (от 250 А)
Электропроводка, эксплуатационные характеристики и функции	■	Проверка полноты информации и маркировки, проверка проводов и функциональная проверка в соответствующих случаях

Рис. E35. Перечень плановых проверок, которые должны быть выполнены

Точный подход

Стандарт МЭК 61439 характеризуется точным подходом к оценке надлежащего уровня качества и производительности распределительных щитов, ожидаемого конечными пользователями.

В стандарте приведены подробные требования к проектированию и предложена четкая процедура проверки, в которая разделяет испытание конструкции и плановую проверку.

Стандартом четко разграничены обязанности производителя по разработке и изготовлению и монтажной организации по доставке и сборке на объекте конечного пользователя.

Функциональные блоки

Этот же стандарт дает определение функциональным блокам:

■ Часть устройства, включающая в себя все электрические и механические элементы, необходимые для выполнения заданной функции

■ Распределительное устройство включает в себя вводный функциональный блок и один или несколько функциональных блоков для отходящих линий, в зависимости от эксплуатационных требований к установке.

Более того, используются функциональные блоки, которые могут быть стационарными, втычными или выдвижными (смотри раздел 4.2 главы D и **рис. E30**, **E31**, **E32**).

Формы разделения (секционирование) (см. рис. E36)

Разделение функциональных блоков внутри устройства обеспечивается с помощью форм секционирования в зависимости от режимов работы.
Формы пронумерованы (от 1 до 4 с указанием вариантов "a" или "b"). Нумерация имеет интегральный характер, т.е. форма секционирования с более высоким номером объединяет характеристики предыдущих форм. Стандарт определяет следующие формы:

■ Форма 1: без разделения
■ Форма 2: отделение шин от функциональных блоков
■ Форма 3: отделение шин от функциональных блоков и отделение всех функциональных блоков друг от друга, кроме их выходных зажимов
■ Форма 4: как форма 3, но с отделением выходных зажимов всех функциональных блоков друг от друга

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Система установки

Решение по применению той или иной формы секционирования основывается на соглашении между изготовителем и пользователем.
В распределительных щитах серии Prisma применяется секционирования по формам 1, 2b, 3b, 4a, 4b.

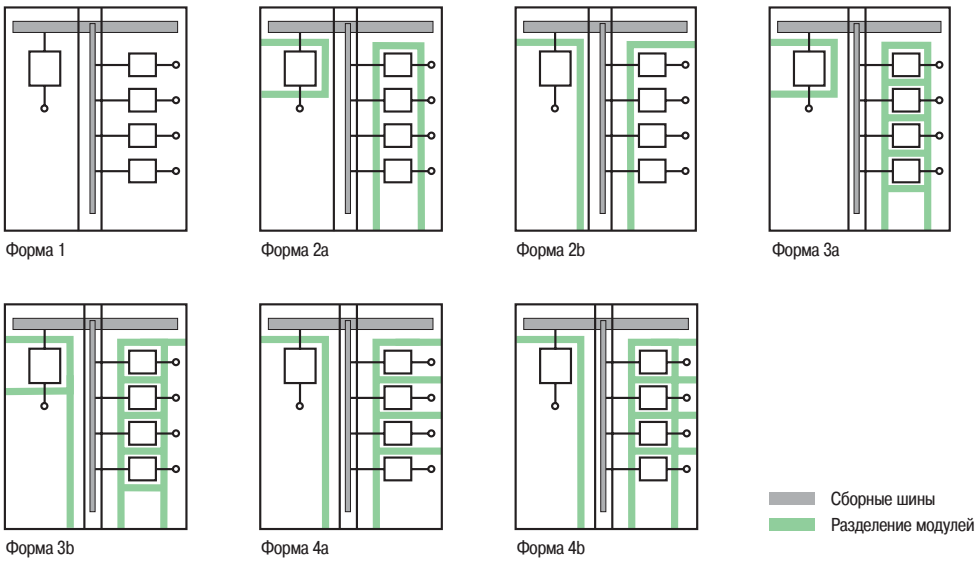


Рис. E36. Различные формы функционального разделения в распределительных щитах низкого напряжения

Другие проверки

Несмотря на обновления, внесенные в стандарт МЭК 61439 по сравнению с предыдущим МЭК 60439, все еще присутствуют некоторые ограничения. Они касаются оборудования разных производителей, использующихся в распределительном устройстве. На стадии проектирования не могут быть проверены все возможные комбинации компонентов из разных источников.

В такой ситуации конечный пользователь должен попросить предоставить протокол испытаний или сертификат для конкретной конфигурации в дополнение к имеющимся общим сертификатам производителя.

С другой стороны, МЭК 61439 устанавливает строгое ограничение на замещение устройств оборудованием другого ряда в связи с возможным повышением температуры и потери надежности при коротком замыкании. Только замена на устройства той же серии и номинала одного производителя и с теми же или еще более ограничительными параметрами (I2t, Ipk) может гарантировать, что эксплуатационные качества останутся на том же уровне. В любом случае, после проведенной замены система должна быть проверена на соответствие стандарту МЭК 61439 в целях безопасности.

Системный подход компании Schneider Electric, в дополнение к требованиям стандарта МЭК 61439, обеспечивает максимальный уровень надежности. Все компоненты сборки поставляются одним производителем. Проверяются не только общие, но и все возможные комбинации, а также все имеющиеся конструкции.

Высокий уровень производительности достигается за счет координации защит и согласованной работы защитных и коммутационных устройств, взаимодействия внутренних электрическими и механических компонентов и элементов конструкции. Все эти устройства были спроектированы для совместной работы. Все возможные комбинации устройств проходят испытания, что уменьшает риски по сравнению с выбор оборудования на основе расчетов или данных из каталогов (координация защит рассматривается в главе H настоящего Руководства). Только полный системный подход может обеспечить безопасную эксплуатацию электрической установки конечным пользователем.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2.1.4 Испытания на стойкость к внутренней дуге

Международный стандарт МЭК 61439-2 (ГОСТ Р МЭК 61439.2-2012) (1) регламентирует правила проектирования и изготовления надежных сборок, обеспечивающих высокую доступность энергии. Однако даже при соблюдении всех правил в течение всего срока службы узлов существует небольшой риск возникновения внутреннего дугового повреждения. Такое повреждение может возникнуть вследствие:

- наличия в сборке проводящих материалов, случайно оставленных при ее изготовлении, монтаже или техническом обслуживании
- проникновения мелких животных (например, мышей)
- неисполнения обязательств или недостаточной квалификации персонала
- недостаточного технического обслуживания
- ненормальных условий работы, при которых происходит перегрев и влечет за собой возникновение электрической дуги.

Зажигание дуги внутри сборки вызывает различные физические явления, приводящие к значительному перегреву (тепловой лавине) и избыточному давлению внутри корпуса, что создает опасность для людей, находящихся в непосредственной близости от сборки (так как может произойти внезапное открытие дверей, выброс наружу горячих материалов или газов и т. д.).
С целью оценки способности сборки выдерживать внутреннее избыточное давление была подготовлена публикация МЭК / ТР 61641 (2) (технический отчет). В нем дано описание стандартизированного метода испытаний и критерии оценки полученных результатов.
В стандарте МЭК/ТР 61641 оценивается способность узла ограничивать риск получения травмы и повреждения узлов, а также время простоя и время, необходимое для возврата к работе после дугового повреждения.
Важно отметить, что это испытание не является обязательным и проводится по усмотрению производителя и по согласованию с заказчиком. Характеристики внутренней дуги могут подвергаться оценке в следующих случаях:

- сборки, особенности применения которых требуют постоянного обслуживания на высоком уровне
- сборки для зданий, считающихся критическими
- сборки, установленные в местах, доступных для неквалифицированного персонала, а также сборки, в которых может происходить мгновенное отключение тока короткого замыкания, равного или превышающего 16 кА.

7 критериев оценки

МЭК/ТР 61641 определяет 7 критериев оценки результатов испытаний на стойкость к внутренней дуге (подробнее см. МЭК/ТР 61641:2014):

1. Двери и панели остаются надежно закрепленными и не открываются;
2. Элементы массой более 60 г не покидают пределы сборки;
3. Дуга не приводит к появлению отверстий во внешних частях корпуса ниже 2 м в местах, к которым имеется доступ;
4. Не происходит возгорание индикаторов (хлопчатобумажная ткань, расположенная вертикально близко к узлу). Индикаторы, воспламеняющиеся в результате горения краски или наклеек, исключаются из данной оценки;
5. Защитная цепь доступной части установки сохраняет свои функции в соответствии с МЭК 61439-2 (ГОСТ Р МЭК 61439.2-2012);
6. Установка способна ограничить дугу определенной областью, в которой она возникла, не распространяя ее на другие области данной установки;
7. После устранения неисправности или после изоляции (разборки) затронутых дугой функциональных блоков сохраняется возможность работы остальных узлов в аварийном режиме.

(1) Устройства комплектные низковольтные распределения и управления. Часть 2. Силовые комплектные устройства распределения и управления
(2) Устройства распределительные комплектные низковольтные, заключенные в корпус. Руководство по проведению испытаний при искрении в результате внутреннего короткого замыкания

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Система установки

Классификация (класс дуги)

На основании результатов испытаний по 7 оценочным критериям была определена следующая классификация:

Элемент классификации	Классификации	Комментарии
Сборка, испытанная в соответствии с МЭК/ТР 61641	**Класс дуги A:** защита персонала. (Критерии с 1 по 5)	
	Класс дуги B: защита персонала; искрение ограничено определенной областью в пределах установки. (Критерии с 1 по 6)	По соглашению между заказчиком и производителем, могут быть применены менее строгие или другие критерии
	Класс дуги C: защита персонала искрение ограничено определенной областью в пределах установки. Возможна ограниченная работа установки после дугового повреждения. (Критерии с 1 по 7)	
	Класс дуги I: Установка, обеспечивающая защиту с помощью зон, защищенных от дугового повреждения.	
Доступ	Ограниченный (по умолчанию)	Доступ к сборке имеет только квалифицированный персонал
	Неограниченный	Сборка может быть размещена в месте, доступном для всех людей, в том числе для неквалифицированного персонала

Рис. E37. Классификация сборок в соответствии с полученными результатами испытаний на внутреннюю дугу (таблица A.1, МЭК/ТР 60641:2014)

Класс I представляет собой совершенно другой подход по сравнению с другими классами.

Класс I: Зоны с защитой от дуги

В маловероятном случае возникновения дуги в сборке, классы A, B и C фокусируются на последствиях воздействия дуги, в то время как класс I руководствуется философией «профилактика лучше лечения».

Класс I стремится значительно снизить риск возникновения дугового повреждения путем применения сплошной изоляции для каждого проводника.

Производителем заявлено, что класс I может быть присвоен определенным частям сборки – например, функциональному блоку или отсеку (отсекам) сборных шин. Эти зоны, обеспечивающие защиту в соответствии с классом I, называются защищенными от зажигания дуги. Изоляция должна обеспечивать степень защиты от прямого контакта IP 4X в соответствии с МЭК 60529 (ГОСТ 14254-2015) (1) и выдерживать диэлектрические испытания, в 1,5 раза превышающие нормальные испытательные значения для сборки.

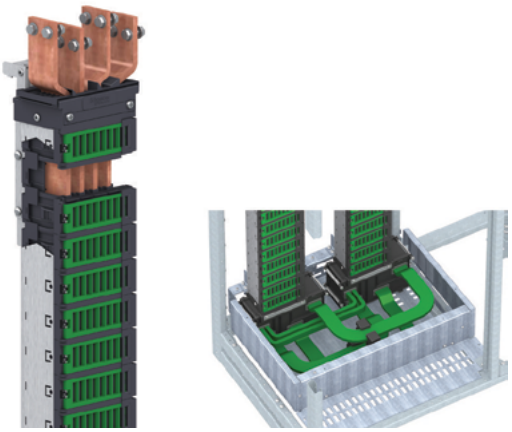


Рис. E38. Пример полностью изолированной шины, снижающей риск возникновения внутренней дуги (вертикальная шина Okken MCC, Schneider Electric)

(1) Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (Код IP).

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

Испытания на внутреннюю дугу

Основная цель испытания на внутреннюю дугу заключается в том, чтобы продемонстрировать высокий уровень безопасности для персонала, находящегося поблизости от сборки во время возникновения внутреннего дугового разряда.
Во время теста одежда персонала моделируется «индикаторами», расположенными вокруг сборки. Индикаторы представляют собой хлопок разных оттенков, имитирующий рабочую одежду персонала или других людей (таким образом имитируя нахождение электроустановки в зонах ограниченного или неограниченного доступа).

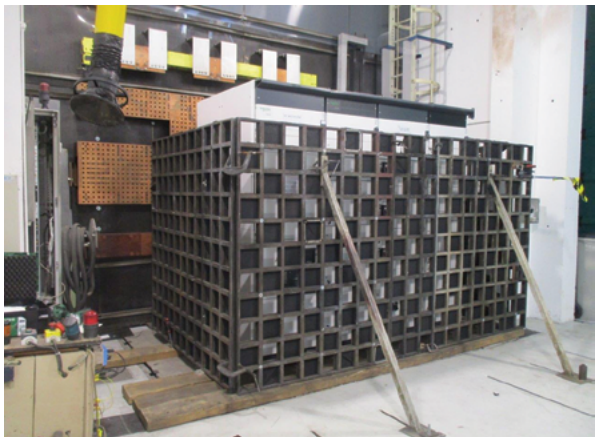


Рис. E39. Пример сборки с «индикаторами» (видны спереди и сбоку), подготовленной для проведения испытаний на внутреннюю дугу (Okken, Schneider Electric)

Другим обоснованием для проведения испытаний сборки на внутреннюю дугу является демонстрация влияния неисправности на саму сборку. В определенных случаях, определяемых классом дуги, следует ограничить дуговое повреждение некоторой частью сборки, чтобы остальная сборка (или ее часть) могла быть введена в работу в аварийном режиме после совершения небольшого количества операций по обслуживанию.

Обнаружение и устранение дуговых замыканий

Также существует другой подход к управлению внутренним дуговым повреждением:

- Некоторые реле могут обнаруживать дуговые замыкания в установке, как правило, реагируя на свет, возникающий при дуговом замыкании, иногда в сочетании с измерением тока. Такие реле способны обнаружить неисправность всего за несколько миллисекунд
- При обнаружении дугового замыкания это реле может инициировать «мгновенное» отключение вышестоящего автоматического выключателя. Это позволяет резко ограничить энергию, выделяемую дуговым замыканием. См. **рис. E40** ниже в качестве примера.
- Кроме того, можно активировать работу устройства внутреннего гашения дуги, что обеспечивает максимальную производительность при уменьшении продолжительности дугового замыкания (менее 5 мс).

В настоящее время данным вопросом занимаются в комитетах по стандартизации продукции и оборудования.

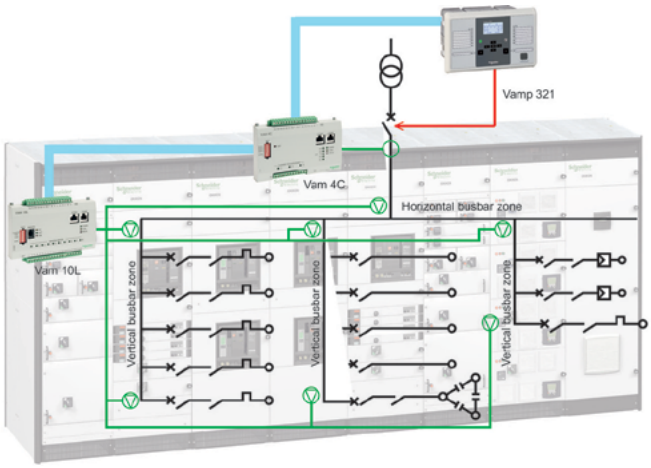


Рис. E40. Пример системы защиты от дуговых замыканий (система Okken + Vamp)

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

Общедоступность электротехнической информации и «умные» распределительные устройства – это уже реальность.

2.1.5 Дистанционное управление электроустановкой

Сегодня дистанционное управление не связано только с крупными установками. Его область применения расширяется и обеспечивает следующие преимущества:

- Снижение расходов на электроэнергию.
- Снижение затрат на поддержание установки в рабочем состоянии.
- Оптимальное использование капиталовложений посредством оптимизации жизненного цикла установки.
- Повышение уровня удовлетворенности потребителей электроэнергии благодаря возросшему уровню эксплуатационной готовности сетей и/или качества электроэнергии.

Протокол Modbus становится открытым стандартом обмена данными между распределительным устройством и системой диспетчеризации, обеспечивающей контроль и регулирование потребляемой мощности. Связь Modbus осуществляется по витой паре (RS 485) и с помощью соединения Ethernet TCP/IP (IEEE 802.3).

Сайт www.modbus.org представляет все технические характеристики протокола и постоянно обновляет перечень продуктов и компаний, использующих открытый промышленный стандарт.

Использование web-технологий позволило значительно расширить применение этого стандарта за счет снижения стоимости доступа к этим функциям посредством использования интерфейса, который стал универсальным, а также повышения уровня открытости и возможностей модернизации, которых просто не существовало всего несколько лет тому назад.

2.2 Кабели и шинопроводы

Два возможных типа распределения:
- по изолированным проводам и кабелям;
- по шинопроводам.

Распределение по изолированным проводам и кабелям

Определения

- Провод

Провод состоит из металлической проводящей жилы с изолирующей оболочкой или без нее.

- Кабель

Кабель состоит из ряда проводников, электрически разделенных, но соединенных механически и, как правило, заключенных в гибкую защитную оболочку.

- Шинопровод

Шинопровод состоит из нескольких жестких проводников, закрепленных с помощью изоляторов в корпусе.

Маркировка проводов

Расцветка жил и маркировка должна выполняться в соответствии со следующими правилами:

- Правило 1:
  - Комбинация зеленого и желтого цвета используется только для маркировки защитных проводников PE и PEN.
- Правило 2:
  - Если цепь включает в себя нейтраль, она должна быть светло-голубого цвета или с маркировкой «1» для кабелей, имеющих более пяти проводников.
  - Если цепь не включает в себя нейтраль, светло-голубой проводник может использоваться в качестве фазного провода, если он входит в состав кабеля с несколькими проводниками.
- Правило 3:

Фазные проводники могут быть любого цвета, кроме:
- Зеленый + желтый
- Зеленый
- Желтый
- Светло-голубой (см. правило 2)

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Система установки

Маркировка проводников в кабеле выполняется с помощью цвета или цифр (см. **рис. E41**).

Количество проводников в цепи	Цепь	Неподвижно закрепленные шинопроводы									
		Изолированные проводники					Жесткие и гибкие многожильные кабели				
		Ph	Ph	Pn	N	PE	Ph	Ph	Ph	N	PE
1	Защита или заземление					G/Y					
2	1-фазная между фазами	■	■				BL	LB			
	1-фазная между фазой и нейтралью	■			LB		BL			LB	
	1-фазная между фазой и нейтралью + защитный проводник	■			G/Y		BL			G/Y	
3	3-фазная без нейтрали	■	■	■			BL	B	LB		
	2 фазы + нейтраль	■	■		LB		BL	B		LB	
	2 фазы + защитный проводник	■	■			G/Y	BL	LB			G/Y
	1-фазная между фазой и нейтралью + защитный проводник	■			LB	G/Y	BL			LB	G/Y
4	3-фазная с нейтралью	■	■	■	LB		BL	B	BL	LB	
	3-фазная с нейтралью + защитный проводник	■	■	■		G/Y	BL	B	LB		G/Y
	2 фазы + нейтраль + защитный проводник	■	■		LB	G/Y	BL	B		LB	G/Y
	3-фазная с проводником PEN	■	■	■	G/Y		BL	B	LB	G/Y	
5	3 фазы + нейтраль + защитный проводник	■	■	■	LB	G/Y	BL	B	BL	LB	G/Y
> 5		Защитный проводник: G/Y. Другие проводники: BL. Нейтраль: 1.									

G/Y: зеленый/желтый BL: черный ■ : См. правило 3 LB: светло-голубой B: коричневый

Рис. E41. Цвет и маркировка проводников по типу цепи

Примечание: если цепь включает в себя защитный проводник, и кабель не имеет зелено-желтого проводника, защитный проводник может быть:

- зеленого и желтого цвета;
- голубого цвета, если цепь не имеет нейтрали;
- черного цвета, если цепь имеет нейтраль.

В последних двух случаях проводник должен иметь зеленые и желтые полосы или маркировку на концах и по всей видимой длине проводника.

Маркировка сетевых шнуров оборудования аналогична маркировке многожильных кабелей (см. **рис. E42**).

Методы распределения и монтажа (см. **рис. E43**)

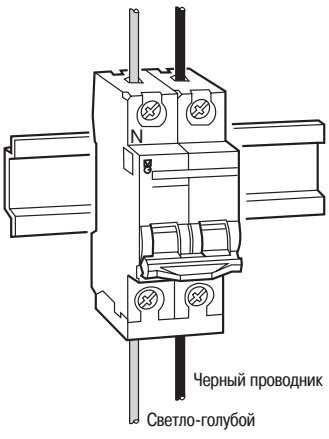


Рис. E42. Расцветкаа проводников на выключателе с фазой и нейтралью

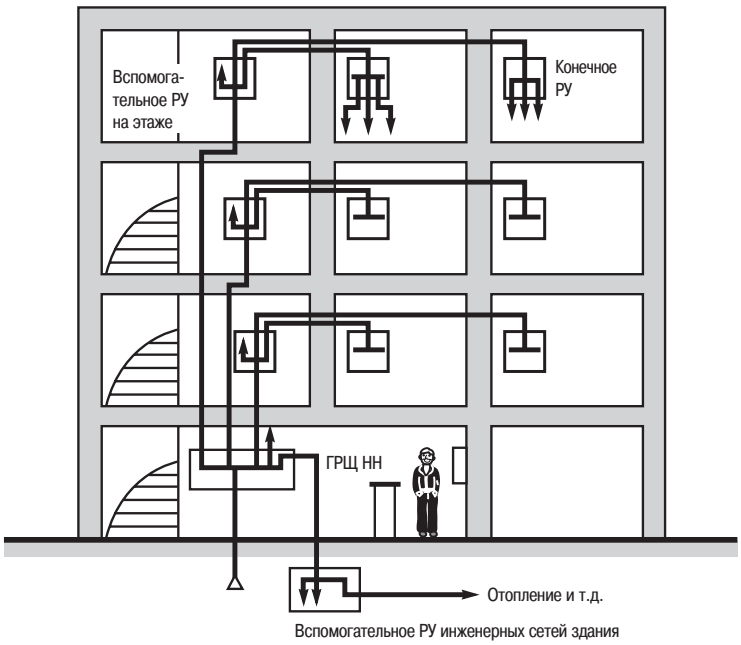


Рис. E43. Радиальное распределение кабелями в гостинице

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Система установки

Шинопроводы отличаются простотой монтажа, гибкостью и возможностью реализации любых точек ответвления.

Шинопроводы

Шинопроводы применяются для распределения электроэнергии (20-5000 A) и в цепях освещения (в этом случае шинопроводы могут использоваться для электропитания и монтажа приборов освещения).

Компоненты шинопроводов

Шинопровод состоит из ряда проводников, защищенных оболочкой (см. **рис. E44**). Шинопроводы, используемые для передачи и распределения электроэнергии, включают в себя соединители, прямые секции, угловые секции, крепежные детали и т.д. Точки ответвления, расположенные с равным интервалом, обеспечивают подвод питания к любой точке установки.

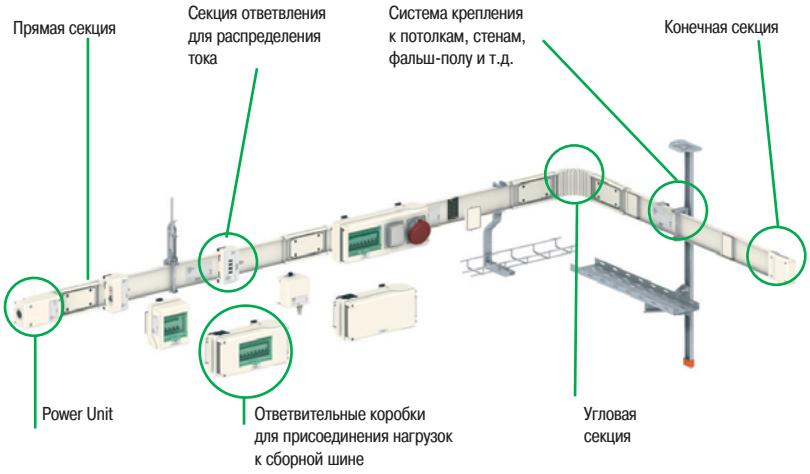


Рис. E44. Конструкция шинопровода для распределения тока 25-4000 A.

Типы шинопроводов

Шинопроводы представлены на всех уровнях распределения электроэнергии: от перемычки между трансформатором и ГРЩ до распределения к штепсельным розеткам и осветительному оборудованию офисов или распределения мощности для цехов.

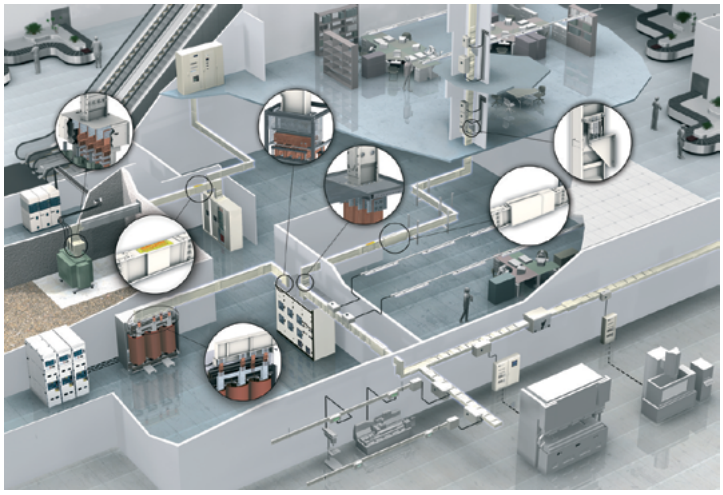


Рис. E45. Распределение при помощи шинопроводов

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Система установки

Существуют три основных типа шинопроводов:

■ Магистральные шинопроводы между трансформатором и ГРЩ

Эти шинопроводы устанавливаются на постоянной основе и редко изменяются. Не имеют ответвлений.

Часто используются для коротких участков на номинальные токи 1600/2000 А, например, когда невозможна прокладка параллельных кабелей. Шинопроводы также используются между ГРЩ и распределительными устройствами за ним.

Характеристики магистральных шинопроводов позволяют использовать их при рабочих токах 1000-5000 А и токах КЗ до 150 кА.

■ Шинопроводы для распределительных сетей с малой или высокой плотностью ответвлений

Расположены за магистральными шинопроводами и запитывают два типа нагрузок:

□ Помещения среднего размера (производственные цеха с литьевыми машинами и металлообрабатывающими станками или супермаркеты с большими нагрузками). Уровни номинального тока и тока КЗ могут быть довольно высоки (100-1000 А и 20-70 кА соответственно).

□ Небольшие объекты (цеха со станками, текстильные фабрики с небольшими станками, магазины с небольшими нагрузками). Пониженные уровни токов (40-400 А и 10-40 кА соответственно).

Использование этих шинопроводов отвечает следующим требованиям заказчика:

□ Возможность изменения и модернизации со значительным расширением ответвлений.

□ Надежность и бесперебойность питания, поскольку ответвительные коробки могут безопасно присоединяться под напряжением.

Шинопроводы применяются также при вертикальном распределении в виде стояков 100-5000 А в высотных зданиях.

■ Шинопроводы для цепей освещения

В цепях освещения могут устанавливаться два типа шинопроводов:

□ Шинопроводы, рассчитанные на подвешивание светильников

Эти шинопроводы служат для питания и крепления осветительных приборов (промышленные отражатели, разрядные лампы и т.д.). Они используются в производственных зданиях, супермаркетах, универсамах и складских помещениях. Шинопроводы характеризуются высокой жесткостью и рассчитаны на одну или две цепи 25 или 40 А. Они имеют ответвления с интервалом 0,5 - 1 м.

□ Шинопроводы, не рассчитанные на подвешивание светильников

Эти шинопроводы служат для питания осветительных приборов всех типов, закрепляемых на конструкциях здания. Они используются в коммерческих зданиях (офисы, магазины, рестораны, гостиницы и т.д.), особенно в фальш-потолках. Это гибкий шинопровод, рассчитанный на одну цепь 20 А. Он имеет ответвления с интервалом 1,2 - 3 м.

Шинопроводы удовлетворяют требованиям многих зданий:

■ Производственные здания: гаражи, цеха, фермы, центры МТО и т.д.

■ Коммерческие объекты: склады, торговые пассажи, супермаркеты, гостиницы и т.д.

■ Здания сферы услуг: офисы, школы, больницы, спортзалы и т.д.

Нормы

Шинопроводы должны удовлетворять всем требованиям, указанным в стандарте МЭК 439-2.

Этот стандарт определяет производственные условия, которые необходимо учитывать при проектировании шинопроводов (например: повышение температуры, стойкость к короткому замыканию, механическая прочность и т.д.), а также методы испытаний для их проверки.

Стандарт МЭК 439-2 определяет 13 обязательных типовых испытаний конфигураций или компонентов системы.

Сборка компонентов системы на объекте в соответствии со сборочными инструкциями обеспечивает подрядчику соответствие стандарту.

Преимущества шинопроводов

Гибкость

■ Легкость изменения конфигурации (изменение на объекте для изменения конфигурации производственной линии или расширение производственных участков).

■ Повторное использование компонентов (без повреждений): при изменении установки можно легко разобрать шинопровод и использовать его повторно.

■ Эксплуатационная готовность установки (возможность использовать ответвления с интервалом 1 м).

■ Широкий выбор ответвительных коробок.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Система установки

Простота

- Проектирование может осуществляться независимо от распределения и расположения ЭП.
- Характеристики не зависят от условий реализации: использование кабелей требует учета ряда коэффициентов снижения номинальных параметров.
- Четкая схема распределения.
- Сокращение времени монтажа: шинопроводы обеспечивают сокращение времени монтажа на 50% в сравнении с традиционными кабельными системами.
- Гарантия изготовителя.
- Контролируемые сроки монтажа: использование шинопроводов гарантирует отсутствие «сюрпризов» при монтаже. Сроки монтажа известны заранее. С помощью такого приспосабливаемого и расширяемого оборудования можно быстро решить любые проблемы.
- Легкость установки модульных компонентов – их можно легко, просто и быстро подсоединить.

Надежность

- Надежность гарантируется заводской сборкой.
- Безопасные в обращении блоки.
- Последовательная сборка компонентов и ответвительных коробок делает невозможным совершение каких-либо ошибок.

Бесперебойность питания

- Большое количество ответвлений позволяет легко запитывать новые ЭП. Быстрое и полностью безопасное присоединение и отсоединение даже под напряжением. Возможность расширения или изменения без остановки работы.
- Быстрое и простое обнаружение повреждений, поскольку ЭЛ расположены около линии.
- Техобслуживание не требуется или сведено к минимуму.

Основной вклад в устойчивое развитие

- Шинопроводы позволяют объединять цепи. В сравнении с традиционной кабельной распределительной системой расход проводниковых материалов и изоляторов сокращается в 3 раза (см. **рис. E46**).
- Повторно используемое устройство с полной утилизацией всех его компонентов.
- Не содержит ПВХ и не генерирует токсичные газы или отходы.
- Снижение рисков воздействия электромагнитных полей.

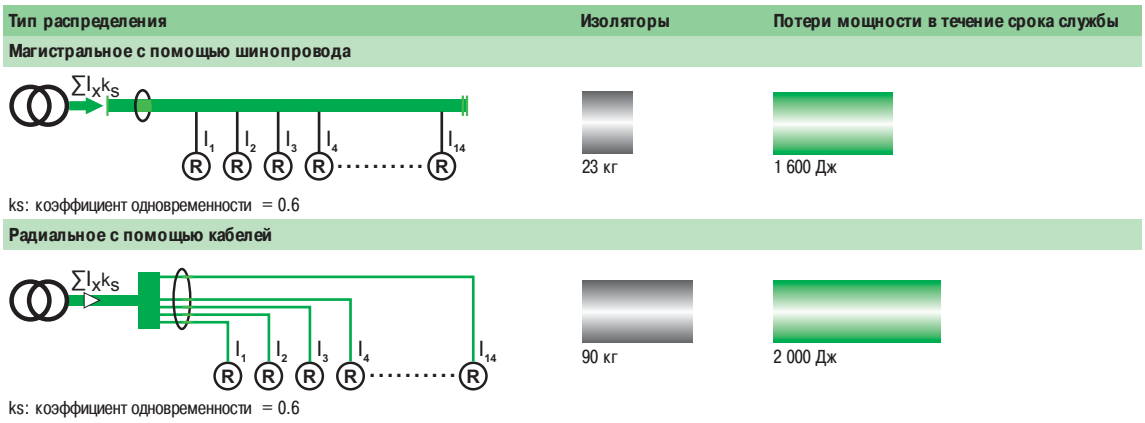


Рис. E46. Пример набора нагрузок 14 x 25 A, распределенных вдоль 34 метров (для шинопровода Canalis KS 250A)

Функциональные характеристики Canalis

Шинопроводы становятся еще лучше. Среди их характеристик можно отметить следующие:

- Улучшенные параметры – степень защиты IP55 и номинальный ток 160-1000 A (KS).
- Осветительные каналы и лампы в сборе с кабелями.
- Крепежные аксессуары: система быстрого крепления, кабелепроводы, совместная поддержка с цепями VDI (голос, данные, изображения).

Одна крепежная сборка для силовых цепей и цепей VDI.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Система установки

Шинопроводы идеально вписываются в окружающую обстановку:

- Белый цвет для улучшения рабочей среды и сочетания с другими устройствами распределительной сети.
- Соответствие европейским нормам по снижению содержания опасных материалов (RoHS).

Примеры шинопроводов Canalis

Рис. E47. Жесткий шинопровод, рассчитанный на крепление осветительной арматуры: Canalis KBA или KBB (25 и 40 A)

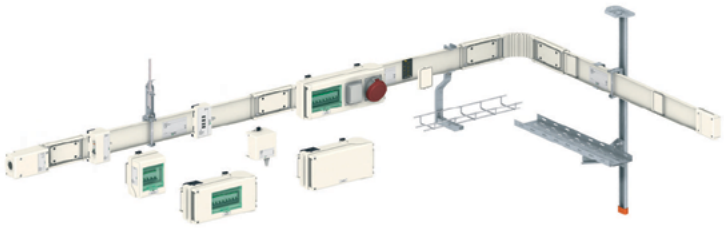


Рис. E48. Шинопровод для распределения малой мощности: Canalis KN (от 40 до 160 A)

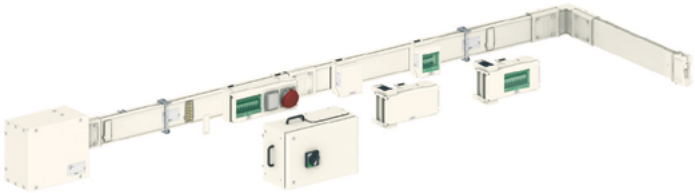


Рис. E49. Шинопровод для распределения средней мощности: Canalis KS (от 100 до 1000 A)

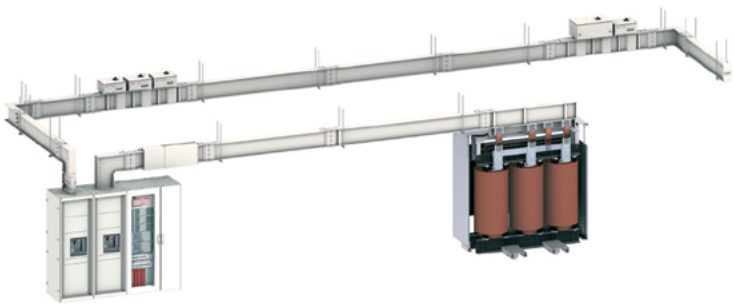


Рис. E50. Шинопровод для распределения большой мощности: Canalis KT (от 800 до 5000 A)

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2.3 Влияние гармонических токов при выборе шинопроводов

2.3.1 Введение

Гармонические токи генерируется большинством современных электрических нагрузок, которые можно найти во всех секторах промышленных, коммерческих и бытовых помещений. Эти электрические нагрузки используют электронные устройства питания, которые отвечают за генерацию гармоник токов. Общие нелинейные нагрузки:

- Промышленное оборудование (паяльные машины, индукционные печи, мостовые выпрямители и зарядные устройства)
- Преобразователи частоты с двигателями переменного или постоянного тока
- Источники бесперебойного питания (ИБП)
- IT-оборудование (компьютеры, мониторы, серверы, копировальные аппараты, принтеры и т.д.)
- Бытовая техника (телевизоры, микроволновые печи, флуоресцентные лампы и т.д.).

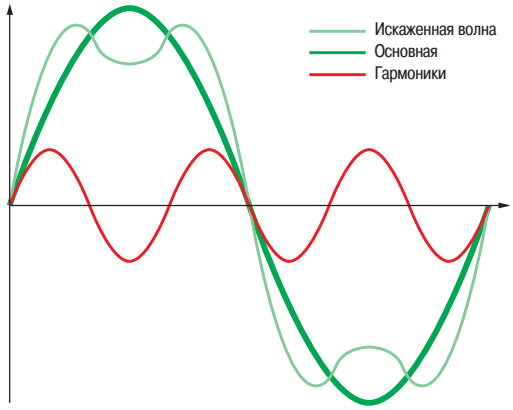


Рис. E51. Внешний вид искаженного сигнала тока под действием гармоник

Современные электрические нагрузки имеют общий элемент: электронные блоки питания. Преимуществами электронного источника питания являются его стоимость, эффективность и способность контролировать его выходной сигнал. По этой причине, они встречаются в самом разнообразном одно- и трехфазном электрооборудовании. Гармонические токи являются естественным побочным продуктом. Для того, чтобы быть более эффективными, эти устройства потребляют ток лишь малую часть цикла.
Установки, где эти устройства содержатся в большом количестве - это компьютерные центры, банки, центры обработки данных и т.д.

Гармонические токи, создаваемые этими нагрузками, представляют собой проблемы:

- Искажение напряжения, и как следствие, ответственность за отказ некоторых видов электрооборудования
- Повышенные потери, среднеквадратичный ток, выше, чем основной ток
- Риск резонанса, когда присутствуют конденсаторы для повышения коэффициента мощности.

Третья гармоника тока (150/180 Гц) или кратная 3 (тройной гармоник) отвечает за повышенных нейтральных токов в трехфазных, четырехпроводных системах. Это является важной причиной потому, что нужно выбрать оптимальную конструкцию шинопроводов для офисных зданий, где перегрузка нейтрального проводника является серьезной проблемой.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Система установки

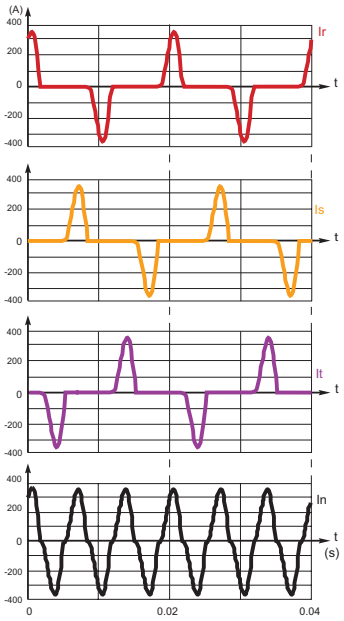


Рис. E52. Линейные и нейтральные токи включают однофазные нелинейные нагрузки и соединены между фазой и нейтралью.

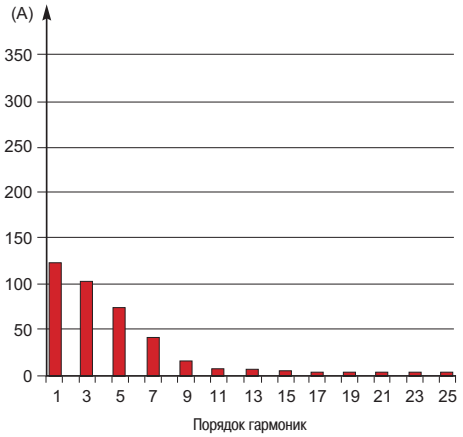


Рис. E54. Типовые гармоники фазного тока для однофазных нелинейных нагрузок

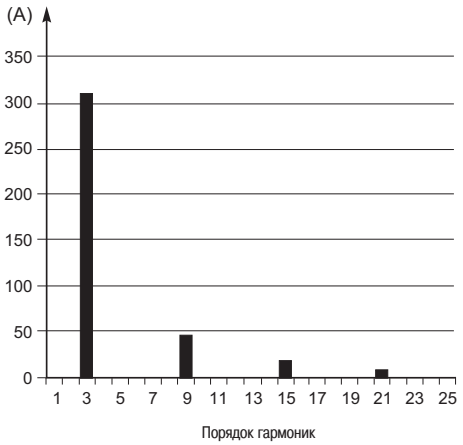


Рис. E55. Обычные гармонические токи нейтральны для однофазных нелинейных нагрузок

2.3.2 Ток нейтрали в трехфазных, четырехпроводных систем

Рис. E52 представляет собой нелинейные фазные токи и в результате нелинейного тока нейтрали, трехфазная четырехпроводниковая система, снабжает идентичные однофазные нагрузки.

Цеха:
■ Смешанное использование устройств, вызывающие и не вызывающие гармонические токи (компьютерное оборудование, инверторы, люминесцентное освещение и двигатели, насосы, обогреватели и т.д.).
- Малая вероятность гармонического присутствия.
Уровень гармоник меньше 33 %

Офисы:
■ Много устройств, вызывающих гармонические токи (компьютерное оборудование, инверторы, люминесцентное освещение и т.д.).
- Сильная вероятность гармонического присутствия.
Уровень гармоник больше или равен 33 %

Рис. E53. Области применения где уровень гармоник является либо незначительным, либо высоким, в зависимости от соотношения нагрузок, генерирующих гармоники в сравнении с классическими нагрузками

Гармонические спектры фаз и нейтральных токов представлены на **рис. E54** и **E55**. Можно увидеть, что нейтральный ток включает в себя только третий или кратную трем гармонику (т.е. 3, 9, 15 и т.д.). Амплитуда этих токов ровно в три раза больше амплитуды фазных токов. В измерениях тока нейтрали наибольшую величину имеет третья гармоника. Остальные гармоники, кратные третьей (9, 15, 21 и т. д.), значительно уменьшаются по величине, и потому практически не оказывают влияния на среднеквадратичное значение тока.

В этом примере, среднеквадратичное значение тока нейтрали равно 1.732 (√3) среднеквадратичного значения тока линии. Такое теоретическое значение получается только при нагрузках, поглощающих ток, аналогичный представленному на **рис. E52**.

Когда нагрузка включает в себя частично линейные цепи (например, двигателей, нагревательных приборов, ламп накаливания), среднеквадратичное значение тока нейтрали строго меньше √3 раз среднеквадратичное значение фазных токов.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Система установки

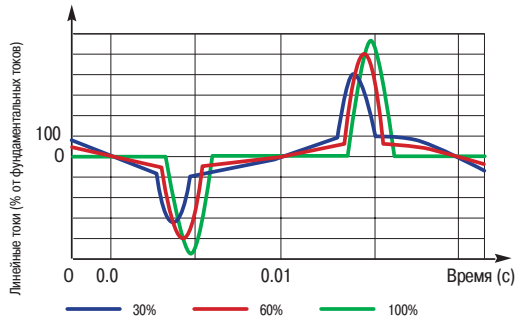


Рис. E56. Линейные токи для различных соотношений нелинейной нагрузки

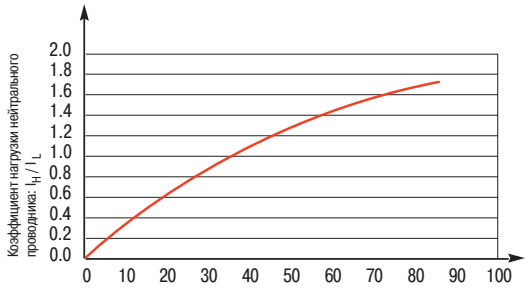


Рис. E57. Коэффициент нагрузки нейтрального проводника в зависимости от гармоник, кратных трем

2.3.3 Влияние коэффициента нагрузки на нейтральном проводнике

Моделирование было проведено с целью оценки влияния гармоник кратных трем на нейтральный проводник. **Рис. E56** представляет различные формы сигналов линейного тока для различных нелинейных нагрузок. Значение активной мощности не менялось (линейные нагрузки считаются чисто резистивными).

Затем вычисляется ток нейтрали, и его значение сравнивается с линейным током для различных уровней гармоник, кратных трем. Значения коэффициента нагрузки нейтрального проводника (отношение тока нейтрали к линейному току) представлены на **рис. E57**.

В установках, где имеется большое количество однофазных электронных нелинейных нагрузок, подключенных к нейтрали, присутствует высокий коэффициент нагрузки.

В этих установках, где ток нейтрали может превышать фазный ток, особое внимание должно быть уделено подведению нейтрального проводника. Это предотвращает установку нейтрального проводника меньшего размера, и следует обращать внимание на ток во всех четырех проводах.

Мощность, поглощаемая такой группой нагрузок, как правило, ограничена, и даже если ток нейтрали превышает линейный ток, то значения в нейтральном проводнике могут быть превышены только в крайних случаях, если его размер равен размеру линейных проводов.

Обычной практикой в этих условиях заключается в использовании 200 % нейтрального проводника. Это не рекомендуется правилами, но поощряется такими организациями, как Copper Development Association.

В мощных энергетических установках (> 100 кВА или > 150 А) различные факторы способствуют сокращению нагрузки в нейтральном проводнике:

- Повышение качества IT-оборудования (рабочие станции, серверы, маршрутизаторы, ПК, ИБП и т.д.) включая коррекцию коэффициента мощности цепи, позволяет значительно сократить генерацию третьих гармоник.
- Климатическое оборудование в больших зданиях запитано трехфазной сетью с высоким напряжением, и как таковые третьи гармоники не производят гармонические токи
- Люминесцентные осветительное оборудование (с магнитным или электронным балластом) производят третьи гармонические токи, которые являются фазовыми сдвигами гармонических токов, генерируемых ПК, давая частичное аннулирование вектора.

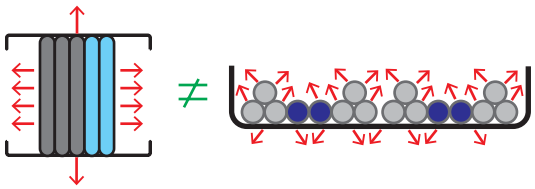


Рис. E58. Установка с двойной изоляцией проводников не применима для шинопровода из-за их различного поведения при тепловом рассеивании

В большинстве случаев, гармоники, кратные трем, в этих установках представляют не более 33%, так что ток нейтрали не превышает линейных токов. Поэтому нейтральный проводник не используется.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2.3.4 Влияние гармоник на проводники

Циркуляция гармонических токов создает дополнительный нагрев внутри проводников по нескольким причинам:

- Повышенный уровень гармонических токов третьего порядка по сравнению с относительно небольшим током, протекающим в нейтрали, при нормальных сбалансированных линейных нагрузках.
- Дополнительный нагрев проводников из-за увеличения скин-эффекта и вихревых потерь тока по причине циркуляции гармонических токов всех порядков.

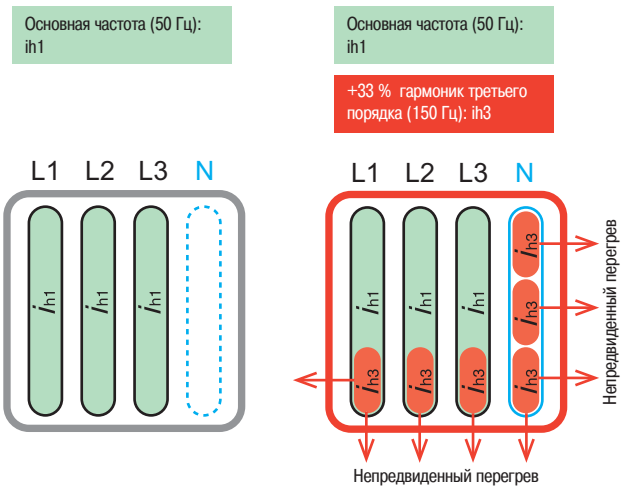


Рис. E59. Иллюстрация риска перегрева в стандартном шинопроводе при наличии третьей гармоники

Моделирование потерь мощности, создаваемых каждой гармоникой, показывает влияние гармонических токов в шинопроводе. Также были проведены измерения гармонических токов различных частот, циркулирующих в шинопроводах.

Такой же подход был использован для сравнения двух различных типов конструкции сборных шин с одинаковой площадью поперечного сечения активных проводников, с 200 % сечением нейтрали и 100 % сечением, см. **рис. E60**.

Размещенные в тех же условиях, система шинопровода с 4 одинаковых проводников будет иметь более низкую температуру, чем повышение на 200 % в сборных шин с той же суммарной площадью поперечного сечения. Конечно, при выборе размера проводников мы должны принять во внимание возможный ток, протекающий через нейтральный проводник.

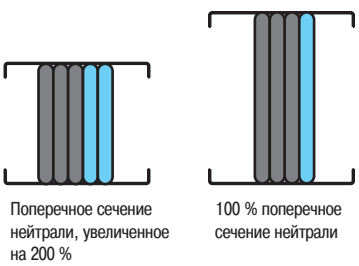


Рис. E60. Поперечное сечение 2-х различных систем сборных шин

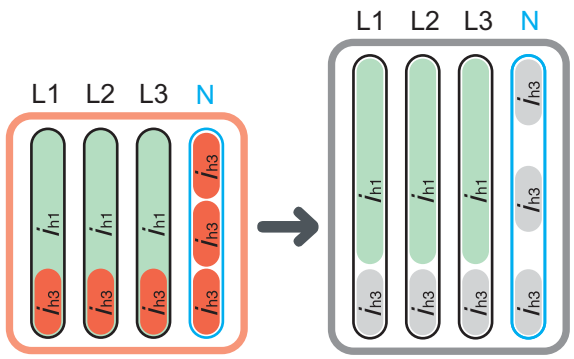


Рис. E61. Наиболее эффективным решением является уменьшение плотности тока во всех проводниках, посредством правильного выбора сечения шинопровода (однопроводная нейтраль)

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2.3.5 Упрощенная процедура выбора

Первым шагом в процедуре выбора для шинопроводов является оценка фазных токов и значения третьей гармоники тока.

Примечание: 3-я гармоника тока оказывает влияние на ток в нейтрали и, следовательно, на номинальный ток всех компонентов в системе:

- Распределительные щиты
- Защиту и диспетчеризацию распределительных устройств
- Кабели и шинопроводы

В зависимости от значения третьей гармоники рассмотрим 3 случая:

А) Уровень третьей гармоники ниже 15 % ($Ih3 \leq 15\ \%$)**:**

Нейтральный проводник считается незагруженным. Размер фазных проводников зависит только от фазных токов. В соответствии с МЭК, размер нейтрального проводника может быть меньше размера фазных проводов, если площадь поперечного сечения больше 16 мм^2 для меди или 25 мм^2 для алюминия.

Б) Уровень третьей гармоники находится в диапазоне от 15 до 33 % ($15 < Ih3 \leq 33\ \%$)

Нейтральный провод рассматривается как проводник, по которому протекает ток.

Номинальный ток должен быть уменьшен на коэффициент, равный 84 % (выберите шину, номинальный ток которой равен фазному току, умноженному на 0,84).

Сечение нейтрального провода должно быть равно сечению фазного.

В) Уровень третьей гармоники выше, чем 33 % ($Ih > 33\ \%$)

Нейтральный провод рассматривается как проводник, по которому протекает ток.

Рекомендуемый подход заключается в применении одинакового сечения для фазного и нейтрального проводов. Ток нейтрали является преобладающим при выборе размера проводника.

Как правило, это приводит к выбору системы шинопровода, в которой текущее значение выше, чем требуемое (как правило, в два раза).

Таблица выбора шинопроводов Canalis KTC компании Schneider Electric

Номинал (А)	Без гармоник	Обычный уровень гармоник	Очень высокий уровень гармоник
1000	KTC1000	KTC1000HRB	KTC1350HRB
1350	KTC1350	KTC1350HRB	KTC1600HRB
1600	KTC1600	KTC1600HRB	KTC2000HRB
2000	KTC2000	KTC2000HRB	KTC2500HRB
2500	KTC2500	KTC2500HRB	KTC3200HRB
3200	KTC3200	KTC3200HRB	KTC4000HRB
4000	KTC4000	KTC4000HRB	
5000	KTC5000		

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Система установки

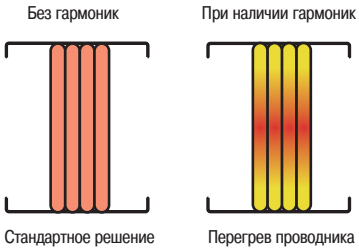


Рис. E62. Поперечное сечение стандартного шинопровода при наличии гармоник и без них

Рис. E64. Системный подход к выбору всех компонентов электрооборудования

2.3.6 Выводы

Офисные здания часто подвергаются циркуляции высоких уровней третьих гармоник тока. Они являются причиной возможной перегрузки нейтрального проводника.

Производительность стандартной конструкции магистрального шинопровода с циркуляцией гармонических токов была подробна проанализирована.

Была предложена упрощенная процедура выбора шинопроводов, адаптированных к циркуляции гармонических токов, и в частности, в нейтральном проводнике.

Увеличение на 200 % поперечного сечения нейтрального провода не является оптимальным решением.

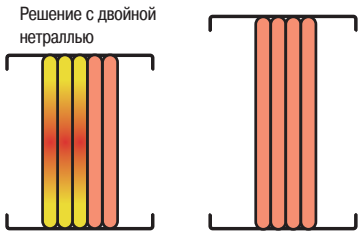
Шинопровод с одинаковым размером для всех проводников отлично приспособлен для гармонических искажений. Шинопровод остается работоспособным при перегрузке, так как при разработке системы были учтены все возможные параметры.

Выбор сечения для оптимизации производительности

На **рис. E63** приведено сравнение двух конструкций шинопровода. Условия испытаний одинаковы для обоих случаев:

- Ток фазы: IL = 1600 A
- Уровень 3-й гармоники: ih3 = 33%
- Ток нейтрали: IN = 1520 A

Помещенные в одинаковые условия, система шинопровода, состоящая из 4 одинаковых проводников, будет иметь более низкую температуру, чем система из 2 сборных шин с той же суммарной площадью поперечного сечения. Конечно, при выборе размера проводников необходимо принять во внимание ток, протекающий через нейтральный проводник.



Повышение температуры	200 % нейтраль	100 % нейтраль
Фазный проводник (среднее значение)	63.5	41.5
Нейтральный проводник	56	39
Кожух (максимальное значение)	55	39

Двойная нейтраль не связана с дополнительным повышением температуры

	200 % нейтраль	100 % нейтраль
Площадь поперечного сечения фазного проводника (мм^2)	960	1200
Площадь поперечного сечения нейтрального проводника (мм^2)	1920	1200
Общая площадь поперечного сечения (мм^2)	**4800**	**4800**

Даже несмотря на суммарное сечение для всех проводников, в точности то же самое решение применяется для 2 шинопроводов

Рис. E63. Сравнение решений с двойной нейтралью шинопровода и с правильно выбранной одиночной нейтралью

Системный подход

Подход, учитывающий ток гармоник в шинопроводе, является решением данной проблемы. Для оптимизации работы шинопровода необходимо учесть его совместимость с подключенными электрическими устройствами:

- разъединителями
- автоматическими выключателями
- кабелями

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Внешние воздействия (МЭК 60364-5-51)

Внешние воздействия должны учитываться при выборе:
■ соответствующих мер обеспечения безопасности персонала (в частности, на специальных объектах или электроустановках);
■ характеристик электрооборудования, таких как степень защиты (IP), стойкость к механическим воздействиям (IK) и т.д.

3.1 Определения и стандарты

Внешняя среда в каждой установке представляет различную степень риска:
■ для людей;
■ для оборудования электроустановки.

Поэтому внешние условия влияют на определение и выбор соответствующего оборудования и средств защиты людей.

Внешние условия называются внешними воздействиями. Многие национальные стандарты, касающиеся внешних воздействий, включают в себя схему классификации, основанную на международном стандарте МЭК 60364-5-51 (ГОСТ Р 50571.5.51-2013).

При нескольких одновременно действующих внешних факторах они могут оказывать независимое или взаимосвязанное воздействие, и защита должна выбираться с учетом этого.

3.2 Классификация

Каждый фактор внешнего воздействия обозначается кодом, состоящим из двух прописных букв и цифры:

Первая буква (A, B или C)
■ A = внешняя среда;
■ B = эксплуатация;
■ C = конструкция сооружения.

Вторая буква

Вторая буква описывает характер внешнего воздействия.

Цифра

Цифра обозначает класс каждого внешнего воздействия.

Дополнительные символы (факультативные)

Используются только в случае, если эффективная защита персонала превышает уровень, указываемый первым разрядом IP.
Если должна указываться только защита людей, два разряда кода IP заменяются символами «XX».
Например: IP XXB.

Пример:

Например, код AC2 означает:
A = окружающая среда;
AC = отметка высоты;
AC2 = отметка высоты > 2000 м.

3.3 Перечень внешних воздействий

Рис. E65 ниже взят из стандарта МЭК 60364-5-51 (ГОСТ Р 50571.5.51-2013), служащего в качестве справочного документа при необходимости получения подробной информации.

Код	Внешние воздействия			Требуемые характеристики оборудования
A – внешняя среда				
AA	**Окружающая температура (°C)**			
	Низкая	Высокая		Использование специально разработанного оборудования или принятие необходимых мер
AA1	- 60 °C	+ 5 °C		
AA2	- 40 °C	+ 5 °C		
AA3	- 25 °C	+ 5 °C		
AA4	- 5° C	+ 40 °C		Нормальные (особые меры предосторожности в определенных случаях)
AA5	+ 5 °C	+ 40 °C		Нормальные
AA6	+ 5 °C	+ 60 °C		Использование специально разработанного оборудования или принятие необходимых мер
AA7	- 25 °C	+ 55 °C		
AA8	- 50 °C	+ 40 °C		

Рис. E65. Перечень внешних воздействий (из приложения A к стандарту МЭК 60364-5-51, ГОСТ Р 50571.5.51-2013) (продолжение на следующей странице)

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Внешние воздействия (МЭК 60364-5-51)

Код	Внешние воздействия						Требуемые характеристики оборудования
A – внешняя среда							
AB	**Влажность воздуха**						
	Температура воздуха (°C)		Относительная влажность (%)		Абсолютная влажность (г/м³)		
	Низкая	Высокая	Низкая	Высокая	Низкая	Высокая	
AB1	- 60 °C	+ 5 °C	3	100	0,003	7	Принятие необходимых мер
AB2	- 40 °C	+ 5 °C	10	100	0,1	7	
AB3	- 25 °C	+ 5 °C	10	100	0,5	7	
AB4	- 5° C	+ 40 °C	5	95	1	29	Нормальные
AB5	+ 5 °C	+ 40 °C	5	85	1	25	Нормальные
AB6	+ 5 °C	+ 60 °C	10	100	1	35	Принятие необходимых мер
AB7	- 25 °C	+ 55 °C	10	100	0,5	29	
AB8	- 50 °C	+ 40 °C	15	100	0,04	36	
AC	**Высота**						
AC1	≤ 2000 м						Нормальные
AC2	> 2000 м						Могут требоваться меры предосторожности (коэффициент понижения номинальных значений)
AD	**Присутствие воды**						
AD1	Пренебрежимо малый уровень		Открытое или незащищенное от атмосф. воздействий оборуд-е				IPX0
AD2	Свободно падающие капли						IPX1 или IPX2
AD3	Распыленная жидкость						IPX3
AD4	Брызги						IPX4
AD5	Струи		Объекты, где регулярно используются водяные шланги				IPX5
AD6	Волны		Береговые объекты (дамбы, береговые валы, пристани)				IPX6
AD7	Погружение		Вода на уровне 150 мм выше наивысшей точки оборудования, но не более 1 м ниже поверхности				IPX7
AD8	Полное погружение		Оборудование постоянно и полностью под водой				IPX8
AE	**Посторонние твердые частицы**						
			Минимальный размер		Пример		
AE1	Пренебрежимо малый уровень						IP0X
AE2	Небольшие частицы		2,5 мм		Инструменты		IP3X
AE3	Малые частицы		1 мм		Провода		IP4X
AE4	Низкая концентрация пыли						IP5X, если наличие пыли не нарушает работу
AE5	Умеренная концентрация пыли						IP6X, если пыль не должна проникать внутрь
AE6	Высокая концентрация пыли						IP6X
AF	**Коррозионно-активные или загрязняющие вещества**						
AF1	Пренебрежимо малый уровень						Нормальные
AF2	Атмосфера						Согласно характеру вещества
AF3	Периодич., случ. воздействие						Защита от коррозии
AF4	Непрерывное воздействие						Использование оборудования специальной конструкции
AG	**Механические воздействия**						
AG1	Низкие						Нормальные
AG2	Средние						Согласно применимому стандарту или использ. усилив. материалов
AG3	Высокие						Усиленная защита
AH	**Вибрации**						
AH1	Низкие		Бытовые или аналогичные приборы				Нормальные
AH2	Средние		Обычные производственные условия				Использование оборудования специальной конструкции или принятие необходимых мер
AH3	Сильные		Тяжелые производственные условия				
AK	**Флора и/или образование плесени**						
AK1	Неопасно						Нормальные
AK2	Опасно						Специальная защита
AL	**Присутствие представителей фауны**						
AL1	Неопасно						Нормальные
AL2	Опасно						Специальная защита
AM	**Электромагнитные, электростатические или ионизирующие воздействия/низкочастотные электромагнитные явления/гармоники**						
AM1	Гармоники, гармонические составляющие						См. применяемые стандарты МЭК
AM2	Напряжение сигнализации						
AM3	Изменения амплитуды напряжения						
AM4	Несимметрия напряжений						
AM5	Изменение частоты сети						
AM6	Индуцированные напряжения низкой частоты						
AM7	Постоянный ток в сетях переменного тока						
AM8	Излучаемые электромагнитные поля						
AM9	Электростатическое поле						
AM21	Индуцированные колебательные напряжения или токи						

Рис. E65. Перечень внешних воздействий (из приложения А к стандарту МЭК 60364-5-51, ГОСТ Р 50571.5.51-2013) (продолжение на следующей странице)

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Внешние воздействия (МЭК 60364-5-51)

Код	Внешние воздействия	Требуемые характеристики оборудования
A – Внешняя среда		
AM22	Передаваемые однонаправленные переходные процессы продолжит. порядка, наносекунды	См. применяемые стандарты МЭК
AM23	Передаваемые однонаправленные переходные процессы продолжительностью порядка, миллисекунды	
AM24	Переходные колебательные процессы	
AM25	Высокочастотные излучения	
AM31	Электростатические разряды	
AM41	Ионизация	
AN	**Солнечная радиация**	
AN1	Низкая	Нормальные
AN2	Средняя	
AN3	Высокая	
AP	**Сейсмическое воздействие**	
AP1	Пренебрежимо мало	Нормальные
AP2	Низкий уровень	
AP3	Средний уровень	
AP4	Высокий уровень	
AQ	**Грозовые разряды**	
AQ1	Пренебрежимо малы	Нормальные
AQ2	Непрямое воздействие	
AQ3	Прямое воздействие	
AR	**Движение воздуха**	
AR1	Слабое	Нормальные
AR2	Среднее	
AR3	Сильное	
AS	**Ветровая нагрузка**	
AS1	Низкая	Нормальные
AS2	Средняя	
AS3	Высокая	
B - Эксплуатация		
BA	**Характеристики персонала**	
BA1	Стандартный	Нормальные
BA2	Дети	
BA3	Инвалиды	
BA4	С подготовкой	
BA5	С квалификацией	
BB	**Электрическое сопротивление человеческого тела**	
BC	**Воздействие электрического потенциала грунта при контакте**	
BC1	Нет	Класс оборудования по МЭК 61140 (ГОСТ IEC 61140-2012)
BC2	Редко	
BC3	Часто	
BC4	Постоянно	
BD	**Условия эвакуации при аварии**	
BD1	Низкая плотность размещения/легкий выход	Нормальные
BD2	Низкая плотность размещения/осложненный выход	
BD3	Высокая плотность размещения/легкий выход	
BD4	Высокая плотность размещения/осложненный выход	
BE	**Характер обрабатываемых или хранимых материалов**	
BE1	Не представляют значительной опасности	Нормальные
BE2	Риск пожара	Специальная защита
BE3	Риск взрыва	
BE4	Риск загрязнения	
C - Конструкция здания		
CA	**Строительные материалы**	
CA1	Негорючие	Нормальные
CA2	Горючие	
CB	**Конструкция сооружения**	
CB1	Пренебрежимо малые риски	Нормальные
CB2	Распространение пожара	
CB3	Подвижность	
CB4	Гибкая или неустойчивая	

Рис. E65. Перечень внешних воздействий (из приложения А к стандарту МЭК 60364-5-51, ГОСТ Р 50571.5.51-2013)

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Внешние воздействия (МЭК 60364-5-51)

3.4 Защита закрытого оборудования: коды IP и IK

Определение кодов IP (см. рис. E66)

Степень защиты, обеспечиваемой корпусом, указывается кодом IP, рекомендованным в стандарте МЭК 60529 (ГОСТ 14254-2015).

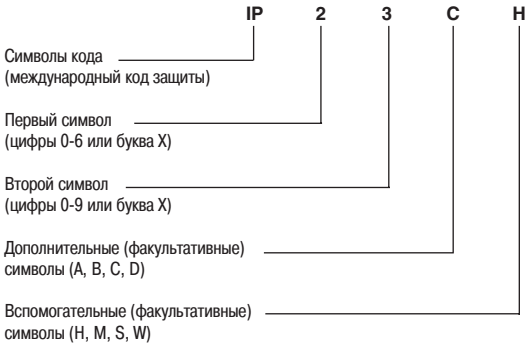
Защита обеспечивается от следующих внешних воздействий:

- проникновение твердых частиц;
- защита от несанкционированного доступа к частям под напряжением;
- защита от проникновения пыли;
- защита от проникновения жидкостей.

Примечание: код IP применяется к электрооборудованию, рассчитанному на напряжения до 72,5 кВ включительно.

Элементы кода IP и их значение

Краткое описание элементов кода IP приводится в нижеследующей таблице (см. рис. E67).



Если не требуется указывать кодовый символ, он заменяется буквой X (XX при опускании обеих цифр). Дополнительные и/или вспомогательные буквы могут опускаться без такой замены.

Рис. E66. Структура кода IP

Элемент	Цифры или буквы	Значение для защиты оборудования	Значение для защиты персонала
Символы кода	**IP**		
Первая цифра		**Защита от посторонних твердых частиц**	**Защита от доступа к опасным частям с помощью**
	0	(без защиты)	(без защиты)
	1	Диаметр ≥ 50 мм	Руки
	2	Диаметр ≥ 12,5 мм	Пальцы
	3	Диаметр ≥ 2,5 мм	Инструменты
	4	Диаметр ≥ 1,0 мм	Проволока
	5	Пылезащита	Проволока
	6	Пыленепроницаемость	Проволока
Вторая цифра		**Защита от проникновения воды с вредными последствиями**	
	0	(без защиты)	
	1	Вертикально падающие капли	
	2	Капли, падающие под углом 15°	
	3	Брызги	
	4	Всплески воды	
	5	Струи воды	
	6	Струи воды под большим напором	
	7	Непродолжительное погружение	
	8	Длительное погружение	
	9	Струи горячей воды под высоким давлением	
Дополнительная (факультативная) буква			**Защита от прикосновения к опасным частям**
	A		Тыльной стороной ладони
	B		Пальцами
	C		Инструментом
	D		Проволокой
Вспомогательная (факультативная) буква		**Вспомогательная информация:**	
	H	Высоковольтная аппаратура	
	M	Перемещение при гидравлических испытаниях	
	S	Неподвижное положение при гидравлических испытаниях	
	W	Метеорологические условия	

Рис. E67. Элементы кода IP

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Внешние воздействия (МЭК 60364-5-51)

Определение кода IK

Стандарт МЭК 62262 (ГОСТ IEC 62262-2015) определяет код IK , характеризующий стойкость оборудования к механическим воздействиям (см. **рис. E68**).

Код IK	Энергия удара (Дж)	Код AG
00	0	
01	⩽ 0.14	
02	⩽ 0.20	AG1
03	⩽ 0.35	
04	⩽ 0.50	
05	⩽ 0.70	
06	⩽ 1	
07	⩽ 2	AG2
08	⩽ 5	AG3
09	⩽ 10	
10	⩽ 20	AG4

Рис. E68. Элементы кода IK

Коды IP и IK для распределительных щитов

Степень защиты IP и код IK, обеспечиваемые корпусом, должны указываться в зависимости от различных внешних воздействий, определенных в стандарте МЭК 60364-5-51 (ГОСТ Р 50571.5.51-2013), в частности:

- наличие твердых тел (код AE);
- наличие воды (код AD);
- механические напряжения (без кода);
- характеристика обслуживающего персонала (код BA).

Распределительные щиты Prisma рассчитаны на установку внутри помещений.
Если иное не указывается в правилах, нормах и стандартах конкретной страны, компания Schneider Electric рекомендует следующие значения IP и IK (см. **рис. E69** и **рис. E70**)

Рекомендуемые значения IP

Коды IP согласно условиям		
Нормальные условия без риска вертикально падающей воды	Технические помещения	30
Нормальные условия с риском вертикально падающей воды	Проходы	31
Крайне тяжелые условия с риском разбрызгивания воды во всех направлениях	Цеха	54/55

Рис. E69. Рекомендуемые значения IP

Рекомендуемые значения IK

Коды IK согласно условиям		
Без риска значительных ударных нагрузок	Технические помещения	07
Большой риск значительных ударных нагрузок, которые могут привести к повреждению устройств	Проходы	08 (корпус с дверцей)
Максимальный риск ударных нагрузок, которые могут повредить корпус	Цеха	10

Рис. E70. Рекомендуемые значения IK

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

Глава F

Защита от поражения электрическим током и пожаров электрического происхождения

1 Общие сведения F2
1.1 Опасность поражения электрическим током ... F2
1.2 Защита от поражения электрическим током ... F3
1.3 Прямое и косвенное прикосновения ... F3

2 Защита от прямого прикосновения F4
2.1 Меры защиты от прямого прикосновения ... F4
2.2 Дополнительная мера защиты от прямого прикосновения ... F5

3 Защита от косвенного прикосновения F6
3.1 Меры защиты посредством автоматического отключения питания ... F6
3.2 Автоматическое отключение в системе TT ... F7
3.3 Автоматическое отключение в системе TN ... F9
3.4 Автоматическое отключение при двойном замыкании (КЗ) в системе IT ... F11
3.5 Меры защиты от прямого и косвенного прикосновений без автоматического отключения питания ... F14

4 Защита имущества от ущерба вследствие пробоя изоляции F18
4.1 Меры защиты от опасности возгорания с помощью УЗО ... F18
4.2 Защита от замыканий на землю ... F18
4.3 Контроль замыкания на землю ... F19

5 Реализация системы TT F20
5.1 Защитные меры ... F20
5.2 Координация устройств защиты от замыканий на землю ... F21

6 Реализация системы TN F24
6.1 Предварительные условия ... F24
6.2 Защита от косвенного прикосновения ... F24
6.3 Высокочувствительные УЗО (см. рис. F41) ... F28
6.4 Защита пожароопасных помещений ... F29
6.5 Защита при большом полном сопротивлении цепи замыкания на землю ... F29

7 Реализация системы IT F30
7.1 Предварительные условия ... F30
7.2 Защита от косвенного прикосновения ... F31
7.3 УЗО с высокой чувствительностью ... F35
7.4 Защита пожароопасных помещений ... F36
7.5 Защита при большом полном сопротивлении цепи замыкания на землю ... F36

8 Устройства защитного отключения (УЗО) F37
8.1 Описание УЗО ... F37
8.2 Классификация УЗО ... F37
8.3 Типы УЗО ... F39
8.4 Чувствительность УЗО к помехам ... F42

9 Устройства дуговой защиты F47
9.1 Пожары электрического происхождения ... F47
9.2 Причины происхождения пожаров электрического характера ... F47
9.3 Устройства защиты при дуговом пробое ... F49
9.4 Выводы ... F53

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Общие сведения

Когда через часть тела человека проходит ток более 30 мА, этот человек оказывается в серьезной опасности, если этот ток не отключить в течение очень короткого времени.
Защита людей от поражения электрическим током в электроустановках низкого напряжения должна осуществляться согласно соответствующим национальным стандартам, нормативным правилам, официальным рекомендациям и циркулярам.
Соответствующие международные стандарты включают в себя МЭК 60364, МЭК 60479, МЭК 61008, МЭК 61009 и МЭК 60947-2.

Введение

Поражение электрическим током

Электрический ток, протекающий по телу человека, оказывает на него патофизиологическое воздействие.
Его протекание оказывает влияние в основном на мышечную, дыхательную функции и функцию кровообращения, а также порой приводит к серьезным ожогам. Степень опасности зависит от величины, длительности и пути протекания тока.
Меры защиты описаны в разделах 1-8.

Пожары электрического происхождения

Пожары электрического происхождения могут быть вызваны перегрузками, короткими замыканиями и токами утечки на землю, а также загоранием электрической дуги в кабелях и соединениях.
Меры защиты описаны в разделе 9.

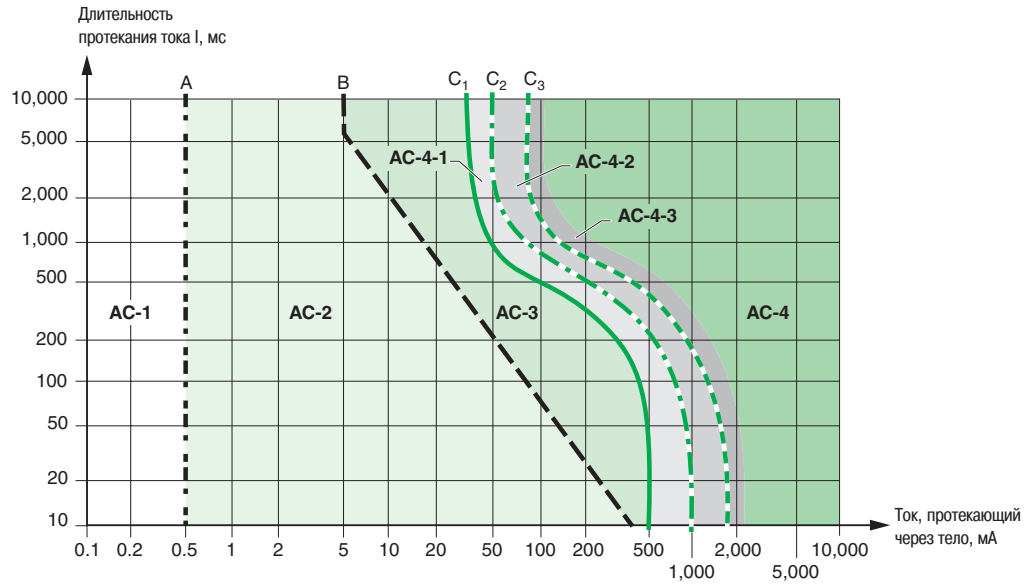
1.1 Опасность поражения электрическим током

В издании стандарта МЭК 60479-1, обновленном в 2016 году, определены 4 зоны в координатах «ток – длительность протекания», для каждой из которых описаны патофизиологические эффекты (**рис. F1**). Любой человек, оказывающийся в контакте с металлической частью, находящейся под напряжением, рискует получить поражение электрическим током.

Кривая C1 показывает, что если по телу человека протекает ток свыше 30 мА по пути «рука-рука», то вероятнее всего, что этот человек погибнет, если ток не отключить в течение относительно короткого времени.

Точка 500 мс/100 мА рядом с кривой C1 соответствует вероятности фибрилляции сердца порядка 0,14%.

Защита людей от поражения электрическим током в электроустановках низкого напряжения должна обеспечиваться согласно соответствующим национальным стандартам, нормативным правилам, официальным рекомендациям и циркулярам. Соответствующие международные стандарты включают в себя МЭК 60364, МЭК 60479, МЭК 61008, МЭК 61009 и МЭК 60947-2.



Зона AC-1: неощутимое воздействие
Зона AC-2: ощутимое воздействие
Зона AC-3: обратимые эффекты: мышечное сокращение
Зона AC-4: возможность необратимых эффектов
Зона AC-4-1: вероятность фибрилляции сердца до 5%
Зона AC-4-2: вероятность фибрилляции сердца до 50%
Зона AC-4-3: вероятность фибрилляции сердца свыше 50%

Кривая A: пороговый ощутимый ток
Кривая B: пороговый ток мускульной реакции неотпускания
Кривая C1: порог нулевой вероятности фибрилляции сердца
Кривая C2: порог 5% вероятности фибрилляции сердца
Кривая C3: порог 50% вероятности фибрилляции сердца

Рис. F1. Зоны воздействия протекания переменного тока через тело человека от его одной руки к другой в координатах «ток – длительность протекания»

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Общие сведения

Стандарты и нормативные правила определяют два вида опасного прикосновения:
- прямое прикосновение;
- косвенное прикосновение к проводящим частям, оказавшимся под напряжением вследствие возникновения неисправности,

и соответствующие им меры защиты:
- основная защита;
- защита при повреждении.

1.2 Защита от поражения электрическим током

Основополагающее правило защиты от поражения электрическим током изложено в документе МЭК 61140 (ГОСТ IEC 61140-2012), касающемся электрических установок и электрического оборудования.

Опасные части, находящиеся под напряжением, должны быть недоступны, а доступные проводящие части не должны оказываться под опасным напряжением.

Этот требование должно применяться при:
- Нормальных условиях;
- Одном коротком замыкании.

Различные меры принимаются для защиты от этой опасности, и включают в себя:
- Автоматическое отключение питания для подключенного электрооборудования
- Специальные механизмы, такие, как:
  - Использование изоляционных материалов класса II, или эквивалентный уровень изоляции
  - Токоизолирующие местоположение, вне досягаемости руки или наличие барьеров
  - Уравнивание потенциалов
  - Электрическое разделение с помощью разделительных трансформаторов

1.3 Прямое и косвенное прикосновения

Прямое прикосновение

Прямое прикосновение относится к человеку, оказавшемуся в контакте с проводником, который в нормальных условиях находится под напряжением (**рис. F2**).

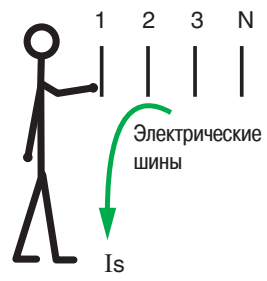
В стандарте МЭК 61140 (ГОСТ IEC 61140-2012) вместо термина «защита от прямого прикосновения» используется термин «основная защита». Правда, первый термин сохранен, по крайней мере, для сведения.

Косвенное прикосновение

Косвенное прикосновение относится к человеку, оказавшемуся в контакте с открытой проводящей частью, которая обычно не находится под напряжением, но которая случайно оказалась под напряжением (из-за повреждения изоляции или какой-то другой причины).

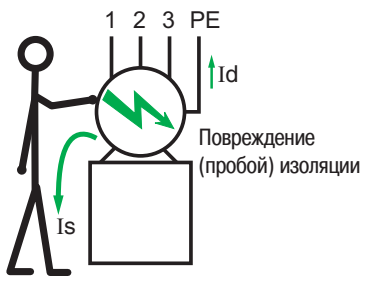
Ток короткого замыкания приводит к появлению на открытой проводящей части напряжения, которое может оказаться опасным в случае контакта человека с этой открытой проводящей частью и привести к протеканию через него тока прикосновения (**рис. F3**).

В стандарте МЭК 61140 (ГОСТ IEC 61140-2012) вместо термина «защита от косвенного прикосновения» используется термин «защита при повреждении». Правда, первый термин сохранен, по крайней мере, для сведения.



Is: ток прикосновения

Рис. F2. Прямое прикосновение



Is: ток при повреждении (пробое) изоляции

Рис. F3. Косвенное прикосновение

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Защита от прямого прикосновения

Для защиты от опасности прямого прикосновения обычно используются две взаимодополняющие меры:

- Физическое предотвращение прикосновения к токоведущим частям посредством ограждений, изоляции, размещения вне досягаемости и др.
- Дополнительная защита в случае, если происходит прямое прикосновение, несмотря на применение указанных выше мер или вследствие их отказа. Эта защита основана на использовании устройства защитного отключения (УЗО), обладающего высокой чувствительностью ($I\Delta n < 30$ мА) и малым временем срабатывания. Такие устройства эффективны в большинстве случаев прямого прикосновения к токоведущим частям.

Международные (МЭК) и национальные стандарты часто различают два вида защиты:
- полная (изоляция, ограждения);
- частичная или специальная.

2.1 Меры защиты от прямого прикосновения

Защита посредством изоляции токоведущих частей

Такая защита состоит из изоляции, удовлетворяющей соответствующим стандартам (**рис. F4**). Краски, лаки и олифы не обеспечивают достаточную защиту от электрического поражения.

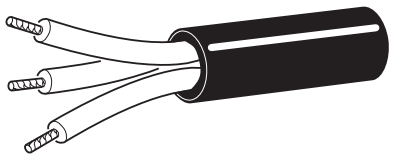


Рис. F4. Основная защита от прямого прикосновения посредством изоляции трехфазного кабеля

Защита посредством ограждений или оболочек

Эта мера широко используется, поскольку многие компоненты и материалы установлены в шкафах, узлах, панелях управления и распределительных щитах (**рис. F5**).

Чтобы рассматриваться в качестве эффективной защиты от прямого прикосновения, такие устройства должны обеспечивать уровень защиты эквивалентный, по крайней мере, IP 2X или IP XXB (см. главу E, подраздел 3.4).

Кроме того, вскрытие защитной оболочки (открытие двери, вскрытие передней панели, выдвижение ящика и др.) должно осуществляться только:
- с помощью ключа или специального инструмента, предусмотренного для этой цели;
- после обесточивания токоведущих частей, защищенных данной оболочкой;
- при наличии промежуточных экранов, которые можно снять только при применении специального ключа или инструмента. Металлическая оболочка и все съемные защитные металлические экраны должны быть подсоединены к проводу защитного заземления соответствующей электроустановки.

Рис. F5. Пример изоляции с помощью защитной оболочки

Частичные меры защиты

- Защита посредством установки барьеров или размещения вне зоны досягаемости.

Такая защита предназначается только для тех мест, к которым имеет доступ только квалифицированный или проинструктированный персонал. Возведение такого защитного барьера подробно рассмотрено в стандарте МЭК 60364-4-41 (ГОСТ Р 50571.3-2009).

Специальные меры защиты

- Защита посредством использования безопасного сверхнизкого напряжения (БСНН) или ограничения энергии разряда.

Эти меры используются только в маломощных цепях и при особых обстоятельствах (см. раздел 3.5).

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Защита от прямого прикосновения

Дополнительной мерой защиты от прямого прикосновения к токоведущим частям является использование устройств защитного отключения с минимальным током срабатывания, не превышающим 30 мА, которые называются УЗО с высокой чувствительностью.

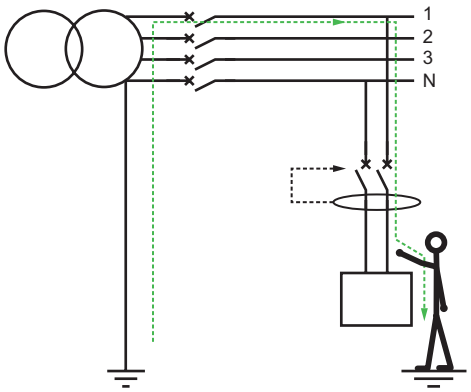


Рис. F6. Дополнительная защита с помощью УЗО

2.2 Дополнительная мера защиты от прямого прикосновения

Все предыдущие защитные меры являются предупредительными. Однако, как показал опыт, по разным причинам они не могут рассматриваться как надёжные. Среди таких причин можно указать следующие:

- отсутствие надлежащего обслуживания и ухода;
- неосторожность, невнимательность;
- обычный (или аномальный) износ изоляции, например, сгибание и истирание соединительных проводов;
- случайное прикосновение к токоведущим частям;
- погружение в воду и другая ситуация, в которой изоляция больше не является эффективной.

Для того чтобы в таких обстоятельствах защитить пользователей, применяются высокочувствительные быстродействующие устройства защитного отключения (УЗО). Их действие основано на обнаружении дифференциальных токов утечки на землю (которые могут пойти или не пойти через человека или животное). Они автоматически и с достаточной быстротой отключают цепи питания, предотвращая тем самым нанесение человеку электротравмы, в том числе с летальным исходом (**рис. F6**).

Эти устройства работают на принципе измерения дифференциального тока: любая разность между током, входящим в цепь, и током, выходящим из нее (в системе питания от заземленного источника) будет уходить на землю или через поврежденную изоляцию, или вследствие контакта заземленной части, например, через тело человека, с проводом, находящимся под напряжением. Стандартные устройства защитного отключения (УЗО), обладающие достаточной чувствительностью для защиты от прямого прикосновения, имеют номинальный дифференциальный ток срабатывания 30 мА.

Время срабатывания, определенное в МЭК 61008 (ГОСТ IEC 61008-1-2012) и 61009 (ГОСТ IEC 61009-1-2014), достаточно мало, чтобы обеспечить защиту (см. **рис. F7**).

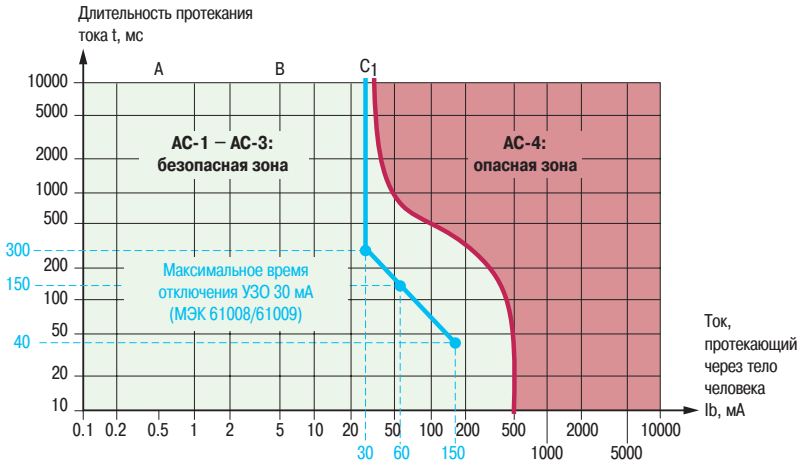


Рис. F7. Кривая срабатывания УЗО с высокой чувствительностью 30 мА (синего цвета) в сравнении с кривыми чувствительности тела

В ряде стран эта дополнительная защита требуется для цепей питания штепсельных розеток, рассчитанных на ток 32 А и даже выше, если они установлены во влажных местах и/или на временных электроустановках (например, на строительной площадке).

Кроме того, рекомендуется ограничить количество розеток, защищенных УЗО (т.е. 10 розеток для одной линии подключенной от УЗО).

В разделе 3 главы Q перечисляются различные распространенные места, в которых применение высокочувствительных УЗО является обязательным (в некоторых странах), но в любом случае такие устройства рекомендуется использовать в качестве эффективной защиты от прямого и косвенного прикосновений.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Защита от косвенного прикосновения

Мерами защиты являются:
■ автоматическое отключение питания (при первом или втором коротком замыкании в зависимости от типа системы заземления установки);
■ специальные меры в зависимости от обстоятельств.

Открытые проводящие части, используемые в процессе изготовления электрического оборудования, изолируются от токоведущих частей этого оборудования посредством «базовой изоляции». В случае пробоя этой изоляции открытые проводящие части могут оказаться под напряжением.

Прикосновение к обычно обесточенной части электрического оборудования, оказавшейся под напряжением в результате повреждения его изоляции, называется косвенным прикосновением.

Для защиты от косвенного прикосновения применяются различные меры, в частности:
■ Автоматическое отключение подачи питания к присоединенному электрическому оборудованию.
■ Специальные меры:
□ использование изоляционных материалов класса II или изоляции эквивалентного уровня прочности;
□ использование изолированных (непроводящих) помещений, расположение оборудования вне досягаемости или применение барьеров;
□ использование систем (схем) уравнивания потенциалов;
□ использование гальванической развязки (электрического разделения) цепей с помощью разделяющих трансформаторов.

3.1 Меры защиты посредством автоматического отключения питания

Защита от косвенного прикосновения посредством автоматического отключения питания может быть обеспечена при условии надежного заземления открытых токопроводящих частей.

Принцип действия

Эта защитная мера предусматривает выполнение двух основных требований:
■ заземление всех открытых проводящих частей электрооборудования в рассматриваемой электроустановке и создание системы уравнивания потенциалов (см. раздел G, пункт 6);
■ автоматическое отключение питания от соответствующей секции электроустановки таким образом, чтобы требования безопасности в отношении времени отключения и напряжения прикосновения соблюдались при любом уровне напряжения прикосновения Uc(1) (**рис. F8**).
Чем больше величина Uc, тем выше должна быть скорость отключения питания для обеспечения защиты (**рис. F9**). Максимальное значение напряжения прикосновения Uc, которое человек может безопасно выдерживать бесконечно долго, составляет 50 В переменного тока.
Самое большое значение постоянного напряжения Uc, которое человек может выдержать без риска для здоровья, составляет 120 В.

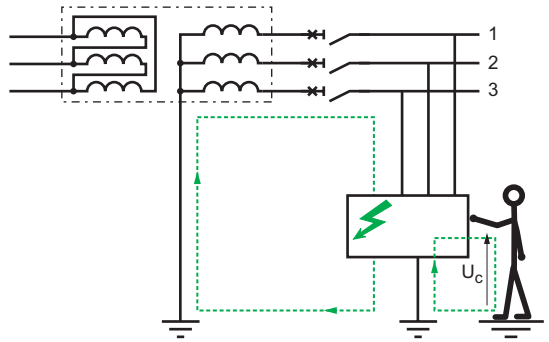


Рис. F8. Иллюстрация напряжения прикосновения Uc

Максимально допустимое время отключения (МЭК 60364-4-41, ГОСТ Р 50571.3-2009)

Uo, В		50 < Uo ⩽ 120	120 < Uo ⩽ 230	230 < Uo ⩽ 400	Uo > 400
Система	TN	0.8	0,4	0,2	0,1
	TT	0,3	0,2	0,07	0,04

Uo - номинальное напряжение между фазой и землей

Рис. F9. Максимальное время отключения (в секундах) для конечных электрических цепей, расчетный ток в которых не превышает 32 А

Примечания:
■ в **системах TN** для распределительных и прочих цепей, не охваченных **Рис. F8**, время отключения не должно превышать 5 с;
■ в **системах TT** для распределительных и прочих цепей, не охваченных **Рис. F8**, время отключения не должно превышать 1 с.

(1) Напряжение прикосновения Uc – напряжение между двумя проводящими частями и между проводящей частью и землей при одновременном прикосновении к ним человека или животного.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Защита от косвенного прикосновения

3.2 Автоматическое отключение в системе TT

Автоматическое отключение в системе TT достигается применением УЗО, имеющим чувствительность $I_{\Delta n} \leqslant \frac{50}{R_A}$,

где R_A – сопротивление заземлителя электроустановки, $I_{\Delta n}$ – дифференциальный ток срабатывания УЗО.

Принцип действия

В этой системе все открытые проводящие части электроустановки и сторонние проводящие части должны быть обязательно подсоединены к общему заземлителю. Нейтральная точка источника питания обычно заземляется в некотором месте, находящемся вне зоны влияния заземлителя электроустановки, но это необязательно. Сопротивление контура замыкания на землю состоит в основном из сопротивления двух заземлителей (т.е. заземлителей источника питания и электроустановки), соединенных последовательно, поэтому величина тока замыкания на землю обычно слишком мала, чтобы вызвать срабатывание реле максимального тока или плавких предохранителей, и использование УЗО является необходимым.

Данный принцип защиты применим и при использовании только одного общего заземлителя. Это может быть, например, в случае местной подстанции, расположенной в пределах территории размещения электроустановки, когда ограниченность пространства диктует необходимость применения системы заземления TN, но при этом не удается выполнить все остальные условия, налагаемые системой TN.

Защита посредством автоматического отключения питания в системе TT обеспечивается применением УЗО, имеющим чувствительность:

$$I_{\Delta n} \leqslant \frac{50}{R_A},$$

где:
RA – сопротивление заземлителя электроустановки;
$I_{\Delta n}$ – номинальный дифференциальный ток срабатывания УЗО.
Для случаев временного электроснабжения (строительных площадок и др.) и электроснабжения сельскохозяйственных предприятий и садоводческих участков вместо величины 50 В используется 25 В.

Пример (**рис. F10**):
- Сопротивление заземлителя нейтрали трансформаторной подстанции Rn = 10 Ом.
- Сопротивление заземлителя электроустановки RA = 20 Ом.
- Ток замыкания на землю Id = 7,7 А.
- Напряжение косвенного прикосновения Ut = Id x RA = 154 В и следовательно является опасным, но $I_{\Delta n}$ = 50/20 = 2,5 А, и поэтому стандартное УЗО (без выдержки времени) с номинальным током 300 мА сработает примерно за 30 мс (**рис. F11**) и устранит КЗ, в результате которого на открытой проводящей части возникает опасное напряжение.

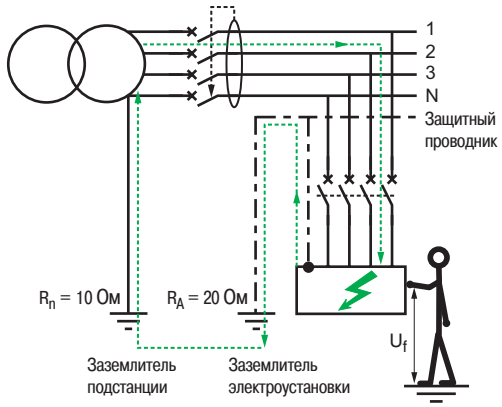


Рис. F10. Автоматическое отключение питания в системе TT

Uo(1) (В)	T (с)
50 < Uo ⩽ 120	0,3
120 < Uo ⩽ 230	0,2
230 < Uo ⩽ 400	0,07
Uo > 400	0,04

(1) Uo – номинальное напряжение между фазой и землей.

Рис. F11. Максимальное время отключения цепей конечных потребителей переменного тока, рассчитанных на ток не более 32 А

Нормативное максимальное время отключения

Время отключения УЗО обычно меньше того, которое предусмотрено в большинстве национальных стандартов. Это облегчает их использование и позволяет применять эффективную селективную защиту.
Стандарт МЭК 60364-4-41 (ГОСТ Р 50571.3-2009) устанавливает максимальное время срабатывания защитных устройств, используемых в системе TT для защиты от косвенного прикосновения:

- для всех цепей конечных потребителей с номинальным током не более 32 А максимальное время отключения не должно превышать значений, указанных на **рис. F11**;
- для всех остальных цепей максимальное время отключения установлено равным 1 с. Эта величина обеспечивает селективность срабатывания нескольких УЗО, установленных в распределительных цепях. УЗО – общий термин для всех устройств, работающих на принципе дифференциальных (разностных) токов. Автоматический выключатель дифференциальных токов определен в стандартах МЭК 61008 (ГОСТ IEC 61008-1-2012) как особый класс УЗО.

Время отключения и отключающие токи УЗО общего типа G (General) и УЗО типа S (Selective – селективное), включенных в стандарт МЭК 61008 (ГОСТ IEC 61008-1-2012), приведены на **рис. F12**. Эти характеристики обеспечивают определенную степень селективного отключения при использовании нескольких УЗО с различными комбинациями номинальных значений и типов (это описано ниже в подразделе 5.2).
Согласно стандарту МЭК 60947-2 (ГОСТ Р 50030.2-2010) промышленные УЗО обеспечивают больше возможностей селективного срабатывания благодаря регулировке времени выдержки.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Защита от косвенного прикосновения

x $I_{\Delta n}$		1	2	5	> 5
Бытовые УЗО	Мгновенного действия	0,3	0,15	0,04	0,04
	Тип S	0,5	0,2	0,15	0,15
Промышленные УЗО	Мгновенного действия	0,3	0,15	0,04	0,04
	Время выдержки (0,06 с)	0,5	0,2	0,15	0,15
	Время выдержки (другое)	Определяется изготовителем			

Рис. F12. Максимальное время срабатывания УЗО (в секундах)

F8

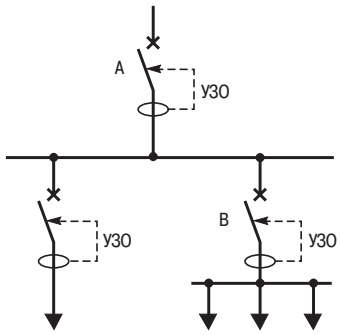


Рис. F13. Распределительные цепи

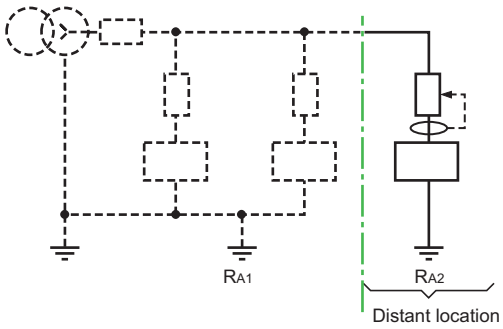


Рис. F14. Отдельный заземляющий электрод

Случай с распределительными цепями (см. рис. F13)
МЭК 60364-4-41 и ряд национальных стандартов регламентируют максимальное время срабатывания, равное 1 секунде для распределительных цепей (в отличие от цепей конечного распределения).
Это позволяет достичь определенной степени селективности:
- На уровне A: УЗО с задержкой по времени, например, типа S
- На уровне B: УЗО мгновенного срабатывания.

Случай, когда открытые проводящие части прибора или группы приборов подключены к отдельному заземляющему электроду (см. **рис. F14**)
Защита от неисправностей обеспечивается УЗО на уровне автоматического выключателя, защищающего каждую группу или отдельно заземленное устройство.

В каждом случае чувствительность должна быть совместима с сопротивлением соответствующего заземляющего электрода.

Случай, когда открытые проводящие части не имеют соединения с землей (см. **рис. F15**)
(Для существующей установки, расположенной в сухом месте с невозможностью заземления, либо в случае обрыва провода защитного заземления).

УЗО высокой чувствительности (≤ 30 мА) обеспечивают как защиту от косвенного прикосновения, так и дополнительную защиту от прямого прикосновения к токоведущим частям.

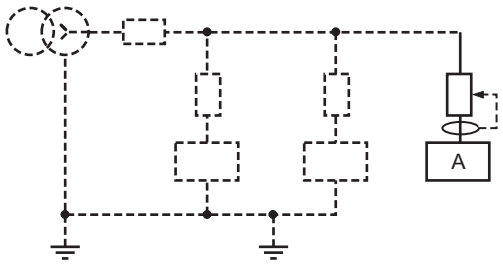


Рис. F15. Незаземленные открытые проводящие части (A)

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Защита от косвенного прикосновения

Автоматическое отключение для системы TN осуществляется устройствами максимальной токовой защиты или устройствами защитного отключения, реагирующими на дифференциальные токи.

3.3 Автоматическое отключение в системе TN

Принцип действия

В такой системе все открытые и проводящие части электроустановки и сторонние проводящие части должны быть присоединены к заземленной точке источника питания посредством защитных проводников.

Как отмечалось в подразделе 1.2 главы E, способ выполнения этого соединения зависит от того, какая система заземления используется TN (TN-C, TN-S или TN-C-S). На **рис. F16** показана реализация схемы TN-C, в которой нулевой рабочий провод используется в качестве защитного и нулевого проводника (PEN). Во всех системах TN пробой изоляции на землю приводит к замыканию фазы на нейтраль. Большие уровни токов КЗ позволяют использовать максимальную токовую защиту, но могут приводить к появлению в месте пробоя изоляции напряжений прикосновения, превышающих 50% напряжения между фазой и нейтралью в течение короткого времени отключения.

На практике в энергосети общего пользования заземлители обычно устанавливаются через равные интервалы по длине защитного проводника (PE или PEN) этой сети, а от потребителя часто требуется установить заземлитель на вводе.

На больших электроустановках часто предусматриваются дополнительные заземлители, рассредоточенные по территории с тем, чтобы максимально снизить напряжение прикосновения. В многоэтажных жилых зданиях на каждом уровне все сторонние проводящие части подсоединяются к защитному проводнику на каждом этаже. Чтобы обеспечить адекватную защиту, ток замыкания на землю:

$$Id = \frac{Uo}{Zs} \text{ или } 0{,}8\frac{Uo}{Zc} \geqslant I\,a, \text{ где:}$$

- Uo = номинальное напряжение между фазой и нейтралью;
- Id = ток замыкания;
- Ia = ток, равный величине, необходимой для срабатывания устройства защиты в нормативное время;
- Zs = полное сопротивление цепи замыкания на землю (петли фаза-ноль), равное сумме сопротивлений источника питания, токоведущих фазных проводников до места КЗ, защитных проводников от места КЗ к источнику питания;
- Zc = полное сопротивление неисправной цепи (см. «Традиционный метод» в подразделе 6.2).

Примечание: обратный путь через заземляющие электроды до источника питания, включая заземлители, будет обычно иметь гораздо более высокие значения сопротивления, чем указанные выше, и его нет необходимости учитывать.

Пример (см. **рис. F16**):

Напряжение косвенного прикосновения $Uf = \frac{230}{2} = 115$ В и является опасным.

Сопротивление цепи замыкания $Zs = Z_{AB} + Z_{BC} + Z_{DE} + Z_{EN} + Z_{NA}$.

Если Z_{BC} и Z_{DE} значительно превышают остальные члены, то:

$$Zs = 2\rho\frac{L}{S} = 64.3 \text{ мОм, поэтому}$$

$$Id = \frac{230}{64{,}3 \times 10^{-3}} = 3576 \text{ A (Id = 22In при использовании автоматического выключателя NSX 160).}$$

Уставка на мгновенное действие отключающего электромагнитного расцепителя, входящего в состав автоматического выключателя, во много раз меньше этой величины тока замыкания, поэтому гарантируется безотказное срабатывание за минимально возможное время.

Примечание: некоторые регламентирующие органы используют в таких расчетах допущение о том, что на участке такой цепи BANE происходит падение напряжения до 20%.
Этот рекомендуемый метод поясняется в подразделе 6.2 главы F «Традиционный метод», и при его использовании в данном примере оцениваемая величина тока замыкания составит:

$$\frac{230 \times 0{,}8 \times 10^{3}}{64{,}3} = 2861 \text{ A (18In).}$$

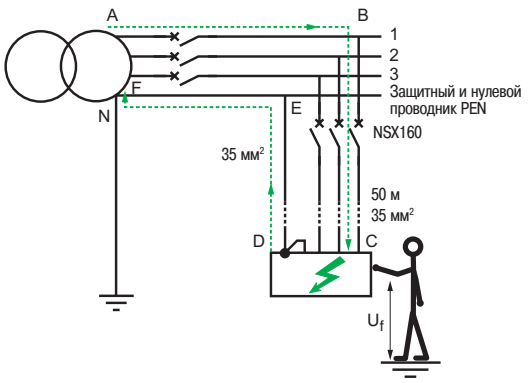


Рис. F16. Автоматическое отключение в системе TN

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Защита от косвенного прикосновения

Нормативное максимальное время отключения

Стандарт МЭК 60364-4-41 (ГОСТ Р 50571.3-2009) устанавливает максимальное время срабатывания защитных устройств, используемых в системах TN для защиты от косвенного прикосновения:

- Для всех цепей конечных потребителей с номинальным током не более 32 А максимальное время отключения цепи не должно превышать величин, указанных на **рис. F17**.
- Для всех остальных цепей максимальное время отключения устанавливается равным 5 с.

Эта величина обеспечивает селективность срабатывания защитных устройств, установленных в распределительных цепях.

Примечание: в системах заземления TN использование УЗО может оказаться необходимым. Применение УЗО в системах TN-C-S означает, что на участке цепи, расположенном ниже УЗО, защитный проводник и нулевой проводник должны быть разделены. Такое разделение обычно делается на вводе.

Uo(1) (В)	T (с)
50 < Uo ⩽ 120	0,8
120 < Uo ⩽ 230	0,4
230 < Uo ⩽ 400	0,2
Uo > 400	0,1

(1) Uo – номинальное напряжение между фазой и землей.

Рис. F17. Максимальное время отключения цепей конечных потребителей переменного тока, рассчитанных на ток не более 32 А

Если защита должна обеспечиваться автоматическим выключателем, достаточно удостовериться в том, что ток замыкания будет всегда превышать величину уставки отключающего элемента (мгновенного действия или срабатывающего с выдержкой времени) по току срабатывания (Im).

Защита посредством автоматического выключателя (рис. F18)

Расцепитель автоматического выключателя мгновенного действия отключит короткое замыкание на землю в течение менее чем 0,1 с.

В результате этого будет всегда гарантировано автоматическое отключение питания в течение максимально допустимого времени, поскольку могут применяться все типы отключающих элементов (электромагнитные, электронные, мгновенного действия или действия с небольшой выдержкой): Ia = Im. Всегда необходимо учитывать максимальный допуск, разрешенный соответствующим стандартом. Поэтому, для того чтобы быть уверенным в том, что отключение произойдет в допустимое время, достаточно, чтобы ток короткого замыкания $\frac{Uo}{Zs}$ или $0{,}8\frac{Uo}{Zc}$, определенный расчетом (или посредством замеров на месте эксплуатации), превышал уставку по току расцепителя мгновенного действия или порог срабатывания расцепителя с короткой задержкой срабатывания.

Величина Ia может быть определена по времятоковой характеристике предохранителя. В любом случае, если сопротивление контура Zs или Zc превышают определенное значение, защита предохранителем не может быть выполнена.

Защита посредством плавких предохранителей (рис. F19)

Величину тока Ia можно определить по времятоковой характеристике плавкого предохранителя. В любом случае, защита не может быть обеспечена, если полное сопротивление цепи Zs или Zc превышает определенное значение.

Величина тока, гарантирующая правильное срабатывание плавкого предохранителя, может быть определена по времятоковой кривой соответствующего предохранителя. Ток короткого замыкания $\frac{Uo}{Zs}$ или $0{,}8\frac{Uo}{Zc}$, определенный выше, должен значительно превосходить величину, необходимую для гарантированного срабатывания этого предохранителя. Как видно из **рис. F19**, это условие наблюдается, когда Ia < $\frac{Uo}{Zs}$ или $0{,}8\frac{Uo}{Zc}$.

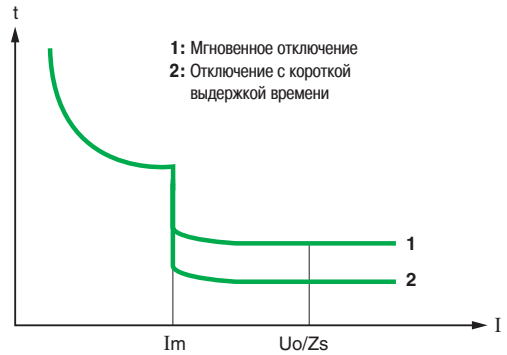


Рис. F18. Отключение системы TN автоматическим выключателем

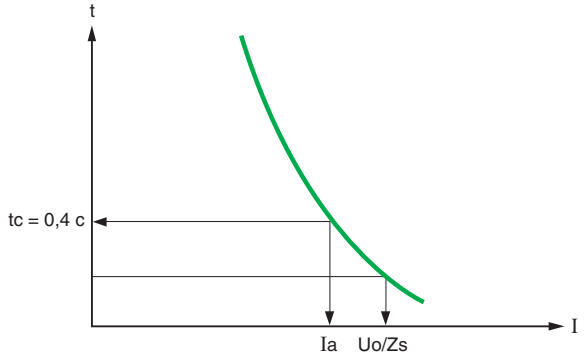


Рис. F19. Отключение системы TN плавкими предохранителями

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Защита от косвенного прикосновения

Пример: номинальное фазное напряжение сети составляет 230 В, а максимальное время отключения, взятое из графика на **рис. F19** – 0,4 с. По этому же графику можно определить соответствующую величину тока Ia. Используя величины напряжения (230 В) и тока Ia, полные сопротивления контура или сопротивление петли фаза-ноль могут быть определены из выражений $Zs = \frac{230}{Ia}$ или $Zc = 0{,}8\frac{230}{Ia}$. Эта величина сопротивления не должна превышаться и для обеспечения успешного срабатывания плавких предохранителей должна быть существенно меньше.

Защита цепей TN-S посредством УЗО

Устройства защитного отключения должны применяться в тех случаях, когда:

- Нельзя определить сопротивление контура с достаточной точностью (трудно оценить длины проводников и наличие металлических предметов рядом с проводкой).
- Ток короткого замыкания настолько мал, что использование устройств максимальной токовой защиты не обеспечивает нормативного времени отключения.

Но этот ток всегда значительно превышает уставку УЗО (30 мА – 1 А).

На практике УЗО часто устанавливаются на распределительных подстанциях низкого напряжения, и во многих странах автоматическое отключение цепей конечных потребителей осуществляется устройствами защитного отключения.

3.4 Автоматическое отключение при двойном замыкании (КЗ) в системе IT

При этом типе системы:

- Установка изолирована от земли, или нейтральная точка источника питания заземлена через большое сопротивление.
- Все открытые и сторонние проводящие части присоединены к заземляющему устройству установки.

Первое замыкание

При первом замыкании на землю ток повреждения крайне низкий, так что выполняется правило Id x RA < 50 В (см. подраздел 3.2), и нет опасных напряжений косвенного прикосновения.

На практике ток Id мал и не представляет опасности для персонала или установки.

Однако, при этой системе необходимо:

- обеспечить постоянный контроль изоляции установки, а также предупредительную сигнализацию (звуковую и/или мигающие лампы и т.д.), срабатывающую при первом замыкании на землю (см. **рис. F20**).
- по возможности быстро найти и устранить первое замыкания, чтобы в полной мере реализовать преимущества системы IT. Бесперебойность питания – это одно из основных преимуществ этой системы.

В системе IT первое замыкание на землю не должно приводить к отключению.

Рис. F20. Использование устройства контроля изоляции между фазами и землей обязательно для системы IT

Для кабельной сети с хорошей изоляцией протяженностью 1 км сопротивление утечки на землю (Zf) является емкостным и составляет примерно 3500 Ом. Поэтому при нормальном режиме работы емкостный ток равен[1]:

$$\frac{Uo}{Zf} = \frac{230}{3500} = 66 \text{ мА на фазу.}$$

При замыкании фазы на землю (см. **рис. F21** на следующей странице) ток, проходящий через сопротивление электрода (RnA), является векторной суммой емкостных токов в двух неповрежденных фазах и нейтрали (если она распределена). Напряжения, неповрежденных фаз повышаются до линейных, и емкостные токи увеличиваются соответственно. Эти токи смещены друг от друга на 60°; поэтому их векторная сумма в этом примере равна 3 x 66 мА = 198 мА.

Следовательно, напряжение косвенного прикосновения (Uf) равно 198 x 5 x 10^{-3} = 0,99 В и, очевидно, не представляет опасности.

Ток замыкания на землю равен векторной сумме тока резистора нейтрали Id1 (153 мА) и емкостного тока Id2 (198 мА).

Поскольку открытые проводящие части установки соединены непосредственно с землей, полное сопротивление нейтрали (Zct) практически не влияет на напряжение косвенного прикосновения относительно земли.

(1) В этом примере предполагается, что активный ток утечки на землю через изоляцию пренебрежимо мал.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Защита от косвенного прикосновения

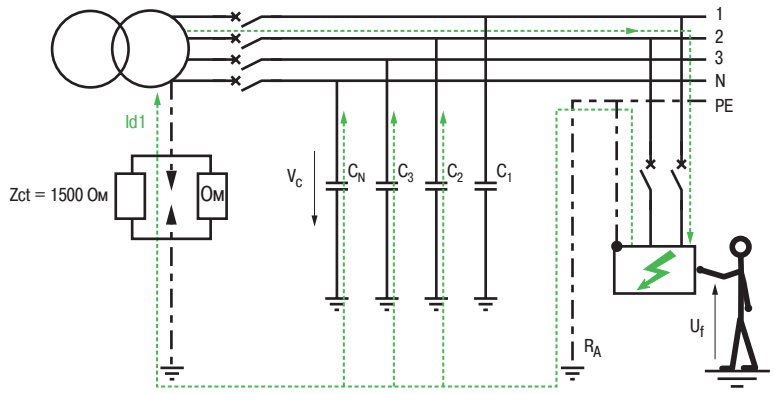


Рис. F21. Путь тока повреждения при первом замыкании в системе IT

Одновременное возникновение двух замыканий на землю в разных фазах представляет опасность; их быстрое устранение посредством плавких предохранителей или выключателя зависит от типа схемы заземления и использования отдельных заземляющих электродов на установке.

Двойное замыкание (КЗ)

Необходимо обеспечить быстрое отключение при возникновении второго замыкания (КЗ) на другой фазе или нейтрали. Отключение КЗ осуществляется разными способами в каждом из следующих случаев:

1-й случай

Все открытые проводящие части установки соединены с общим проводником PE (см. **рис. F22**).

В этом случае ток повреждения не проходит через заземляющие устройства. Поэтому имеет место высокий уровень тока, и используются традиционные устройства защиты максимального тока (например, выключатели и плавкие предохранители).

Первое замыкание может возникнуть в конце цепи в удаленной части установки, а второе повреждение – на противоположном конце установки.

По этой причине принято удваивать полное сопротивление цепи при расчете тока КЗ для проверки чувствительности устройств защиты максимального тока.

Если система включает в себя нейтраль в дополнение к 3 фазным проводникам, минимальные токи КЗ возникают, когда одним из двух повреждений является замыкание нейтрали на землю (в схеме IT все четыре проводника изолированы от земли). Поэтому в 4-проводных системах IT для расчета тока КЗ должно использоваться фазное напряжение, например, $0.8\frac{Uo}{2\,Zc} \geqslant Ia$ (1), где:

Uo = напряжение между фазой и нейтралью

Zc = полное сопротивление контура КЗ (см. подраздел 3.3)

Ia = уровень тока уставки на отключение

Если нейтральный провод не распределен по сети, то для расчета тока повреждения следует использовать линейное напряжение, например, $0.8\frac{\sqrt{3}\,Uo}{2\,Zc} \geqslant Ia$ (1)

■ Максимальное время отключения

Нормативное время отключения для системы IT зависит от схемы соединения заземляющих электродов установки и подстанции.

Для конечных цепей, запитывающих электрооборудование с номинальным током не выше 32 А и с открытыми проводящими частями, соединенными с заземляющим электродом подстанции, максимальное время отключения приводится на **рис. F9**. Для других цепей той же группы с соединенными открытыми проводящими частями максимальное время отключения составляет 5 с, поскольку любое двойное замыкание в этой группе приводит к току КЗ, как в системе TN.

Для конечных цепей, запитывающих электрооборудование с номинальным током не выше 32 А и с открытыми проводящими частями, соединенными с заземляющим устройством, обособленным от заземляющего устройства подстанции, максимальное время отключения приводится на **рис. F14**. Для других цепей той же группы несоединенных открытых проводящих частей максимальное время отключения составляет 1 с. Это объясняется тем, что любое замыкание на землю в этой группе одновременно с замыканием на землю в другой группе вызывает ток , ограниченный сопротивлениями заземляющих устройств, как в системе TT.

(1) На основе традиционного метода, указанного в первом примере подраздела 3.3.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Защита от косвенного прикосновения

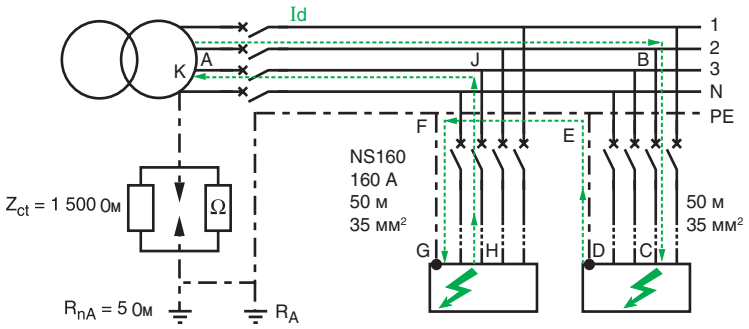


Рис. F22. Отключение выключателя(ей) при двойном замыкании, когда открытые проводящие части соединены общим защитным проводником

■ Защита посредством выключателя

В случае, показанном на **рис. F22**, необходимо определить уставки на отключение для мгновенного и обратно зависимого расцепителей максимального тока. Рекомендуемое время отключения нетрудно обеспечить с помощью различных устройств. Защита от КЗ, обеспечиваемая выключателем NS 160, позволяет отключать межфазные КЗ, возникающие в конце цепей, питающих нагрузки.

Примечание: В системе IT две цепи, вовлеченные в двойное замыкание, полагаются имеющими равную длину и проводники с одинаковой площадью поперечного сечения, включая проводники PE и фазные проводники. В таком случае полное сопротивление цепи при использовании «традиционного метода» (п. 6.2) в два раза превышает расчетное сопротивление одной из цепей в системе TN (см. главу F, п. 3.3).

Сопротивление цепи FGHJ = $2R_{JH} = 2\rho\frac{L}{a}$ мОм, где:

ρ = сопротивление проводника длиной 1 м и площадью поперечного сечения 1 мм^2, мОм

L = длина цепи, м

a = площадь поперечного сечения проводника, мм^2

Сопротивление цепи FGHJ = 2 x 23,7 x 50/35 = 67,7 мОм

и сопротивление цепи B, C, D, E, F, G, H, J равно 2 x 67,7 = 135 мОм.

Ток двойного замыкания равен 0.8 x $\sqrt{3}$ x 230 x 10^3/135 = 2361 A.

■ Защита посредством плавких предохранителей

Ток Ia, при котором должен срабатывать плавкий предохранитель за указанное время, может быть определен по времятоковым характеристикам плавких предохранителей (см. **рис. F16**).

Указанный ток должен быть значительно ниже тока КЗ, рассчитанного для рассматриваемой цепи.

■ Защита посредством УЗО

В случаях, когда длина цепи неизбежно велика, и особенно, если приборы данной цепи заземлены отдельно (так, что ток повреждения проходит через два заземляющих электрода), отключение при перегрузке может не произойти.

В этом случае рекомендуется использовать отдельное УЗО на каждой цепи установки.

Однако, если система IT заземлена через сопротивление, устанавливаемое УЗО не должно обладать высокой чувствительностью, иначе первое замыкание может привести к нежелательному отключению.

Срабатывание устройств защитного отключения, которые соответствуют стандартам МЭК, может происходить при значениях от 0,5 IΔn до IΔn, где IΔn – номинальное значение уставки по току утечки.

2-й случай

Это случай, когда открытые проводящие части заземлены по отдельности (заземляющее устройство для каждой части) или по отдельным группам (одно заземляющее устройство для каждой группы).

Если все открытые проводящие части не соединены с общим заземляющим устройством, то двойное замыкание на землю может возникать в разных группах или в отдельно заземленном устройстве. Кроме защиты, описанной для случая 1, требуется дополнительная защита УЗО, установленное на выключателе, контролирующем каждую группу или каждую отдельно заземленную электроустановку.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Защита от косвенного прикосновения

Это требуется в силу того, что корпуса отдельных групп соединены через землю. Поэтому междуфазный ток КЗ ограничивается при прохождении через заземление за счет сопротивлений контакта электродов с землей, что делает ненадежной защиту максимального тока. Поэтому необходимо использовать более чувствительные УЗО. Однако, при этом ток срабатывания УЗО должен превышать ток, возникающий при первом замыкании (см. **рис. F23**).

Суммарная длина кабелей, км	Ток первого замыкания, А
1	0,07
5	0,36
30	2,17

Рис. F23. Зависимость между длиной кабелей и током первого замыкания

При двойном замыкании (КЗ), возникающем в группе, имеющей общее заземляющее устройство, защита максимального тока работает, как описывается выше для случая 1.

Примечание 1: см. также главу G, п.7.2, защита нейтрали.

Примечание 2: в случае 3-фазных 4-проводных установок, для защиты от сверхтоков в одножильном нейтральном проводнике иногда удобнее использовать кольцевой трансформатор тока (см. **рис. F24**).

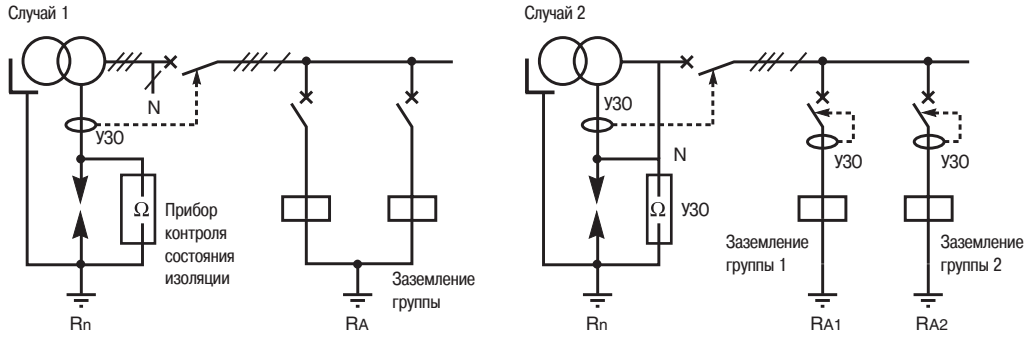


Рис. F24. Применение устройств УЗО, когда открытые проводящие части заземлены отдельно или по группам по схеме IT

3.5 Меры защиты от прямого и косвенного прикосновений без автоматического отключения питания

Применение системы безопасного сверхнизкого напряжения (БСНН)

Сверхнизкое напряжение используется там, где есть большие риски поражения электрическим током: плавательные бассейны, переносные лампы и другие переносные бытовые электроприборы для использования вне помещений.

Системы БСНН применяются в тех случаях, когда эксплуатация электрического оборудования представляет серьезную опасность (плавательные бассейны, парки с аттракционами и т.д.). Данная мера основана на подаче питания сверхнизкого напряжения от вторичных обмоток изолирующих (разделительных) трансформаторов, специально разработанных в соответствии с национальными или международным (МЭК 60742) стандартами. Уровень импульсного напряжения, выдерживаемого изоляцией между первичной и вторичной обмотками, является очень высоким. Иногда между этими обмотками устанавливается заземленный металлический экран. Напряжение на вторичной обмотке никогда не превышает эффективного значения 50 В.

Для того чтобы обеспечить адекватную защиту от косвенного прикосновения, должны соблюдаться три условия эксплуатации:

- Токоведущие проводники в системе БСНН не должны соединяться с землей.
- Открытые проводящие части оборудования, питающегося от системы БСНН, не должны соединяться с землей, другими открытыми проводящими частями или внешними проводящими частями.
- Все токоведущие части цепей системы БСНН и других цепей более высокого напряжения должны быть разделены расстоянием, равным, по крайней мере, расстоянию между первичной и вторичной обмотками безопасного разделительного трансформатора.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Защита от косвенного прикосновения

Эти меры требуют того, чтобы:

- В цепях системы БСНН использовались проводники, предусмотренные исключительно для них, если только в этих цепях не используются кабели, изолированные с учетом максимального напряжения других цепей.
- Штепсельные розетки для системы БСНН не имели заземляющего контакта. Вилки и розетки для системы БСНН должны быть специальными, с тем чтобы исключить возможность непреднамеренного подключения к другому уровню напряжения.

Примечание: в нормальных условиях, когда БСНН менее 25 В, нет необходимости предусматривать защиту от прямого прикосновения. Конкретные требования рассмотрены в главе Q, раздел 3 «Требования к устройству электроустановок для специальных помещений и зон».

Использование заземленной системы безопасного сверхнизкого напряжения (ЗСНН) (рис. F25)

Система ЗСНН предназначена для общего применения там, где низкое напряжение необходимо или предпочтительно по причинам безопасности, за исключением мест повышенного риска, указанных ранее. По концепции она аналогична системе БСНН за исключением того, что вторичная цепь заземлена в одной точке.

Стандартом МЭК 60364-4-41 (ГОСТ Р 50571.3-2009) точно определены особенности и преимущества применения системы ЗСНН. Защита от прямого прикосновения обычно не требуется, если электрооборудование находится в зоне действия системы уравнивания потенциалов, и номинальное напряжение не превышает 25 В переменного тока при условии, что оборудование нормально эксплуатируется только в сухих помещениях и там, где возможна большая площадь контакта человеческого тела с частями, которые могут оказаться под напряжением. Во всех остальных случаях, когда не предусмотрена защита от прямого прикосновения, максимально допустимым напряжением является 6 В переменного тока.

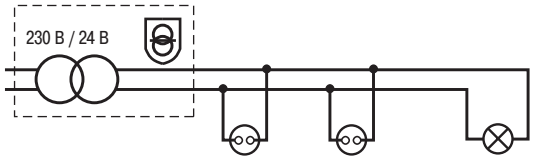


Рис. F25. Подача низкого напряжения от безопасного разделительного трансформатора

Система функционального сверхнизкого напряжения (ФСНН)

В тех случаях, когда по условиям эксплуатации (функционирования) электроустановки используется напряжение 50 В или менее, и при этом выполняются не все требования, касающиеся применения систем БСНН и ЗСНН, то для обеспечения защиты от прямого и косвенного прикосновений должны применяться соответствующие меры, описанные в стандарте МЭК 60364-4-41 (ГОСТ Р 50571.3-2009), с учетом местоположения и использования этих цепей.

Примечание: такие условия могут, например, иметь место, когда цепь содержит оборудование, недостаточно изолированное относительно цепей с более высоким напряжением (трансформаторы, реле, дистанционные переключатели, контакторы и т.п.).

Электрическое разделение цепей применяется для кабелей относительно небольшой длины и высокого уровня сопротивления изоляции. Его предпочтительно использовать для индивидуального электроприбора.

Электрическое разделение цепей (рис. F26)

Принцип электрического разделения цепей (обычно однофазных) для целей безопасности базируется на следующих принципах.

Два проводника от незаземленной однофазной вторичной обмотки разделяющего трансформатора изолируются от земли.

Если произошло прямое прикосновение к одному проводнику, то через человека, совершившего это, протечет лишь небольшой ток через землю и обратно к другому проводнику через свойственную этому проводнику емкость относительно земли. Поскольку емкость проводника относительно земли очень мала, то ток обычно ниже уровня ощущения. С увеличением длины кабеля цепи ток прямого прикосновения будет постепенно возрастать до величины, при которой произойдет опасное поражение электрическим током.

Даже если короткая длина кабеля предотвращает какую-либо опасность от емкостного тока, низкая величина сопротивления изоляции относительно земли может представлять опасность, поскольку в этом случае ток пройдет через человека, коснувшегося токоведущей части, через землю и обратно, к другому проводнику через низкое сопротивление изоляции этого проводника относительно земли.

По этим причинам в системах разделения необходимо использовать относительно короткие хорошо изолированные кабели.

Специально для этой цели были разработаны трансформаторы с высокой степенью изоляции между первичной и вторичной обмотками или с эквивалентной защитой, например, с заземленным металлическим экраном, установленным между этими обмотками. Конструкция такого трансформатора соответствует требованиям изоляции класса II.

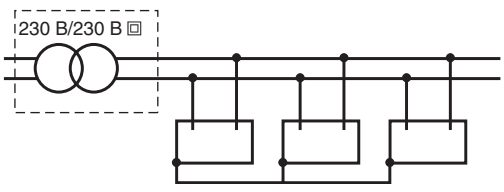


Рис. F26. Безопасное питание от разделяющего трансформатора класса II

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Защита от косвенного прикосновения

Как указывалось выше, для успешной реализации этого принципа требуется, чтобы:
- Ни один проводник или открытая проводящая часть вторичной цепи не были соединены с землей.
- Длина кабелей, подключенных к вторичной обмотке, была ограничена во избежание больших значений емкости [(1)].
- Было обеспечено большое сопротивление изоляции кабелей и бытовых электроприборов. Эти условия обычно ограничивают применение этой меры безопасности уровнем отдельного бытового электроприбора.

В случае когда от разделяющего трансформатора питаются несколько электроприборов, необходимо следить за соблюдением следующих требований:
- Открытые проводящие части всех электроприборов должны быть соединены изолированным защитным проводником, но не соединены с землей.
- Штепсельные розетки должны иметь защитный (заземляющий) контакт. Такой защитный контакт используется в этом случае только для того, чтобы обеспечить соединение между собой всех открытых проводящих частей.

В случае второго короткого замыкания максимальная защита от сверхтока должна обеспечить автоматическое отключение в тех же условиях, которые требуются для заземления энергосистемы по схеме IT.

Условное обозначение:

Оборудование класса II

Такие бытовые электроприборы также называются электроприборами с «двойной изоляцией», поскольку в бытовых электроприборах класса II помимо основной изоляции используется дополнительная изоляция (**рис. F27**). Открытые проводящие части бытового электроприбора класса II не должны соединяться с защитным проводником:
- Большая часть переносного или полустационарного оборудования, определенные лампы и некоторые типы трансформаторов проектируются с двойной изоляцией. Важно соблюдать особую осторожность при использовании оборудования класса II и регулярно или достаточно часто проверять выполнение требований класса II (отсутствие повреждений внешней оболочки и др.). Электронные устройства, радио- и телеприемники имеют уровни электробезопасности, эквивалентные классу II, но формально они не относятся к электроприборам класса II.
- Дополнительная изоляция электроустановок: более подробно необходимые меры для обеспечения дополнительной изоляции в процессе монтажа электроустановок описаны в стандарте МЭК 60364-4-41(подпункт 413-2) и в некоторых региональных стандартах, например, ГОСТ Р 50571.3-2009.
Простым примером является размещение кабеля в поливинилхлоридных (ПВХ) трубах. Описаны также способы изоляции для распределительных щитов.

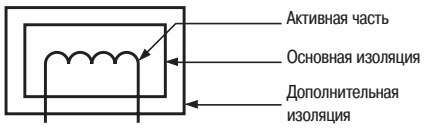


Рис. F27. Принцип обеспечения изоляции класса II

- Для распределительных щитов и аналогичного оборудования в стандарте МЭК 60439-1 (ГОСТ Р 51321.1-2007) изложен перечень требований к так называемой «полной изоляции», эквивалентной классу II.
- Во многих национальных стандартах некоторые кабели рассматриваются как эквивалентные классу II.

В принципе, для обеспечения электробезопасности посредством размещения проводящих частей, к которым возможен одновременный доступ, вне зоны досягаемости или установки ограждающих барьеров требуется также непроводящий пол. Поэтому это является непростой задачей.

Размещение вне зоны досягаемости или установка барьеров

С помощью этих средств можно достичь крайне низкой вероятности прикосновения к открытой проводящей части, находящейся под напряжением, при одновременном касании сторонней проводящей части, находящейся под потенциалом земли (**рис. F28**). На практике эта мера может применяться лишь в сухих помещениях и реализуется при соблюдении следующих условий:
- Пол и стена помещения должны быть непроводящими, т.е. в любой точке сопротивление относительно земли должно быть:
  - > 50 кОм (напряжение электроустановки ⩽ 500 В);
  - > 100 кОм (500 В < напряжение электроустановки ⩽ 1000 В).

Сопротивление измеряется с помощью приборов типа мегомметр (ручной генератор или электронный прибор с аккумуляторным питанием) между электродом, размещенным на полу или приставленным к стене, и землей (т.е. ближайшим защитным заземлителем). Давление на контрольную площадь электрода должно быть одинаковым при всех испытаниях.

Различные производители измерительных приборов предлагают специальные электроды для своих собственных приборов, поэтому необходимо обращать внимание на то, чтобы используемые электроды соответствовали тем, которые входят в комплект данного измерительного прибора.

(1) В стандарте МЭК 364-4-41 рекомендуется, чтобы произведение номинального напряжения цепи в вольтах и длины кабелей в метрах не превышало 100000, и чтобы длина кабелей не превышала 500 м.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Защита от косвенного прикосновения

■ Размещение оборудования и барьеров должно быть таким, чтобы исключалась возможность прикосновения человека одновременно к двум открытым проводящим частям или к открытой проводящей части и внешней проводящей части.
■ Открытый защитный проводник не должен вводиться в рассматриваемое помещение.
■ Входы должны быть устроены так, чтобы входящие в нее люди не подвергались опасности. Например, человек, стоящий на проводящем полу за пределами помещения, не имел возможности дотянуться через дверной проем до открытой проводящей части, доступ к выключателю освещения, установленному, например, в промышленной распределительной коробке.

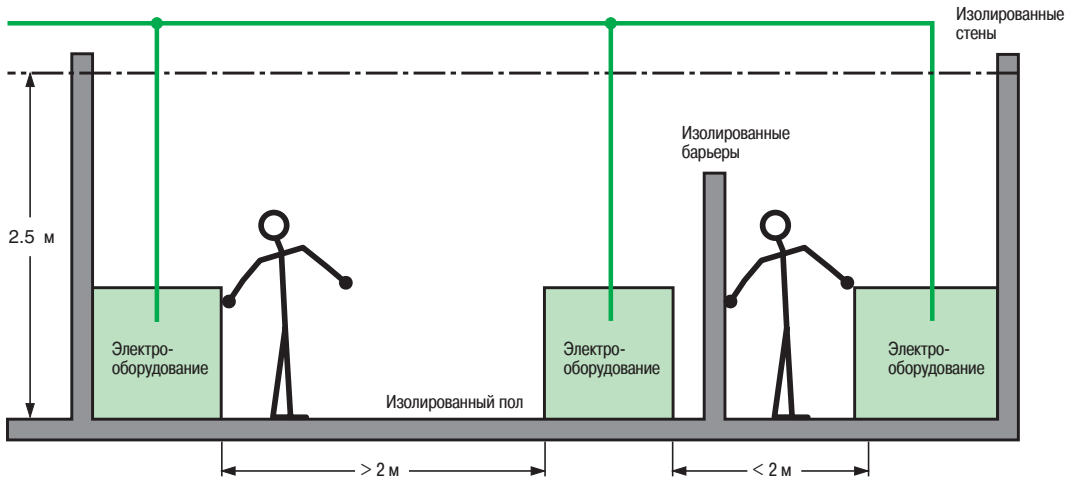


Рис. F28. Защита размещением вне зоны досягаемости и установкой непроводящих барьеров

Незаземленные эквипотенциальные камеры относят к специальным электроустановкам, и их практическая реализация связана с рядом трудностей.

Незаземлённые эквипотенциальные камеры

В такой схеме все открытые проводящие части, включая пол [(1)], соединяются проводниками достаточно большого сечения с тем, чтобы не было значительного различия потенциалов между двумя точками. Пробой изоляции между токоведущей частью и металлическим корпусом электроприбора приведет к тому, что напряжение в этой «клетке» повысится до фазного напряжения, но ток короткого замыкания протекать не будет. В этих условиях человек, входящий в такую камеру, окажется в опасности (поскольку он ступит на пол, находящийся под напряжением).
Для защиты персонала должны быть приняты соответствующие меры предосторожности (например, непроводящий пол на входе). Кроме того, требуются специальные защитные устройства для обнаружения пробоя изоляции в случае отсутствия значительного тока замыкания.

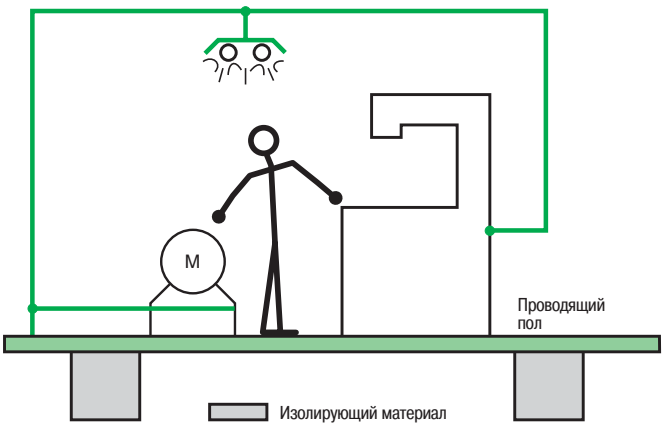


Рис. F29. Эквипотенциальное соединение всех одновременно досягаемых открытых проводящих частей

(1) Сторонние проводящие части, входящие в эквипотенциальное пространство (или выходящие из него), например, водопроводные трубы, должны быть изолированы и исключены из данной эквипотенциальной сети, поскольку где-то в другом месте данной электроустановки такие части могут быть соединены с защитными заземляющими проводниками.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Защита имущества от ущерба вследствие пробоя изоляции

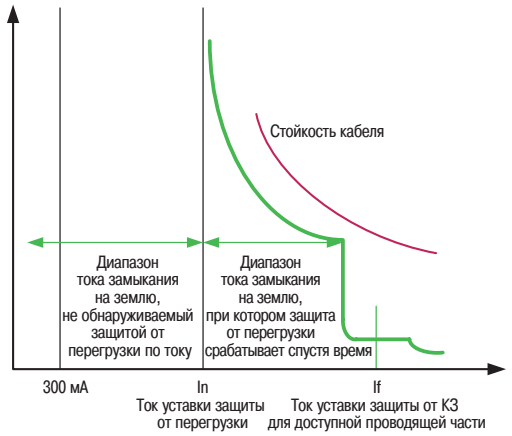


Рис. F30. Кривая защиты от перегрузки и потенциальный ток замыкания на землю

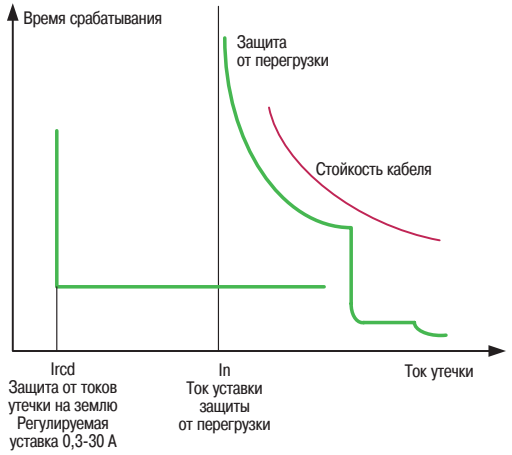
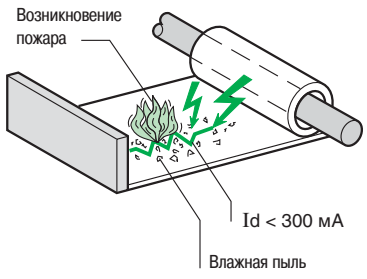


Рис. F31. Пример кривой срабатывания защиты от утечки на землю

Устройства защитного отключения (УЗО) являются очень эффективными средствами защиты от опасности возгорания из-за проблем изоляции. Они могут обнаружить токи утечки на землю (например, величиной 300 мА), которые слишком малы, чтобы их могли обнаружить другие средства защиты, но достаточны, чтобы вызвать пожар.



Ряд испытаний показали, что очень маленький ток утечки (несколько мА) может нарастать и, начиная с 300 мА, вызвать в пыльной и влажной среде пожар.

Рис. F32. Возникновение пожара в зданиях

Подавляющее большинство электрических коротких замыканий в низковольтных установках возникает вследствие повреждения изоляции линии от земли.
Меры защиты, представленные в предыдущем разделе данной главы, обеспечат автоматическое отключение питания в случае возникновения контакта между проводником и открытой проводящей частью.
Но также может произойти контакт между проводником и землей с амплитудой, меньшей, чем пороговое значение защиты от перегрузки по току кабеля (и без риска «косвенного контакта») (см. **рис. F30**).

4.1 Меры защиты от опасности возгорания с помощью УЗО

Устройства защитного отключения (УЗО) обеспечивают очень эффективную защиту от опасности возгорания, вызванного пробоем изоляции. Возникающий при этом ток утечки слишком мал, чтобы его могли обнаружить другие устройства защиты, например, устройства максимальной токовой защиты.

Для систем TT, IT и TN-S, в которых может возникать ток утечки на землю, применение УЗО с чувствительностью 300 мА обеспечивает хорошую защиту от опасности возгорания из-за такого типа неисправности цепи (см. **рис. F31**).

Исследования показали, что стоимость ущерба от пожаров в зданиях промышленного и обслуживающего сектора может быть очень большой.

Анализ происходящих при этом явлений указывает на то, что риск возгорания вследствие повреждений электрической сети связан с перегревом, вызванным несогласованием максимального номинального тока в кабеле (или изолированном проводнике) и уставки максимальной защиты.

Кроме того, причиной перегрева может быть изменение электроустановки (например, добавление кабелей на одной и той же трассе (полке, лотке)).

Во влажной среде такой перегрев может привести к возникновению электрической дуги. Подобные электрические дуги возникают, когда сопротивление цепи короткого замыкания превышает 0,6 Ом, и существуют только там, где происходит пробой изоляции. Некоторые испытания показали, что ток утечки 300 мА может вызвать реальную опасность пожара (**рис. F32**).

4.2 Защита от замыканий на землю

Различные типы устройств защиты от замыканий на землю (рис. F33)

В зависимости от установленных измерительных устройств возможны три типа устройств защиты от замыканий на землю:

■ Система RS (измерение дифференциального тока)
Ток замыкания на землю вычисляется путем векторного суммирования токов во вторичных обмотках трансформаторов тока. Дополнительный трансформатор тока устанавливается на нулевом проводнике и часто располагается вне блока автоматического выключателя.

■ Система SGR (возврат тока «источник-земля»)
Ток замыкания на землю измеряется в линии «нейтраль-земля» низковольтного трансформатора. Применяемый трансформатор тока располагается вне блока автоматического выключателя.

■ Система ZS (измерение тока нулевой последовательности)
Ток замыкания на землю измеряется непосредственно на первичной обмотке трансформатора тока суммированием токов в токоведущих проводниках. Данный тип устройства используется только при малых токах замыкания.

Защита от замыканий на землю может быть включена в автоматический выключатель (см. **рис. F35**) или выполнена автономным реле. Во всех случаях устройство, осуществляющее защиту от замыканий на землю, должно быть способно самостоятельно или в сочетании с другим устройством защиты от сверхтоков отключить максимальный ток утечки, который может возникнуть в данной точке установки.

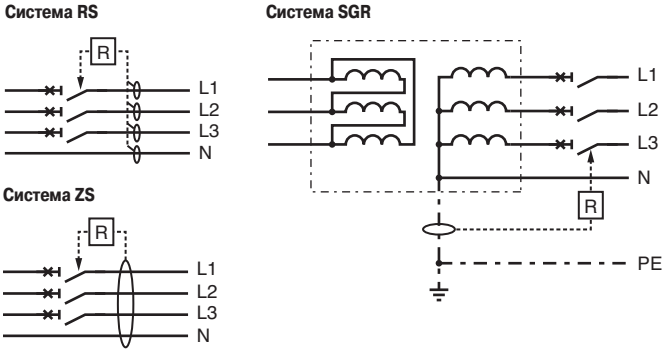


Рис. F33. Различные типы защиты от замыканий на землю

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Защита имущества от ущерба вследствие пробоя изоляции

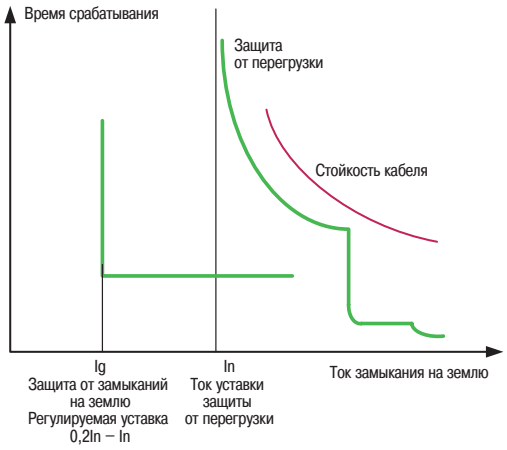


Рис. F34. Пример кривой отключения защиты от замыкания на землю типа RS

Рис. F35. Пример автоматического выключателя с защитой от токов замыкания на землю ComPact NSX630 с электронным расцепителем Micrologic 6.3E

Рис. F36. Пример автоматического выключателя в литом корпусе на 250 А с функцией измерения тока утечки на землю и сигнализацией

Рис. F37. Пример внешнего реле контроля тока утечки на землю

Размещение устройств защиты от замыканий на землю в электроустановке

Тип / Уровень электроустановки	Главный распределительный щит	Вторичный распределительный щит	Примечания
Система SGR	□		Используются
Система RS	□	■	Используются часто
Система ZS	□	■	Используются редко

□ Могут применяться
■ Рекомендуются к применению или применение необходимо

4.3 Контроль замыкания на землю

Повышение чувствительности системы защиты снизит риск возникновения пожара, однако может повысить риск внезапного отключения при возникновении помех, не являющихся неисправностью (см. раздел 7 о чувствительности УЗО к помехам). В случаях, когда соблюдение баланса между чувствительностью и непрерывностью работы представляется сложным, большим преимуществом является возможность мониторинга замыкания на землю без автоматического отключения.

Контроль тока утечки на землю и сигнализация позволяют обнаружить:
- Повреждение изоляции
- Аномальные токи утечки
- Наличие контакта нейтрали с землей в месте, где такой контакт не предусмотрен

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Реализация системы TT

5.1 Защитные меры

Защита от косвенного прикосновения

Общий случай

Защита от косвенного прикосновения обеспечивается устройствами защитного отключения, у которых чувствительность по току IΔn удовлетворяет условию $I\Delta n \leqslant \frac{50\ V}{R_A}$ (1)

Выбор чувствительности УЗО зависит от сопротивления заземлителя электроустановки R_A (**рис. F38**).

IΔn	Максимальное сопротивление заземлителя (50 В)	(25 В)
3 А	16 Ом	8 Ом
1 А	50 Ом	25 Ом
500 мА	100 Ом	50 Ом
300 мА	166 Ом	83 Ом
30 мА	1666 Ом	833 Ом

Рис. F38. Верхний предел сопротивления заземлителя электроустановки, который не должен превышаться для данных уровней чувствительности УЗО и для максимальных сверхнизких напряжений 50 и 25 В

Случай распределительных цепей (рис. F39)

Международный стандарт МЭК 60364-4-41 (ГОСТ Р 50571.3-2009) и ряд национальных стандартов устанавливают максимальное время отключения распределительных цепей электроустановки 1 с (в отличие от цепей питания конечных потребителей). Это обеспечивает селективность срабатывания УЗО за счет применения:

- на уровне A: УЗО с выдержкой времени, например, типа S (селективные);
- на уровне B: УЗО мгновенного действия.

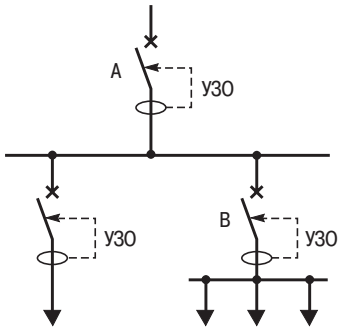


Рис. F39. Распределительные цепи

Случай соединения открытых проводящих частей электроприбора или группы электроприборов с отдельным заземлителем (рис. F40)

Защита от косвенного прикосновения посредством применения УЗО на уровне автоматического выключателя, защищающего каждую группу бытовых электроприборов или отдельно заземленный электроприбор.

В каждом случае чувствительность УЗО должна выбираться в зависимости от сопротивления соответствующего заземлителя.

УЗО с высокой чувствительностью (рис. F41)

Стандарт МЭК 60364 предписывает использовать УЗО с высокой чувствительностью ($\leqslant$ 30 мА) в следующих случаях:

- цепи штепсельных розеток на номинальные токи $\leqslant$ 32 А в любом месте;
- цепи штепсельных розеток во влажных местах для всех номинальных значений токов;
- цепи штепсельных розеток во временных электроустановках;
- цепи питания помещений для стирки и плавательных бассейнов;
- цепи питания рабочих площадок, домов-фургонов, прогулочных катеров и передвижных выставок-ярмарок.

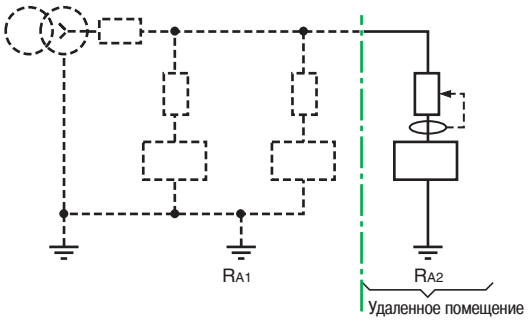


Рис. F40. Отдельный заземлитель

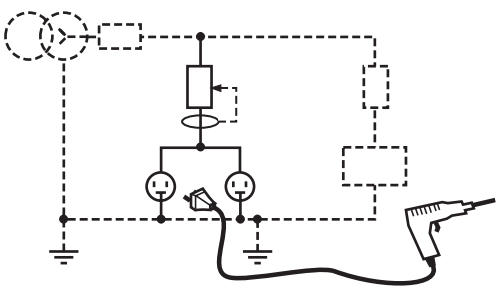


Рис. F41. Цепь питания штепсельных розеток

(1) 25 В для электроустановок на рабочих площадках, сельскохозяйственных предприятиях и т.п.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Реализация системы TT

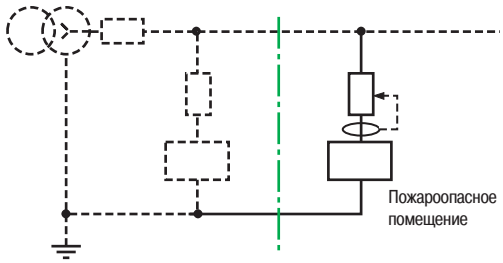


Рис. F42. Пожароопасное помещение

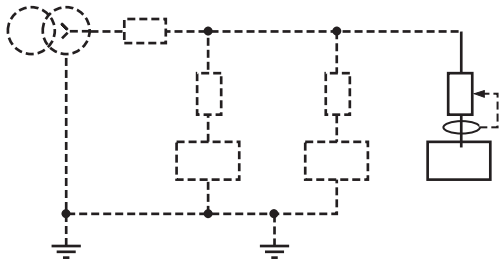


Рис. F43. Незаземленные открытые проводящие части (A)

В пожароопасных местах (рис. F42)

Защита от косвенного прикосновения в помещениях с высокой опасностью возгорания должна обеспечиваться с помощью УЗО, установленного в автоматическом выключателе, контролирующем подачу питания. Во многих странах такое использование УЗО является обязательным.

Чувствительность УЗО должна составлять ⩽ 500 мА.
Использование УЗО с чувствительностью 300 мА позволяет также обеспечить защиту от опасности возгорания.

Защита в случаях, когда открытые проводящие части не соединены с землей (рис. F43)

Когда существующая электроустановка размещается в сухом месте, и соединение с заземлением невозможно, или в случае обрыва защитного заземляющего провода, УЗО с высокой чувствительностью (⩽ 30 мА) обеспечат защиту как от косвенного прикосновения, так и дополнительную защиту от прямого прикосновения.

5.2 Координация устройств защиты от замыканий на землю

Согласованное селективное отключение обеспечивается посредством выдержки времени или разделения цепей, которые затем защищаются отдельно или по группам, или посредством двух этих методов.
Селективная защита обеспечивает срабатывание только устройства УЗО, расположенного непосредственно перед точкой повреждения.

■ Имеющееся оборудование обеспечивает селективную защиту на трех или четырех различных уровнях распределения:
- □ На уровне главного распределительного устройства
- □ На уровне вторичных распределительных устройств
- □ На уровне распределительных устройств конечных потребителей
- □ На уровне штепсельных розеток для защиты отдельных ЭП

■ Если косвенные прикосновения возможны, то, как правило, распределительные устройства (включая вторичные, при наличии), отдельное защищаемое оборудование и устройства автоматического отключения обеспечиваются дополнительной защитой от опасности косвенного прикосновения.

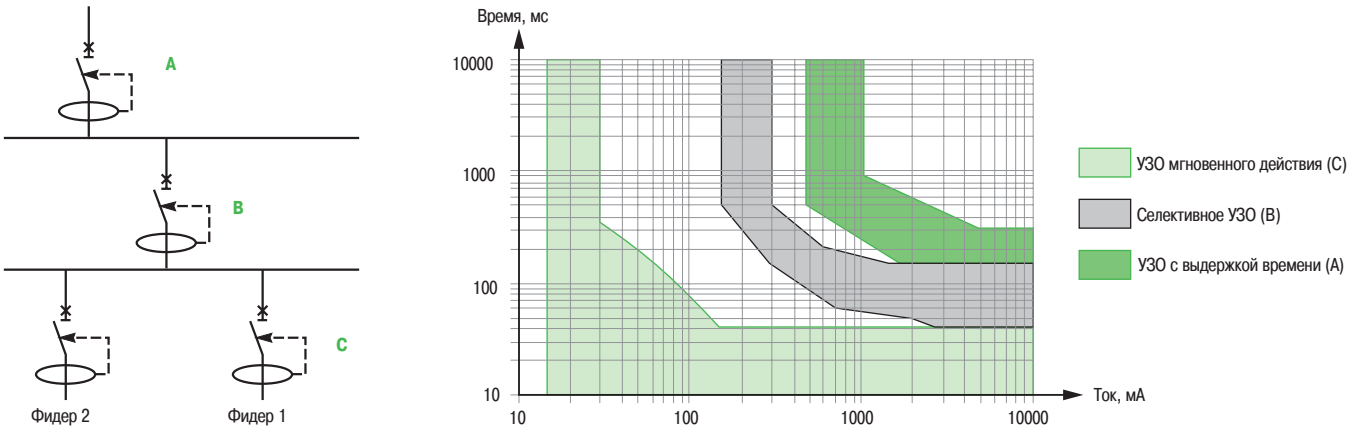
Селективность между УЗО

Общие требования к обеспечению полной селективности между двумя УЗО:

■ Отношение между токами срабатывания должно быть > 3.

■ УЗО верхнего уровня должно иметь выдержку времени.

Селективность достигается за счет использования нескольких уровней стандартной чувствительности (30 мА, 100 мА, 300 мА и 1 А) и соответствующего времени отключения (см. рис. F44).



A Промышленное УЗО с чувствительностью 1000 мА (уставка II)
B УЗО с чувствительностью 300 мА (бытовое типа S, промышленное с уставкой I)
C Бытовое и промышленное УЗО с чувствительностью 30 мА (уставка 0)

Рис. F44. Полная селективность действия УЗО на трех уровнях

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Реализация системы TT

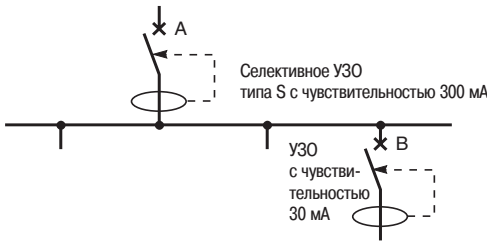


Рис. F45. Полная селективность действия УЗО на двух уровнях

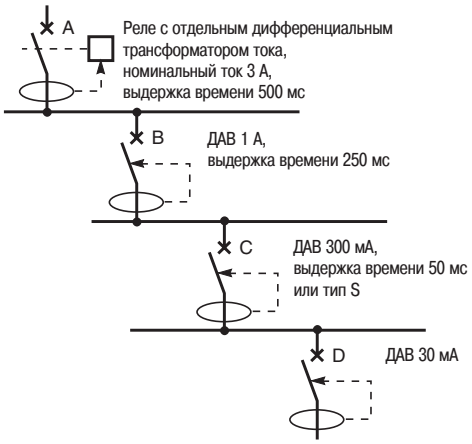


Рис. F46. Обеспечение полной селективности на 3 или 4 уровнях

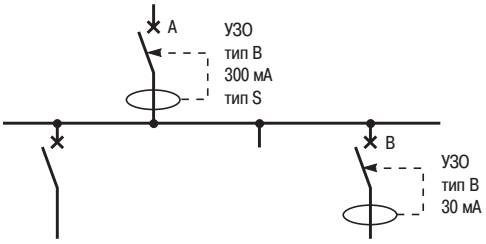


Рис. F47. Координация УЗО типа B

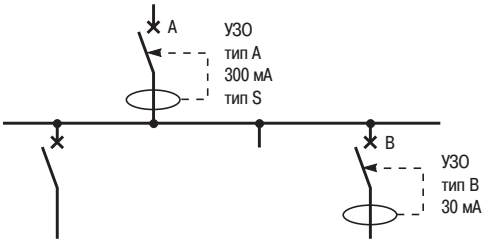


Рис. F48. Координация УЗО типов A и B

Селективность действия УЗО на двух уровнях (рис. F45)

Защита

- Уровень A: УЗО с уставкой I (для промышленного оборудования) или УЗО типа S (для бытового оборудования) для защиты от косвенных прикосновений.
- Уровень B: УЗО мгновенного действия с высокой чувствительностью для цепей питания штепсельных розеток или электроприборов, представляющих повышенную опасность (стиральные машины и т.п.; см. также главу Q, раздел 3).

Решения, предлагаемые компанией Schneider Electric

- Уровень A: автоматический выключатель ComPact или Acti 9 с подсоединяемым дифференциальным модулем (Vigicompact NSX160), уставка I или типа S.
- Уровень B: автоматический выключатель со встроенным дифференциальным модулем (DPN Vigi) или внешним дифференциальным модулем (например, Vigi iC60) или Vigicompact NSX.

Примечание: уставка вышерасположенного дифференциального автоматического выключателя (ДАВ) должна соответствовать требованиям селективности и учитывать все токи утечки на землю на нижерасположенных участках сети.

Избирательность на трех или четырех уровнях (рис. F46)

Защита

- Уровень A: УЗО с выдержкой времени (уставка III).
- Уровень B: УЗО с выдержкой времени (уставка II).
- Уровень C: УЗО с выдержкой времени (уставка I) или типа S.
- Уровень D: УЗО мгновенного действия.

Решения, предлагаемые компанией Schneider Electric

- Уровень A: автоматический выключатель с УЗО и отдельным дифференциальным трансформатором тока (Vigirex RH)
- Уровень B: Vigicompact NSX или Vigirex.
- Уровень C: Vigirex, Vigicompact NSX или Vigi iC60.
- Уровень D: Vigicompact NSX, Vigirex или Acti 9 со встроенным или внешним дифференциальным модулем (Vigi iC60 или DPN Vigi).

Прмечание: уставка вышерасположенного ДАВ должна соответствовать требованиям селективности и учитывать все токи утечки на землю на нижерасположенных участках сети.

Особый случай координации с УЗО типа B:

При возможном возникновении постоянного тока утечки на землю необходимо использовать УЗО типа B для защиты от поражения электрическим током. В этом случае вышестоящее УЗО не должно лишиться чувствительности из-за наличия утечки постоянного тока, оно должно обеспечивать нормальную защиту цепи при появлении повреждения вне зависимости от рода тока утечки и его местонахождения.

Например, на схеме, показанной на **рис. F47**, УЗО типа B с дифференциальной уставкой 30 мА на уровне B может иметь максимальный порог отключения постоянного тока 2*IΔn в соответствии со стандартом МЭК 62423. Это означает, что через данное УЗО типа B 30 мА может протекать постоянный дифференциальный ток величиной почти 60 мА, не вызывая отключения данного УЗО или потери рабочих характеристик вышестоящего УЗО. Поэтому на уровне A часто предлагается использовать УЗО типа B с целью избежать потери чувствительности из-за утечки постоянного тока, как это показано на **рис. F47**.

Однако Schneider Electric предлагает другое решение.

Некоторые УЗО типа A в Schneider Electric могут быть нечувствительны к постоянному току утечки величиной до 60 мА. Как показано на **рис. F48**, они могут быть установлены выше УЗО типа B 30 мА без риска потери чувствительности. Его характеристики защиты типа AC и типа A гарантированы даже при наличии выпрямленного тока утечки величиной 60 мА.

Эти УЗО типа A с высоким уровнем безопасности включают в себя:

- Acti 9 RCD iID и Vigi 300 мА, 500 мА
- Vigi NG 125 300 мА, 500 мА, 1 A
- Vigi C120 300 мА, 500 мА, 1 A
- ComPact NSXm, NSX 300 мА и выше

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Реализация системы TT

Селективная защита на трех уровнях (рис. F49)

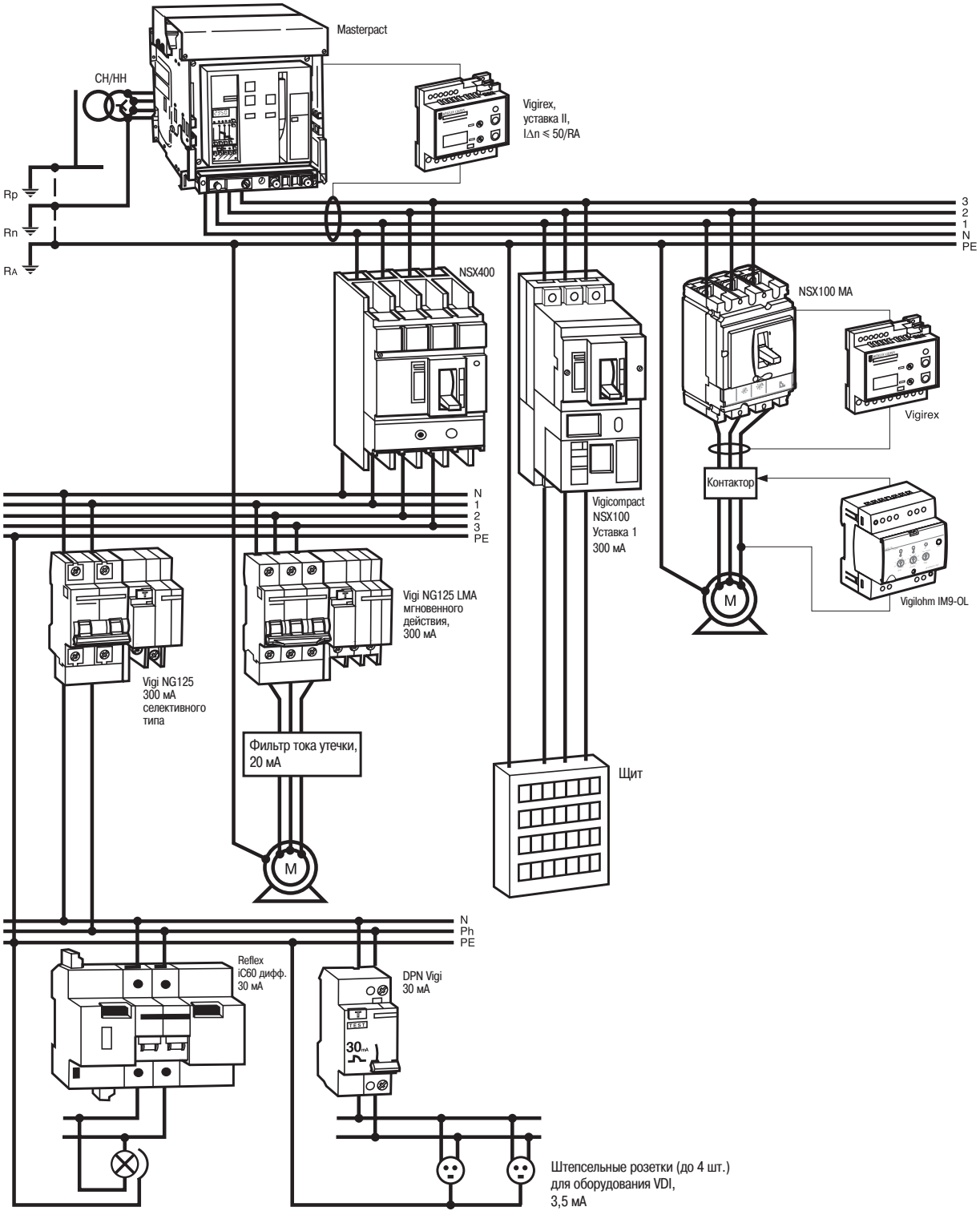


Рис. F49. Типовая электроустановка с трехуровневой защитой распределительных цепей (система заземления TT).

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

6 Реализация системы TN

6.1 Предварительные условия

На стадии проектирования необходимо рассчитать максимально допустимую длину кабеля, расположенного ниже защитного автоматического выключателя (или комплекта плавких предохранителей), а при монтаже строго выполнять определенные правила.

Должны соблюдаться определенные условия, перечисленные ниже и изображенные на **рис. F50**.

1. PE-проводник должен регулярно и как можно чаще соединяться с заземлителем.

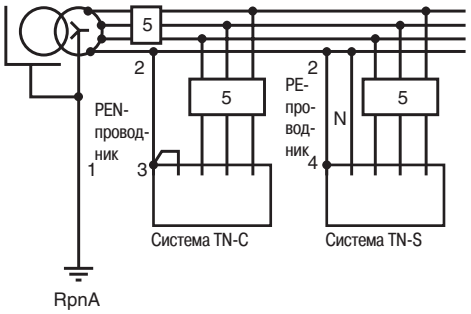
2. PE-проводник не должен монтироваться в ферромагнитном кабелепроводе, коробе или на металлоконструкции, поскольку индуктивные эффекты и/или эффект близости могут увеличить его эффективное сопротивление.

3. В случае PEN-проводника (нулевого проводника, используемого также в качестве защитного), соединение должно быть сделано непосредственно к клемме заземления бытового электроприбора (см. 3 на **рис. F50**), а потом к клемме нейтрали того же электроприбора.

4. Если сечение проводника менее 6 мм^2 для меди или 10 мм^2 для алюминия, или если кабель переносной, то нулевой и защитный проводники должны быть разделены, т.е. для рассматриваемой электроустановки должна быть выбрана система TN-S.

5. Замыкания на землю могут устраняться устройствами максимальной токовой защиты, т.е. плавкими предохранителями и автоматическими выключателями.

В этом списке указаны условия, которые должны соблюдаться при реализации схемы TN для обеспечения защиты людей от косвенных прикосновений.



Примечания:

- При использовании схемы TN нейтраль низковольтной обмотки понижающего трансформатора открытые проводящие части соответствующей подстанции и электроустановки, а также сторонние проводящие части этой подстанции и электроустановки соединены с общей системой заземления.
- В случае подстанции, в которой учет электроэнергии осуществляется по низкому напряжению, на вводе в электроустановку низкого напряжения требуется применение устройства разделения, и такое разделение должно быть визуально различимым.
- PEN-проводник не должен прерываться ни при каких обстоятельствах. Контрольно-защитное распределительное устройство для нескольких схем TN должно быть:
  - ☐ 3-полюсным, если в цепи используется PEN-проводник;
  - ☐ предпочтительно 4-полюсным (3 фазы + нейтраль), если эта цепь содержит нейтраль с отдельным PE-проводником.

Рис. F50. Реализация системы заземления типа TN

6.2 Защита от косвенного прикосновения

Методы определения уровней тока короткого замыкания

Обычно используются три метода расчета:
- метод полных сопротивлений, основанный на векторном суммировании полных сопротивлений системы;
- композиционный метод;
- традиционный метод, основанный на предполагаемой величине падения напряжения и использовании специальных таблиц.

В системах заземления TN по цепи замыкания на землю будет в принципе всегда проходить ток достаточной величины для срабатывания устройства максимальной токовой защиты.

Сопротивления источника питания и питающей сети гораздо ниже, чем сопротивление цепей электроустановки, поэтому любое ограничение величины токов замыкания на землю будет, в основном, вызываться проводниками этой электроустановки (длинные гибкие провода, идущие к бытовым электроприборам, значительно увеличивают сопротивление цепи замыкания и, соответственно, снижают величину тока короткого замыкания).

Самая новая рекомендация МЭК в отношении защиты от косвенного прикосновения в системах заземления TN лишь устанавливает соотношение между максимально допустимым временем отключения и номинальным напряжением системы (**рис. F17** в подразделе 3.3).

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

6 Реализация системы TN

Указанные рекомендации основаны на том, что для повышения потенциала открытой проводящей части до 50 В или выше ток, который должен протекать в цепях системы TN, будет настолько большим, что может случиться следующее:

- цепь замыкания перегорит практически мгновенно;
- произойдет металлическое короткое замыкание проводника, и ток будет достаточной величины, чтобы вызвать срабатывание устройства максимальной токовой защиты.

Чтобы в последнем случае обеспечить правильное срабатывание устройств защиты от сверхтока, на этапе проектирования объекта необходимо провести достаточно точную оценку уровней токов замыкания на землю.

Тщательный анализ предусматривает применение метода симметричных составляющих к каждой цепи по очереди. Данный метод является несложным, но объем вычислений является чрезмерно большим, особенно с учетом того, что на типовой электроустановке низкого напряжения очень трудно определить полные сопротивления нулевой последовательности с приемлемой степенью точности.

Более предпочтительны другие упрощенные методы, обеспечивающие приемлемую точность. Ниже описаны три таких практических метода:

- **Метод полных сопротивлений**, основанный на суммировании всех полных сопротивлений (только прямой последовательности) каждого элемента цепи замыкания на землю.
- **Композиционный метод**, представляющий собой оценку тока короткого замыкания на дальнем конце цепи при известном уровне тока короткого замыкания на ближнем конце этой цепи.
- **Традиционный метод** расчета минимальных уровней токов замыкания на землю с использованием таблиц значений для получения быстрых результатов.

Эти методы дают надежные оценки лишь для случая, когда кабели, составляющие цепь замыкания на землю, находятся в непосредственной близости друг от друга и не разделены ферромагнитными материалами.

F25

Современная практика выполнения расчетов предусматривает использование программного обеспечения, разрешенного уполномоченными национальными органами и основанного на методе полных сопротивлений, например Ecodial 3. Как правило, национальные органы публикуют свои рекомендации, в которых приводятся типовые значения, длины проводников и т.п.

Метод полных сопротивлений

В этом методе суммируются полные сопротивления прямой последовательности для каждого элемента цепи замыкания на землю (кабеля, PE-проводника, трансформатора), на основе чего определяется ток короткого замыкания на землю по следующей формуле:

$$I = \frac{U}{\sqrt{(\Sigma R)^2 + (\Sigma X)^2}},$$

где:

$(\Sigma R)^2$ – сумма всех активных сопротивлений в цепи замыкания на этапе проектирования строящегося объекта;

$(\Sigma X)^2$ – сумма всех индуктивных реактивных сопротивлений в цепи замыкания;

U – номинальное фазное напряжение в системе.

Применение данного метода иногда затрудняется тем, что должны быть известны значения всех параметров системы и характеристики элементов цепи замыкания. Национальные нормативные документы могут содержать рекомендации по типовым значениям параметров.

Композиционный метод

Данный метод позволяет определить ток короткого замыкания на дальнем конце цепи по известной величине тока короткого замыкания на ближнем конце этой цепи с помощью формулы:

$$I = I_{sc} \cdot \frac{U}{U + Z_S I_{SC}},$$

где:

Isc – ток короткого замыкания на вышестоящем участке цепи;

I – ток короткого замыкания на дальнем конце цепи;

U – номинальное фазное напряжение в системе;

Zs – полное сопротивление цепи.

Примечание: в отличие от предыдущего метода полных сопротивлений, в данном методе полные сопротивления отдельных элементов суммируются арифметически (1).

Традиционный метод

Этот метод позволяет достаточно точно определить максимально допустимую длину кабелей.

Принцип

Принцип данного метода основан на расчете тока короткого замыкания и предполагает, что на входе рассматриваемой цепи (т.е. в месте установки УЗО), напряжение остается на уровне 80% или более от номинального фазного напряжения. Эта величина вместе с величиной полного сопротивления цепи используется для расчета тока короткого замыкания.

(1) Это приводит к тому, что рассчитанная величина тока оказывается меньше фактической. Если уставки максимальной токовой защиты основаны на этой рассчитанной величине, то срабатывание реле или плавкого предохранителя гарантируется.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

6 Реализация системы TN

Максимальная длина любой цепи электроустановки при использовании системы заземления TN:

$$Lmax = \frac{0{,}8\ Uo\ Sph}{\rho(1+m)\,I\,a}$$

Данный коэффициент учитывает все падения напряжения на участках, расположенных выше по цепи от рассматриваемой точки. В низковольтных кабелях, когда все проводники трехфазной четырехпроводной цепи находятся близко друг к другу (что является нормальным случаем), индуктивное сопротивление как самих проводников, так и между ними пренебрежимо мало по сравнению с активным сопротивлением кабеля.

Такое допущение считается справедливым для кабелей с сечением до 120 мм^2. Пример: см. **рис. F51**.

При превышении этой длины активное сопротивление R увеличивается следующим образом:

Площадь сечения жилы (мм^2)	Величина активного сопротивления
S = 150 мм^2	R+15%
S = 185 мм^2	R+20%
S = 240 мм^2	R+25%

Максимальная длина любой цепи электроустановки при использовании системы заземления TN определяется формулой:

$$Lmax = \frac{0{,}8\ Uo\ Sph}{\rho(1+m)\,I\,a}\ ,$$

где:
Lmax – максимальная длина кабеля в метрах;
Uo – фазное напряжение в вольтах (230 В для системы напряжением 230/400 В);
ρ – удельное электрическое сопротивление при нормальной рабочей температуре в Ом·мм^2/м (23,7 x 10^{-3} для меди и 37,6 x 10^{-3} для алюминия);
Ia – уставка по току отключения для режима мгновенного срабатывания автоматического выключателя или
Ia – ток, при котором гарантировано срабатывание используемого защитного плавкого предохранителя в течение нормативного времени.

$$m = \frac{Sph}{SPE}\ ,$$

где:
Sph – площадь сечения фазных проводников соответствующей цепи в мм^2;
SPE – площадь сечения рассматриваемого защитного проводника в мм^2
(см. **рис. F51**).

В следующих таблицах указана длина цепи, которая не должна превышаться, с тем чтобы можно было обеспечить защиту людей от косвенного прикосновения с помощью защитных устройств

Таблицы

Приведенные ниже таблицы для систем TN были составлены с помощью описанного выше традиционного метода.

В них указана максимальная длина цепей, при превышении которой омическое сопротивление проводников ограничит величину тока короткого замыкания до уровня ниже того, который требуется для срабатывания автоматического выключателя (или плавкого предохранителя), защищающего эту цепь, с достаточной быстротой, чтобы обеспечить безопасность от косвенного прикосновения.

Поправочный коэффициент m

На **рис. F52** представлен поправочный коэффициент, который должен применяться к значениям, указанным на **рис. F53-F56**, с учетом отношения Sph/SPE, типа цепи и материалов проводников.

В этих таблицах учитываются:

- тип защиты: автоматические выключатели или плавкие предохранители;
- уставки по току срабатывания;
- площадь сечения фазных и защитных проводников;
- тип системы заземления (**рис. F57** на стр. F27);
- тип автоматического выключателя (т.е. B, C или D).

Эти таблицы можно использовать для систем напряжением 230/400 В.

Эквивалентные таблицы для защиты с помощью автоматических выключателей ComPact и Acti 9 включены в соответствующие каталоги.

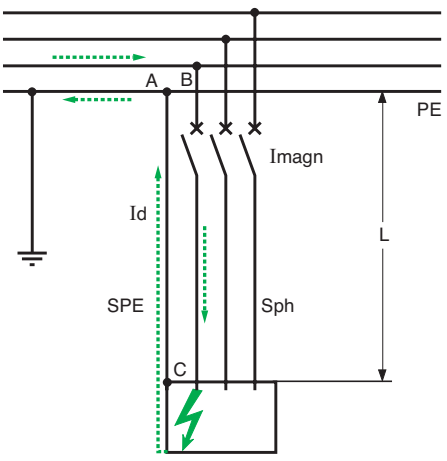


Рис. F51. Расчет L max для системы заземления TN с использованием традиционного метода

Цепь	Материал проводника	m = Sph/SPE (или PEN)			
		m = 1	m = 2	m = 3	m = 4
3 фазы + нейтраль или фаза + нейтраль	Медь	1	0.67	0.50	0.40
	Алюминий	0.62	0.42	0.31	0.25

Рис. F52. Поправочный коэффициент для цепей, приведенных в таблицах F40 – F43 для систем TN

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

6 Реализация системы TN

Цепи, защищенные автоматическими выключателями общего назначения (рис. F53)

Номинальное сечение проводников	Отключающий ток Im при мгновенном срабатывании выключателя или срабатывании с короткой выдержкой времени (A)																												
мм²	50	63	80	100	125	160	200	250	320	400	500	560	630	700	800	875	1000	1120	1250	1600	2000	2500	3200	4000	5000	6300	8000	10000	12500
1,5	100	79	63	50	40	31	25	20	16	13	10	9	8	7	6	6	5	4	4										
2,5	167	133	104	83	67	52	42	33	26	21	17	15	13	12	10	10	8	7	7	5	4								
4	267	212	167	133	107	83	67	53	42	33	27	24	21	19	17	15	13	12	11	8	7	5	4						
6	400	317	250	200	160	125	100	80	63	50	40	36	32	29	25	23	20	18	16	13	10	8	6	5	4				
10			417	333	267	208	167	133	104	83	67	60	53	48	42	38	33	30	27	21	17	13	10	8	7	5	4		
16					427	333	267	213	167	133	107	95	85	76	67	61	53	48	43	33	27	21	17	13	11	8	7	5	4
25							417	333	260	208	167	149	132	119	104	95	83	74	67	52	42	33	26	21	17	13	10	8	7
35								467	365	292	233	208	185	167	146	133	117	104	93	73	58	47	36	29	23	19	15	12	9
50									495	396	317	283	251	226	198	181	158	141	127	99	79	63	49	40	32	25	20	16	13
70												417	370	333	292	267	233	208	187	146	117	93	73	58	47	37	29	23	19
95														452	396	362	317	283	263	198	158	127	99	79	63	50	40	32	25
120																457	400	357	320	250	200	160	125	100	80	63	50	40	32
150																	435	388	348	272	217	174	136	109	87	69	54	43	35
185																		459	411	321	257	206	161	128	103	82	64	51	41
240																				400	320	256	200	160	128	102	80	64	51

Рис. F53. Максимальная длина цепи (в метрах) для медных проводников различного сечения в зависимости от уставки по току мгновенного отключения при использовании автоматических выключателей общего назначения в системе TN напряжением 230/240 при m = 1

Промышленные и бытовые цепи, защищенные автоматическими выключателями ComPact(1) или Acti 9(1) (рис. F54- F56)

Sph	Номинальный ток (A)															
мм²	1	2	3	4	6	10	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125
1,5	1200	600	400	300	200	120	75	60	48	37	30	24	19	15	12	10
2,5		1000	666	500	333	200	125	100	80	62	50	40	32	25	20	16
4			1066	800	533	320	200	160	128	100	80	64	51	40	32	26
6				1200	800	480	300	240	192	150	120	96	76	60	48	38
10						800	500	400	320	250	200	160	127	100	80	64
16							800	640	512	400	320	256	203	160	128	102
25									800	625	500	400	317	250	200	160
35										875	700	560	444	350	280	224
50												760	603	475	380	304

Рис. F54. Максимальная длина цепи (в метрах) для медных проводников различного сечения в зависимости от номинального тока автоматических выключателей типа B(2) в одно- или трехфазной системе TN напряжением 230/240 В при m = 1

Sph	Номинальный ток (A)															
мм²	1	2	3	4	6	10	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125
1,5	600	300	200	150	100	60	37	30	24	18	15	12	9	7	6	5
2,5		500	333	250	167	100	62	50	40	31	25	20	16	12	10	8
4			533	400	267	160	100	80	64	50	40	32	25	20	16	13
6				600	400	240	150	120	96	75	60	48	38	30	24	19
10					667	400	250	200	160	125	100	80	63	50	40	32
16						640	400	320	256	200	160	128	101	80	64	51
25							625	500	400	312	250	200	159	125	100	80
35							875	700	560	437	350	280	222	175	140	112
50									760	594	475	380	301	237	190	152

Рис. F55. Максимальная длина цепи (в метрах) для медных проводников различного сечения в зависимости от номинального тока автоматических выключателей типа C2 в одно- или трехфазной системе TN напряжением 230/240 В при m = 1

(1) Изделия Schneider Electric.

(2) Идентификация автоматического выключателя типа B рассматривается в главе H (подраздел 4.2).

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

6 Реализация системы TN

Sph	Номинальный ток (A)															
мм²	1	2	3	4	6	10	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125
1.5	429	214	143	107	71	43	27	21	17	13	11	9	7	5	4	3
2.5	714	357	238	179	119	71	45	36	29	22	18	14	11	9	7	6
4		571	381	286	190	114	71	80	46	36	29	23	18	14	11	9
6		857	571	429	286	171	107	120	69	54	43	34	27	21	17	14
10			952	714	476	286	179	200	114	89	71	57	45	36	29	23
16					762	457	286	320	183	143	114	91	73	57	46	37
25						714	446	500	286	223	179	143	113	89	71	57
35							625	700	400	313	250	200	159	125	80	100
50								848	543	424	339	271	215	170	136	109

Рис. F56. Максимальная длина цепи (в метрах) для медных проводников различного сечения в зависимости от номинального тока автоматических выключателей типа D(1) в одно- или трехфазной системе TN напряжением 230/240 В при m = 1

Пример:

Трехфазная четырехпроводная электроустановка напряжением 230/400 В выполнена по системе заземления TN-C. Цепь защищена автоматическим выключателем типа B с номинальным током срабатывания 63 А и состоит из кабеля с алюминиевыми жилами с сечением фазных проводников 50 мм² и нулевого проводника (PEN) сечением 25 мм².

Какова максимальная длина цепи, ниже которой обеспечивается гарантированная защита людей от опасностей косвенного прикосновения с помощью электромагнитного отключающего реле мгновенного действия, входящего в состав автоматического выключателя?

Из таблицы, приведенной на **рис. F54**, для сечения проводника 50 мм² и автоматического выключателя типа B с номинальным током 63 А получаем длину 603 м, к которой должен быть применен поправочный коэффициент 0,42 (**рис. F52** для $m = \frac{Sph}{SPE} = 2$).

Таким образом, максимальная длина цепи составит:

603 x 0,42 = 253 м.

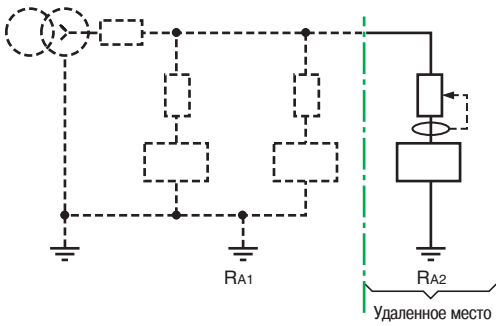


Рис. F57. Отдельный заземлитель

Частный случай, когда одна или несколько открытых проводящих частей соединены с отдельными заземлителями

Защита от косвенного прикосновения должна быть обеспечена посредством установки УЗО на вводе любой цепи, питающей бытовой электроприбор или группу бытовых электроприборов, открытые проводящие части которых соединены с отдельным заземлителем.

Чувствительность УЗО должна быть согласована с сопротивлением заземлителя (R_{A2} на **рис. F57**). См. технические требования к системе TT.

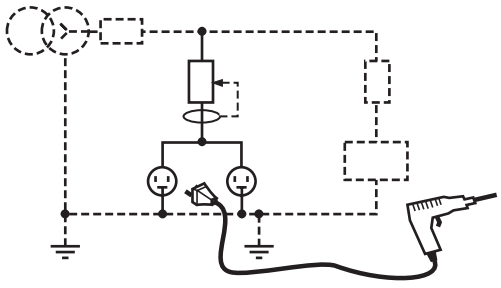


Рис. F58. Цепь питания штепсельных розеток

6.3 Высокочувствительные УЗО (см. рис. F41)

В соответствии со стандартом МЭК 60364-4-41 (ГОСТ Р 50571.3-2009) высокочувствительные устройства УЗО (30 мА) должны использоваться для защиты штепсельных розеток с номинальным током 20 А на всех объектах. Использование таких УЗО также рекомендуется в следующих случаях (**рис. F58**):

- Цепи со штепсельными розетками при влажных условиях для всех номинальных токов
- Цепи со штепсельными розетками на временных установках
- Цепи питания химчисток и плавательных бассейнов
- Цепи питания жилых прицепов, прогулочных судов и передвижных выставок.

См. п. 2.2 и главу P, раздел 3.

(1) Для идентификации автоматического выключателя типа D см. главу H, подраздел 4.2.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

6 Реализация системы TN

6.4 Защита пожароопасных помещений

Согласно международному стандарту МЭК 60364-482-2.10 в помещениях, в которых риск возгорания является большим, использование системы заземления TN-C часто запрещается, и следует применять систему TN-S. В некоторых странах защита посредством применения УЗО с чувствительностью ⩽ 500 мА на входе цепи, питающей такое помещение, является обязательной (**рис. F59**).

Применение УЗО с чувствительностью 300 мА позволяет также обеспечить защиту от пожара.

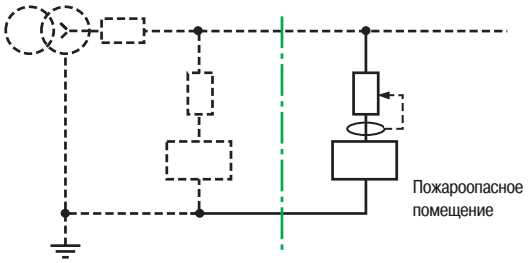


Рис. F59. Защита пожароопасного помещения

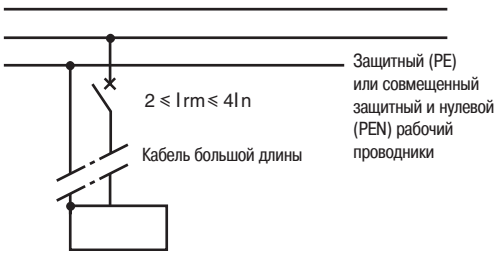


Рис. F60. Автоматический выключатель с магнитным расцепителем мгновенного действия с пониженным порогом срабатывания

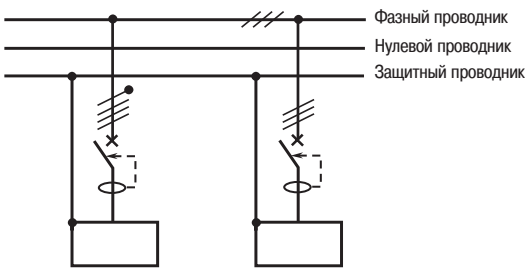


Рис. F61. Защита систем типа TN с большим сопротивлением цепи замыкания на землю с помощью УЗО

6.5 Защита при большом полном сопротивлении цепи замыкания на землю

Когда ток замыкания на землю ограничен высоким сопротивлением цепи замыкания, и поэтому максимальная токовая защита может не отключить цепь в течение нормативного времени, должны быть рассмотрены следующие дополнительные меры:

Решение 1 (**рис. F60**)

■ Необходимо установить автоматический выключатель с пониженным порогом срабатывания магнитного расцепителя мгновенного действия, например:

$2In \leqslant Irm \leqslant 4In$

Это обеспечит защиту людей от поражения током в цепях большой длины. При этом, однако, следует проверить, что большие переходные токи, например пусковые токи электродвигателей, не вызовут ложные срабатывания.

■ Решения, предложенные компанией Schneider Electric:

□ Автоматический выключатель ComPact типа G ($2Im \leqslant Irm \leqslant 4Im$).

□ Автоматический выключатель Acti 9 типа B.

Решение 2 (**рис. F61**)

■ Необходимо установить в рассматриваемой цепи УЗО. Такое устройство не обязательно должно иметь высокую чувствительность (от нескольких ампер до нескольких десятков ампер). Если предусмотрено использование штепсельных розеток, то в любом случае определенные цепи должны быть защищены УЗО с высокой чувствительностью (⩽ 30 мА). Обычно одно УЗО устанавливается для нескольких штепсельных розеток в цепи.

■ Решения, предложенные компанией Schneider Electric:

□ УЗО Acti 9 NG125: $I\Delta n = 1$ или 3 А.

□ Vigicompact REH или REM: $I\Delta n = 3 - 30$ А.

□ Автоматический выключатель Acti 9 типа B.

Решение 3

Необходимо увеличить сечение PE- или PEN-проводников и/или фазных проводников с тем, чтобы снизить сопротивление цепи замыкания на землю.

Решение 4

Необходимо установить дополнительные проводники уравнивания потенциалов. Это обеспечит такой же эффект, что и решение 3, т.е. снизит сопротивление цепи замыкания на землю, но одновременно дополнительно усилит существующие меры защиты людей от напряжения прикосновения. Эффективность такого усовершенствования можно проверить, измерив сопротивление между каждой открытой проводящей частью и местным главным защитным проводником.

Для электроустановок с типом заземления TN-C соединение, показанное на **рис. F62**, не допускается, и следует применить вариант решения 3.

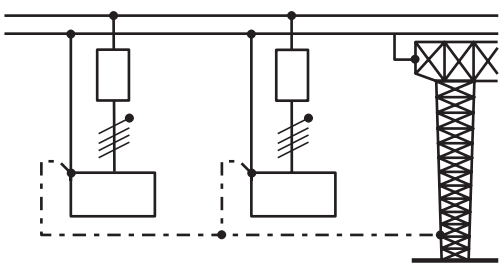


Рис. F62. Усовершенствованная схема уравнивания потенциалов

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

7 Реализация системы IT

Основная особенность системы заземления IT заключается в том, что в случае замыкания на землю такая система может продолжать функционировать без перерыва питания. Это замыкание называется «первым замыканием».

В такой системе все открытые проводящие части электроустановки соединяются PE-проводниками с заземлителем этой электроустановки, а нейтраль питающего трансформатора изолируется от земли, или соединяется с землей через достаточно большое сопротивление (обычно 1000 Ом или более) при частоте 50 Гц.

Это означает, что ток замыкания на землю будет измеряться в миллиамперах, поэтому не вызовет серьезных повреждений в месте первого замыкания, не приведет к появлению опасных напряжений прикосновения и не представит опасности возгорания. Поэтому такую систему допускается нормально эксплуатировать до тех пор, пока не представится удобная возможность отключить поврежденный участок цепи для проведения ремонтных работ. Это способствует обеспечению бесперебойности электропитания.

На практике для успешной эксплуатации такой системы заземления требуются специальные меры:

- постоянный контроль состояния изоляции относительно земли с подачей звукового или светового сигнала в случае первого замыкания;
- установка устройства ограничения напряжения, которое может возникнуть в нейтральной точке питающего трансформатора относительно земли;
- использование отработанной процедуры обнаружения места «первого замыкания» высококвалифицированным персоналом при помощи существующих автоматических устройств;
- в случае если до устранения первого замыкания происходит второе замыкание, должны сработать соответствующие автоматические выключатели; по определению, второе замыкание – замыкание на землю проводника другой фазы или рабочего нейтрального проводника (1).

Двойное замыкание приводит к короткому замыканию через землю и/или PE-проводники сети уравнивания потенциалов.

7.1 Предварительные условия (рис. F63 и F64)

Минимальные требуемые функции	Компоненты и устройства	Примеры реализации
Защита от перенапряжений	**1** Ограничитель напряжения	Cardew C
Резистор цепи заземления нейтрали (для изменения полного сопротивления в цепи заземления)	**2** Резистор	Полное сопротивление Zx
Общий контроль замыканий на землю с подачей предупредительного сигнала в случае первого замыкания	**3** Устройство постоянного контроля изоляции с подачей предупредительного сигнала	Vigilohm TR22A или XM 200
Автоматическое отключение КЗ при втором замыкании и максимальная токовая защита нулевого проводника	**4** Четырехполюсные автоматические выключатели (для распределенной нейтрали) 4 полюса + отключающий элемент	Автоматический выключатель ComPact или УЗО средней чувствительности RCD-MS
Обнаружение места первого замыкания	**5** Устройство обнаружения места замыкания под напряжением или последовательного отключения цепей	Система Vigilohm

Рис. F63. Основные функции в цепях системы IT и примеры их реализации с помощью изделий Schneider Electric

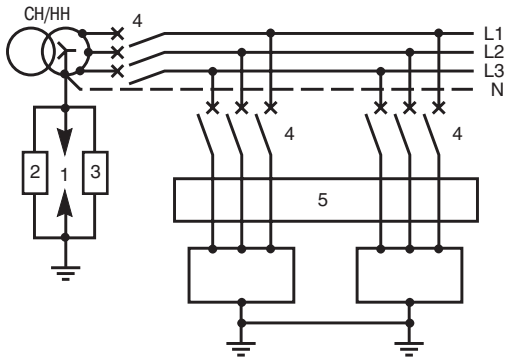


Рис. F64. Местоположение основных функций в трехфазной трехпроводной системе заземления IT

(1) В системах с распределенной нейтралью (рис. F56)

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

7 Реализация системы IT

7.2 Защита от косвенного прикосновения

Современные системы контроля значительно облегчают обнаружение места первого замыкания и его устранение.

Первое замыкание

Ток замыкания на землю, который протекает при первом замыкании, измеряется в миллиамперах.

Напряжение на корпусе относительно земли является произведением этого тока на сопротивление заземлителя электроустановки и PE-проводника (от поврежденного элемента до заземлителя). Это напряжение является неопасным и, в худшем случае, может составлять всего несколько вольт (например, через сопротивление цепи заземления в 1000 Ом пройдет ток 230 мА (1), а на неэффективном заземлителе электроустановки сопротивлением 50 Ом напряжение составит 11,5 В).

Предупредительный сигнал подается устройством постоянного контроля состояния изоляции.

Принцип контроля замыканий на землю

Генератор переменного тока очень низкой частоты или постоянного тока (применяемый для снижения влияния емкости кабеля до пренебрежимо малых уровней) подает напряжение между нейтралью питающего трансформатора и землей. Это напряжение вызывает появление небольшого тока, величина которого зависит от сопротивления изоляции, по отношению к заземлителю всей электроустановки.

В системах переменного тока могут применяться низкочастотные приборы, которые при замыкании генерируют переходные постоянные составляющие тока. Некоторые модели могут выделять активную и емкостную составляющие тока утечки.

Новые разработанные приборы позволяют регистрировать изменения тока утечки, что позволяет предотвратить появление первого замыкания.

Примеры оборудования

Системы обнаружения замыканий соответствуют стандарту МЭК 61157-9.

■ Ручной поиск мест коротких замыканий (**рис. F65**)
Генератор может быть стационарным (например, XM100) или портативным (например, GR10X, позволяющий проверять обесточенные цепи), а приемник и токовые клещи нулевой последовательности – портативными.

■ Автоматический (стационарный) поиск мест коротких замыканий (**рис. F66** на следующей странице)

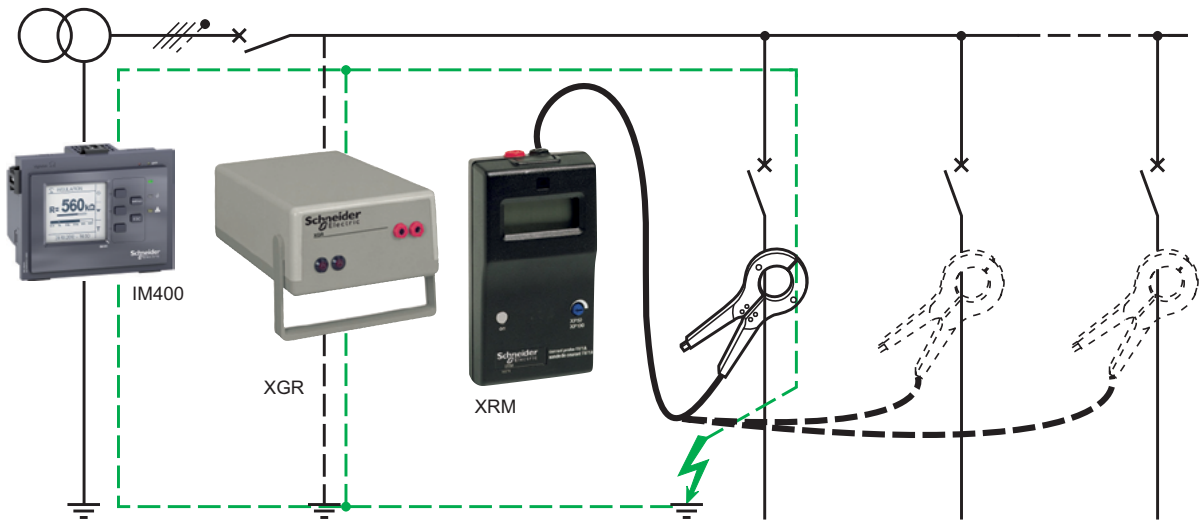


Рис. F65. Неавтоматический (ручной) поиск места короткого замыкания

Контрольное реле XM100 вместе со стационарными детекторами XD1 или XD12, каждый из которых подсоединен к кольцевому трансформатору тока нулевой последовательности, охватывающему проводники соответствующей цепи, образуют систему автоматического обнаружения мест короткого замыкания в электроустановке, находящейся под напряжением.

Кроме того, для каждой контролируемой цепи отображается уровень сопротивления изоляции и контролируются два уровня: первый уровень предупреждает о необычно низком сопротивлении изоляции, с тем чтобы принять соответствующие меры, а второй уровень указывает на наличие короткого замыкания и подает предупредительный сигнал.

(1) Для трехфазной системы 230/400 В.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

7 Реализация системы IT

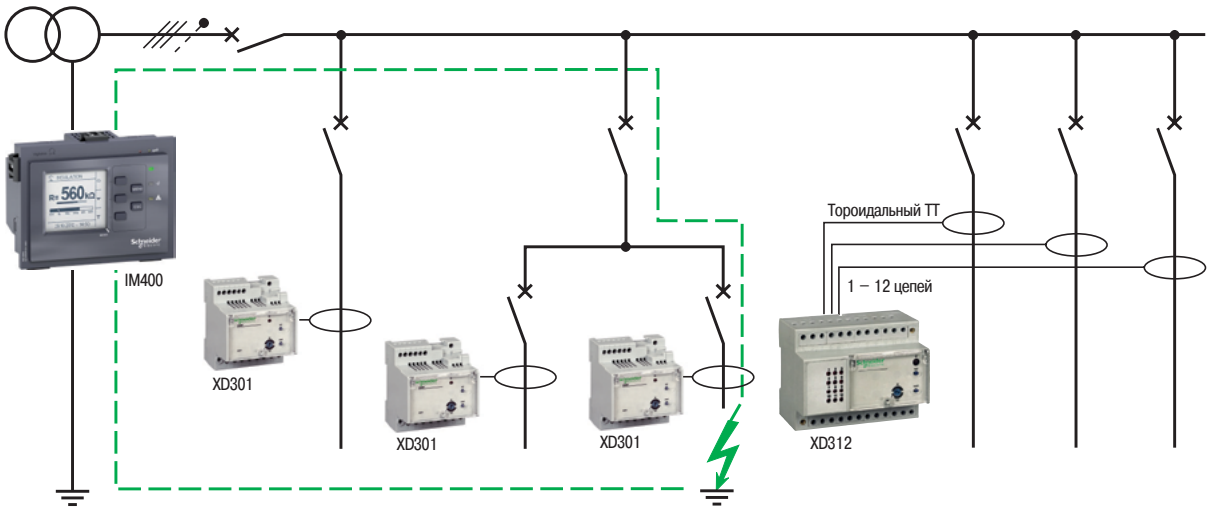


Рис. F66. Стационарный автоматический поиск мест коротких замыканий

■ Автоматический контроль, регистрация и поиск мест замыканий (**рис. F67**)

Система Vigilohm обеспечивает также доступ к принтеру и/или персональному компьютеру, осуществляющему глобальный контроль состояния уровня изоляции всей рассматриваемой электроустановки и регистрирующему хронологическое изменение уровня изоляции каждой цепи. Центральное устройство контроля XM100 вместе с детекторами мест коротких замыканий XD08 и XD16, связанными с кольцевыми трансформаторами тока нулевой последовательности (**рис. F67**), обеспечивает автоматическое обнаружение замыканий.

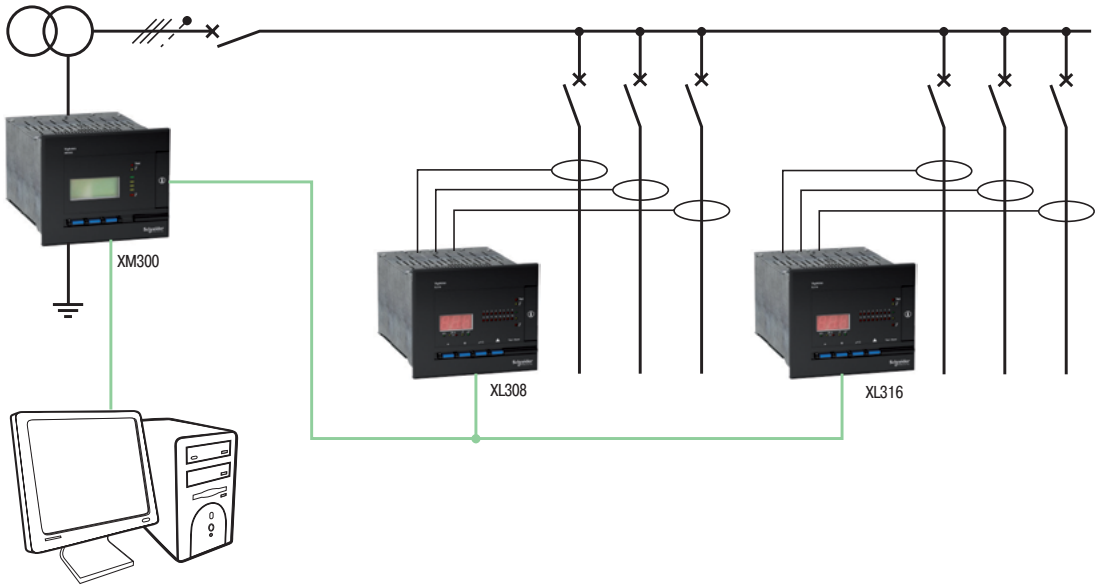


Рис. F67. Автоматический поиск замыканий и регистрация данных о сопротивлении изоляции

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

7 Реализация системы IT

Реализация устройств постоянного контроля состояния изоляции

■ Соединение

Такое устройство обычно включается между нейтралью (или искусственной нейтралью) питающего трансформатора и его заземлителем.

■ Питание

Питание к устройству контроля изоляции должно подводиться от надежного источника питания. На практике это обычно осуществляется непосредственно от контролируемой электроустановки через устройства максимальной токовой защиты с соответствующим номиналом.

■ Уставки уровней

Некоторые национальные стандарты рекомендуют использовать первую уставку на уровне 20% ниже уровня изоляции новой электроустановки. Эта величина позволяет обнаружить снижение качества изоляции и в ситуации зарождающегося отказа требует принятия предупредительных мер.

Пороговый уровень для подачи предупредительного сигнала о замыкании на землю будет соответствовать гораздо более низкой величине сопротивления.

Например, такими двумя уровнями могут быть:

□ уровень изоляции новой электроустановки: 100 кОм;

□ безопасный ток утечки: 500 мА (риск пожара при токе утечки > 500 мА);

□ уровни индикации, установленные пользователем:

- порог для профилактического технического обслуживания: 0,8 x 100 = 80 кОм;
- порог для подачи сигнала о первом замыкании: 500 Ом.

Примечания:

□ После длительного периода вывода из работы электроустановки, когда вся электроустановка или часть ее оставались обесточенными, из-за влажности может произойти снижение общего уровня сопротивления изоляции. Такая ситуация, обусловленная главным образом током утечки по сырой поверхности неповрежденной изоляции, не означает аварийного состояния изоляции. Сопротивление изоляции быстро восстановится, как только в результате нормального повышения температуры токоведущих частей снизится поверхностная влажность изоляции.

□ Устройство контроля состояния изоляции (XM) способно измерять активную и емкостную составляющие тока утечки на землю в отдельности. Это позволяет на основании полного постоянного тока утечки определить истинное сопротивление изоляции.

Случай двойного замыкания

Второе замыкание на землю в системе IT (если оно не происходит на том же проводнике, что и первое замыкание) представляет собой межфазное замыкание или замыкание между фазой и нейтралью. Независимо от того, происходит ли оно в той же цепи, что и первое замыкание, или в другой цепи, устройства максимальной токовой защиты (плавкие предохранители или автоматические выключатели) нормально сработают, что приведет к автоматическому устранению короткого замыкания.

Уставки отключения максимальных токовых реле и номинальные токи срабатывания плавких предохранителей являются основными параметрами, которые определяют максимальную практическую длину цепи, которая может быть удовлетворительно защищена (этот вопрос рассматривается в подразделе 6.2).

Примечание: при нормальных обстоятельствах ток короткого замыкания проходит по общим PE-проводникам, соединяющим все открытые проводящие части электроустановки, поэтому сопротивление цепи замыкания является достаточно низким для того, чтобы обеспечить необходимый уровень тока замыкания.

В случаях когда цепи являются чрезмерно длинными, особенно, если бытовые электроприборы цепи заземлены отдельно (так, что ток короткого замыкания проходит по двум заземлителям), надежное отключение с помощью максимальной токовой защиты может оказаться невозможным.

В этом случае в каждой из цепей электроустановки рекомендуется установить по УЗО.

Однако, в случае если система IT заземлена через сопротивление, необходимо следить за тем, чтобы УЗО было не слишком чувствительным, иначе первое замыкание может привести к нежелательному отключению.

Отключение защитных устройств, реагирующих на дифференциальный ток и удовлетворяющих стандартам МЭК, может происходить при величинах от 0,5 $I\Delta n$ до $I\Delta n$, где $I\Delta n$ – номинальный уровень уставки по дифференциальному току.

Методы определения уровней тока короткого замыкания

Достаточно точная оценка уровней тока короткого замыкания должна проводиться на этапе проектирования объекта.

На этом этапе тщательный анализ не требуется, поскольку величины тока важны только для соответствующих защитных устройств (например, нет необходимости определять сдвиги фаз), поэтому обычно применяются упрощенные приближенные методы, дающие заведомо заниженные оценки параметров. Такими практическими методами являются:

■ **Метод полных сопротивлений**, основанный на векторном суммировании всех полных сопротивлений цепи короткого замыкания.

■ **Композиционный метод**, дающий приближенную оценку тока короткого замыкания на дальнем конце цепи при известном уровне тока короткого замыкания на ближнем конце этой цепи. В этом методе полные сопротивления суммируются арифметически.

■ **Традиционный метод**, в котором предполагается, что минимальная величина напряжения на входе в поврежденную цепь оставляет 80% от номинального напряжения сети, а длина цепей определяется с помощью таблиц, основанных на этом допущении.

Обычно используются три расчетных метода:
■ метод полных сопротивлений, основанный на суммировании векторов полных сопротивлений системы;
■ композиционный метод;
■ традиционный метод, основанный на предполагаемой величине падения напряжения и использовании специальных таблиц.

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

7 Реализация системы IT

Программное обеспечение Ecodial основано на методе полных сопротивлений.

Максимальная длина цепи с заземлением типа IT составляет:

■ для цепи с заземлением типа IT:

$$Lmax = \frac{0.8\ Uo\ \sqrt{3}\ Sph}{2\ \rho Ia(1+m)}\ ;$$

■ для трехфазной четырехпроводной схемы:

$$Lmax = \frac{0.8\ Uo\ S1}{2\ \rho Ia(1+m)}\ .$$

Данные методы дают надежную оценку лишь для случая, когда кабели и проводка, образующие цепь замыкания на землю, находятся в непосредственной близости друг от друга и не разделены ферромагнитными материалами.

Метод полных сопротивлений

Данный метод, описанный в подразделе 6.2, идентичен для систем заземления IT и TN.

Композиционный метод

Данный метод, описанный в подразделе 6.2, идентичен для систем заземления IT и TN.

Традиционный метод (**рис. F68**)

Принцип этого метода для системы IT аналогичен тому, который описан в подразделе 6.2 для системы TN: расчет максимальной длины цепей, расположенных ниже автоматического выключателя или плавких предохранителей, при которых может быть обеспечена защита посредством максимальных токовых реле.

Очевидно, что нельзя проверить длину цепей для каждой возможной комбинации двух совпадающих во времени коротких замыканий.

Однако, все случаи можно учесть, если уставка отключения по максимальному току основана на допущении, что первое замыкание происходит на дальнем конце рассматриваемой цепи, а второе – на дальнем конце аналогичной цепи, как уже отмечалось выше в подразделе 3.4. В целом, это может привести только к одному отключению (в цепи с более низким уровнем уставки отключения по максимальному току), в результате чего система останется в состоянии первого замыкания, но с одной отключенной неисправной цепью.

■ В случае трехфазной трехпроводной электроустановки второе замыкание может лишь вызвать межфазное короткое замыкание, поэтому в формуле для максимальной длины цепи в качестве напряжения следует использовать $\sqrt{3}\cdot Uo$.

Тогда максимальная длина цепи в метрах определится по формуле:

$$Lmax = \frac{0.8\ Uo\ \sqrt{3}\ Sph}{2\ \rho Ia(1+m)}$$

■ В случае трехфазной четырехпроводной электроустановки наименьшая величина тока замыкания будет тогда, когда одно из замыканий является замыканием на нулевой проводник. Тогда при расчете максимальной длины цепи в качестве напряжения следует использовать Uo и:

$$Lmax = \frac{0.8\ Uo\ S1}{2\ \rho Ia(1+m)}$$

т.е. всего 50% от длины кабеля, допускаемой для системы TN[1].

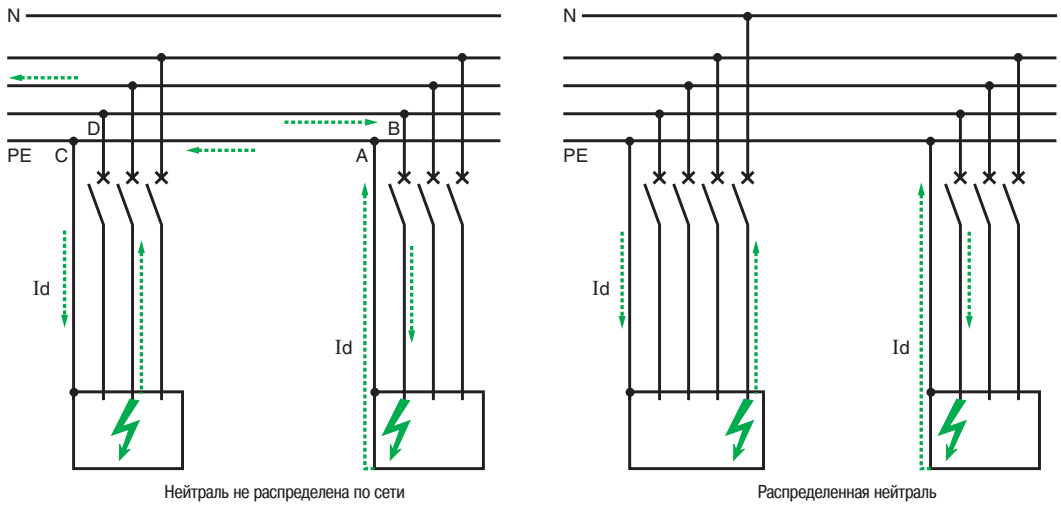


Рис. F68. Расчет величины Lmax для системы с заземлением типа IT. Показан путь тока для случая двойного замыкания

(1) При использовании схемы заземления TT отсутствует ограничение по длине цепи, поскольку защита обеспечивается применением УЗО высокой чувствительности.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

7 Реализация системы IT

В приведенных выше формулах:
Lmax – максимальная длина цепи в метрах;
Uo – фазное напряжение в вольтах (230 В для системы напряжением 230/400 В);
ρ – удельное электрическое сопротивление при нормальной рабочей температуре в Ом·мм²/м (22,5 x 10^{-3} для меди и 36 x 10^{-3} для алюминия);
Ia – уставка отключения по максимальному току в амперах или Ia – ток в амперах, необходимый для срабатывания плавкого предохранителя в течение установленного времени.

$$m = \frac{Sph}{SPE},$$

где:
SPE – площадь сечения защитного PE-проводника в мм²;
S1 – площадь сечения нулевого проводника, если рассматриваемая цепь включает в себя нулевой проводник;
S1 – площадь сечения фазных проводников (Sph), если рассматриваемая цепь не включает в себя нулевой проводник.

В следующих таблицах (1) указана длина цепи, которая не должна превышаться для обеспечения защиты людей от косвенного прикосновения с помощью защитных устройств.

Таблицы

Приведенные ниже таблицы были составлены с помощью описанного выше традиционного метода.

В них указана максимальная длина цепей, при превышении которой омическое сопротивление этих проводников ограничит величину тока короткого замыкания до уровня ниже того, который требуется для срабатывания автоматического выключателя (или плавкого предохранителя), защищающего эту цепь, с достаточной быстротой, чтобы обеспечить защиту людей от косвенного прикосновения при двойном замыкании. В этих таблицах учитываются:
- тип защиты: автоматические выключатели или плавкие предохранители, уставки по току срабатывания;
- площадь сечения фазных и защитных проводников;
- тип системы заземления;
- поправочный коэффициент: в таблице на **рис. F69** представлены значения поправочного коэффициента, которые следует применять к длинам, указанным на **рис. F53-F55**, для системы IT.

Пример

Цепь	Материал проводника	m = Sph/SPE m = 1	m = 2	m = 3	m = 4
3 фазы	Медь	0,86	0,57	0,43	0,34
	Алюминий	0,54	0,36	0,27	0,21
3 фазы + нейтраль или 1 фаза + нейтраль	Медь	0,50	0,33	0,25	0,20
	Алюминий	0,31	0,21	0,16	0,12

Рис. F69. Поправочный коэффициент для длин, приведенных на **рис. F53-F56** для систем TN

Трехфазная трехпроводная электроустановка на напряжение 230/400 В система заземления IT.

Одна из ее цепей защищена автоматическим выключателем типа B с номинальным током срабатывания 63 А и состоит из кабеля с алюминиевыми жилами с сечением фазных проводников 50 мм². Используется PE-проводник из алюминия сечением 25 мм². Какова максимальная длина цепи, ниже которой посредством электромагнитного расцепителя мгновенного действия, входящего в состав автоматического выключателя, обеспечивается гарантированная защита людей от опасности косвенного прикосновения?

Из таблицы на **рис. F54** получаем длину 603 м, к которой должен быть применен поправочный коэффициент 0,36 (для алюминиевого проводника m = 2).
Таким образом, максимальная длина цепи составит 217 метров.

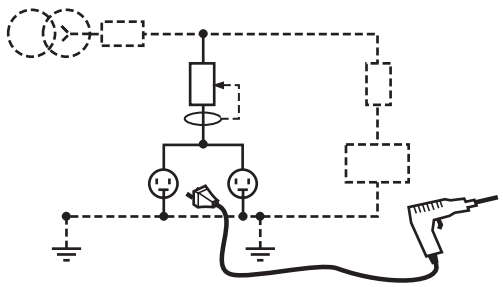


Рис. F70. Цепь питания штепсельных розеток

7.3 УЗО с высокой чувствительностью

Стандарт МЭК 60364-4-471 рекомендует использовать УЗО с высокой чувствительностью (⩽ 30 мА) в следующих случаях (см. **рис. F70**):
- цепи штепсельных розеток на номинальные токи ⩽ 32 А в любых помещениях (2);
- цепи штепсельных розеток в сырых помещениях для всех номинальных токов (2);
- цепи штепсельных розеток во временных электроустановках (2);
- цепи, питающие помещения прачечных и плавательные бассейны (2);
- цепи питания рабочих площадок, домов-фургонов, прогулочных катеров и передвижных выставок-ярмарок (2).

Установка УЗО может быть предусмотрена для отдельных цепей или групп цепей:
- Рекомендуется для цепей штепсельных розеток на ток ⩾ 20 А и обязательна, если они предназначены для питания портативного оборудования вне помещений.
- В некоторых странах это требование является обязательным для всех цепей штепсельных розеток на ток ⩽ 32 А. Также рекомендуется ограничивать количество штепсельных розеток, защищаемых одним УЗО (например, 10 розеток на УЗО).

(1) Эти таблицы приведены в подразделе 6.2 (**рис. F53-F56**). Однако таблица поправочных коэффициентов (**рис. F69**), в которой учитываются отношение Sph/SPE, тип цепи (трехфазная трехпроводная, трехфазная четырехпроводная, однофазная двухпроводная) и материал проводника, является специфической для системы IT и отличается от такой же таблицы для системы TN.

(2) Эти случаи рассматриваются подробно.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

7 Реализация системы IT

7.4 Защита пожароопасных помещений

В некоторых странах защита посредством установки УЗО с чувствительностью 500 мА на входе цепи, питающей пожароопасное помещение, является обязательной (**рис. F71**).

Использование УЗО с чувствительностью 300 мА позволяет также обеспечить защиту от пожара.

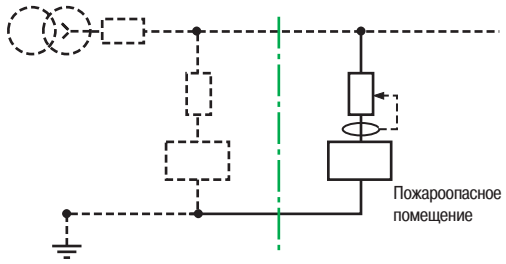


Рис. F71. Защита пожароопасного помещения

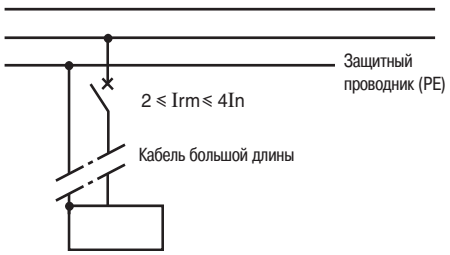


Рис. F72. Автоматический выключатель с магнитным расцепителем мгновенного действия с пониженной уставкой срабатывания

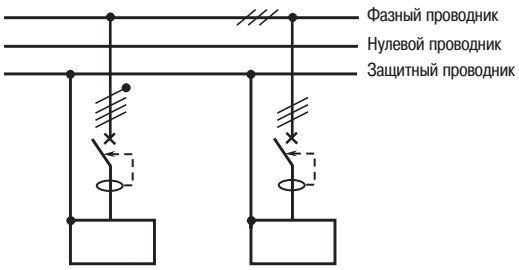


Рис. F73. Защита с помощью УЗО

7.5 Защита при большом полном сопротивлении цепи замыкания на землю

Когда ток двойного замыкания ограничен из-за очень большого сопротивления цепи замыкания, и поэтому максимальная токовая защита может не отключить цепь в течение нормативного времени, должны быть рассмотрены следующие дополнительные меры:

Решение 1 (**рис. F72**)

■ Необходимо установить автоматический выключатель с пониженным порогом срабатывания магнитного расцепителя мгновенного действия, например:

$2I_n \leqslant I_{rm} \leqslant 4I_n$

Это обеспечит защиту людей от поражения током в цепях большой длины. При этом однако следует проверить, что большие переходные токи, например, пусковые токи электродвигателей, не вызовут ложные срабатывания.

■ Решения, предложенные компанией Schneider Electric:

□ Автоматический выключатель ComPact типа G ($2I_m \leqslant I_{rm} \leqslant 4I_m$).

□ Автоматический выключатель Acti 9 типа B.

Решение 2 (**рис. F73**)

Необходимо установить в рассматриваемой цепи УЗО. Такое устройство не обязательно должно иметь высокую чувствительность (от нескольких ампер до нескольких десятков ампер). Если предусмотрено использование штепсельных розеток, то в любом случае определенные цепи должны быть защищены УЗО с высокой чувствительностью (⩽ 30 мА). Обычно одно УЗО устанавливается на несколько штепсельных розеток в цепи.

■ Решения, предложенные компанией Schneider Electric:

□ УЗО Acti 9 NG125: $I\Delta n$ = 1 или 3 А.

□ Vigicompact REH или REM: $I\Delta n$ = 3-30 А.

Решение 3

Необходимо увеличить сечение PE-проводников и/или фазных проводников с тем, чтобы снизить сопротивление цепи двойного замыкания.

Решение 4 (**рис. F74**)

Необходимо установить дополнительные проводники уравнивания потенциалов. Это обеспечит такой же эффект, что и решение 3, т.е. снижение сопротивления цепи двойного замыкания, но одновременно дополнительно усилит существующие меры защиты людей от напряжения прикосновения. Эффективность такого усовершенствования можно проверить, измерив сопротивления между каждой открытой проводящей частью и местным главным защитным проводником.

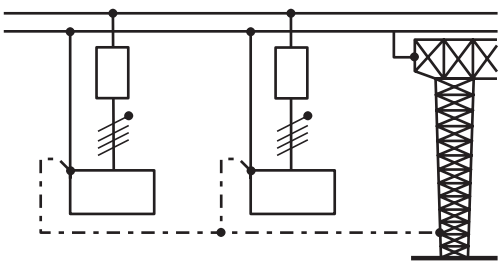


Рис. F74. Усовершенствованная схема уравнивания потенциалов

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

8 Устройства защитного отключения (УЗО)

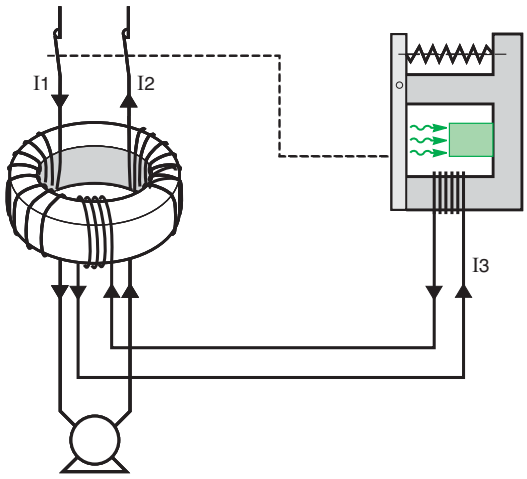
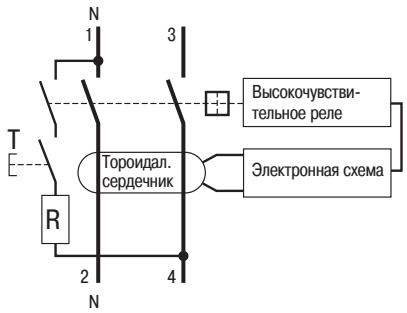
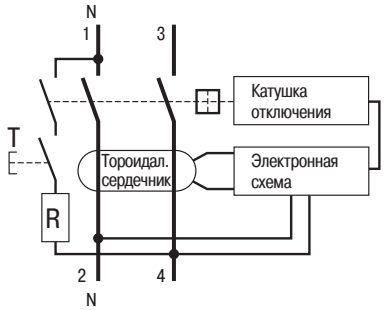


Рис. F75. Принцип работы УЗО



(a) УЗО, функционально независимое от напряжения сети
Электронная схема не подключена к сети



(b) УЗО, функционально зависимое от напряжения сети
Электронная схема подключена к сети

Рис. F76. Технологии УЗО

Промышленные выключатели со встроенным УЗО определяются стандартом МЭК 60947-2 (ГОСТ Р 50030.2-2010), приложение B.

8.1 Описание УЗО

Принцип работы

Принцип действия УЗО показан на **рис. F75**.

Магнитный сердечник охватывает все токоведущие проводники электрической цепи. Магнитный поток, генерируемый в сердечнике, зависит от арифметической суммы токов, проходящих в любой момент по первичным обмоткам. Токи, проходящие в одном направлении, считаются положительными (I1), а в противоположном направлении – отрицательными (I2).

В неповрежденной цепи, где I1 + I2 = 0, отсутствует поток в магнитном сердечнике и ЭДС в его вторичной обмотке равна нулю.

Ток замыкания на землю (Id) проходит через одну из первичных обмоток до точки повреждения и возвращается к источнику через землю или через защитные проводники.

Поэтому баланс токов в первичных обмотках нарушается, и разность токов приводит к возникновению магнитного потока в сердечнике.

Разность токов известна как дифференциальный ток, а принцип называется принципом дифференциального тока или тока нулевой последовательности.

Получаемый переменный поток в сердечнике индуцирует ЭДС во вторичной обмотке дифференциального трансформатора. При этом ток I3 поступает на рабочую катушку электромагнитной защелки. Если дифференциальный ток (ток утечки на землю) превышает значение, требуемое для срабатывания защелки, то непосредственно или через электронное реле срабатывает соответствующий выключатель.

8.2 Классификация УЗО

Устройства защиты от токов утечки (УЗО) обычно встраиваются в следующие компоненты или связаны с ними:

- Выключатели в литом корпусе (МССВ) промышленного назначения в соответствии со стандартом МЭК 60947-2 (ГОСТ Р 50030.2-2010) и его приложениями B и M.
- Автоматические выключатели (МСВ) промышленного назначения в соответствии со стандартом МЭК 60947-2 (ГОСТ Р 50030.2-2010) и его приложениями B и M.
- Бытовые и аналогичные им автоматические выключатели (МСВ) в соответствии со стандартами МЭК 60898, МЭК 61008 (ГОСТ IEC 61008-1-2012), МЭК 61009 (ГОСТ IEC 61009-1-2014).
- Выключатели нагрузки тока утечки (ВДТ) в соответствии со специальными национальными нормами.
- Дифференциальные реле с отдельными тороидальными (кольцевыми) трансформаторами тока в соответствии со стандартом МЭК 60947-2 (ГОСТ Р 50030.2-2010), приложение M.

УЗО должны использоваться на входе установок, заземленных по схеме TT, где их взаимодействие с другими УЗО обеспечивает селективное отключение, тем самым гарантируя требуемый уровень бесперебойности питания.

Выключатели промышленного назначения со встроенным или внешним модулем УЗО (см. **рис. F77**)

Промышленный выключатель
Vigi ComPact

Промышленный выключатель Acti 9 с шиной стандарта DIN и модулем Vigi RCD

Рис. F77. Промышленные выключатели с УЗО

Доступны адаптируемые автоматические выключатели дифференциального тока, в том числе устройства, монтируемые на DIN-рейку (например, ComPact или Acti 9), к которым может быть подключен вспомогательный дифференциальный модуль (например, Vigi).

Сочетание данных аппаратов обеспечивает широкий спектр защитных функций: изоляцию, защиту от короткого замыкания, перегрузок и замыкания на землю.

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

8 Устройства защитного отключения (УЗО)

Бытовые выключатели со встроенным модулем УЗО определяются стандартами МЭК 60898, МЭК 61008 и МЭК 61009.

Бытовые и аналогичные им автоматические выключатели с УЗО (см. рис. F78)

Вводные выключатели могут иметь выдержку времени и встроенное УЗО типа S

Дифференциальные моноблочные выключатели iID, предназначенные для защиты цепей со штепсельными розетками в жилых зданиях и на объектах сферы услуг

Рис. F78. Бытовые автоматические выключатели дифференциального тока (АВДТ)

Дифференциальный ток отключения выключателя нагрузки определяется конкретными национальными стандартами.
Устройства защитного отключения (УЗО) с отдельными тороидальными трансформаторами тока определяются стандартом МЭК 60947-2, приложение M.

УЗО с отдельным тороидальным трансформатором тока (см. рис. F79)

Устройства УЗО с отдельными тороидальными трансформаторами тока могут использоваться вместе с автоматическими выключателями или контакторами.

Рис. F79. Устройства УЗО с отдельными тороидальными трансформаторами тока (Vigirex)

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

8 Устройства защитного отключения (УЗО)

8.3 Типы УЗО

Ток утечки может принимать различные формы в зависимости от характеристик нагрузки. В МЭК 60755 (ГОСТ Р МЭК 60755-2012) определены следующие типы УЗО для надлежащей защиты от различных форм дифференциального тока:

Тип AC

УЗО типа AC определяют синусоидальный дифференциальный ток. Такие УЗО подходят для общего использования и подходят для большинства случаев на практике.

Тип A

В дополнение к характеристикам обнаружения УЗО типа AC, УЗО типа A обнаруживают пульсирующий постоянный ток утечки. Такие колебания могут быть вызваны диодной или тиристорной цепью выпрямителя в электронных нагрузках. УЗО типа A специально предназначены для использования в однофазных электронных нагрузках класса 1.

Тип F

УЗО типа F - это новый тип УЗО, недавно представленный в МЭК 62423 и МЭК 60755. В дополнение к характеристикам обнаружения УЗО типа A, УЗО типа F специально разработаны для защиты цепей, где могут использоваться однофазные двигатели с регулируемой скоростью. В этих цепях форма тока утечки может состоять из нескольких частот, включая частоту двигателя, частоту переключения преобразователя и частоту линии. С целью повышения энергоэффективности использование преобразователей частоты при определенных видах нагрузки (стиральная машина, кондиционер и т. д.) увеличивается, и УЗО типа F будет охватывать эти новые области применения.
Тип F также обладает улучшенными характеристиками устойчивости к помехам (отсутствие срабатывания при импульсном токе). Они способны к отключению, даже если на синусоидальный или пульсирующий ток утечки накладывается чистый постоянный ток 10 мА.

Тип B

УЗО типа B могут обнаруживать синусоидальный переменный ток, пульсирующий постоянный ток, составной многочастотный, а также выпрямленный постоянный ток. Кроме того, условия отключения определяются для разных частот в диапазоне от 50 Гц до 1 кГц. В электрической распределительной сети переменного тока чистый постоянный ток утечки может в основном генерироваться из трехфазных выпрямительных цепей, а также из некоторых специфичных однофазных выпрямителей. УЗО типа B предназначены для использования с нагрузками с трехфазным выпрямителем, такими как двигатели с регулируемой скоростью, фотоэлектрические системы, станции зарядки электромобилей и медицинское оборудование.

На **рис. F80** обобщенно представлены характеристики различных типов УЗО, их основное применение и формы сигналов. Следует отметить, что характеристики УЗО разных типов (AC, A, F и B) накладываются друг на друга: например, УЗО типа B удовлетворяет требованиям типов F, A и AC.

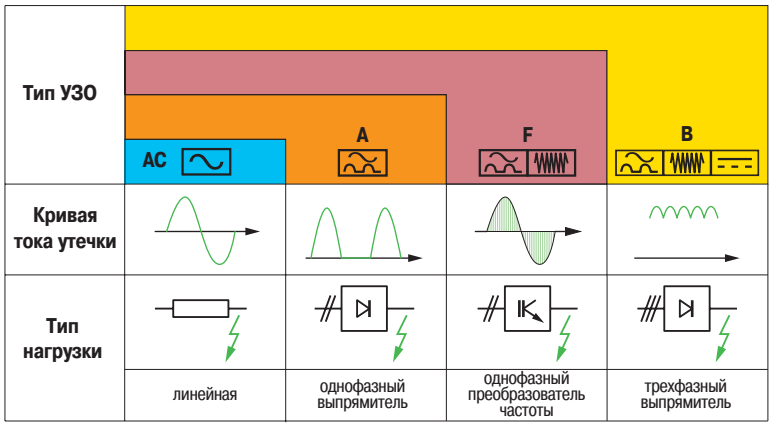


Рис. F80. Различные типы УЗО

В приложении B к МЭК 60755 (ГОСТ Р МЭК 60755-2012) для электронных нагрузок различной архитектуры приводятся возможные формы сигналов нагрузки и остаточного тока, а также предлагаются подходящие типы УЗО для каждого случая (см. **рис. F81**).

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

8 Устройства защитного отключения (УЗО)

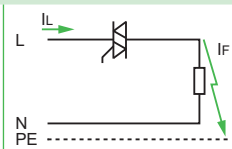
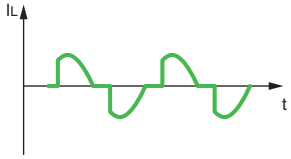
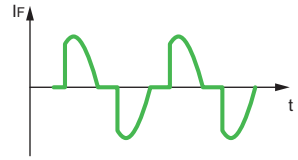
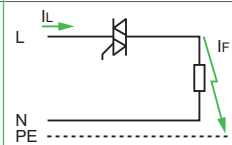
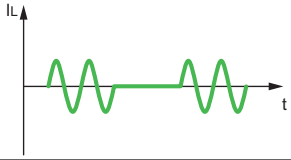
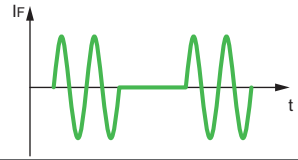
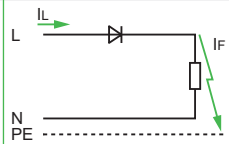
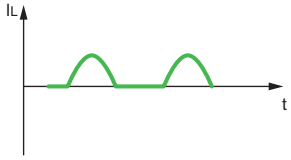
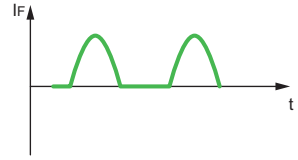
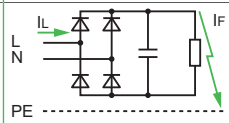
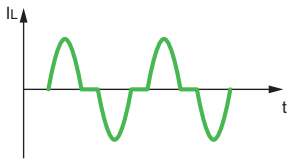
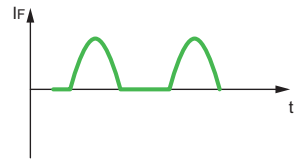
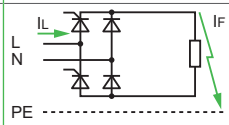
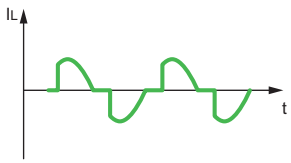
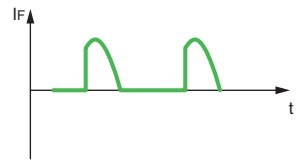
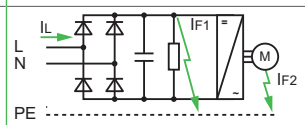
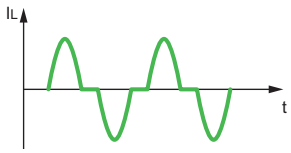
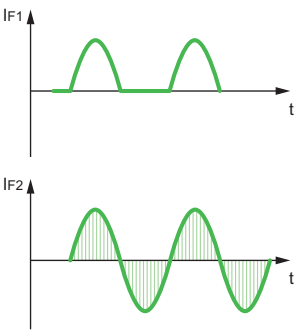
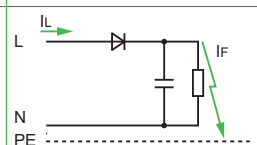
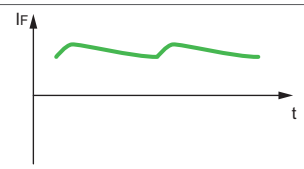
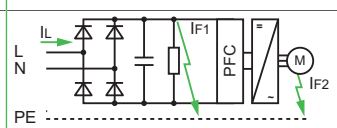
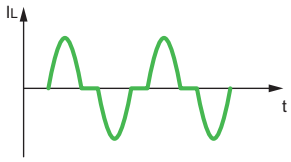
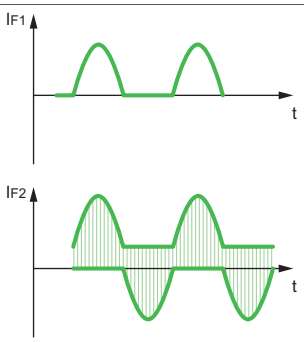
	Принципиальная схема с указанием места неисправности		Форма кривой тока линии I_L	Форма кривой тока замыкания на землю I_F	Характеристика срабатывания УЗО
1	Контроль фазы				AC, A, F, B
2	Контроль импульса				AC, A, F, B
3	Одна фаза				A, F, B
4	Двухпульсовая мостовая схема				A, F, B
5	Двухпульсовая полууправляемая мостовая схема				A, F, B
6	Преобразователь частоты с двухпульсовой мостовой схемой				F, B
7	Одна фаза со сглаживанием				B
8	Преобразователь частоты с двухпульсовой мостовой схемой и коррекцией коэффициента мощности (PFC)				B

Рис. F81. Возможные токи утечки в электронных нагрузках и применяемые типы УЗО (в соответствии с МЭК 60755, ГОСТ Р МЭК 60755-2012)

© Schneider Electric – все права защищены

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

8 Устройства защитного отключения (УЗО)

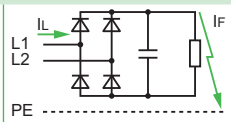
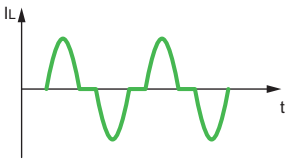
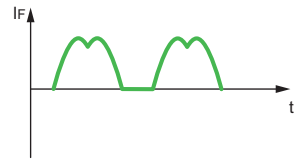
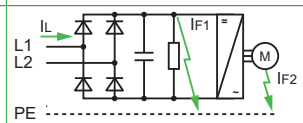
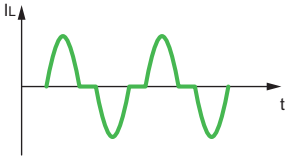
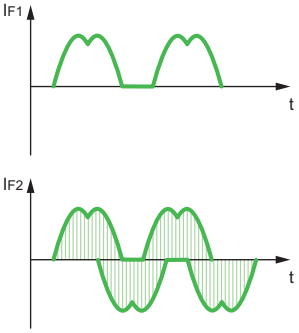
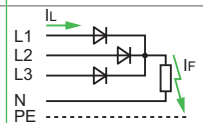
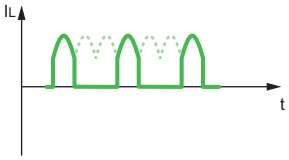
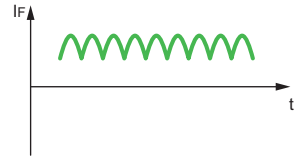
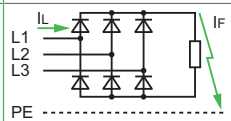
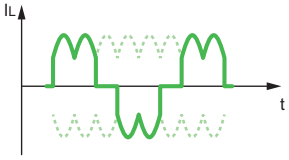
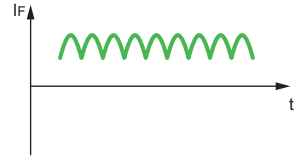
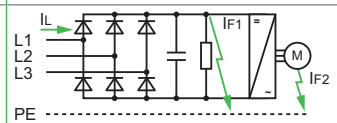
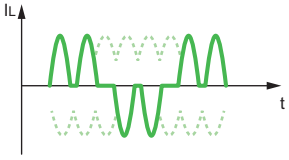
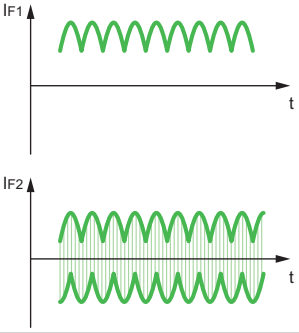
	Принципиальная схема с указанием места неисправности		Форма кривой тока линии I_L	Форма кривой тока замыкания на землю I_F	Характеристика срабатывания УЗО
9	Двухпульсовая мостовая схема между фазами				B
10	Преобразователь частоты с двухпульсовой мостовой схемой между фазами				B
11	Трехфазная звезда				B
12	Шестипульсовая мостовая схема выпрямления				B
13	Преобразователь частоты с шестипульсовой мостовой схемой выпрямления				B

Рис. F81. Возможные токи утечки в электронных нагрузках и применяемые типы УЗО (в соответствии с МЭК 60755, ГОСТ Р МЭК 60755-2012)

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

8 Устройства защитного отключения (УЗО)

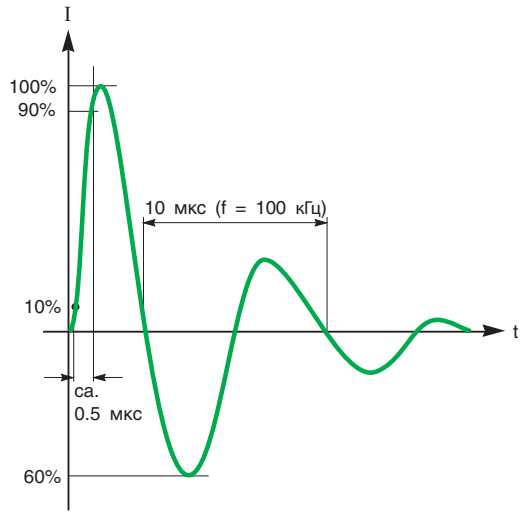


Рис. F82. Стандартная волна тока 0,5 μs/100 кГц

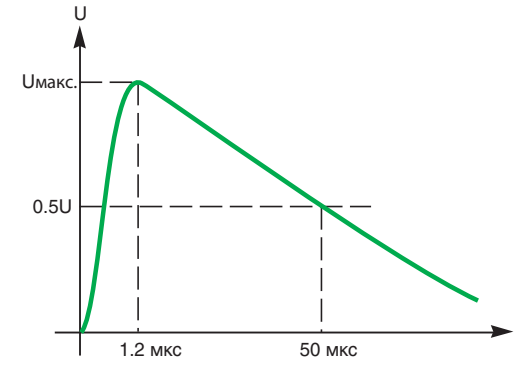


Рис. F83. Стандартная волна напряжения 1,2/50 мкс

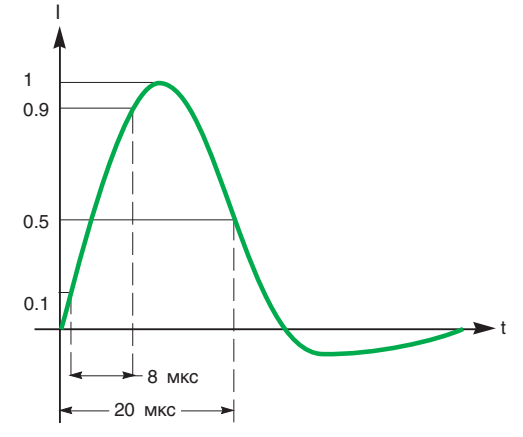


Рис. F84. Стандартная волна импульса тока 8/20 мкс

8.4 Чувствительность УЗО к помехам

В определенных случаях внешние воздействия могут нарушать работу УЗО:
- **Ложное срабатывание:** отключение питания без наличия реальной опасности. Этот тип отключения носит повторяющийся характер, создавая неудобства и ухудшая качество электроснабжения пользователя.
- **Неотключение в случае опасности:** менее ощутимое нарушение, чем ложное срабатывание. Этот тип нарушения подлежит тщательному изучению, поскольку снижает уровень безопасности пользователя.

Поэтому международные стандарты определяют три класса УЗО в зависимости от их устойчивости к такому типу нарушения (см. далее).

Основные типы помех

Фоновые токи утечки на землю

Каждая низковольтная установка имеет фоновый ток утечки на землю из-за следующих факторов:
- Несимметрия емкости внутри системы в трехфазных цепях между проводниками и землей.
- Емкости между проводниками и землей в однофазных цепях.

Чем больше установка, тем больше ее емкость и, как следствие, ток утечки.

Емкостный ток утечки на землю иногда значительно повышается из-за фильтрующих конденсаторов, связанных с электронным оборудованием (системы автоматизации, оборудование передачи данных, компьютеры и т.д.).

При отсутствии более точных данных фоновый ток утечки установки может оцениваться на базе следующих значений, измеряемых при 230 В, 50 Гц:
- Однофазная или трехфазная линия: 1,5 мА/100 м.
- Пол с подогревом: 1 мА/кВт.
- Факс, принтер: 1 мА.
- Микрокомпьютер, АРМ: 2 мА.
- Копировально-множительное устройство: 1,5 мА.

В соответствии со стандартами МЭК и многими национальными нормами, фоновый ток утечки должен быть ограничен до 0,25 IΔn путем разделения цепей. Это устраняет ложные срабатывания.

В особых случаях, таких как расширение и частичная реконструкция установок с заземлением по схеме IT, необходимо обращаться за консультацией к изготовителям устройств.

Высокочастотные составляющие (гармоники, переходные процессы и т.д.) присутствуют в источниках питания компьютерного оборудования, преобразователях, двигателях с регуляторами скорости, системах люминесцентного освещения и вблизи устройств переключения высокой мощности и батарей компенсации реактивной мощности.

Часть таких высокочастотных токов может уходить на землю через паразитные емкости. Хотя они не представляют опасность для пользователя, такие токи могут вызывать отключение дифференциальных устройств.

Включение

Подача напряжения на вышеуказанные емкости приводит к повышению высокочастотных неустановившихся токов крайне малой длительности, аналогичных показанным на **рис. F82**. Внезапное возникновение первого замыкания в системе IT также вызывает токи утечки на землю высокой частоты из-за резкого повышения напряжения между неповрежденными фазами и землей.

Синфазные перенапряжения

Электросети подвержены перенапряжениям из-за ударов молнии или резких изменений режима работы системы (КЗ, срабатывание плавких предохранителей, переключение и т.д.). Такие резкие изменения часто вызывают высокие переходные напряжения и токи в индуктивных и емкостных цепях. Имеющиеся данные показывают, что в низковольтных системах перенапряжения, как правило, ниже 6 кВ и могут быть адекватно представлены традиционной импульсной волной 1,2/50 мкс.

Такие перенапряжения вызывают повышение неустановившихся токов, представляемых волной импульса тока традиционной формы 8/20 мкс с пиком в несколько десятков ампер (см. **рис. F84**). Неустановившиеся токи уходят на землю через емкости установки.

Несинусоидальные токи повреждения (КЗ)

УЗО должно выбираться с учетом типа питаемой нагрузки. В частности, это требование применяется для устройств на основе полупроводников, для которых токи повреждения не всегда являются синусоидальными.

Тип AC, A, B

Стандарт МЭК 60755, ГОСТ Р МЭК 60755-2012 (общие требования к устройствам токов утечки) определяет три типа устройств УЗО в зависимости от характеристик тока повреждения:
- Тип AC

Устройства УЗО, которые реагируют только на синусоидальные токи утечки.
- Тип A

Устройства УЗО, которые обеспечивают отключение:
- ☐ при синусоидальных токах утечки;
- ☐ при пульсирующих токах утечки.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

8 Устройства защитного отключения (УЗО)

■ Тип B
Устройства УЗО, которые обеспечивают отключение:
□ как тип A;
□ при чистых постоянных токах утечки, которые могут происходить от трехфазных выпрямителей.

Низкая температура: при температуре ниже -5 °C высокочувствительные электромеханические реле в устройстве УЗО могут отказывать из-за конденсации и промерзания.

Устройства типа Si рассчитаны на температуру до -25 °C.

Атмосфера с высокой концентрацией химреагентов или пыли: используются специальные сплавы для защиты УЗО от коррозии. Пыль может также блокировать перемещение механических частей.

См. меры, которые должны приниматься в зависимости от уровней опасности в соответствии с установленными нормами, на **рис. F85**.

Нормы определяют выбор защиты от тока утечки на землю и методы реализации такой защиты.
Основные справочные документы:
■ Стандарт МЭК 60364-3:
□ Содержит классификацию (AFx) внешних воздействий в присутствии агрессивных или загрязняющих веществ.
□ Определяет выбор материалов в зависимости от внешних воздействий.

Наличие едких или загрязняющих веществ (МЭК 60364-5-51)		Воздействие электрической сети		Характеристики, необходимые для подбора и монтажа оборудования
		Сеть без нарушений	Сеть с нарушениями	
AF1	Незначительное присутствие загрязняющих веществ	Стандартные УЗО Тип AC	Сверхстойкие УЗО Тип A SI	Нормальные
AF2	Значительное присутствие загрязняющих веществ в атмосфере	Сверхстойкие УЗО Тип A SI		Соответствующие характеру веществ в атмосфере (например, отвечающий результатам испытаний солевым туманом согласно МЭК 60068-2-11)
AF3	Кратковременное или случайное воздействие агрессивных или загрязняющих химических веществ	Сверхстойкие УЗО Тип A SI + Соответствующая дополнительная защита (герметичный шкаф или секция)		Защита от коррозии в соответствии со спецификацией оборудования
AF4	Длительное воздействие агрессивных или загрязняющих химических веществ	Сверхстойкие УЗО Тип A SI + Соответствующая дополнительная защита (герметичный шкаф или секция + защита от избыточного давления)		Оборудование, специально разработанное в соответствии с природой веществ

Примеры объектов	Внешние воздействия
Металлоконструкции	Сера, пары серы, сероводород
Пристани, торговые порты, суда, береговые сооружения, судоверфи	Солевая атмосфера, влажность, низкая температура
Плавательные бассейны, больницы, продуктовые магазины	Хлорированные смеси
Нефтеперерабатывающие заводы	Водород, горючие газы, окислы азота
Фермы	Сероводород

Рис. F85. Классификация внешних воздействий согласно стандарту 60364-5-51 (ГОСТ Р 50571.5.51-2013)

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

8 Устройства защитного отключения (УЗО)

Уровень устойчивости устройств УЗО

Компания Schneider Electric предлагает разные типы устройств УЗО, обеспечивающих защиту от утечки на землю для каждой установки. Таблица ниже показывает выбор устройств в зависимости от типа возможных нарушений в месте установки.

Тип устройства	Ложные срабатывания	Несрабатывание			
	Высокочастотный ток утечки	Ток повреждения		Низкие температуры (до -25 °C)	Коррозия Пыль
		Выпрямленный переменный	Чистый постоянный		
AC	■				
A	■	■			
SI	■ ■ ■	■		■	
SiE	■ ■ ■	■		■	■
B	■ ■ ■	■	■	■	

Рис. F86. Уровень устойчивости устройств УЗО

Защита от ложных срабатываний

УЗО типа Si предотвращают ложное срабатывание или несрабатывание в случае загрязненной сети, воздействия грозовых разрядов, высокочастотных токов, длинных волн и т.д. На **рис. F87** ниже приведены уровни испытаний, которые проходят УЗО этого типа.

Тип нарушения	Контрольная волна	Устойчивость Acti 9: ID-RCCB, DPN Vigi, Vigi iC60, Vigi C120, Vigi NG125 Тип Si
Постоянные нарушения		
Гармоники	1 кГц	Ток утечки на землю = 8 x IΔn
Перенапряжение от грозового разряда	Импульс 1.2/50 мкс (МЭК/EN 61000-4-5, ГОСТ IEC 61000-4-5-2017)	4,5 кВ между проводниками 5,5 кВ / землей
Ток, индуцированный грозовым разрядом	Импульс 8/20 мкс (МЭК/EN 61008)	Пик 5 кА
Переходный процесс при коммутации, косвенные грозовые токи	0,5 мкс/100 кГц, "кольцевая волна" (МЭК/EN 61008)	Пик 400 А
Срабатывание грозозащитного разрядника, емкостная нагрузка	Импульс 10 мс	500 А
Электромагнитная совместимость		
Переключение индуктивных нагрузок (люминесцентные лампы, двигатели и т.д.)	Повторные всплески (МЭК 61000-4-4, ГОСТ IEC 61000-4-4-2016)	5 кВ / 2,5 кГц 4 кВ / 400 кГц
Люминесцентные лампы, цепи с тиристорным управлением и т.д.	Кондуктивные длинные волны (МЭК 61000-4-6)	250 мА (15 -150 кГц), 30 В (150 кГц – 230 МГц)
Длинные волны (ТВ, радио, вещание, текоммуникации и т.д.)	Излучаемые длинные волны 80 МГц – 1 ГГц (МЭК 61000-4-3, ГОСТ IEC 61000-4-3-2016)	30 В / м

Рис. F87. Уровни испытаний УЗО

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

8 Устройства защитного отключения (УЗО)

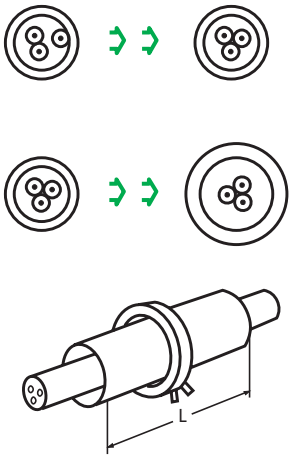
Рекомендации по установке УЗО с отдельными тороидальными трансформаторами тока нулевой последовательности

Детектором тока нулевой последовательности служит замкнутый магнитопровод (обычно кольцевой) высокой магнитной проницаемости с вторичной обмоткой, чем является тороидальный (или кольцевой) трансформатор тока, называемый трансформатором тока нулевой последовательности (ТТНП).

В силу высокой проницаемости малейшее отклонение от идеальной симметрии проводников, охватывающих сердечник, и металлических частей (стальной корпус, элементы монтажной опоры и т.д.) может нарушать баланс МДС при больших токах нагрузки (пусковой ток двигателя, толчок тока намагничивания трансформатора и т.д.), вызывая ложное срабатывание УЗО.

Если не принимаются специальные меры, отношение тока срабатывания IΔn к максимальному фазному току Iph (макс.) обычно меньше 1/1000.

Этот предел может быть значительно увеличен (то есть снижена чувствительность к возмущениям) посредством мер, указанных на **рис. F88** и **F89**.



L в два раза больше диметра
магнитного кольцевого сердечника

Рис. F88. Три меры по снижению отношения IΔn / Iph (макс.)

Меры	Диаметр (мм)	Коэфф. снижения чувствительности
Центровка кабелей в окне магнитопровода		3
Увеличение диаметра кольцевого сердечника	Ø 50 → Ø 100	2
	Ø 80 → Ø 200	2
	Ø 120 → Ø 300	6
Использование экранирующей втулки из стали или мягкого железа	Ø 50	4
■ Толщина стенки 0,5 мм	Ø 80	3
■ Длина двух внутренних диаметров кольцевого сердечника	Ø 120	3
■ Полное окружение проводников и одинаковое перекрытие кольцевого сердечника на обоих концах	Ø 200	2

Эти меры могут применяться одновременно. При центровке кабелей в кольцевом сердечнике диаметром 200 мм (при достаточном диаметре 50 мм) и использовании втулки отношение 1/1000 снижается до 1/30000.

Рис. F89. Способы снижения отношения IΔn / Iph (макс.)

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

8 Устройства защитного отключения (УЗО)

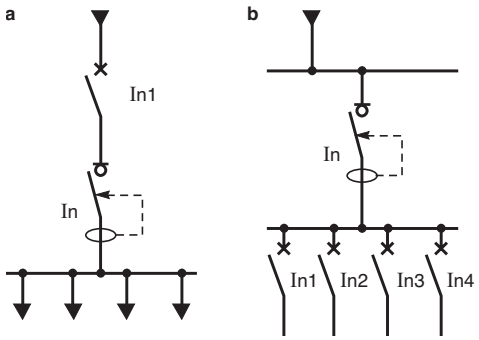


Рис. F90. Выключатели дифференциального тока (ВДТ)

Выбор характеристик дифференциального выключателя

Номинальный ток

Номинальный ток дифференциального выключателя или ВДТ (аппарата, имеющего ограниченную отключающую способность) выбирается в зависимости от максимального установившегося тока нагрузки.

- Если ВДТ располагается последовательно за автоматическим выключателем, то рабочий ток обоих выключателей одинаков, но должно соблюдаться условие In >In1 (см. **рис. F90a**)
- Если ВДТ расположен перед группой цепей, защищенных автоматическими выключателями (см. **рис. F90b**), номинальный ток ВДТ рассчитывается следующим образом:

$In \geqslant ku \times ks \times (In1 + In2 + In3 + In4)$

Требования к электродинамической устойчивости

Защита от КЗ должна обеспечиваться устройством защиты от КЗ. Если ВДТ расположен в одном распределительном устройстве (согласно нормам) перед выключателем (или плавким предохранителем), защита от КЗ, обеспечиваемая такими устройствами, считается приемлемой. Необходима координация работы ВДТ и устройств защиты от КЗ. Как правило, изготовители приводят таблицы возможных комбинаций ВДТ и выключателей или плавких предохранителей.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

9 Устройства дуговой защиты

9.1 Пожары электрического происхождения

Европейской пожарной академией (http://www.europeanfireacademy.com/) подсчитано, что 2250000 пожаров (общее количество пожаров), которые происходят в Европе каждый год, несут более 4000 смертей и 100000 травм.

В пожаре более чем в 80% случаев задействованы жилые дома и общественные здания.

Зачастую именно электрический ток является причиной бытовых пожаров.

В зависимости от страны и методов расследования, а также от способов определения причины возгорания пропорции пожаров электрического происхождения выглядит следующим образом:
13% в Соединенных Штатах (www.nfpa.org);
25% во Франции (www.developpement-durable.gouv.fr);
34% в Германии (www.ifs-kiel.de/);
40% в Норвегии (www.sintef.no).

9.2 Причины происхождения пожаров электрического характера

К причинам пожаров электрического характера относятся: перегрузки, короткие замыкания и токи утечки на землю, а также электрические дуги в кабелях и соединениях. В случае локального повреждения электрических кабелей или ослабевания электрического соединения, есть два явления, которые могут стать причиной пожара из-за электрической дуги:

1) Обугливание (см. **рис. F91**)**:**

Всякий раз, когда проводник поврежден или соединения не затянуты должным образом, образуется место с плохими контактом и вследствие появляется высокая температура (термическое действие тока), которая обугливает изоляционные материалы в непосредственной близости. Далее образуется углерод, который является проводящим материалом, что ведет к чрезмерному увеличению тока в различных точках.

Поскольку углерод образуется неоднородно, то токи пытаются пройти через пути с наименьшим сопротивлением, и они создают электрические дуги, для облегчения этого пути. Затем каждая дуга усиливает обугливание изоляционных материалов, при этом реакция происходит до тех пор, пока количество углерода не станет достаточным для самопроизвольного разжигания.

2) Короткое замыкание (см. **рис. F92**)**:**

Каждый раз, когда изоляционные материалы между двумя токоведущими проводниками повреждаются, может возникнуть нежелательное токовое соединение между двумя проводниками, но эти токи слабы, чтобы срабатывал автоматический выключатель или устройства защитного отключения.

При прохождении через эти изоляционные материалы токи утечки пытаются найти пути наименьшего сопротивления и в результате образуются электрические дуги, которые постепенно превращают изоляционные материалы в углерод (происходит обугливание).

Таким образом, изоляционные материалы обугливаются и усиливают токи утечки, между двумя проводниками. Таким образом, образуется новая цепная реакция, усиливающая значения тока в дуге и, как следствие, увеличивается количество обугленного материала до возникновения первого очага возгорания.

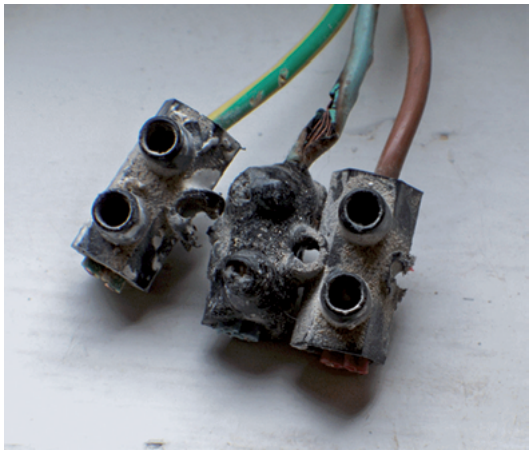


Рис. F91. Пример обугливания контактов

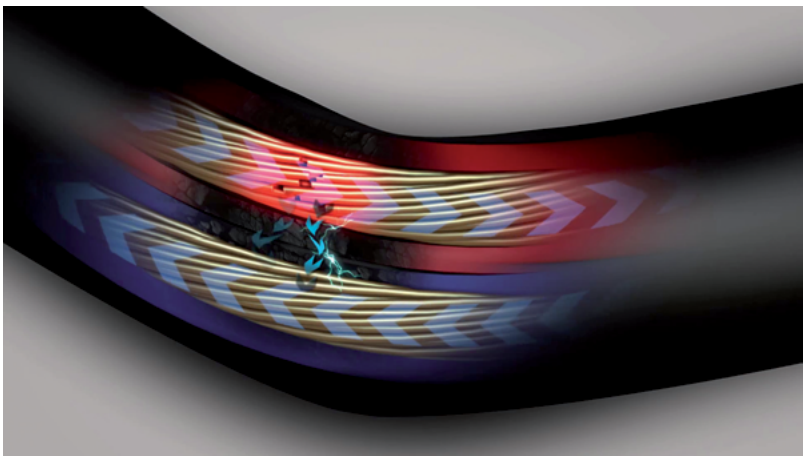


Рис. F92. Иллюстрация короткого замыкания

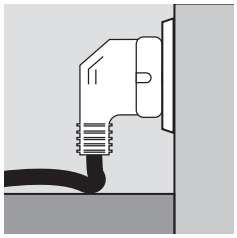
© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

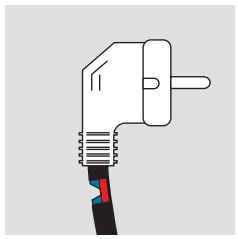
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

9 Устройства дуговой защиты

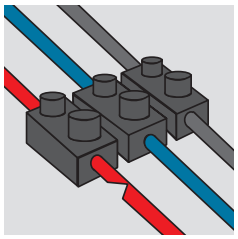
Электические дуги – причины возникновения открытого огня в кабельных линиях, которые возникают из-за обугливания изоляции проводников: поэтому одним из способов предотвращения пожаров является обнаружение электрических дуг.
Эти опасные электрические дуги не обнаруживаются устройствами защитного отключения, выключателями и предохранителями.
Эти явления могут происходить в следующих ситуациях (см. **рис. F93**):



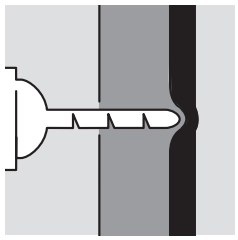
Чрезмерная физическая нагрузка на провод питания (сменить положение)



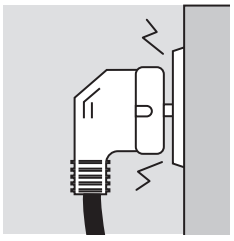
Шнур питания неисправен вследствие износа



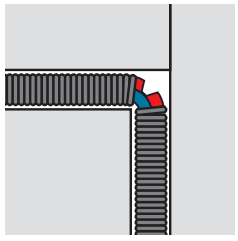
Слабое соединение кабеля



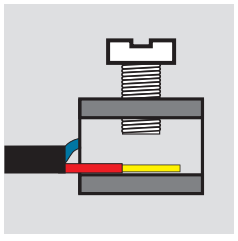
Случайное повреждение кабеля



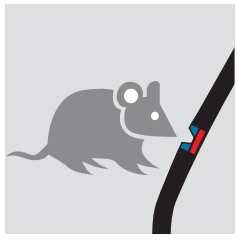
Плохое состояние розетки



Износ защитного покрытия кабеля



Ненадежный контакт клеммного соединения



Кабели повреждены из-за воздействия окружающей среды: ультрафиолет, вибрации, влажность, грызуны

Рис. F93. Иллюстрация короткого замыкания

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

9 Устройства дуговой защиты

9.3 Устройства защиты при дуговом пробое

Как они работают?

Устройства защиты при дуговом пробое позволяют выявлять опасные дуги и таким образом защищать установки.
Такие устройства успешно применяются в Соединенных Штатах с начала 2000-х годов, и их установка регламентирована Национальным электрическим кодексом.
С 2013 года международный стандарт МЭК 62606 (ГОСТ IEC 62606-2016) определяет устройства защиты при дуговом пробое (УЗДП), которые выявляют наличие опасных электрических дуг и отключают источник питания цепи, чтобы предотвратить возгорание.
Скорость имеет существенное значение, так как электрическая дуга может мгновенно разделиться, вызвать воспламенение любого находящегося поблизости горючего материала и привести к пожару.
Согласно МЭК 62606 (ГОСТ IEC 62606-2016), в случае возникновения дуги устройства защиты при дуговом пробое должны очень быстро отреагировать и изолировать цепь в течение ограниченного времени (см. **рис. F94**). Эти опасные электрические дуги не обнаруживаются ни устройствами обнаружения тока утечки, ни автоматическими выключателями или предохранителями.

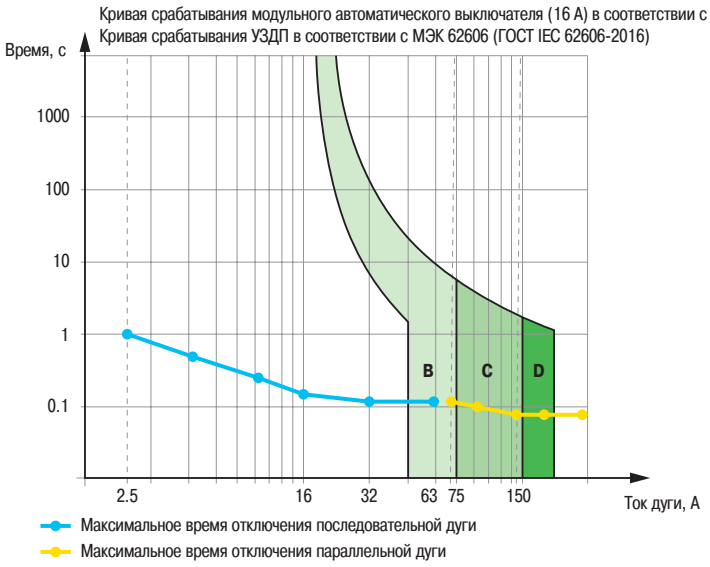


Рис. F94. Кривые срабатывания модульного АВ и УЗДП

Устройство защиты при дуговом пробое контролирует в реальном времени многочисленные электрические параметры защищаемой цепи (см. **рис. F95**) с целью получения информации, характерной для наличия опасных электрических дуг (см. **рис. F96**).
Например:
- Ток дуги (последовательная дуга опасна, если ток равен или превышает 2,5 А).
- Продолжительность горения дуги (например, весьма небольшая продолжительность характерна для нормальной работы выключателя).
- Неровность дуги (например, дуги очищенных щеткой двигателей имеют правильную форму и потому не должны рассматриваться как опасные).
- Искажение кривой тока (синусоиды) при прохождении через ноль характерно при наличии электрической дуги: ток протекает только после возникновения дуги, для создания которой необходимо минимальное напряжение (см. **рис. F97**).
- Наличие помех на различных уровнях высоких частот характерно для прохождения тока через неоднородные материалы (такие как изоляция кабеля).

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

9 Устройства дуговой защиты

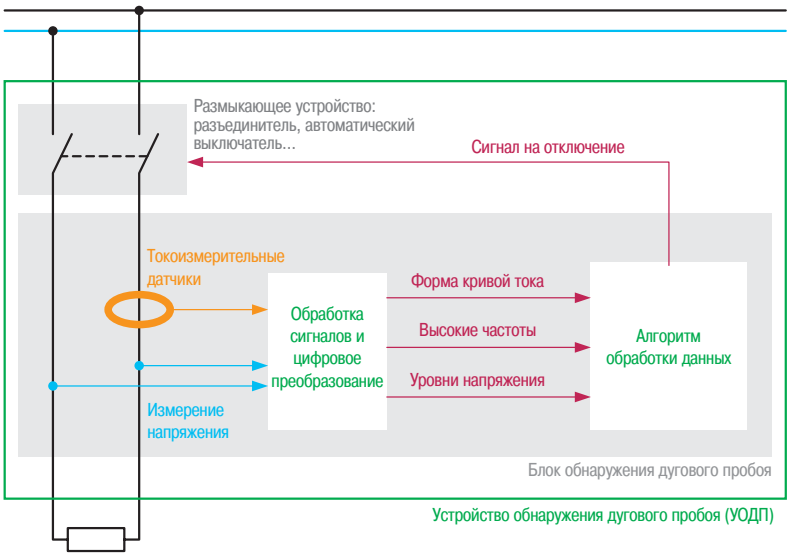


Рис. F95. Общий принцип работы устройств обнаружения дуговых замыканий Schneider Electric

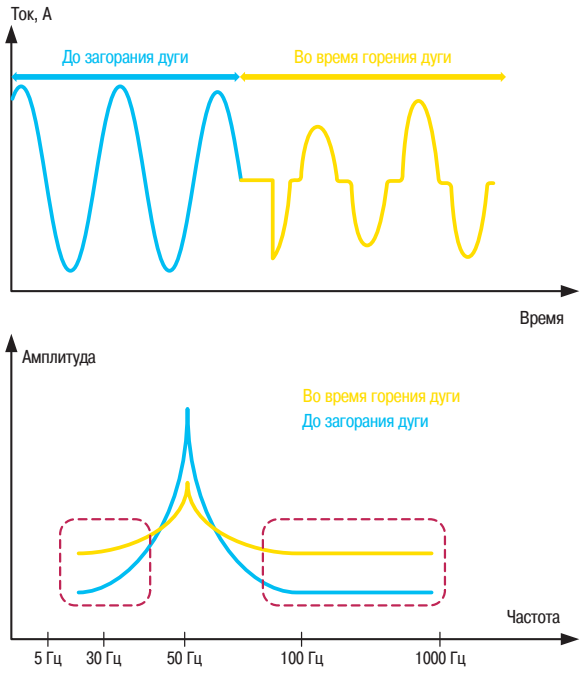


Рис. F96. Аномалии в кривой тока, которые могут указывать на наличие потенциально опасных дуговых замыканий

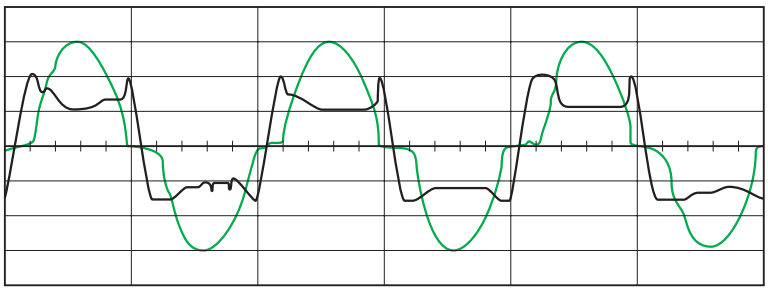


Рис. F97. Типовая кривая осциллографа при возникновении электрической дуги. Напряжение (черная линия), ток (зеленая линия)

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

9 Устройства дуговой защиты

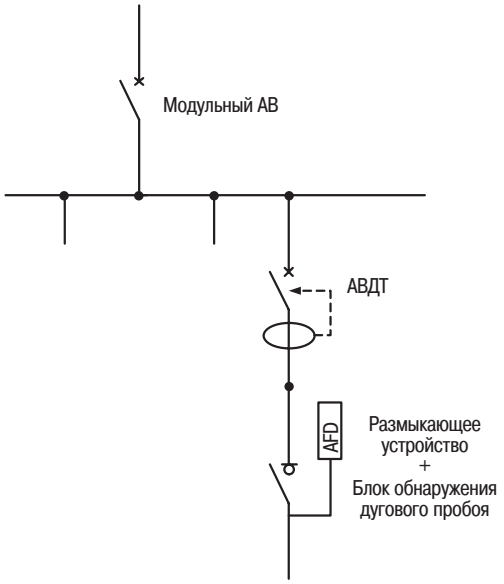


Рис. F99. Блок обнаружения дугового пробоя с размыкающим устройством, установленные последовательно с АВДТ

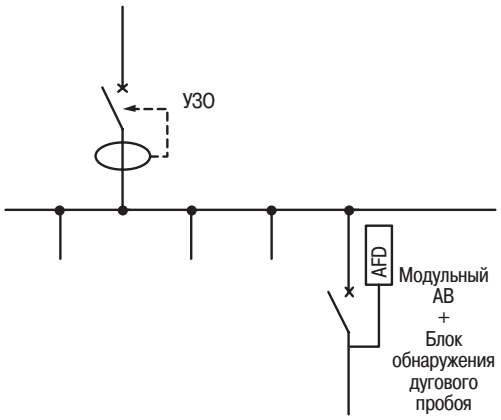


Рис. F100. Блок обнаружения дугового пробоя с модульным автоматическим выключателем

Рис. F101. Блок обнаружения дугового пробоя Schneider Electric

Типы устройств защиты при дуговом пробое

УЗДП объединены с размыкающим устройством, которое разъединяет цепь в случае возникновения дугового повреждения, таким образом предотвращая возгорание.
Ниже перечислены три способа построения устройств защиты при дуговом пробое, регламентированные стандартом МЭК 62606 (ГОСТ IEC 62606-2016) (см. **рис. F98**):

- УЗДП как единое устройство, включающее блок обнаружения дугового пробоя и размыкающее устройство и предназначенное для последовательной установки с защитным устройством (модульным автоматическим выключателем или АВДТ) (см. **рис. F99**)
- УЗДП как единое устройство, включающее блок обнаружения дугового пробоя и защитное устройство (модульный автоматический выключатель или АВДТ) (см. **рис. F100**)
- Блок обнаружения дугового пробоя, который монтируется на месте установки с защитным устройством (модульным автоматическим выключателем или АВДТ). (См. **рис. F101**).

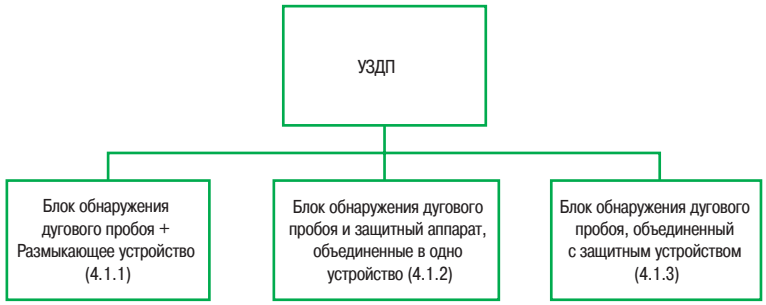


Рис. F98. Методы построения устройств обнаружения дугового пробоя

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

9 Устройства дуговой защиты

Рис. F102. УЗДП производства Schneider Electric

Установка устройств защиты при дуговом пробое

Устройства защиты при дуговом пробое (см. **рис. F102**) предназначены для снижения риска возгорания по причине возникновения электрических дуг в цепях распределения стационарной установки.

Данные устройства устанавливаются в распределительных щитах, главным образом в цепях, питающих розеточные группы и освещение, и особенно рекомендуется их установка в случае проведения ремонта.

С 2014 года Международный стандарт МЭК 60364 – Электрические установки зданий, часть 4-42, содержит следующие рекомендации относительно условий установки и применения УЗДП в жилых и коммерческих зданиях:

- В помещениях со спальными местами (например, в гостиницах, домах престарелых, спальнях в домах)
- В местах с высоким риском возгорания из-за наличия большого количества горючих материалов (например, в сараях, деревообрабатывающих мастерских, складах горючих материалов)
- В зданиях с горючими строительными конструкциями (например, деревянных зданиях)
- В зданиях, способствующих распространению огня (высотных зданиях)
- В помещениях, в которых хранится невосполнимое имущество (например, в музеях)

Рекомендуется устанавливать УЗДП на вводе распределительной цепи низкого напряжения, которая должна быть защищена (то есть в распределительном щите электроустановки).

Установка УЗДП настоятельно рекомендуется для защиты цепей с наибольшим риском возгорания, таких как:

- Выступающие кабели (опасность ударов)
- Открыто проложенные кабели (повышенный риск порчи)
- Незащищенные кабели в безлюдных местах (например, в складских помещениях)
- Стареющая, изнашивающаяся проводка, либо проводка, для которой невозможна установка соединительных коробов.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

9 Устройства дуговой защиты

9.4 Выводы

В дополнение к защите от поражения электрическим током, при проектировании электроустановки необходимо также обеспечить защиту от пожара. Минимальным требованием является обеспечение координации устройств защиты от перегрузки и характеристик применяемого проводника (см. **главу G**). Однако в целях снижения риска возгорания рекомендуется применять другие меры защиты в зависимости от типа установки:

- Для главных и распределительных цепей рекомендуется использовать устройства обнаружения замыкания на землю с большей чувствительностью, чем требуется для защиты от поражения электрическим током.
- Для оконечных цепей, где ниже механическая стойкость проводника, больше количество соединений, где может подключаться портативное оборудование, в дополнение к УЗО рекомендуется применять устройство защиты при дуговом пробое (УЗДП).

В приведенной ниже таблице показано расположение различных типов токовых защит, требуемых или рекомендуемых для низковольтных установок.

Система заземления	**Защита от поражения электрическим током (МЭК 60364-4-41, ГОСТ Р 50571.3-2009)**			**Защита от тепловых воздействий / возгорания (МЭК 60364-4-42, ГОСТ Р 50571.4.42-2017)**			**Защита от сверхтока (МЭК 60364-4-43, ГОСТ Р 50571.4.43-2012)**
	Основная защита	**Автоматическое отключение**	**Дополнительная защита**	**Помещение класса BE2 (1)**	**Другие помещения**		
					Оконечная цепь	**Распределительная цепь**	
TN-C	**Изоляция токоведущих частей / Барьеры и ограждение**	**УЗСТ**	**Не применяется**	**Не применяется**	**Не применяется**	ЗОЗЗ (3)	**УЗСТ (защита от перегрузки и короткого замыкания)**
TN-S		**УЗСТ/УЗО**	**УЗО 30 мА**	**УЗО 300 мА** УЗДП	УЗДП (2)	УЗО (2)	
TT		**УЗО**	**УЗО 30 мА**		УЗДП (2)	УЗО (2)	
IT		**УЗСТ/УЗО**	**УЗО 30 мА**		УЗДП (2)	УЗО (2)	

жирным шрифтом = обязательно в соответствии с МЭК 60364

остальные = рекомендуются для улучшения защиты от возгорания

(1) BE2: Помещения с наличием пожароопасных обрабатываемых или складируемых материалов (согласно ГОСТ Р 50571.5.51, таблица 51A).
(2) В случае, если установка УЗО требуется для защиты от поражения электрическим током, то оно также будет обеспечивать защиту от пожара
(3) Защита от токов замыкания на землю не описывается в МЭК 60364, но применяется в некоторых регионах, таких как Северная Америка

УЗСТ: устройство защиты от сверхтоков

УЗО: устройство защитного отключения (чувствительность в диапазоне 30 мА - 30 А)

RS GFP: защита от замыканий на землю с помощью датчика тока утечки на землю (4) (чувствительность в диапазоне 20-100% от номинального тока выключателя)

Рис. F103. Обзор токовых защит низковольтной цепи разных систем заземления

(4) См. также пункт **«Защита от замыканий на землю»**.

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

Глава G

Выбор сечения и защита проводников

1 Общие положения G2
1.1 Методика и определения ... G2
1.2 Принципы защиты от токовых перегрузок ... G4
1.3 Практические значения для схемы защиты ... G4
1.4 Расположение защитных устройств ... G6
1.5 Параллельное соединение проводов ... G6

2 Практический метод определения наименьшего допустимого сечения проводов в цепи G7
2.1 Общие принципы прокладки кабелей ... G7
2.2 Рекомендуемый упрощенный метод определения сечения кабелей ... G15
2.3 Определение размеров системы сборных шин (шинопроводов) ... G17

3 Расчет потерь напряжения G19
3.1 Максимальная потеря напряжения ... G19
3.2 Расчет потери напряжения при постоянной нагрузке ... G20

4 Ток короткого замыкания G23
4.1 Ток короткого замыкания на выводах вторичной обмотки понижающего трансформатора ... G23
4.2 Ток трехфазного короткого замыкания (Isc) в любой точке установки низкого напряжения ... G24
4.3 Ток Isc в конце линии в зависимости от Isc в ее начале ... G27
4.4 Ток короткого замыкания, подаваемый от генератора переменного тока или инвертора ... G28

5 Частные случаи тока короткого замыкания G29
5.1 Расчет минимальных величин тока короткого замыкания ... G29
5.2 Проверка кабелей на нагрев токами короткого замыкания ... G34

6 Нулевой защитный проводник (PE) G36
6.1 Схема соединений и выбор проводников ... G36
6.2 Выбор сечения проводников ... G37
6.3 Защитный проводник между понижающим трансформатором и главным распределительным щитом ... G39
6.4 Эквипотенциальный проводник ... G40

7 Нейтральный проводник G41
7.1 Определение сечения нейтрального проводника ... G41
7.2 Защита нейтрального проводника ... G43
7.3 Отключение нейтрального проводника ... G43
7.4 Изоляция нейтрального проводника ... G43

8 Пример расчета кабелей G45

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Общие положения

Элементы электрической сети и их защита определяются с учетом удовлетворения всех нормальных и аварийных эксплуатационных ограничений.

1.1 Методика и определения

Методика (см. рис. G1)

После предварительного анализа потребляемой мощности установки, который описан в пункте 4 главы A, проводится изучение кабельной сети[(1)] и её электрической защиты, начиная от источника через промежуточные ступени к конечным цепям.

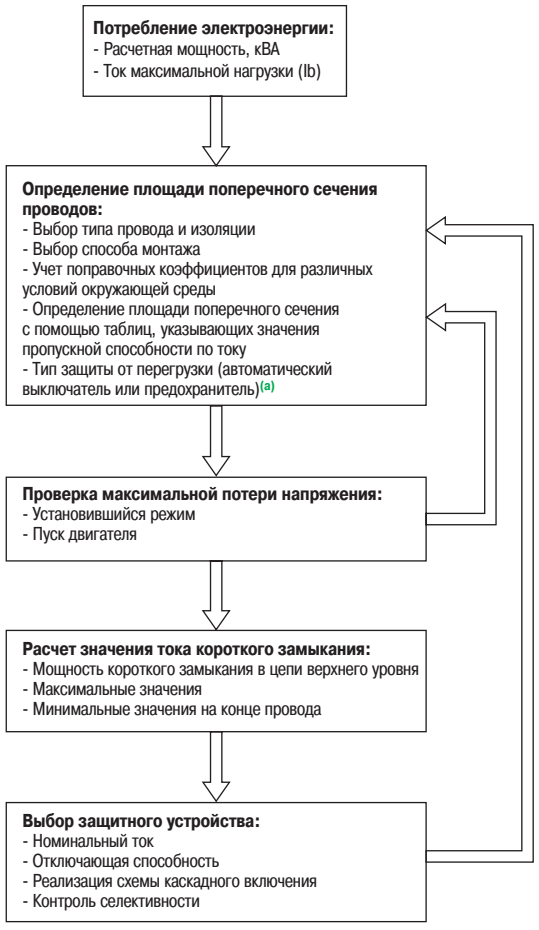
Кабельная сеть и ее защита на каждом уровне должны удовлетворять одновременно нескольким условиям с целью обеспечения безопасности и надежности установки:

- сеть должна проводить длительно ток полной нагрузки и нормальные кратковременные токи перегрузки;
- сеть не должна допускать отклонения напряжения, способные привести к низкой производительности при определенных нагрузках, например, чрезмерно долгий пуск двигателя и т.д.

Более того, защитные устройства (автоматические выключатели или предохранители) должны:

- защищать кабельные сети и шины от токовых перегрузок любой величины, включая токи короткого замыкания;
- обеспечивать защиту персонала от опасности косвенного прикосновения, в особенности, в системах заземления TN и IT, где длина цепи может ограничивать величину токов короткого замыкания, таким образом задерживая автоматическое отключение (нужно помнить, что установки с системой заземления TT обязательно должны быть защищены на входе устройством дифференциальной защиты (УЗО), обычно на номинальный ток 300 мА).

Площади поперечного сечения проводов определяются по общему методу, описанному в подпункте 1.2 текущей главы. Кроме этого метода некоторые национальные стандарты могут предписывать минимальное значение площади поперечного сечения, которое необходимо соблюдать с целью обеспечения механической стойкости. Определенные нагрузки (как указывается в главе M) требуют, чтобы питающий их кабель имел увеличенное сечение, и чтобы защита цепи была необходимым образом модифицирована.



(a) Тип защиты от перегрузки (предохранитель или автоматический выключатель) оказывает прямое влияние на выбор сечения проводника, это подробно описано в пункте 1.3.

Рис. G1. Логическая схема для выбора сечения кабеля и защитного устройства для заданной цепи

(1) Термин «кабельная сеть» в данной главе подразумевает все изолированные провода, включая многожильные и одножильные кабели, и изолированные провода, проложенные в трубах и т.д.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Общие положения

Определения

Максимальный ток нагрузки: Ib

■ На последнем уровне цепи этот ток соответствует номинальной мощности нагрузки. В случае запуска двигателя или других нагрузок, при которых возникает большой начальный бросок тока, в особенности там, где происходит быстрый запуск (например, двигатели лифтов, точечная сварка и т.д.), должно быть учтено суммарное тепловое действие токовых перегрузок. Этому воздействию подвергаются как кабели, так и тепловые реле.

■ На всех верхних уровнях цепи этот ток соответствует полной потребляемой мощности с учетом коэффициентов одновременности и использования, ks и ku соответственно, как показано на **рис. G2.**

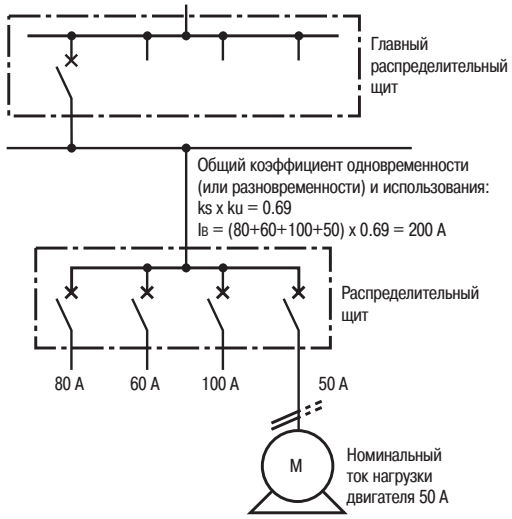


Рис. G2. Расчет максимального тока нагрузки Ib

Максимально допустимый ток: Iz

Это максимальный ток, который кабель может проводить неограниченно долго без снижения его номинального срока службы.

Ток для данного сечения проводов зависит от нескольких параметров:

■ тип кабеля и кабелепровода (проводники из меди или алюминия, изоляция из поливинилхлорида или пропилена и количество активных проводников);
■ температура окружающей среды;
■ способ монтажа;
■ влияние соседних цепей.

Токовые перегрузки

Токовая перегрузка возникает каждый раз, когда величина тока превышает максимально допустимый ток.

Этот ток необходимо отключать за кратчайшее время, которое зависит от его амплитуды, чтобы не допустить неустраняемое повреждение кабеля (и оборудования, если токовая перегрузка вызвана неисправным элементом нагрузки).

Однако токовые перегрузки относительно короткой продолжительности могут возникать во время нормальной работы. Различают два типа токовых повреждений:

■ Перегрузки

Токовые перегрузки могут возникать в исправных электрических цепях, например, из-за ряда небольших кратковременных нагрузок, случайно возникающих время от времени, нагрузки при запуске двигателя и т.д. Если любое из этих условий будет продолжаться дольше заданного времени (в зависимости от настроек защитных реле и параметров предохранителей), цепь будет автоматически отключена.

■ Токи короткого замыкания

Эти токи являются результатом пробоя изоляции между фазными проводами или/и между фазными проводами и землей (в системах с нейтральным проводом, заземленным через низкое сопротивление) в любой комбинации, а именно:

□ короткое замыкание трех фаз (с нейтралью и/или землей или без них);
□ короткое замыкание двух фаз (с нейтралью и/или землей или без них);
□ короткое замыкание одной фазы с нейтралью (и/или с землей).

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Общие положения

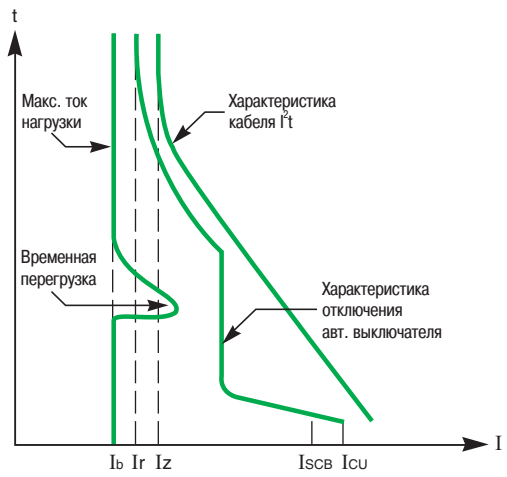


Рис. G3. Защита цепи автоматическим выключателем

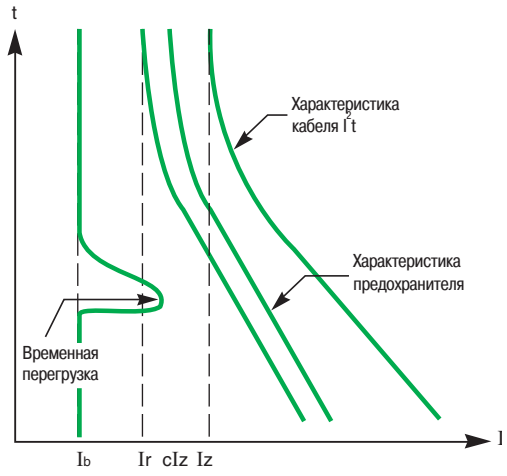


Рис. G4. Защита цепи предохранителями

1.2 Принципы защиты от токовых перегрузок

Защитное устройство устанавливается на входе рассматриваемой цепи (см. **рис. G3** и **G4**).

- Срабатывает на отключение тока за время, меньшее, чем определяемое характеристикой I^2t кабеля.
- Допускает протекание максимального тока нагрузки I_B неограниченно долго.

Характеристики изолированных проводов, когда по ним текут токи короткого замыкания, для промежутка времени до 5 секунд после возникновения короткого замыкания могут быть приблизительно определены по формуле, которая показывает, что допустимое количество вырабатываемого тепла пропорционально квадрату площади поперечного сечения провода:

$I^2t = k^2 S^2$,

где:

t - продолжительность тока короткого замыкания (c)

S - сечение изолированного проводника (мм^2)

I - ток короткого замыкания (A, среднеквадр. значение)

k - постоянная изолированного провода (значения k приведены на **рис. G54**)

Для данного изолированного провода максимально допустимый ток изменяется в зависимости от окружающей среды. Например, при высокой температуре окружающей среды ($\theta a1 > \theta a2$), Iz1 меньше, чем Iz2 (см. **рис. G5**). θ означает «температура».

Примечание:

- Isc - ток трехфазного короткого замыкания;
- Iscв - номинальный ток отключения (отключающая способность);
- Ir (или Irth)(1) - регулируемая номинальная величина тока, например, автоматический выключатель на номинальный ток 50 A может быть отрегулирован на защитный диапазон, т.е. на стандартный уровень отключения при токовой перегрузке (см. **рис. G6** на след. стр.), подобный диапазону автоматического выключателя на 30 A.

1.3 Практические значения для схемы защиты

Следующие методы основаны на правилах, изложенных в стандартах МЭК, и используются на практике во многих странах.

Общие правила

Защитное устройство (автоматический выключатель или предохранитель) работает исправно, если:

- Номинальный ток или ток уставки In больше, чем ток максимальной нагрузки I_B, но меньше, чем максимально допустимый ток Iz для цепи, т.е. $I_B \leqslant In \leqslant Iz$, что соответствует зоне «a» на **рис. G6**.
- «Стандартная» уставка его тока отключения I2 меньше, чем 1,45 Iz, что соответствует зоне «b» на **рис. G6** (ток I2 учитывает неточность изготовления защитного аппарата. Для автоматов он на 10-40% превышает ток Ir или In).

«Стандартное» время отключения может быть равным 1 или 2 часам, согласно местным стандартам и фактическому значению, выбранному для I2. Для предохранителей I2 – это ток (обозначаемый как Ir), при котором предохранитель сработает со стандартной выдержкой времени.

- Отключающая способность больше, чем ток трехфазного короткого замыкания, существующий в месте его установки. Этому соответствует зона «c» на **рис. G6**.

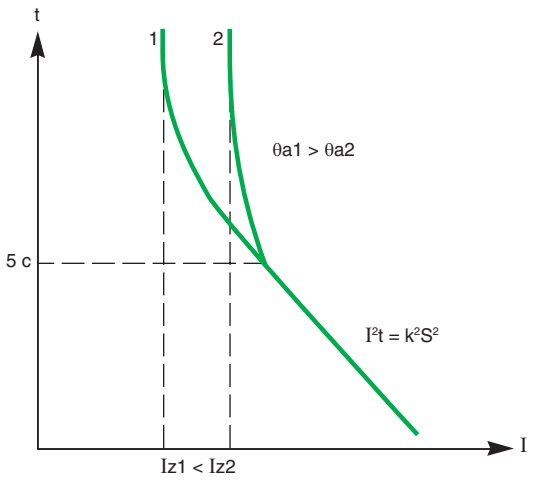


Рис. G5. Характеристика I^2t изолированного провода для двух различных значений температуры окружающей среды

(1) Оба обозначения широко используются в различных стандартах.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Общие положения

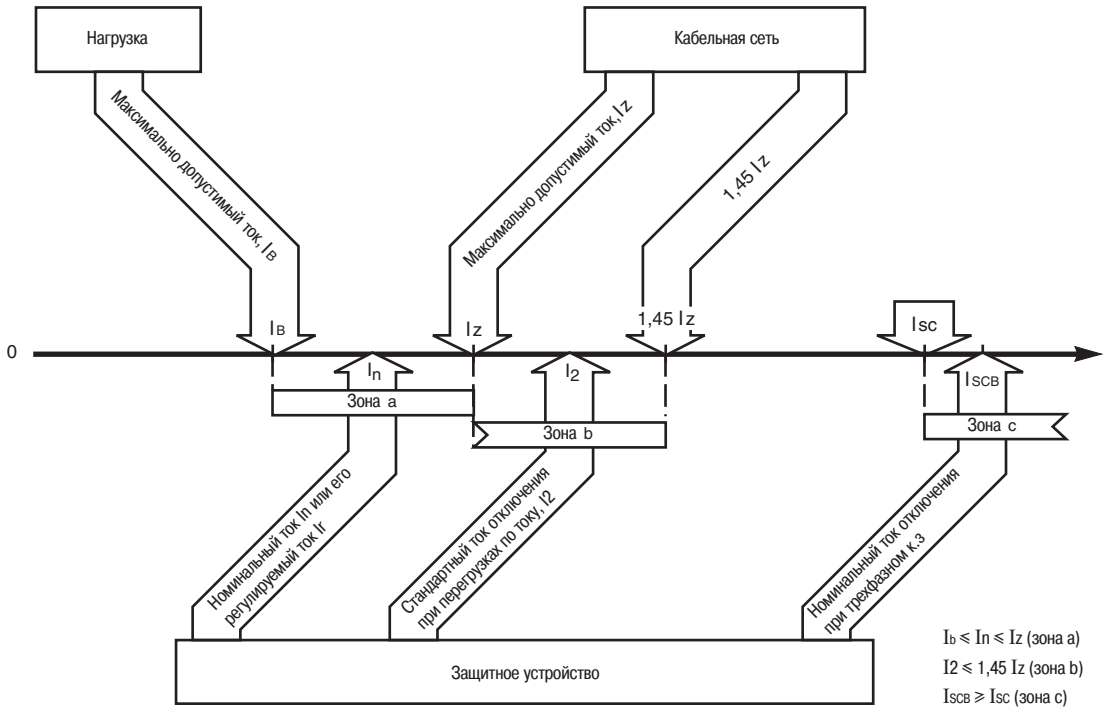


Рис. G6. Величины тока для определения характеристик автоматического выключателя или предохранителя

Критерии для автоматических выключателей:
Ib ⩽ In ⩽ Iz и Iscb ⩾ Isc.

Критерии для предохранителей:
Ib ⩽ In ⩽ Iz/k3 и Iscf ⩾ Isc.

Применение

■ Защита автоматическим выключателем

Благодаря высокому уровню точности ток I2 всегда меньше, чем 1,45 In (или 1,45 Ir), поэтому условие I2 ⩽ 1,45 Iz (как указано выше в «общих правилах») будет всегда выполняться.

□ Частный случай:

Если сам автоматический выключатель не защищает от перегрузок, необходимо, чтобы во время наименьшего значения тока короткого замыкания была обеспечена исправная работа устройства максимальной токовой защиты цепи. Этот частный случай рассмотрен в подпункте 5.1.

■ Защита предохранителями

Условие I2 ⩽ 1,45 Iz должно быть также учтено, где I2 – ток перегорания предохранителя (уровень перегорания), равный k2 x In (k2 лежит в пределах от 1,6 до 1,9) в зависимости от конкретного предохранителя.

Добавочный коэффициент ks был введен (kз = k2 / 1,45) с тем, чтобы условие I2 ⩽ 1,45 Iz выполнялось при In ⩽ Iz/k3.

Для предохранителей типа gG:
In < 16A → k3 = 1,31
In ⩾ 16A → k3 = 1,10

Более того, отключающая способность предохранителя Iscf должна превышать величину тока при трехфазном коротком замыкании в месте установки предохранителя(ей).

■ Комбинация различных защитных устройств

Использование защитных устройств, отключающая способность которых ниже, чем фактические, существующие в месте их установки токи КЗ, разрешено МЭК и многими национальными стандартами при выполнении следующих условий:

□ на верхнем уровне цепи есть другое защитное устройство, которое имеет необходимые параметры срабатывания при коротких замыканиях;

□ ток и время срабатывания этого устройства, т.е. количество передаваемой энергии (I^2t), поступающей в расположенную за ним установку (устройства защиты, кабели, оборудование), должны быть меньше, чем может выдержать оборудование защищаемой установки.

На практике такое расположение обычно используется:

□ при соединении автоматических выключателей/предохранителей;

□ при каскадном включении или режиме последовательного включения, в котором высокие показатели по ограничению тока некоторых автоматических выключателей эффективно снижают токи коротких замыканий ниже по цепи.

Возможные комбинации, которые были испытаны в лабораториях, указаны в соответствующих каталогах производителя.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Общие положения

Защитное устройство, в общем случае, необходимо на входе каждой цепи.

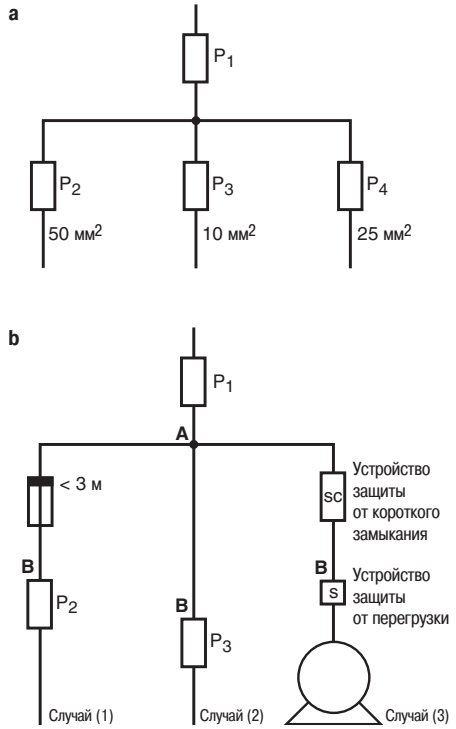


Рис. G7. Расположение защитных устройств

1.4 Расположение защитных устройств

Общее правило (см. рис. G7a)

Защитное устройство необходимо на входе каждой цепи, где возникает снижение величины максимально допустимого тока.

Возможные варианты расположения в определенных обстоятельствах (см. рис. G7b)

Защитное устройство может располагаться не в начале цепи:

- если участок AB не имеет поблизости горючих материалов;
- если на уровнях сети ниже участка AB нет розеточных подключений или ответвлений сети.

На практике могут использоваться три случая:

- Случай (1) на схеме
  - AB ⩽ 3 м;
  - AB выполнен с применением мер по уменьшению риска возникновения короткого замыкания до практического минимума (например, провода в толстостенной стальной трубе).
- Случай (2)
  - Устройство P1 на верхнем уровне защищает участок AB от коротких замыканий в соответствии с подпунктом 5.1.
- Случай (3)
  - Устройство защиты от перегрузки S установлено рядом с нагрузкой. Такое расположение удобно для цепей двигателей. Устройство S осуществляет защиту и управление (пуск/останов) и защиту от перегрузки двигателя, а SC представляет собой либо автоматический выключатель (спроектированный для защиты двигателя), либо предохранители типа M;
  - Защита от короткого замыкания SC, расположенная на входе цепи, соответствует принципам, изложенным в подпункте 5.1.

Цепи без защиты (см. рис. G7c)

Возможны два случая:

- Защитное устройство P1 откалибровано для защиты кабеля S2 от перегрузок и коротких замыканий.
- Там, где отключение цепи может вызывать опасность, например:
  - цепи возбуждения вращающихся машин;
  - цепи больших подъемных электромагнитов;
  - вторичные цепи трансформаторов тока.

Отключение цепей не допускается, поэтому защита кабеля имеет второстепенное значение.

1.5 Параллельное соединение проводов

Провода одинакового сечения, одинаковой длины и из одинакового материала могут быть соединены параллельно.

Максимально допустимый ток равен сумме допустимых токов каждого отдельного провода в пучке с учетом явления взаимного нагрева, способа монтажа и т.д. Защита от перегрузок и коротких замыканий аналогична защите однопроводных цепей.

Необходимо принять следующие меры предосторожности во избежание опасности возникновения коротких замыканий параллельно соединенных кабелей:

- дополнительная защита от механических повреждений и влаги;
- кабельная трасса не должна проходить в непосредственной близости от горючих материалов.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Практический метод определения наименьшего допустимого сечения проводов в цепи

Изучение кабельной сети проводится в соответствии с международным стандартом МЭК 60364-5-52 (ГОСТ Р 50571.5.52-2011) «Электрические установки зданий. Часть 5-52: Выбор и монтаж электрооборудования. Система электропроводки».

В этом разделе рассматриваются требования данного стандарта с указанием примеров наиболее распространенных способов монтажа. Значения пропускной способности по току проводов для всех различных вариантов монтажа указаны в приложении А к стандарту. Упрощенный метод использования данных таблиц приложения А приводится в информативном приложении В к стандарту.

2.1 Общие принципы прокладки кабелей

Возможные способы монтажа, используемые для различных типов проводов или кабелей

Различные допустимые способы монтажа приведены на **рис. G8**, с указанием типов проводов и кабелей.

Провода и кабели		Способ монтажа							
		Без фиксации	С непосредственным креплением	В трубах	В кабельных коробах (включая короба-плинтусы и короба в полу)	Специальные кабельные короба	На лотках, лестничных лотках, кронштейнах	На изоляторах	На тросе
Голые провода		–	–	–	–	–	–	+	–
Изолированные провода(2)		–	–	+	+(1)	+	–	+	–
Кабели в оболочке (включ. бронированные и в минеральной изоляции)	Многожильные	+	+	+	+	+	+	0	–
	Одножильные	0	+	+	+	+	+	0	+

«+» – рекомендуется;

«-» – не допускается;

0 – допускается.

(1) Изолированные провода допускаются к применению, если кабельные короба обеспечивают по крайней мере степень защиты IP4X или IPXXD, и если оболочка может быть удалена посредством инструмента или намеренных действий.

(2) Для изолированных проводов, которые используются как защитные проводники или защитные проводники уравнивания потенциалов, может использоваться любой соответствующий метод монтажа, и они необязательно должны быть проложены в трубах, кабельных коробах или специальных кабельных коробах.

Рис. G8. Способы прокладки проводов и кабелей (таблица А.52.1 стандарта МЭК 60364-5-52, ГОСТ Р 50571.5.52-2011)

Возможные способы монтажа для различных вариантов применения

Различные способы монтажа электропроводки могут использоваться для различных вариантов применения. На **рис. G9** показаны возможные комбинации.

Номер, указанный в таблице, обозначает различные рассматриваемые системы электропроводки (см. также **рис. G10**).

Месторасположение		Метод монтажа							
		Без фиксации	С непосредственным креплением	В трубах	В кабельных коробах (включая короба-плинтусы и короба в полу)	В спец. кабельных коробах	На лотках, лестничных лотках, кронштейнах	На изоляторах	На тросе
Строительные пустоты	Доступный	40	33	41, 42	6, 7, 8, 9,12	43, 44	30, 31, 32, 33, 34	–	0
	Недоступный	40	0	41, 42	0	43	0	0	0
В кабельных и специальных кабельных коробах		56	56	54, 55			30, 31, 32, 34	–	–
В земле		72, 73	0	70, 71	70, 71	70, 71	0	–	–
Замоноличенно		57, 58	3	1, 2, 59, 60	50, 51, 52, 53	46, 45	0	–	–
По поверхности		–	20, 21, 22, 23, 33	4, 5	6, 7, 8, 9, 12	6, 7, 8, 9	30, 31, 32, 34	36	–
В воздухе		–	33	0	10, 11	10,11	30, 31, 32, 34	36	35
Рамы окон		16	0	16	0	0	0	–	–
В балках		15	0	15	0	0	0	–	–
В воде		+	+	+	–	+	0	–	–

«-» – не разрешенный.

«0» – не применимый или обычно не используемый.

«+» – в соответствии с инструкциями производителя.

Примечание: количество в каждом полу, например 40, 46, соответствует способу монтажа по таблице А.52.3.

Рис. G9. Монтаж электропроводки (таблица А.52.2 стандарта МЭК 60364-5-52, ГОСТ Р 50571.5.52-2011)

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Практический метод определения наименьшего допустимого сечения проводов в цепи

Примеры систем электропроводки и соответствующих способов монтажа

На **рис. G10** показаны некоторые из вариантов прокладки и монтажа электропроводки.

Определяются некоторые основные способы монтажа (обозначены буквенным кодом от A до G), объединенные в группы с одинаковыми характеристиками в отношении пропускной способности по току системы электропроводки.

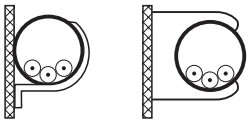
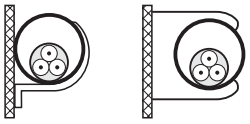
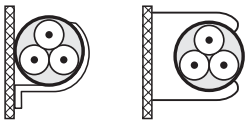
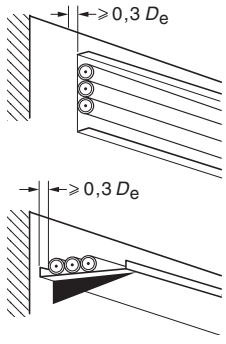
Номер варианта	Способ монтажа	Описание	Способ монтажа, применяемый для обеспечения пропускной способности по току
1		Изолированные провода или одножильные кабели в кабельном канале в стене с термоизоляцией	A1
2		Многожильные кабели в кабельном канале в стене с термоизоляцией	A2
4		Изолированные провода или одножильные кабели в трубе на деревянной стене, на каменной стене или проложенные на расстоянии от стены, меньшем 0,3 диаметра трубы	B1
5		Многожильный кабель в трубе на деревянной стене, на каменной стене или проложенный на расстоянии от стены, меньшем 0,3 диаметра кабельного канала	B2
20		Одножильные или многожильные кабели: - прикрепленные к стене или проложенные на расстоянии от деревянной стены, меньшем 0,3 диаметра кабеля	C
30		Кабели в неперфорированном кабельном лотке	C

Рис. G10. Примеры способов монтажа с указаниями по определению допустимых токовых нагрузок (таблица A.52.3 стандарта МЭК 60364-5-52, ГОСТ Р 50571.5.52-2011)

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Практический метод определения наименьшего допустимого сечения проводов в цепи

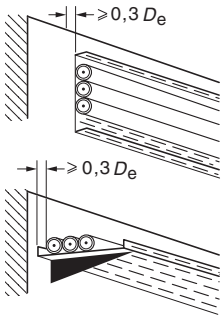
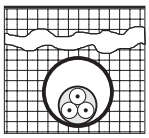
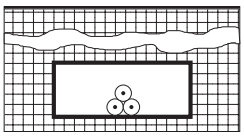
Номер варианта	Способ монтажа	Описание	Способ монтажа, применяемый для обеспечения пропускной способности по току
31		Кабели в перфорированном кабельном лотке	E или F
36		Неизолированные или изолированные провода на изоляторах	G
70		Многожильные кабели в кабельном канале или в трубах, уложенных в земле	D1
71		Одножильные кабели в кабельном канале или в трубах, уложенных в земле	D1

Рис. G10. Примеры способов монтажа с указаниями по определению допустимых токовых нагрузок (таблица A.52.3 стандарта МЭК 60364-5-52)

Максимальная рабочая температура

Значения предельной пропускной способности по току, указанные в последующих таблицах, определены с таким расчетом, чтобы максимальная температура изоляции не превышалась в течение длительного периода времени.

На **рис. G11** указаны значения максимальной допустимой температуры для различных типов изоляционных материалов.

Тип изоляции	Макс. температура, °C
Поливинилхлорид – ПВХ (PVC)	70 проводника
Сшитый полиэтилен (ПЭ-С, XLPE) и этиленпропиленовый каучук (СКЭП, EPR)	90 проводника
Минеральная – ПВХ (PVC) с покрытием или без покрытия открытого доступа)	70 оболочки
Минеральная (голая, не доступная прикосновению и не в контакте с горючими веществами)	105 оболочки

Рис. G11. Значения максимальной рабочей температуры для различных типов изоляции (таблица 52.1 стандарта МЭК 60364-5-52, ГОСТ Р 50571.5.52-2011)

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Практический метод определения наименьшего допустимого сечения проводов в цепи

Поправочные коэффициенты

Для учета условий окружающей среды или особых условий при прокладке кабелей и проводов, используются поправочные коэффициенты.
Площадь поперечного сечения кабелей определяется с использованием номинального значения тока нагрузки Iz, умноженного на различные поправочные коэффициенты k_1, k_2 и т.д.:
$I'_Z = I_Z \cdot k_1 \cdot k_2 \ldots$
где:
I_Z = номинальное значение тока нагрузки кабеля при эталонном способе монтажа
I'_Z = откорректированное значение токовой нагрузки кабеля при реальных условиях монтажа
k_1, k_2 ... = поправочные коэффициенты, их описание подробно представлено в следующих пунктах

Затем выбирается такая площадь поперечного сечения кабелей, чтобы их откорректированная токовая нагрузка I'_Z превышала номинальный ток нагрузки I_Z: $I_Z \leq I'_Z$.

■ Температура окружающей среды

Расчет пропускной способности по току кабелей, проложенных в воздухе, основывается на использовании среднего значения температуры воздуха, равного 30 °C. Для других значений температуры применяются поправочные коэффициенты, указанные на **рис. G12** для изоляции из ПВХ (PVC), этилен-пропиленового каучука (СКЭП, EPR) и сшитого полиэтилена (ПЭ-С, XLPE).

Ниже даны значения поправочного коэффициента k_1.

Температура окружающей среды, °C	Изоляция	
	ПВХ	ПЭ-С или СКЭП
10	1,22	1,15
15	1,17	1,12
20	1,12	1,08
25	1,06	1,04
30	1	1
35	0,94	0,96
40	0,87	0,91
45	0,79	0,87
50	0,71	0,82
55	0,61	0,76
60	0,50	0,71
65	-	0,65
70	-	0,58
75	-	0,50
80	-	0,41

Рис. G12. Поправочные коэффициенты для температуры воздуха, отличной от 30 °C, используемые для расчета пропускной способности по току кабелей в воздухе (таблица B.52.14 стандарта МЭК 60364-5-52, ГОСТ Р 50571.5.52-2011)

Токонесущая способность кабелей, проложенных в земле, основана на средней температуре земли, равной 20 °C. Поправочный коэффициент для других температур и различных изоляционных материалов (ПВХ, СКЭП и ПЭ-С) приведен на **рис. G13**.

Ниже даны значения поправочного коэффициента k_2.

Температура грунта, °C	Изоляция	
	ПВХ	ПЭ-С или СКЭП
10	1,10	1,07
15	1,05	1,04
20	1	1
25	0,95	0,96
30	0,89	0,93
35	0,84	0,89
40	0,77	0,85
45	0,71	0,80
50	0,63	0,76
55	0,55	0,71
60	0,45	0,65
65	-	0,60
70	-	0,53
75	-	0,46
80	-	0,38

Рис. G13. Поправочные коэффициенты для температуры почвы, отличной от 20 °C, используемые для расчета пропускной способности по току кабелей, проложенных в каналах в земле (таблица B.52.15 согласно стандарту МЭК 60364-5-52, ГОСТ Р 50571.5.52-2011)

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Практический метод определения наименьшего допустимого сечения проводов в цепи

■ Термическое удельное сопротивление почвы

Расчет пропускной способности по току кабелей, проложенных в земле, основывается на использовании удельного сопротивления почвы, равного 2,5 К·м/Вт. Для других значений используются поправочные коэффициенты, указанные на **рис. G14**.

Ниже даны значения поправочного коэффициента k3.

Тепловое удельное сопротивление, К · м/Вт	0,5	0,7	1	1,5	2	2,5	3
Поправочный коэффициент для кабелей в трубах	1,28	1,20	1,18	1,1	1,05	1	0,96
Поправочный коэффициент для кабелей, проложенных непосредственно в земле	1,88	1,62	1,5	1,28	1,12	1	0,90

Примечания

1 Поправочные коэффициенты приведены как усредненная величина для всех типоразмеров кабелей и способов прокладки. Погрешность поправочных коэффициентов в пределах ± 5%.

2 Поправочные коэффициенты приведены для кабелей, проложенных в заглубленных каналах; для кабелей, проложенных непосредственно в земле, поправочные коэффициенты для тепловых удельных сопротивлений менее 2,5 к · м / Вт будут выше. Более точные значения могут быть рассчитаны с помощью методов, приведенных в МЭК 60287 (ГОСТ Р МЭК 60287-1-1:2009).

3 Поправочные коэффициенты даны для глубины прокладки до 0,8 м.

4 Предполагается, что свойства почвы универсальны. Никакой допуск не был сделан для возможности изменения влажности, которая может привести к увеличению теплового удельного сопротивления вокруг кабеля. Если возможно частичное высыхание почвы, то допустимые нагрузки должны определяться по МЭК 60287 (ГОСТ Р МЭК 60287-1-1:2009).

Рис. G14. Поправочные коэффициенты для кабелей, проложенных в каналах в земле, при термическом удельном сопротивлении почвы, отличным от 2,5 К·м/Вт, используемые для расчета пропускной способности по току с помощью эталонного метода D (таблица B.52.16 согласно стандарту МЭК 60364-5-52, ГОСТ Р 50571.5.52-2011)

Тип почвы	k3
Очень сырая почва (насыщенная)	1,21
Сырая почва	1,13
Влажная почва	1,05
Сухая почва	1,00
Очень сухая почва (выжженная солнцем)	0,86

Рис. G15. Поправочные коэффициенты k3 в зависимости от типа почвы

Опыт показывает, что существует взаимосвязь показателя удельного сопротивления и типа почвы. Поэтому на **рис. G15** указаны эмпирические значения поправочного коэффициента k3 в зависимости от типа почвы.

■ Учет взаимного нагрева проводов или кабелей

Значения пропускной способности по току, указанные в таблицах ниже, относятся к одноконтурным схемам, состоящим из следующего количества проводов нагрузки:

- два изолированных провода или два одножильных кабеля, или один двухжильный кабель (применяется в однофазных цепях);
- три изолированных провода или три одножильных кабеля, или один трехжильный кабель (применяется в трехфазных цепях).

Когда при прокладке в группу объединяется большее количество изолированных проводов или кабелей, используется коэффициент снижения (в таблице ниже k4).

На **рис. G16 – G18** даны значения коэффициентов для различных вариантов прокладки кабелей (с указанием способов монтажа, условий прокладки – по воздуху или в земле).

На **рис. G16** представлены значения поправочного коэффициента k4 для различных вариантов открытой прокладки кабелей или проводов, составляющих более чем одну цепь или больше одного многожильного кабеля.

Расположение кабелей в непосредственной близости	Количество цепей или многожильных кабелей												Методы монтажа
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20	
Кабельный пучок воздушной прокладки, прилож. по поверхности, утопленная или скрытая прокладка	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,45	0,41	0,38	Методы A-F
Один слой на стене, на полу или в неперфорированных кабел. лотках	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	Отсутствие коэффициента уменьшения для групп, состоящих более чем из девяти цепей или многожильных кабелей			Метод C
Один слой, закрепленный непосредственно под деревянным потолком	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61				
Один слой в перфорированных горизонтальных или вертикальных кабельных лотках	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72				Методы E-F
Один слой на кабельных лестницах, кронштейнах, в зажимах и т.д.	1,00	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78				

Рис. G16. Коэффициенты снижения для групп, состоящих более чем из одной цепи или одного многожильного кабеля (таблица B.52.17 стандарта МЭК 60364-5-52, ГОСТ Р 50571.5.52-2011)

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Практический метод определения наименьшего допустимого сечения проводов в цепи

На **рис. G17** представлены значения поправочного коэффициента k4 для различных вариантов прокладки кабелей или проводов в воздухе и для групп, составляющих более чем одну цепь одножильных кабелей.

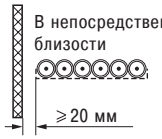
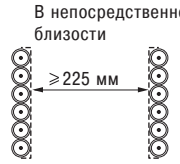
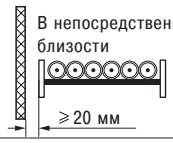
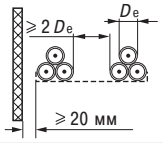
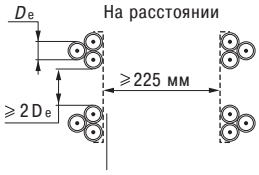
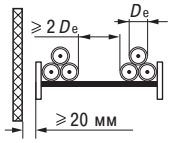
Способ монтажа			Количество лотков	Количество трехфазных цепей			Используется как множитель номинального значения для следующих вариантов прокладки
				1	2	3	
В перфорированных лотках	31		1 2 3	0,98 0,96 0,95	0,91 0,87 0,85	0,87 0,81 0,78	Три кабеля, расположенные горизонтально
В вертикальных перфорированных лотках	31		1 2	0,96 0,95	0,86 0,84		Три кабеля, расположенные вертикально
На кабельных держателях и кронштейнах	32 33 34		1 2 3	1,00 0,98 0,97	0,97 0,93 0,90	0,96 0,89 0,86	Три кабеля, расположенные горизонтально
В перфорированных лотках	31		1 2 3	1,00 0,97 0,96	0,98 0,93 0,92	0,96 0,89 0,86	Три кабеля, расположенные в виде треугольника (клина)
В вертикальных перфорированных лотках	31		1 2	1,00 1,00	0,91 0,90	0,89 0,86	
На кабельных держателях и кронштейнах	32 33 34		1 2 3	1,00 0,97 0,96	1,00 0,95 0,94	1,00 0,93 0,90	

Рис. G17. Коэффициенты снижения для групп, состоящих более чем из одной цепи одножильных кабелей, используемые как нормированные значения для одной цепи одножильных кабелей, проложенных по воздуху, способ монтажа F (таблица B.52.21 стандарта МЭК 60364-5-52, ГОСТ Р 50571.5.52-2011)

© Schneider Electric – все права защищены

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Практический метод определения наименьшего допустимого сечения проводов в цепи

На **рис. G18** представлены значения поправочного коэффициента k4 для различных вариантов расположения кабелей или проводов, проложенных непосредственно в земле.

Кол-во кабелей	Расстояние между кабелями[a]				
	Ноль (кабели касаются)	Один диаметр кабеля	0,125 м	0,25 м	0,5 м
2	0,75	0,80	0,85	0,90	0,90
3	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85
4	0,60	0,60	0,70	0,75	0,80
5	0,55	0,55	0,65	0,70	0,80
6	0,50	0,55	0,60	0,70	0,80
7	0,45	0,51	0,59	0,67	0,76
8	0,43	0,48	0,57	0,65	0,75
9	0,41	0,46	0,55	0,63	0,74
12	0,36	0,42	0,51	0,59	0,71
16	0,32	0,38	0,47	0,56	0,38
20	0,29	0,35	0,44	0,53	0,66

(a) Многожильные кабели.

(a) Одножильные кабели.

Рис. G18. Коэффициенты снижения для более чем одной цепи, одножильных или многожильных кабелей, проложенных непосредственно в земле. Метод монтажа D (таблица B.52.18 стандарта МЭК 60364-5-52, ГОСТ Р 50571.5.52-2011)

■ Учет тока третьей гармонической составляющей

Расчет пропускной способности по току трехфазных 4- или 5-жильных кабелей основан на принятии условия, что только 3 провода имеют полную нагрузку.

Тем не менее, при циркуляции токов гармоник в нейтрали может возникать значительный ток, который может быть даже больше значений фазных токов. Это обусловлено тем, что токи 3-й гармоники в трех фазах не подавляют друг друга, а суммируются в нейтральном проводнике.

Это, разумеется, влияет на пропускную способность по току кабеля, в связи с чем необходимо использовать поправочный коэффициент k5, значения которого указаны ниже.

Кроме того, если ток 3-й гармоники больше 33% по отношению к номинальному току, то ток в нейтрали будет превышать значение фазного тока, и размер кабеля должен выбираться на основе значения тока в нейтрали. Также следует учитывать тепловое действие гармонических токов в фазных проводах.

На **рис. G19** представлены значения коэффициента k5 в зависимости от содержания 3-й гармоники.

Содержание третьей гармоники, %	Значения поправочного коэффициента	
	Выбор сечения по току в линейном проводнике	Выбор сечения по току в нейтральном проводнике
0-15	1,0	
15-33	0,86	
33-45		0,86
> 45		1,0 (1)

(1) Если ток в нейтральном проводнике больше, чем 135% фазного тока, и размер кабеля выбирается по нейтральному проводнику, то три фазных проводника не могут быть полностью загружены. Уменьшение тепловыделения фазными проводниками компенсирует тепловыделение нейтрального проводника в такой мере, что нет необходимости применять другие поправочные коэффициенты в отношении трех рабочих проводников.

Рис. G19. Поправочные коэффициенты для токов гармонической составляющей в четырех- и пятижильных кабелях (таблица E.52.1 стандарта МЭК 60364-5-52, ГОСТ Р 50571.5.52-2011)

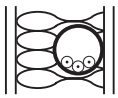
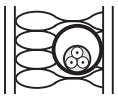
© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Практический метод определения наименьшего допустимого сечения проводов в цепи

Допустимый ток в зависимости от номинального значения площади поперечного сечения проводов

В стандарте МЭК 60364-5-52 (ГОСТ Р 50571.5.52-2011) содержится обширная информация, составленная в виде таблиц, с указанием значений допустимого тока в зависимости от сечения жил кабелей. При этом учитываются многие параметры, например, способ монтажа, тип материала изоляции, количество проводов под нагрузкой.

В качестве примера на **рис. G20** даны значения пропускной способности по току для различных способов монтажа, для ПВХ-изоляции, для трех медных или алюминиевых проводов, проложенных по воздуху или в земле.

Площадь поперечного сечения проводника, мм^2	Способы монтажа (таблица B.52.1)						
	A1	A2	B1	B2	C	D1	D2
							
1	2	3	4	5	6	7	8
Медь							
1,5	13,5	13	15,5	15	17,5	18	19
2,5	18	17,5	21	20	24	24	24
4	24	23	28	27	32	30	33
6	31	29	36	34	41	38	41
10	42	39	50	46	57	50	54
16	56	52	68	62	76	64	70
25	73	68	89	80	96	82	92
35	89	83	110	99	119	98	110
50	108	99	134	118	144	116	130
70	136	125	171	149	184	143	162
95	164	150	207	179	223	169	193
120	188	172	239	206	259	192	220
150	216	196	262	225	299	217	246
185	245	223	296	255	341	243	278
240	286	261	346	297	403	280	320
300	328	298	394	339	464	316	359
Алюминий							
2,5	14	13,5	16,5	15,5	18,5	18,5	
4	18,5	17,5	22	21	25	24	
6	24	23	28	27	32	30	
10	32	31	39	36	44	39	
16	43	41	53	48	59	50	53
25	57	53	70	62	73	64	69
35	70	65	86	77	90	77	83
50	84	78	104	92	110	91	99
70	107	98	133	116	140	112	122
95	129	118	161	139	170	132	148
120	149	135	186	160	197	150	169
150	170	155	204	176	227	169	189
185	194	176	230	199	259	190	214
240	227	207	269	232	305	218	250
300	261	237	306	265	351	247	282

Примечание: в графах 3, 5, 6, 7 и 8 круглые проводники принимаются для размеров до 16 мм^2 включительно. Значения для больших размеров касаются формированных проводников и могут быть применены к круглым проводникам.

Рис. G20. Значения пропускной способности по току в амперах для различных методов монтажа, ПВХ-изоляции, для трех медных или алюминиевых проводов, при температуре проводов 70 °C, температуре окружающей среды – 30 °C (при прокладке по воздуху), 20 °C (при прокладке в земле) (таблица B.52.4 стандарта МЭК 60364-5-52, ГОСТ Р 50571.5.52-2011)

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Практический метод определения наименьшего допустимого сечения проводов в цепи

2.2 Рекомендуемый упрощенный метод определения сечения кабелей

Для облегчения выбора сечения кабелей предлагаются две упрощенные таблицы для кабелей закрытой и открытой прокладки.
В данных таблицах представлены наиболее распространенные варианты конфигурации, что позволяет облегчить доступ к информации.

■ Кабели открытой прокладки:

Соответствующие методы	**Количество нагруженных проводов и тип изоляции**											
A1		2 ПВХ	3 ПВХ		3 ПЭ-С	2 ПЭ-С						
A2	3 ПВХ	2 ПВХ		3 ПЭ-С	2 ПЭ-С							
B1				3 ПВХ	2 ПВХ		3 ПЭ-С		2 ПЭ-С			
B2			3 ПВХ	2 ПВХ		3 ПЭ-С	2 ПЭ-С					
C					3 ПВХ		2 ПВХ	3 ПЭ-С		2 ПЭ-С		
E						3 ПВХ		2 ПВХ	3 ПЭ-С		2 ПЭ-С	
F							3 ПВХ		2 ПВХ	3 ПЭ-С		2 ПЭ-С
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**
Сечение (мм²) Медь												
1,5	13	13,5	14,5	15,5	17	18,5	13,5	22	23	24	26	-
2,5	17,5	18	19,5	21	23	25	27	30	31	33	36	-
4	23	24	26	28	31	34	36	40	42	45	49	-
6	29	31	34	36	40	43	46	51	54	58	63	-
10	39	42	46	50	54	60	63	70	75	80	86	-
16	52	56	61	68	73	80	85	94	100	107	115	-
25	68	73	80	89	95	101	110	119	127	135	149	161
35	-	-	-	110	117	126	137	147	158	169	185	200
50	-	-	-	134	141	153	167	179	192	207	225	242
70	-	-	-	171	179	196	213	229	246	268	289	310
35	-	-	-	207	216	238	258	278	298	328	352	377
120	-	-	-	239	249	276	299	322	346	382	410	437
150	-	-	-	-	285	318	344	371	395	441	473	504
185	-	-	-	-	324	362	392	424	450	506	542	575
240	-	-	-	-	380	424	461	500	538	599	641	679
Алюминий												
2,5	13,5	14	15	16,5	18,5	19,5	21	23	24	26	28	-
4	17,5	18,5	20	22	25	26	28	31	32	35	38	-
6	23	24	26	28	32	33	36	39	42	45	49	-
10	31	32	36	39	44	46	49	54	58	62	67	-
16	41	43	48	53	58	61	66	73	77	84	91	-
25	53	57	63	70	73	78	83	90	97	101	108	121
35	-	-	-	86	90	96	103	112	120	126	135	150
50	-	-	-	104	110	117	125	136	146	154	164	184
70	-	-	-	133	140	150	160	174	187	198	211	237
35	-	-	-	161	170	183	195	211	227	241	257	289
120	-	-	-	186	197	212	226	245	263	280	300	337
150	-	-	-	-	226	245	261	283	304	324	346	389
185	-	-	-	-	256	280	298	323	347	371	397	447
240	-	-	-	-	300	330	352	382	409	439	470	530

Рис. G21a. Значения пропускной способности по току в амперах (таблица C.52.1 стандарта МЭК 60364-5-52, ГОСТ Р 50571.5.52-2011)

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Практический метод определения наименьшего допустимого сечения проводов в цепи

На **рис. G21b** даны поправочные коэффициенты для групп из нескольких цепей или многожильных кабелей:

Расположение цепей или кабелей	Количество цепей или многожильных кабелей								
	1	2	3	4	6	9	12	16	20
Утопленные или скрытые	1,00	0,80	0,70	0,70	0,55	0,50	0,45	0,40	0,40
Один слой на стене, на полу или в неперфорированных лотках	1,00	0,85	0,80	0,75	0,70	0,70	-	-	-
Один слой, закрепленный непосредственно под потолком	0,95	0,80	0,70	0,70	0,65	0,60	-	-	-
Один слой в перфорированных горизонтальных или вертикальных лотках		1,00	0,90	0,80	0,75	0,75	0,70	-	- -
Один слой на кабельных держателях, кронштейнах и т.д.	1,00	0,85	0,80	0,80	0,80	0,80	-	-	-

Рис. G21b. Коэффициенты снижения для групп из нескольких цепей или многожильных кабелей (таблица C.52.3 стандарта МЭК 60364-5-52, ГОСТ Р 50571.5.52-2011)

■ Кабели закрытой прокладки:

Метод монтажа	Размер, мм²	Количество жил и тип изоляции			
		Два ПВХ	Три ПВХ	Два ПЭ-С	Три ПЭ-С
D1/D2	**Медь**				
	1,5	22	18	26	22
	2,5	29	24	34	29
	4	38	31	44	37
	6	47	39	56	46
	10	63	52	73	61
	16	81	67	95	79
	25	104	86	121	101
	35	125	103	146	122
	50	148	122	173	144
	70	183	151	213	178
	95	216	179	252	211
	120	246	203	287	240
	150	278	230	324	271
	185	312	258	363	304
	240	361	297	419	351
	300	408	336	474	396
D1/D2	**Алюминий**				
	2,5	22	18,5	26	22
	4	29	24	34	29
	6	36	30	42	36
	10	48	40	56	47
	16	62	52	73	61
	25	80	66	93	78
	35	96	80	112	94
	50	113	94	132	112
	70	140	117	163	138
	95	166	138	193	164
	120	189	157	220	186
	150	213	178	249	210
	185	240	200	279	236
	240	277	230	322	272
	300	313	260	364	308

Рис. G22. Значения пропускной способности по току в амперах (таблица B.52-1 стандарта МЭК 60364-5-52, ГОСТ Р 50571.5.52-2011)

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Практический метод определения наименьшего допустимого сечения проводов в цепи

2.3 Определение размеров системы сборных шин (шинопроводов)

Выбор шинопроводов несложен и основан на данных, предоставленных изготовителем. Методы монтажа, выбор изоляционных материалов и поправочные коэффициенты для групп цепей не являются при этом определяющими параметрами.

Площадь поперечного сечения для любой модели определяется изготовителем на основе следующих параметров:

- Номинальный ток.
- Температура окружающего воздуха 35 °C.
- 3 нагруженные шины.

Номинальный ток

Номинальный ток рассчитывается с учетом следующих факторов:

- Схемы расположения (компоновка).
- Тока, потребляемого различными электроприёмниками, питаемыми от шинопровода.

Температура окружающего воздуха

При температурах выше 35 °C должен применяться поправочный коэффициент. Этот коэффициент, применяемый с учетом среды и высоких токов (до 4000 A), приводится на **рис. G23a**.

Температура, °C	35	40	45	50	55
Поправочный коэффициент	1	0,97	0,93	0,90	0,86

Рис. G23a. Поправочный коэффициент для температуры воздуха выше 35 °C

Ток в нейтрали

При наличии токов 3-й гармоники по нейтрали может проходить значительный ток. Поэтому, необходимо учитывать дополнительные потери мощности.
Рис. G23b показывает максимальные допустимые токи фазной и нейтральной шин в шинопроводах большой мощности в зависимости от уровня 3-й гармоники.

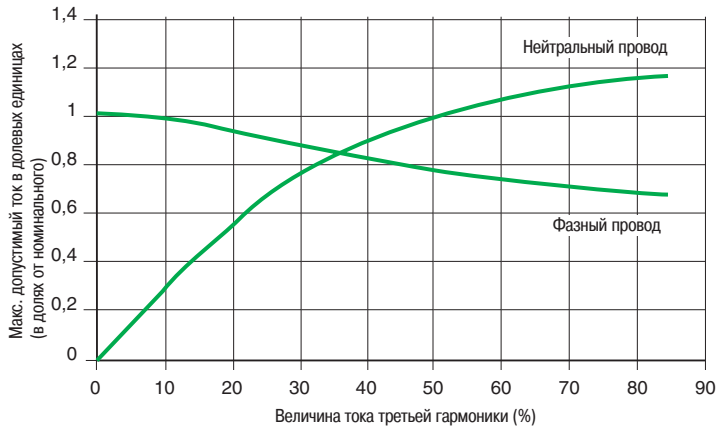


Рис. G23b. Максимальные допустимые токи (о.е.) в шинопроводе в зависимости от уровня 3-й гармоники

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Практический метод определения наименьшего допустимого сечения проводов в цепи

Компоновка шинопровода зависит от расположения электроприёмника (ЭП), местоположения источника питания и возможностей крепления шиноровода.

- Одна секция шинопровода обслуживает участок от 4 до 6 м.
- Устройства защиты ЭП размещаются в ответвительных коробках, располагающихся в точках подключения ЭП.
- Один шинопровод обслуживает все присоединенные ЭП разной мощности.

После определения компоновки шинопровода можно рассчитать потребляемый им ток I_n.

Ток I_n равен сумме токов, потребляемых ЭП I_n: $I_n = \Sigma I_B$.
Потребители тока не работают все одновременно и при полной нагрузке. Поэтому нужно использовать коэффициент одновременности k_S : $I_n = \Sigma (I_B . k_S)$.

Назначение	Количество ЭП	Коэффициент k_s
Освещение, отопление		1
Распределение (производственные цеха)	2...3	0,9
	4...5	0,8
	6...9	0,7
	10...40	0,6
	40 и более	0,5

Примечание: для промышленных установок необходимо учитывать возможность модернизации оборудования. Для распределительного устройства рекомендуется планировать запас: $I_n \leq I_B \times k_s \times 1,2$.

Рис. G24. Коэффициент одновременности в зависимости от количества потребителей тока

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Расчет потерь напряжения

Сопротивление проводов цепей низкое, но им нельзя пренебрегать. При передаче тока нагрузки происходит потеря напряжения между началом цепи и местом подключения нагрузки. Правильная работа ЭП (двигатель, цепь освещения и т.д.) зависит от того, что напряжение на его зажимах поддерживается на уровне, близком к номинальному значению. Таким образом, необходимо рассчитать провода цепи так, чтобы при токе полной нагрузки напряжение на зажимах ЭП оставалось в пределах, которые необходимо соблюдать для правильной работы оборудования.

В данном разделе рассматриваются методы определения потерь напряжения, с целью обеспечения:

- соответствия действующим стандартам и правилам;
- требований со стороны нагрузки;
- существенных требований к работе оборудования.

3.1 Максимальная потеря напряжения

Максимально допустимые пределы потерь напряжения различны в разных странах. Типовые значения для электроустановок низкого напряжении даны ниже на **рис. G25**.

Тип установки	Цепи освещения	Другие пользователи (обогрев и питание силовых потребителей)
Низковольтные установки, подключенные напрямую к распределительной сети низкого напряжения	3%	5%
Низковольтная установка, подключенная к частному источнику НН	6%	8%

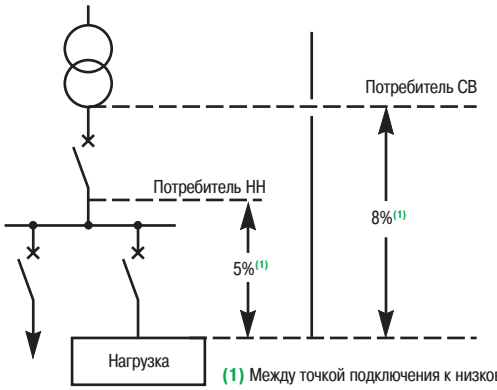
Рис. G25. Максимальное падение напряжения между точкой подключения установки к сети и точкой подключения нагрузки (МЭК 60364-5-52, таблица G.52.1)

Данные пределы потерь напряжения относятся к нормальному установившемуся рабочему режиму и не применяются к моментам запуска двигателей, одновременному включению (случайному) нескольких нагрузок, как это было описано в главе B, раздел 4.3 (коэффициент одновременности и т.д.). Если потеря напряжения превышает значения, данные на **рис. G26**, используйте провода с большим сечением, чтобы исправить эту ситуацию.
Если разрешить снижение напряжения на 8%, это может привести к проблемам в работе двигателей.

Обычно, для удовлетворительной работы двигателя необходимо, чтобы напряжение было в пределах плюс 5% от номинального значения в установившемся режиме работы.

- Пусковой ток двигателя может в 5 или 7 раз превышать значение тока полной нагрузки (или даже более).
- Если позволить напряжению упасть на 8% при полной нагрузке, то во время запуска двигателя может произойти снижение напряжения до 40%. При таких условиях двигатель:
  - не запустится (то есть, останется неподвижным из-за недостаточного вращающего момента, неспособного преодолеть момент нагрузки), что приведет к перегреву двигателя и к его отключению;
  - будет ускоряться очень медленно, так что высокое потребление тока нагрузкой (с возможными нежелательными воздействиями пониженного напряжения на другое оборудование) будет продолжаться дольше, чем нормальный период разгона двигателя.
- И наконец, снижение напряжения на 8% представляет собой постоянную потерю мощности, что при продолжительной нагрузке приведет к значительным потерям энергии. По этим причинам

рекомендуется, чтобы максимальное снижение напряжения на 8% в установившемся рабочем режиме не достигалось в цепях, чувствительных к понижению напряжения (см. **рис. G26**).



(1) Между точкой подключения к низковольтной сети и нагрузкой.

Рис. G26. Максимальное падение напряжения (кроме осветительных цепей)

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Расчет потерь напряжения

3.2 Расчет потери напряжения при постоянной нагрузке

Формулы

На **рис. G27** ниже даны формулы, обычно используемые для расчета потери напряжения в цепи на километр длины.

Если:

- $I_в$: ток полной нагрузки, в амперах
- L: длина кабеля, в километрах
- R: сопротивление кабеля, в Ом/км, то:

$R = \frac{23,7^{(1)}}{S}$ для меди

$R = \frac{37,6^{(1)}}{S}$ для алюминия,

где S – площадь поперечного сечения проводника (жилы кабеля) в мм^2.

Примечание: R можно пренебречь, если сечение проводника свыше 500 мм^2.

- X: индуктивное реактивное сопротивление кабеля в Ом/км.

Примечание: X можно пренебречь для проводов сечением меньше 50 мм^2. При отсутствии любой другой информации, примите X = 0,08 Ом/км.

- φ: фазовый угол между напряжением и током рассчитываемой цепи, обычно имеет следующие значения:
  - цепь освещения лампами накаливания: $\cos \varphi = 1$
  - цепь освещения светодиодными светильниками: $\cos \varphi > 0,9$
  - цепь освещения с люминесцентными лампами и электронным балластом: $\cos \varphi > 0,9$
  - питание электродвигателя:
    - при запуске: $\cos \varphi = 0,35$
    - в режиме нормальной работы: $\cos \varphi = 0,8$
- Un: напряжение между фазами;
- Vn: напряжение фаза-нейтраль.

Для кабелепроводов и шинопроводов заводского изготовления значения активного и реактивного сопротивлений даются производителем.

Цепь	Падение напряжения (ΔU)	
	В	%
Однофазная : фаза/фаза	$\Delta U = 2 I_b (R \cos \varphi + X \sin \varphi) L$	$\frac{100\ \Delta U}{Un}$
Однофазная : фаза/нейтраль	$\Delta U = 2 I_b (R \cos \varphi + X \sin \varphi) L$	$\frac{100\ \Delta U}{Vn}$
Сбалансированная трехфазная : 3 фазы (с нейтралью или без нее)	$\Delta U = \sqrt{3}\, I_b (R \cos \varphi + X \sin \varphi) L$	$\frac{100\ \Delta U}{Un}$

Рис. G27. Формулы расчета падения напряжения

Упрощенная таблица

Вычислений можно избежать, используя таблицу на **рис. G28** на следующей странице, которая дает, с достаточной точностью, значение потери межфазного напряжения на 1 км кабеля на 1 А, в зависимости от:

- типа цепи: цепь питания двигателя, где значение $\cos\varphi$ близко к 0,8, или цепь освещения, где $\cos\varphi$ близок к единице;
- типа кабеля: одножильный и трехжильный.

Потерю напряжения в кабеле можно вычислить, как:

K x Ib x L, где:

K – дано в таблице;

Ib – ток полной нагрузки в амперах;

L – длина кабеля в км.

Колонку «Питание двигателя», «cos φ = 0,35» на **рис. G28** можно использовать для вычисления потери напряжения во время запуска двигателя (см. пример 1, **рис. G28**).

(1) Величина ρ берется в соответствии со стандартами МЭК 60909-0 и Cenelec TR 50480, см. **рис. G35b**.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Расчет потерь напряжения

Медный кабель							Алюминиевый кабель						
Сечение, мм²	Однофазная цепь			Симметричная трехфазная цепь			Сечение, мм²	Однофазная цепь			Симметричная трехфазная цепь		
	Двигательная нагрузка		Осветительная нагрузка	Двигательная нагрузка		Осветительная нагрузка		Двигательная нагрузка		Осветительная нагрузка	Двигательная нагрузка		Осветительная нагрузка
	Норм. режим	Пусковой		Норм. режим	Пусковой			Норм. режим	Пусковой		Норм. режим	Пусковой	
	cos φ = 0,8	cos φ = 0,35	cos φ = 1	cos φ = 0,8	cos φ = 0,35	cos φ = 1		cos φ = 0,8	cos φ = 0,35	cos φ = 1	cos φ = 0,8	cos φ = 0,35	cos φ = 1
1.5	25,4	11,2	32	22	9,7	27							
2.5	15,3	6,8	19	13,2	5,9	16							
4	9,6	4,3	11,9	8,3	3,7	10,3	6	10,1	4,5	12,5	8,8	3,9	10,9
6	6,4	2,9	7,9	5,6	2,5	6,8	10	6,1	2,8	7,5	5,3	2,4	6,5
10	3,9	1,8	4,7	3,4	1,6	4,1	16	3,9	1,8	4,7	3,3	1,6	4,1
16	2,5	1,2	3	2,1	1	2,6	25	2,50	1,2	3	2,2	1	2,6
25	1,6	0,81	1,9	1,4	0,70	1,6	35	1,8	0,90	2,1	1,6	0,78	1,9
35	1,18	0,62	1,35	1	0,54	1,2	50	1,4	0,70	1,6	1,18	0,61	1,37
50	0,89	0,50	1,00	0,77	0,43	0,86	70	0,96	0,53	1,07	0,83	0,46	0,93
70	0,64	0,39	0,68	0,55	0,34	0,59	120	0,60	0,37	0,63	0,52	0,32	0,54
95	0,50	0,32	0,50	0,43	0,28	0,43	150	0,50	0,33	0,50	0,43	0,28	0,43
120	0,41	0,29	0,40	0,36	0,25	0,34	185	0,42	0,29	0,41	0,36	0,25	0,35
150	0,35	0,26	0,32	0,30	0,23	0,27	240	0,35	0,26	0,31	0,30	0,22	0,27
185	0,30	0,24	0,26	0,26	0,21	0,22	300	0,30	0,24	0,25	0,26	0,21	0,22
240	0,25	0,22	0,20	0,22	0,19	0,17	400	0,25	0,22	0,19	0,21	0,19	0,16
300	0,22	0,21	0,16	0,19	0,18	0,14	500	0,22	0,20	0,15	0,19	0,18	0,13

Рис. G28. Потери межфазного напряжения ΔU в цепи, в вольтах на 1 ампер на 1 км

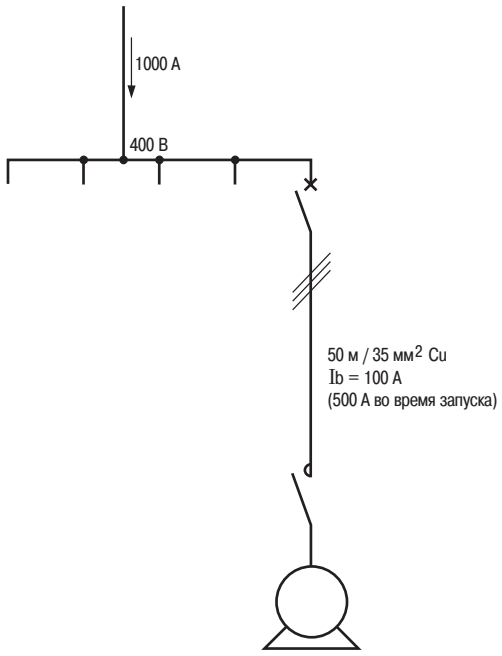


Рис. G29. Пример 1

Примеры

Пример 1 (см. **рис. G29**)

Трехжильный медный кабель сечением 35 мм² длиной 50 м подает питание к электродвигателю Uн = 400 В, потребляющему:

- 100 A при cos φ = 0,8 при нормальной постоянной нагрузке;
- 500 A (5 In) при cos φ = 0,35 во время запуска.

Отклонение напряжения в начале кабеля, подсоединяющего двигатель (то есть на распределительном щите (**рис. G30**), который распределяет ток в 1000 A), составляет – 10 В линейного напряжения.

Каково отклонение напряжения на зажимах двигателя:

- в рабочем режиме;
- во время запуска.

Решение:

- Отклонение напряжения на двигателе в рабочем режиме будет равно:

$$\Delta U\% = 100\frac{\Delta U}{Un}$$

В таблице **G28** дано соотношение 1 В/А/км, и согласно этому:

ΔU для кабеля = 1 x 100 x 0,05 = 5 В

ΔU общее = 10 + 5 = 15 В, то есть:

$$\frac{15}{400} \times 100 = 3{,}75\ \%$$

Это значение меньше, чем разрешенное (8%), и является приемлемым.

- Потеря напряжения в кабеле во время запуска двигателя:

ΔUкабеля = 0,54 x 500 x 0,05 = 13,5 В

Из-за дополнительного тока, потребляемого во время запуска двигателя, падение напряжения на распределительном щите превысит 10 Вт.

Предположим, что ток, подаваемый на распределительный щит во время запуска двигателя, равен 900 + 500 = 1400 A, тогда отклонение напряжения на распределительном щите пропорционально увеличится:

$$\frac{10 \times 1400}{1000} = 14\ \text{В}$$

ΔU для распределительного щита = 14 В

ΔU для кабеля двигателя = 13 В

ΔU общее = 13,5+14 = 27,5 В, то есть:

$$\frac{27{,}5}{400} \times 100 = 6{,}9\ \%$$

Отклонение напряжение в пределах 6,9% приемлемо во время запуска электродвигателя.

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Расчет потерь напряжения

Пример 2 (см. **рис. G30**)

Трехфазная четырехпроводная линия с медными проводниками сечением 70 мм^2 и длиной 50 м проводит ток 150 А. Линия питает, кроме прочих нагрузок, 3 однофазных цепи освещения, каждая из которых состоит из медного провода сечением 2,5 мм^2, длиной 20 м, и проводит ток 20 А.

Предполагается, что токи в кабельной линии сечением 70 мм^2 являются симметричными, и три цепи освещения подсоединены к линии в одной и той же точке.

Какова потеря напряжения от ТП до конечных точек цепей освещения?

Решение:

■ Потеря напряжения в четырехпроводной линии:

$$\Delta U\% = 100\frac{\Delta U}{Un}$$

На **рис. G28** показано значение 0,59 В/А/км

ΔUлинии = 0,59 x 150 x 0,05 = 4,4 В (линейное)

Фазная потеря напряжения: $\frac{4,4}{\sqrt{3}} = 2,54$ В между фазой и нейтралью.

■ Потеря напряжения в каждой из однофазных цепей освещения:

ΔU для однофазной цепи = 19 x 20 x 0,02 = 7,6 В.

Таким образом, общая потеря напряжения будет равна:

7,6 + 2,54 = 10,1 В

$$\frac{10,1\text{ В}}{230\text{ В}} \text{ x } 100 = 4,4\ \%$$

Это значение является удовлетворительным, так как оно меньше, чем максимальная допустимая потеря напряжения, составляющая 6%.

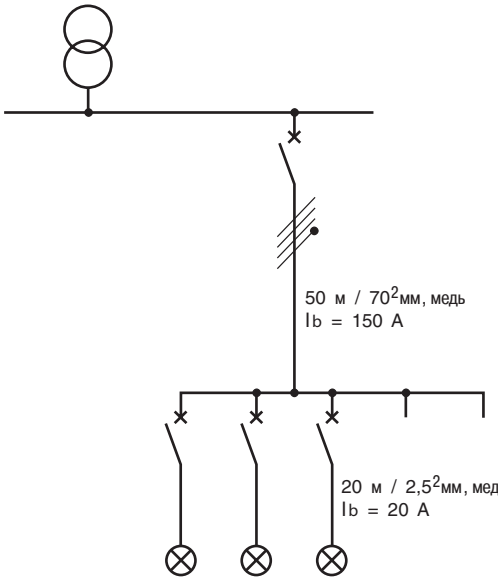


Рис. G30. Пример 2

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Ток короткого замыкания

Знание значений симметричных токов трехфазного короткого замыкания (Isc) в различных точках установки является необходимым для проектирования установки.

Знание величин симметричных токов трехфазного КЗ (Isc) в стратегических точках установки необходимо, чтобы выбрать параметры распределительного устройства (допустимый ток КЗ), кабелей (ток термической стойкости), защитных устройств (уставки селективной защиты) и т.д.
В следующих примерах будет рассмотрен трехфазный ток КЗ на землю (так называемое «металлическое» КЗ), протекающий через обычный понижающий распределительный трансформатор.
За исключением очень необычных обстоятельств, этот тип повреждения является наиболее серьезным и очень простым для вычисления.
Токи КЗ в цепи, питаемой от генератора переменного тока, а также в цепях постоянного тока, рассматривается в главе N.
Самые простые вычисления и практические правила, которым нужно следовать, дают результаты достаточной точности, которые в большинстве случаев подходят для целей расчета установки.

4.1 Ток короткого замыкания на выводах вторичной обмотки понижающего трансформатора

В случае одного трансформатора

■ В качестве первого приближения сопротивление высоковольтной цепи принимается пренебрежительно малым, поэтому:

$$Isc = \frac{In \times 100}{Usc}$$, где $$In = \frac{P \times 10^3}{U_{20}3}$$ и

P – номинальная мощность в кВА трансформатора;
U_{20} – межфазное напряжение холостого хода вторичной обмотки;
In – номинальный ток трансформатора;
Isc – ток короткого замыкания, А;
Usc – напряжение короткого замыкания трансформатора в %.
Типовые значения Usc для распределительных трансформаторов даны на **рис. G31**.

Номинальная мощность трансформатора (кВА)	Usc (%)	
	Масляный трансформатор	Сухой трансформатор с литой изоляцией
50-750	4	6
800-3200	6	6

Рис. G31. Типовые значения Usc для различных номиналов трансформаторов с напряжением высоковольтной обмотки ⩽ 20 кВ

■ **Пример**

Трансформатор 400 кВА, 420 В, при отсутствии нагрузки:
Usc = 4%

$$In = \frac{400 \times 10^3}{420 \times \sqrt{3}} = 550\ A\ ; \qquad Isc = \frac{550 \times 100}{4} = 13{,}7\ кА$$

Случай нескольких трансформаторов, работающих параллельно

Величину тока КЗ в начале линии, отходящей от сборных шин (см. **рис. G32**), можно оценить как сумму токов Isc, вычисленных отдельно для каждого трансформатора.

Предполагается, что все трансформаторы питаются от одной высоковольтной сети, в этом случае значения, полученные из **рис. G31**, при сложении дадут немного большее значение тока КЗ, чем то, которое будет на самом деле.

Другие факторы, которые не были приняты во внимание, это сопротивление сборных шин и автоматических выключателей.

Однако, полученное значение тока КЗ является достаточно точным для целей расчета электроустановки. Выбор автоматических выключателей и встроенных устройств, защищающих от тока КЗ, описан в главе H, подраздел 4.4.

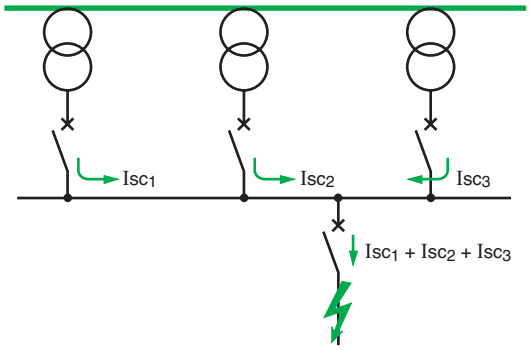


Рис. G32. Несколько трансформаторов, работающих параллельно

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Ток короткого замыкания

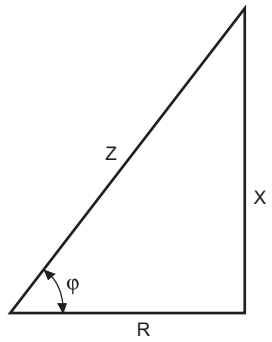


Рис. G33. Схема полного сопротивления

4.2 Ток трехфазного короткого замыкания (Isc) в любой точке установки низкого напряжения

В трехфазной установке ток Isc в любой точке рассчитывается как:

$$Isc = \frac{U_{20}}{\sqrt{3}\ Z_T}$$, где:

U_{20} – межфазное напряжение холостого хода вторичных обмоток питающего трансформатора(ов);

Z_T – полное сопротивление на фазу в цепи, расположенной выше от точки повреждения (Ом).

Метод вычисления Z_T

Каждый компонент установки (высоковольтная сеть, трансформатор, кабель, автоматический выключатель, сборные шины) характеризуется своим полным сопротивлением Z, которое состоит из активного сопротивления (R) и индуктивного реактивного сопротивления (X). Следует заметить, что емкостные сопротивления не важны при расчете тока КЗ.

Параметры R, X и Z выражаются в Омах и представлены сторонами прямоугольного треугольника, как показано на схеме полного сопротивления на **рис. G33**.

Метод состоит в разделении сети на удобные участки и вычислении значений R и X для каждого из них.

Когда участки соединяются в цепь последовательно, все элементы активного сопротивления в участках складываются арифметически, так же как и реактивные сопротивления, и дают значения R_T и X_T. Полное сопротивление (Z) для объединенных участков затем рассчитывается по формуле:

$$Z_T = \sqrt{R_T^2 + X_T^2}$$

Любые два участка сети, соединенные параллельно, можно, если они оба являются преимущественно резистивными (или индуктивными), объединить и получить одно эквивалентное сопротивление (или реактивное сопротивление), как показано ниже:

Пусть R1 и R2 – это два сопротивления, соединенные в параллель, тогда эквивалентное сопротивление R3 находится по формуле:

$$R3 = \frac{R1 \times R2}{R1 + R2}$$, для реактивного сопротивления: $$X3 = \frac{X1 \times X2}{X1 + X2}$$

Необходимо отметить, что вычисление X3 относится только к отдельной цепи, без влияния взаимной индуктивности. Если параллельные цепи расположены близко к друг другу, значение X3 будет заметно выше.

Определение полного сопротивления каждого компонента высоковольтной сети

■ **Сеть, к которой подключен ввод от понижающего трансформатора** (см. **рис. G34**)

Значение трехфазного тока КЗ (Isc) в кА или мощности (Psc) МВА[1] дается поставщиком энергии, отсюда можно вычислить эквивалентное полное сопротивление.

Psc	U_{20} (В)	Ra (мОм)	Xa (мОм)
250 МВА	420	0,07	0,7
500 МВА	420	0,035	0,351

Рис. G34. Полное сопротивление высоковольтной сети, приведенное к стороне НН понижающего трансформатора

Формула, которая позволяет вычислить это значение и одновременно приводит полное сопротивление к его эквиваленту на стороне низкого напряжения:

$$Za = \frac{U_{20}^2}{Psc}$$,

где:

Za – полное сопротивление высоковольтной сети, выраженное в миллиомах;

U_{20} – межфазное напряжение холостого хода низковольтной цепи, выраженное в вольтах;

Psc – мощность трехфазного КЗ, выраженная в кВА.

Сопротивление питающей высоковольтной сети Ra обычно мало по сравнению с соответствующим сопротивлением Xa, поэтому можно принять Xa равным Za. Если нужны более точные вычисления, можно принять, что Xa равно 0,995 Za, и Ra равно 0,1 Xa.

На **рис. G34** даны значения для Ra и Xa, соответствующие наиболее распространенным значениям мощностей КЗ для высокого напряжения[2] в распределительных сетях питания, а именно, 250 и 500 МВА.

(1) Мощность КЗ в МВА = EL x Isc, где:
■ E_L = межфазное номинальное напряжение сети, выраженное в кВ (среднее квадратичное значение);
■ Isc = ток трехфазного КЗ, выраженный в кА (среднее квадратичное значение) до 36 кВ

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Ток короткого замыкания

■ **Трансформаторы** (см. **рис. G35**)

Полное сопротивление Ztr трансформатора, со стороны низкого напряжения, находится по формуле:

$$Ztr = \frac{U_{20}^2}{Sn} \times \frac{Usc}{100} \text{ (мОм)},$$

где:

U_{20} – межфазное напряжение холостого хода вторичной обмотки, выраженное в вольтах;

Sn – номинальная мощность трансформатора, кВА;

Usc – напряжение короткого замыкания трансформатора, выраженное в%;

Сопротивление обмоток трансформатора Rtr можно определить из выражения общих потерь:

$$Pcu = 3In^2 \times Rtr, \text{ таким образом, } Rtr = \frac{Pcu \times 10^3}{3In^2} \text{ (мОм)},$$

где:

Pcu – номинальные потери КЗ трансформатора в ваттах;

In – номинальный ток полной нагрузки в амперах;

Rtr – сопротивление одной фазы трансформатора в миллиомах (в это значение включены низковольтная и соответствующая высоковольтная обмотки одной фазы).

$$Xtr = \sqrt{Ztr^2 - Rtr^2}$$

Примечание: для приближенного расчета, при отсутствии более точной информации о характеристиках трансформатора, стандарт Cenelec 50480 предлагает использовать следующие основные принципы:

■ если значение U_{20} не известно, его можно принять равным 1,05 Un;

■ при отсутствие более точной информации, могут быть использованы следующие значения: Rtr = 0,31 Ztr и Xtr = 0,95 Ztr

Пример: для трансформатора 630 кВА с USC = 4% / Un = 400 В, приблизительный расчет показывает:

■ U_{20} = 400 x 1,05 = 420 В

■ Ztr = 420^2 / 630 x 4% = 11 мОм

■ Rtr = 0.31 Ztr = 3,5 мОм и Xtr = 0,95 Ztr = 10,6 мОм

Номинальная мощность (кВА)	Масляный трансформатор				Сухой трансформатор с литой изоляцией			
	Usc (%)	Rtr (мОм)	Xtr (мОм)	Ztr (мОм)	Usc (%)	Rtr (мОм)	Xtr (мОм)	Ztr (мОм)
100	4	37,9	59,5	70,6	6	37,0	99,1	105,8
160	4	16,2	41,0	44,1	6	18,6	63,5	66,2
200	4	11,9	33,2	35,3	6	14,1	51,0	52,9
250	4	9,2	26,7	28,2	6	10,7	41,0	42,3
315	4	6,2	21,5	22,4	6	8,0	32,6	33,6
400	4	5,1	16,9	17,6	6	6,1	25,8	26,5
500	4	3,8	13,6	14,1	6	4,6	20,7	21,2
630	4	2,9	10,8	11,2	6	3,5	16,4	16,8
800	6	2,9	12,9	13,2	6	2,6	13,0	13,2
1,000	6	2,3	10,3	10,6	6	1,9	10,4	10,6
1,250	6	1,8	8,3	8,5	6	1,5	8,3	8,5
1,600	6	1,4	6,5	6,6	6	1,1	6,5	6,6
2,000	6	1,1	5,2	5,3	6	0,9	5,2	5,3

Рис. G35. Значения активного, реактивного и полного сопротивлений для типовых распределительных трансформаторов с напряжением высоковольтных обмоток ≤ 20 кВ, приведенные к 400 В

	20 °C	СКЭП (этиленпропиленовый каучук)/ПЭ-С (сшитый полиэтилен) 90 °C	PVC (ПВХ) 70 °C
Медь	18,51	23,69	22,21
Алюминий	29,41	37,65	35,29

Рис. G36. Значения ρ в зависимости от температуры, изоляции кабеля и материал сердечника кабеля, в соответствии со стандартами МЭК 60909-0 и Cenelec TR 50480 (в мОм·мм² / м)

■ **Шинопроводы**

Активное сопротивление сборных шин обычно ничтожно, и практически все полное сопротивление является реактивным и составляет приблизительно 0,15 мОм/м(1) длины низковольтных сборных шин (удвоение расстояния между шинами увеличивает реактивное сопротивление только примерно на 10%). На практике почти никогда не удается определить длину между точкой КЗ на шинопроводе и распределительным щитом.

■ **Провода цепи**

Сопротивление провода находится по формуле: $Rc = \rho \frac{L}{S}$,

где:

ρ – удельное сопротивление материала провода при нормальной рабочей температуре:

ρ учитывает следующее:

□ в холодном состоянии (20 °C), чтобы определить максимальный ток короткого замыкания;

□ в стационарном состоянии (нормальная рабочая температура) для определения минимального тока короткого замыкания.

L = длина проводника в м;

S = с.с.а. проводника в мм².

(1) Для системы с частотой 50 Гц, но 0,18 мОм/м при частоте 60 Гц.

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Ток короткого замыкания

Значения реактивного сопротивления кабелей можно получить у производителей. Для кабеля сечением менее 50 мм^2 значением реактивного сопротивления можно пренебречь. В отсутствие другой информации, можно использовать значение 0,08 мОм/м (для сетей с частотой 50 Гц) или 0,096 мОм/м (для сетей 60 Гц). В случае готовых шинопроводов и подобных кабелепроводов в сборке обратитесь за данными к производителю.

■ Двигатели

В момент короткого замыкания работающий двигатель будет действовать (в течение короткого времени) как генератор и подавать ток в место повреждения.

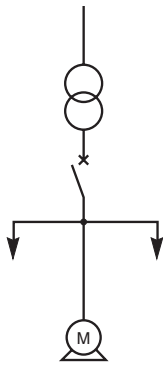
В общем случае, этим некоторым увеличением тока КЗ можно пренебречь. Однако, для более точных вычислений, обычно в случае больших двигателей и/или большого числа небольших, общее увеличение тока можно оценить из формулы:

Iscm = 3,5 In от каждого двигателя, то есть 3,5mIn для m похожих двигателей, работающих одновременно. Двигатели, принимаемые во внимание, должны быть только трехфазными. Вклад однофазных двигателей в увеличение тока является очень малым.

■ Сопротивление дуги в месте повреждения

Короткие замыкания обычно образуют дугу, которая имеет сопротивление. Сопротивление не является стабильным, и его среднее значение низкое, но при низком напряжении это сопротивление является достаточным, чтобы в некоторой степени снизить ток повреждения. Практика показывает, что можно ожидать снижение тока порядка 20%. Это явление эффективно облегчает работу автоматического выключателя по отключению цепи, но не оказывает никакого влияния на его ток включения.

■ Сводная таблица (см. рис. G37)

Части системы подачи питания	R (мОм)	X (мОм)
 Сеть питания **Рис. G34**	$\frac{Ra}{Xa} = 0.1$	$Xa = 0.995\ Za;\ Za = \frac{U_{20}{}^2}{Psc}$
Трансформатор **Рис. G35**	Rtr часто можно пренебречь в сравнении Xtr для трансформаторов > 100 кВА	$Xtr = \sqrt{Ztr^2 - Rtr^2}$ где $Ztr = \frac{U_{20}{}^2}{Sn} \times \frac{Usc}{100}$
Автоматический выключатель	Можно пренебречь	
Сборные шины	Можно пренебречь для S > 200 мм^2 в формуле: $R = \rho \frac{L}{S}$ (1)	Xb = 0,15 мОм/м
Провода цепи (2)	$R = \rho \frac{L}{S}$ (1)	Кабели: Xc = 0,08 мОм/м
Двигатели	См. подраздел 4.2 (часто можно пренебречь для низкого напряжения)	
Ток трехфазного КЗ в кА	$Isc = \frac{U_{20}}{\sqrt{3}\ \sqrt{Rт^2 + Xт^2}}$	

U_{20}: межфазное напряжение холостого хода вторичной обмотки понижающего трансформатора (В).
Psc: мощность трехфазного короткого замыкания на высоковольтных вводах понижающих трансформаторов (кВА).
Pcu: общие потери трехфазной мощности в понижающих трансформаторах (Вт).
Sn: номинальная мощность силовых трансформаторов (кВА).
Usc: напряжение короткого замыкания понижающего трансформатора (%).
Rт: общее активное сопротивление, Xт: общее реактивное сопротивление.

(1) ρ = удельное сопротивление при температуре 20 °C:

(2) Если имеются несколько проводов на фазу, подключенных параллельно, то разделите сопротивление одного провода на количество проводов. Значение реактивного сопротивления остается практически неизмененным.

Рис. G37. Сводная таблица полных сопротивлений для различных частей цепи КЗ

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Ток короткого замыкания

■ Пример вычисления тока КЗ (см. **рис. G38**)

Установка низкого напряжения	R (мОм)	X (мОм)	RT (мОм)	XT (мОм)	$Isc = \frac{420}{\sqrt{3}\sqrt{RT^2 + XT^2}}$
Сеть CH Psc = 500 MBA	0,035	0,351			
Трансформатор 20 кВ/420 В Pn = 1000 кВА Usc = 5% Pcu = 13.3 x 10^3 Ватт	2,35	8,5			
Одножильный кабель 5м Медь 4 x 240 мм²/фаза	$Rc = \frac{18.51}{4} x \frac{5}{240} = 0.10$	Xc = 0,08 x 5 = 0.40	2,48	9,25	Isc1 = 25 кА
Главный выключатель	Не рассматривается на практике				
Система сборных шин 10 м	Не рассматривается на практике				
Трехжильный кабель 100 м 95 мм², медь	$Rc = 18.51 x \frac{100}{95} = 19.5$	Xc = 100 x 0,08 = 8	22	17.3	Isc3 = 8,7 кА
Трехжильный кабель 20 м 10 мм², медь конец схемы	$Rc = 18.51 x \frac{20}{10} = 37$	Xc = 20 x 0,08 = 1.6	59	18.9	Isc4 = 3,9 кА

RT : полное активное сопротивление. XT: полное реактивное сопротивление. Isc : максимальный ток трех фазного КЗ.
Расчет выполняется с **рис. G37**.

Рис. G38. Пример вычисления тока КЗ для низковольтной установки, питаемой напряжением 400 В (номинальное значение) от понижающего трансформатора мощностью 1 000 кВА

4.3 Ток Isc в конце линии в зависимости от Isc в ее начале

Сеть, изображенная на **рис. G39**, показывает типовой случай для применения таблицы на **рис. G40** на следующей странице, которая составлена «методом композиции» (описан в главе F, подраздел 6.2). Такие таблицы позволяют быстро получить достаточно точное значение тока КЗ в точке сети, зная:

■ значение тока КЗ в точке, расположенной выше по сети от рассматриваемой точки;

■ длину и состав цепи между точкой, в которой известно значение тока КЗ, и точкой, в которой его нужно определить.

После этого достаточно выбрать автоматический выключатель, который имеет отключающую способность ближайшего большего значения по отношению к значению, указанному в таблице.

Если нужны более точные значения, то можно сделать подробный расчет (см. подраздел 4.2) или использовать программный пакет, например Ecodial. Более того, в таком случае рекомендуется рассмотреть возможность использования каскадной технологии, при которой установка токоограничивающего автоматического выключателя на верхнем уровне цепи позволит всем автоматическим выключателям, установленным ниже по цепи, иметь номинальный ток КЗ намного ниже, чем это было бы необходимо при других условиях (см. главу H, подраздел 4.5).

Описание метода

Выберите сечение провода в колонке для медных проводов (в данном примере сечение провода равно 50 мм²).

Выберите в строке, соответствующей сечению 50 мм², длину провода, равную длине рассчитываемой цепи (или ближайшую меньшую). Опуститесь вертикально по колонке, где указана эта длина и остановитесь на строке в средней секции (из трех секций, выделенных в таблице), которая соответствует известному току КЗ (или ближайшему к нему большему значению).

В данном случае значение 30 кА является ближайшим большим значением к 28 кА. Значение тока КЗ на приемном конце 20-метровой цепи дано на пересечении вертикальной колонки, в которой расположена длина, и горизонтальной строки, соответствующей току Isc в точке выше по цепи (или ближайшему большему значению).

В данном примере видно, что это значение равно 14,7 кА.

Процедура поиска для алюминиевых проводов похожа, но здесь нужно будет подняться по вертикальной колонке, чтобы оказаться в средней секции таблицы.

В результате, можно использовать автоматический выключатель, смонтированный на DIN-рейке, с номинальным током 63 А и Isc = 25 кА (например, выключатель NG 125N) для цепи с током 55 А, изображенной на **рис. G39**.

Выключатель ComPact с номинальным током 160 А и током Isc = 25 кА (например, выключатель NS160), можно использовать для защиты цепи на 160 А.

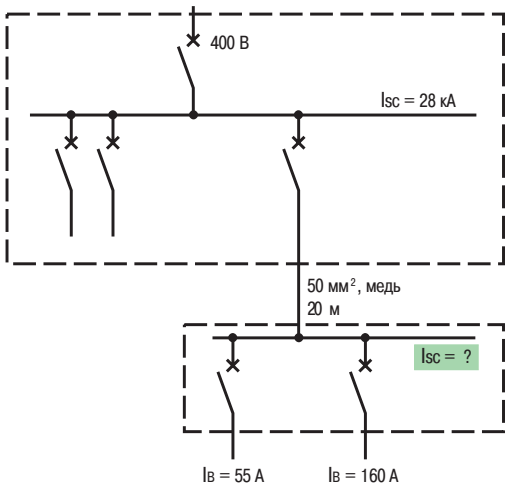


Рис. G39. Определение значения тока КЗ (Isc) на нижнем уровне, используя таблицу на **рис. G40**

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Ток короткого замыкания

Медь 230 В / 400 В **Сечение фазных проводников (мм²)**	**Длина цепи (м)**																					
1,5													1,3	1,8	2,6	3,6	5,2	7,3	10,3	14,6	21	
2,5												1,1	1,5	2,1	3,0	4,3	6,1	8,6	12,1	17,2	24	34
4											1,2	1,7	2,4	3,4	4,9	6,9	9,7	13,7	19,4	27	39	55
6										1,8	2,6	3,6	5,2	7,3	10,3	14,6	21	29	41	58	82	
10									2,2	3,0	4,3	6,1	8,6	12,2	17,2	24	34	49	69	97	137	
16								1,7	2,4	3,4	4,9	6,9	9,7	13,8	19,4	27	39	55	78	110	155	220
25						1,3	1,9	2,7	3,8	5,4	7,6	10,8	15,2	21	30	43	61	86	121	172	243	343
35						1,9	2,7	3,8	5,3	7,5	10,6	15,1	21	30	43	60	85	120	170	240	340	480
50 (1)					1,8	2,6	3,6	5,1	7,2	10,2	14,4	20	29	41	58	82	115	163	231	326	461	
70					2,7	3,8	5,3	7,5	10,7	15,1	21	30	43	60	85	120	170	240	340			
95				2,6	3,6	5,1	7,2	10,2	14,5	20	29	41	58	82	115	163	231	326	461			
120		1,6	2,3	3,2	4,6	6,5	9,1	12,9	18,3	26	37	52	73	103	146	206	291	412				
150	1,2	1,8	2,5	3,5	5,0	7,0	9,9	14,0	19,8	28	40	56	79	112	159	224	317	448				
185	1,5	2,1	2,9	4,2	5,9	8,3	11,7	16,6	23	33	47	66	94	133	187	265	374	529				
240	1,8	2,6	3,7	5,2	7,3	10,3	14,6	21	29	41	58	83	117	165	233	330	466	659				
300	2,2	3,1	4,4	6,2	8,8	12,4	17,6	25	35	50	70	99	140	198	280	396	561					
2x120	2,3	3,2	4,6	6,5	9,1	12,9	18,3	26	37	52	73	103	146	206	292	412	583					
2x150	2,5	3,5	5,0	7,0	9,9	14,0	20	28	40	56	79	112	159	224	317	448	634					
2x185	2,9	4,2	5,9	8,3	11,7	16,6	23	33	47	66	94	133	187	265	375	530	749					
553x120	3,4	4,9	6,9	9,7	13,7	19,4	27	39	55	77	110	155	219	309	438	619						
3x150	3,7	5,3	7,5	10,5	14,9	21	30	42	60	84	119	168	238	336	476	672						
3x185	4,4	6,2	8,8	12,5	17,6	25	35	50	70	100	141	199	281	398	562							
Ток Isc выше по цепи (кА)	**Ток Isc ниже по цепи (кА)**																					
100	93	90	87	82	77	70	62	54	45	37	29	22	17,0	12,6	9,3	6,7	4,9	3,5	2,5	1,8	1,3	0,9
90	84	82	79	75	71	65	58	51	43	35	28	22	16,7	12,5	9,2	6,7	4,8	3,5	2,5	1,8	1,3	0,9
80	75	74	71	68	64	59	54	47	40	34	27	21	16,3	12,2	9,1	6,6	4,8	3,5	2,5	1,8	1,3	0,9
70	66	65	63	61	58	54	49	44	38	32	26	20	15,8	12,0	8,9	6,6	4,8	3,4	2,5	1,8	1,3	0,9
60	57	56	55	53	51	48	44	39	35	29	24	20	15,2	11,6	8,7	6,5	4,7	3,4	2,5	1,8	1,3	0,9
50	48	47	46	45	43	41	38	35	31	27	22	18,3	14,5	11,2	8,5	6,3	4,6	3,4	2,4	1,7	1,2	0,9
40	39	38	38	37	36	34	32	30	27	24	20	16,8	13,5	10,6	8,1	6,1	4,5	3,3	2,4	1,7	1,2	0,9
35	34	34	33	33	32	30	29	27	24	22	18,8	15,8	12,9	10,2	7,9	6,0	4,5	3,3	2,4	1,7	1,2	0,9
30	29	29	29	28	27	27	25	24	22	20	17,3	14,7	12,2	9,8	7,6	5,8	4,4	3,2	2,4	1,7	1,2	0,9
25	25	24	24	24	23	23	22	21	19,1	17,4	15,5	13,4	11,2	9,2	7,3	5,6	4,2	3,2	2,3	1,7	1,2	0,9
20	20	20	19,4	19,2	18,8	18,4	17,8	17,0	16,1	14,9	13,4	11,8	10,1	8,4	6,8	5,3	4,1	3,1	2,3	1,7	1,2	0,9
15	14,8	14,8	14,7	14,5	14,3	14,1	13,7	13,3	12,7	11,9	11,0	9,9	8,7	7,4	6,1	4,9	3,8	2,9	2,2	1,6	1,2	0,9
10	9,9	9,9	9,8	9,8	9,7	9,6	9,4	9,2	8,9	8,5	8,0	7,4	6,7	5,9	5,1	4,2	3,4	2,7	2,0	1,5	1,1	0,8
7	7,0	6,9	6,9	6,9	6,9	6,8	6,7	6,6	6,4	6,2	6,0	5,6	5,2	4,7	4,2	3,6	3,0	2,4	1,9	1,4	1,1	0,8
5	5,0	5,0	5,0	4,9	4,9	4,9	4,9	4,8	4,7	4,6	4,5	4,3	4,0	3,7	3,4	3,0	2,5	2,1	1,7	1,3	1,0	0,8
4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,9	3,9	3,9	3,8	3,7	3,6	3,5	3,3	3,1	2,9	2,6	2,2	1,9	1,6	1,2	1,0	0,7
3	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,9	2,9	2,9	2,9	2,8	2,7	2,6	2,5	2,3	2,1	1,9	1,6	1,4	1,1	0,9	0,7
2	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,9	1,9	1,9	1,8	1,8	1,7	1,6	1,4	1,3	1,1	1,0	0,8	0,6
1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5
Алюминий 230 В / 400 В **Сечение фазных проводников (мм²)**	**Длина цепи (м)**																					
2,5														1,4	1,9	2,7	3,8	5,4	7,6	10,8	15,3	22
4												1,1	1,5	2,2	3,1	4,3	6,1	8,6	12,2	17,3	24	35
6												1,6	2,3	3,2	4,6	6,5	9,2	13,0	18,3	26	37	52
10											1,9	2,7	3,8	5,4	7,7	10,8	15,3	22	31	43	61	86
16										2,2	3,1	4,3	6,1	8,7	12,2	17,3	24	35	49	69	98	138
25								1,7	2,4	3,4	4,8	6,8	9,6	13,5	19,1	27	38	54	76	108	153	216
35							1,7	2,4	3,4	4,7	6,7	9,5	13,4	18,9	27	38	54	76	107	151	214	302
50 (1)						1,6	2,3	3,2	4,6	6,4	9,1	12,9	18,2	26	36	51	73	103	145	205	290	410
70						2,4	3,4	4,7	6,7	9,5	13,4	19,0	27	38	54	76	107	151	214	303	428	
95					2,3	3,2	4,6	6,4	9,1	12,9	18,2	26	36	51	73	103	145	205	290	411		
120					2,9	4,1	5,8	8,1	11,5	16,3	23	32	46	65	92	130	184	259	367			
150					3,1	4,4	6,3	8,8	12,5	17,7	25	35	50	71	100	141	199	282	399			
185				2,6	3,7	5,2	7,4	10,4	14,8	21	30	42	59	83	118	167	236	333	471			
240	1,2	1,6	2,3	3,3	4,6	6,5	9,2	13,0	18,4	26	37	52	73	104	147	208	294	415				
300	1,4	2,0	2,8	3,9	5,5	7,8	11,1	15,6	22	31	44	62	88	125	177	250	353	499				
2x120	1,4	2,0	2,9	4,1	5,8	8,1	11,5	16,3	23	33	46	65	92	130	184	260	367	519				
2x150	1,6	2,2	3,1	4,4	6,3	8,8	12,5	17,7	25	35	50	71	100	141	200	282	399					
2x185	1,9	2,6	3,7	5,2	7,4	10,5	14,8	21	30	42	59	83	118	167	236	334	472					
2x240	2,3	3,3	4,6	6,5	9,2	13,0	18,4	26	37	52	74	104	147	208	294	415	587					
3x120	2,2	3,1	4,3	6,1	8,6	12,2	17,3	24	34	49	69	97	138	195	275	389	551					
3x150	2,3	3,3	4,7	6,6	9,4	13,3	18,8	27	37	53	75	106	150	212	299	423	598					
3x185	2,8	3,9	5,5	7,8	11,1	15,7	22	31	44	63	89	125	177	250	354	500	707					
3x240	3,5	4,9	6,9	9,8	13,8	19,5	28	39	55	78	110	156	220	312	441	623						

Примечание: для трехфазной системы с межфазным напряжением 230 В, разделите вышеуказанные длины на $\sqrt{3}$.

(1) Фактическое сечение, используемое для расчета кабелей 50 мм², составляет 47,5 мм². Для получения дополнительной информации см. Примечание к рис. G53.

Рис. G40. Ток Isc в точке ниже по цепи, соответствующий известному значению тока КЗ выше по цепи, длине и поперечному сечению соединяющих проводов, в трехфазной сети номиналом 230/400 В

4.4 Ток короткого замыкания, подаваемый от генератора переменного тока или инвертора: см. главу N

© Schneider Electric – все права защищены

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Частные случаи тока короткого замыкания

Если защитное устройство должно защищать только от коротких замыканий, нужно удостовериться, что оно будет действовать при минимально возможном уровне тока короткого замыкания, возникающего в цепи.

5.1 Расчет минимальных величин тока короткого замыкания

Как правило, в цепях низкого напряжения одно устройство обеспечивает защиту от всех уровней тока, от порога перегрузки до максимальной номинальной отключающей способности тока короткого замыкания устройства. Защитное устройство должно надежно срабатывать и иметь максимально возможный срок службы, чтобы обеспечить безопасность персонала и цепи от всех возможных токов повреждения и короткого замыкания. Для обеспечения длительного срока эксплуатации выключателя необходимо производить расчет минимального тока короткого замыкания или тока повреждения.

Кроме того, в некоторых случаях используются отдельные аппараты для защиты от перегрузки и короткого замыкания.

Примеры таких устройств

На **рис. G41-G43** изображены наиболее распространенные установки, где защита от перегрузки и от коротких замыканий выполняется разными устройствами.

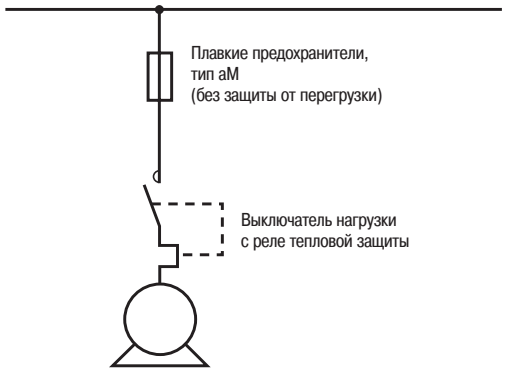


Рис. G41. Цепь защищена плавкими предохранителями aM

Как показано на **рис. G41** и **G42**, наиболее часто цепи, в которых используются отдельные устройства, защищают двигатели.

На Рис. G42b показаны представлено еще одно отклонение от основных правил защиты, которое чаще всего используется для магистральных и осветительных шинопроводов.

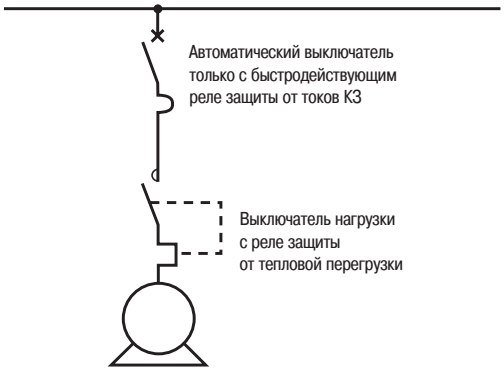


Рис. G42. Защита цепи выключателем без реле тепловой защиты

Регулируемый привод

На **рис. G44** показаны функции, обеспечиваемые регулируемым приводом, и, при необходимости, некоторые дополнительные функции, выполняемые такими устройствами, как выключатель цепи, термореле, УЗО.

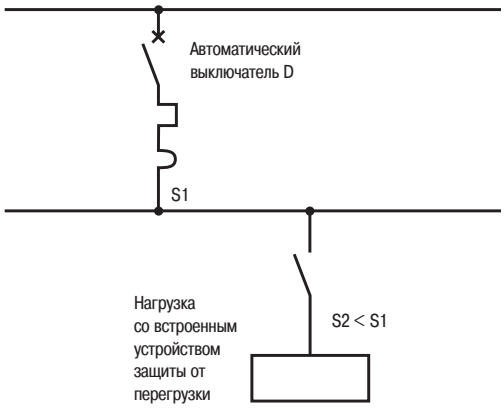


Рис. G43. Автоматический выключатель D обеспечивает защиту от коротких замыканий, с учетом нагрузки

Необходимая защита	Защита, обеспечиваемая регулируемым приводом	Дополнительная защита
Перегрузка кабеля	Есть	Авт. выключатель/тепловое реле
Перегрузка двигателя	Есть	Авт. выключатель/тепловое реле
Короткое замыкание ниже по цепи	Есть	
Перегрузка регулируемого привода	Есть	
Увеличение напряжения	Есть	
Снижение напряжения	Есть	
Потеря фазы	Есть	
Короткое замыкание выше по цепи		Автоматический выключатель (откл. при коротком замыкании)
Внутреннее короткое замыкание		Автоматический выключатель (откл. при коротком замыкании и перегрузке)
Короткое замыкание на землю ниже по цепи (косвенное прикосновение)	Самозащита	УЗО ≥ 300 мА или АВ в системе заземления TN
Прямое прикосновение		УЗО ≤ 30 мА

Рис. G44. Защита, которая должна быть обеспечена для устройств регулируемого привода

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Частные случаи тока короткого замыкания

Защитное устройство должно удовлетворять следующим условиям:
■ уставка мгновенного отключения Im < Iscmin при защите цепи автоматическим выключателем;
■ ток плавления Ia < Isc_{min} при защите цепи плавкими предохранителями.

Условия, которые должны быть учтены

Таким образом, защитное устройство должно удовлетворять следующим двум условиям:

■ номинал тока отключения короткого замыкания Its > Isc, тока трехфазного короткого замыкания в точке его возникновения в цепи установки;

■ отключение минимально возможного тока короткого замыкания в цепи, за время tc, совместимое с параметрами термической стойкости проводов в цепи, где:

$$tc \leqslant \frac{K^2S^2}{Isc_{min}^2}$$ (действительно для tc < 5 с),

где S – это поперченное сечение кабеля,
k – зависит от материала кабеля, материала изоляции кабеля и начальной температуры.
Пример: для медного кабеля с оболочкой из сшитого полиэтилена, начальной температуры 90 °C, k = 143 (см. стандарт МЭК 60364-4-43 (ГОСТ Р 50571.4.43-2012) §434.3.2, таблица 43A, и **рис. G54**).

Сравнение кривых отключения или плавки защитных устройств с предельными кривыми термической стойкости для проводов показывает, что это условие соблюдено, если:

■ Isc (min) > Im (ток уставки автоматического выключателя для расцепителя, срабатывающего мгновенно или с незначительной выдержкой времени), см. **рис. G45**;

■ Isc (min) > Ia при защите плавкими предохранителями. Значение тока Ia соответствует точке пересечения кривой плавкого предохранителя и кривой термической стойкости кабеля, см. **рис. G46** и **G47**.

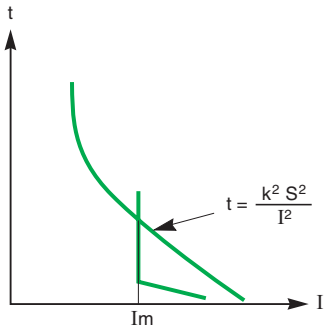


Рис. G45. Защита автоматическим выключателем

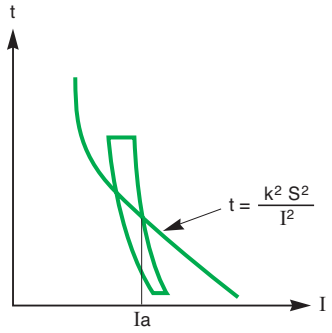


Рис. G46. Защита плавким предохранителем типа aM

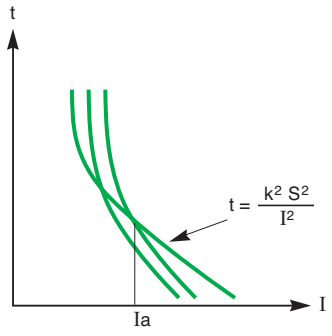


Рис. G47. Защита плавким предохранителем типа gl

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Частные случаи тока короткого замыкания

На практике это означает, что длина цепи вниз по сети от защитного устройства не должна превышать вычисленную максимальную длину.

$$L\,max = \frac{0{,}8\ U\ Sph}{2\rho Im}$$

Практический способ вычисления Lmax

Должно быть рассчитано предельное влияние полного сопротивления проводов в длинной цепи на значение токов короткого замыкания, и в соответствии с этим должна быть ограничена длина цепи. Метод вычисления максимально допустимой длины уже был показан на схемах заземления TN и IT для единичных и двойных замыканий на землю соответственно (см. главу F, подпункты 6.2 и 7.2). Два случая рассмотрены ниже:

1 – Вычисление Lmax для трехфазной трехпроводной цепи

Минимальный ток короткого замыкания появляется тогда, когда возникает КЗ между двумя фазовыми проводами в удаленном конце цепи (см. **рис. G48**).

Рис. G48. Вычисление длины для трехфазной трехпроводной цепи

При использовании «традиционного метода» принимается, что напряжение в точке защиты P составляет 80% номинального напряжения во время короткого замыкания, таким образом 0,8 U = Isc Zd,

где:

Zd – полное сопротивление петли тока КЗ;

Isc – ток КЗ (фаза/фаза);

U – междуфазное номинальное напряжение.

Для кабелей сечением ⩽ 120 мм², реактивное сопротивление можно не учитывать, таким образом:

$$Zd = \rho \frac{2L}{Sph}\ (1),$$

где:

ρ – удельное сопротивление меди при средней температуре во время короткого замыкания;

Sph – сечение фазового провода в мм²;

L – длина в метрах.

Защита кабеля обеспечивается при Im ⩽ Isc, где Im – мгновенная уставка тока срабатывания автоматического выключателя.

В результате $Im \leqslant \frac{0{,}8\ U}{Zd}$, что дает $L \leqslant \frac{0{,}8\ U\ Sph}{2\rho\ Im}$

что U = 400 В

ρ = 0,023 Ом·мм²/м (2) (медь)

$$Lmax = \frac{k\ Sph}{Im},$$

где Lmax – максимальная длина цепи в метрах.

В основном, значение Im вирируется в пределах +/- 20%, Lmax должна быть рассчитана для Im + 20% (худший случай).

Значние велечины k приведено в таблицы, взято с учетом этих 20% и в зависимости от поперечного сечения для Sph > 120 мм² (1).

Поперечное сечение (мм²)	⩽ 120	150	185	240	300
k (для 400 В)	5800	5040	4830	4640	4460

2 – Вычисление Lmax для трехфазной четырехпроводной цепи на 230/400 В

Минимальное значение Isc имеет место, когда замыкание происходит между проводами «фаза» и «нейтраль» в конце цепи.

Вычисление производится в соответствие с примером 1, но в случае с однофазным КЗ (230 В).

■ Если Sn (нейтрального провода) = Sph (фазового провода):

Lmax = k Sph / Im со значением k рассчитанным для 230 В, как показано в таблице ниже.

Поперечное сечение (мм²)	⩽ 120	150	185	240	300
k (для 400 В)	3333	2898	2777	2668	2565

■ Если Sn (нейтрального провода) < Sph (фазового провода), сечением ⩽ 120 мм²)

$$Lmax = 6\,666 \frac{Sph}{Im} \frac{1}{1+m}, \text{ где } m = \frac{Sph}{Sn}$$

(1) Для большего сечения сопротивление, рассчитанное для проводов, должно быть увеличено, чтобы учесть неоднородную плотность тока в проводе (из-за скинэффекта и воздействия электромагнитного поля, создаваемого рядом расположенными проводниками).

Используются следующие значения:

150 мм²: R + 15%

185 мм²: R + 20%

240 мм²: R + 25%

300 мм²: R + 30%

(2) Удельное сопротивление для медного проводника с изоляцией EPR/XLPE при прохождении через него тока короткого замыкания. Максимальная температура, которую он может выдерживать = 90 °C (см. **рис. G36**).

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Частные случаи тока короткого замыкания

Приведенные в таблице значения Lmax

На **рис. G49** приведены максимальные длины цепей (Lmax) в метрах для:

- трехфазных четырехпроводных цепей на 400 В (т.е. с нейтральным проводом);
- одногофазных двухпроводных цепей на 230 В, защищаемых автоматическими выключателями общего назначения.

В других случаях следует применять поправочные коэффициенты (приведенные на **рис. G53**) к полученной длине.

Вычисления основаны на указанных ниже методах, и ток отключения при коротком замыкании должен быть в пределах ± 20% от регулируемого значения Im.

Для сечения 50 мм^2 вычисления основаны на реальном сечении 47,5 мм^2.

Уровень срабатывания по току Im мгн. электромагнитного расцепителя (A)	Сечение проводов (мм^2)														
	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
50	100	167	267	400											
63	79	133	212	317											
80	63	104	167	250	417										
100	50	83	133	200	333										
125	40	67	107	160	267	427									
160	31	52	83	125	208	333									
200	25	42	67	100	167	267	417								
250	20	33	53	80	133	213	333	467							
320	16	26	42	63	104	167	260	365	495						
400	13	21	33	50	83	133	208	292	396						
500	10	17	27	40	67	107	167	233	317						
560	9	15	24	36	60	95	149	208	283	417					
630	8	13	21	32	63	85	132	185	251	370					
700	7	12	19	29	48	76	119	167	226	333	452				
800	6	10	17	25	42	67	104	146	198	292	396				
875	6	10	15	23	38	61	95	133	181	267	362	457			
1000	5	8	13	20	33	53	83	117	158	233	317	400	435		
1120	4	7	12	18	30	48	74	104	141	208	283	357	388	459	
1250	4	7	11	16	27	43	67	93	127	187	253	320	348	411	
1600		5	8	13	21	33	52	73	99	146	198	250	272	321	400
2000		4	7	10	17	27	42	58	79	117	158	200	217	257	320
2500			5	8	13	21	33	47	63	93	127	160	174	206	256
3200			4	6	10	17	26	36	49	73	99	125	136	161	200
4000				5	8	13	21	29	40	58	79	100	109	128	160
5000				4	7	11	17	23	32	47	63	80	87	103	128
6300					5	8	13	19	25	37	50	63	69	82	102
8000					4	7	10	15	20	29	40	50	54	64	80
10000						5	8	12	16	23	32	40	43	51	64
12500						4	7	9	13	19	25	32	35	41	51

Рис. G49. Максимальная длина цепи в метрах для медных проводов (для алюминиевых длина должна быть умножена на 0,62)

Рис. G50-G52 на следующей странице определяют максимальную длину цепи (Lmax) в метрах для:

- трехфазных четырехпроводных цепей на 400 В (т.е. с нейтральным проводом);
- однофазных двухпроводных цепей на 230 В.

Они защищаются в обоих случаях бытовыми автоматическими выключателями или выключателями с похожими характеристиками отключения/тока.

В других случаях, применяйте поправочные коэффициенты к полученной длине. Эти коэффициенты приведены на **рис. G53** на следующей странице.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Частные случаи тока короткого замыкания

Ном. ток для автомат. выключателей (А)	Сечение проводов (мм²) 1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50
6	200	333	533	800					
10	120	200	320	480	800				
16	75	125	200	300	500	800			
20	60	100	160	240	400	640			
25	48	80	128	192	320	512	800		
32	37	62	100	150	250	400	625	875	
40	30	50	80	120	200	320	500	700	
50	24	40	64	96	160	256	400	560	760
63	19	32	51	76	127	203	317	444	603
80	15	25	40	60	100	160	250	350	475
100	12	20	32	48	80	128	200	280	380
125	10	16	26	38	64	102	160	224	304

Рис. G50. Максимальная длина в метрах цепей с медными проводами, защищенными автоматическими выключателями цепи типа B

Ном. ток для автомат. выключателей (А)	Сечение проводов (мм²) 1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50
6	100	167	267	400	667				
10	60	100	160	240	400	640			
16	37	62	100	150	250	400	625	875	
20	30	50	80	120	200	320	500	700	
25	24	40	64	96	160	256	400	560	760
32	18,0	31	50	75	125	200	313	438	594
40	15,0	25	40	60	100	160	250	350	475
50	12,0	20	32	48	80	128	200	280	380
63	9,5	16,0	26	38	64	102	159	222	302
80	7,5	12,5	20	30	50	80	125	175	238
100	6,0	10,0	16,0	24	40	64	100	140	190
125	5,0	8,0	13,0	19,0	32	51	80	112	152

Рис. G51. Максимальная длина в метрах цепей с медными проводами, защищенными автоматическими выключателями типа C

Ном. ток для автомат. выключателей (А)	Сечение проводов (мм²) 1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50
1	429	714							
2	214	357	571	857					
3	143	238	381	571	952				
4	107	179	286	429	714				
6	71	119	190	286	476	762			
10	43	71	114	171	286	457	714		
16	27	45	71	107	179	286	446	625	848
20	21	36	57	86	143	229	357	500	679
25	17,0	29	46	69	114	183	286	400	543
32	13,0	22	36	54	89	143	223	313	424
40	11,0	18,0	29	43	71	114	179	250	339
50	9,0	14,0	23	34	57	91	143	200	271
63	7,0	11,0	18,0	27	45	73	113	159	215
80	5,0	9,0	14,0	21	36	57	89	125	170
100	4,0	7,0	11,0	17,0	29	46	71	100	136
125	3,0	6,0	9,0	14,0	23	37	57	80	109

Рис. G52. Максимальная длина в метрах цепей с медными проводами, защищенными автоматическими выключателями типа D

Описание цепи		
Трехфазная трехпроводная цепь на 400 В или 1-фазная 2-проводная цепь на 400 В (без нейтрали)		1,73
Однофазная двухпроводная (фаза и нейтраль) цепь на 230 В		1
Трехфазная четырехпроводная цепь на 230/400 В или двухфазная трехпроводная цепь на 230/400 В (т.е. без нейтрали)	S фаза / S нейтраль = 1	1
	S фаза / S нейтраль = 2	0,67

Рис. G53. Поправочные коэффициенты должны быть применены к длине, полученной из **рис. G49-G52**

Примечание: стандарт МЭК 60898 указывает интервал для верхнего предела отключения при токе КЗ, равного 10-50 In для автоматических выключателей типа D. Однако европейские стандарты, и **рис. G52** указывают на интервал 10-20 In, который подходит для большинства бытовых и подобных им установок.

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Частные случаи тока короткого замыкания

Примеры

Пример 1

В трехфазной трехпроводной установке напряжением 400 В защита от короткого замыкания двигателя мощностью 22 кВт (50 А) обеспечивается автоматическим выключателем типа GV4L с магнитным расцепителем, мгновенное отключение по току короткого замыкания установлено на 700 А (точность ± 20%), т. е. в худшем случае для отключения потребуется 700 x 1,2 = 840 А.

Сечение кабеля – 10 мм^2, материал проводника - медь. На **рис. G49** столбец I_m = 700 А пересекает строку сечения 10 мм^2 при значении L_{max} = 48 м. Согласно **рис. G53**, для трехфазной трехпроводной цепи (без нейтрали) к длине проводника необходимо применить поправочный коэффициент 1,73. Таким образом, автоматический выключатель будет защищает кабель от коротких замыканий, если его длина не превысит 48 x 1,73 = 83 метра.

Пример 2

В цепи 3L+N 400 В защита обеспечивается автоматическим выключателем 220 А типа NSX250N с расцепителем Micrologic 2 с мгновенной защитой от короткого замыкания, установленной на 3000 А (± 20%), то есть автоматический выключатель способен отключить наибольший ток КЗ величиной 3600 А. Сечение кабеля – 120 мм^2, а материал проводника - алюминий.

На **рис. G49** столбец I_m = 3200 А (ближайшее значение больше 3000 А, поскольку таблица уже учитывает увеличение на 20% при расчете Im) пересекает строку сечения 120 мм^2 при значении L_{max} = 125 м. Будучи трехфазным четырехпроводным контуром 400 В (с нейтралью), поправочный коэффициент, показанный на **рис. G53**, равен 1. В дополнение, поскольку проводник алюминиевый, необходимо применять коэффициент 0,62.

Следовательно, автоматический выключатель защитит кабель от тока короткого замыкания при условии, что его длина не превышает 125 x 0,62 = 77 метров.

5.2 Проверка кабелей на нагрев токами короткого замыкания

Обычно проверка термической стойкости кабелей не требуется, кроме тех случаев, когда кабели небольшого сечения установлены близко или непосредственно подсоединены к главному распределительному щиту.

Температурные ограничения

Когда ток короткого замыкания непродолжителен (от десятых долей секунды до 5 секунд), производимое тепло остается в проводе, таким образом, он нагревается.

Если принять, что процесс нагревания является адиабатическим, то это предположение упрощает расчеты и приводит к неутешительным результатам, где температура провода получается выше, чем в действительности, т.к. на практике некоторое количество тепла из провода перейдет на изоляционный материал.

Для периода в пять секунд или менее равенство $I^2t = k^2S^2$ показывает время в секундах, за которое провод сечением S (мм^2) может выдержать ток в 1 ампер, прежде чем температура поднимется настолько, что повредит изоляционный материал. Коэффициент k приведен на **рис. G54** ниже.

	Изоляция проводника			
	ПВХ ⩽ 300 мм^2	ПВХ > 300 мм^2	Сшитый полиэтилен	Резина при 60 °C
Начальная температура	70	70	90	60
Конечная температура	160	140	250	200
Материал проводника:				
Медь	115	103	143	141
Алюминий	76	68	94	93

Рис. G54. Значение постоянной k показано в стандарте МЭК 60364-4-43 (ГОСТ Р 50571.4.43-2012), таблица 43A

Метод проверки заключается в подтверждении того, что тепловая энергия I^2t на 1 Ом в материале провода, которую пропустит защитный автоматический выключатель (из каталога изготовителя), меньше установленной разрешенной энергии для данного провода (как показано на **рис. G55** ниже).

S (мм^2)	ПВХ		Сшитый полиэтилен	
	Медь	Алюминий	Медь	Алюминий
1,5	0,0297	0,0130	0,0460	0,0199
2,5	0,0826	0,0361	0,1278	0,0552
4	0,2116	0,0924	0,3272	0,1414
6	0,4761	0,2079	0,7362	0,3181
10	1,3225	0,5776	2,0450	0,8836
16	3,3856	1,4786	5,2350	2,2620
25	8,2656	3,6100	12,7806	5,5225
35	16,2006	7,0756	25,0500	10,8241
50 (1)	29,839	13,032	46,133	19,936

(1) Для сечения 50 мм^2 вычисления основаны на реальном сечении 47,5 мм^2 (2)

Рис. G55. Максимально допустимая тепловая нагрузка для кабелей I^2t (выражено в амперах^2 x секунду x 10^6)

(2) Фактически, максимальные значения сопротивления кабеля, которые следует использовать для точного расчета, соответствуют значениям, указанным в стандарте МЭК 60228 «Проводники изолированных кабелей». Расчет сопротивления кабеля по формуле R = ρ L / S, используемый в этой таблице, дает значения, достаточно близкие к этим значениям (порядка 1%), за исключением кабелей 50 мм^2, для которых следует применять «теоретическое» сечение 47,5 мм^2.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Частные случаи тока короткого замыкания

Пример

Может ли автоматический выключатель iC60N обеспечить надежную защиту медного кабеля сечением 4 мм^2 с изоляцией из сшитого полиэтилена? (см. **рис. G56**)

На **рис. G55** показано, что значение I^2t для кабеля составляет 0,3272 x 10^6, в то время как максимальное «пропускаемое значение» для выключателя, указанное в каталоге производителя, намного ниже (< 0,1·10^6 A^2s).
Таким образом, кабель надежно защищен автоматическим выключателем при полном использовании его отключающей способности.

Ограничения по электродинамической стойкости

Для всех типов цепей (отдельных проводов или шин) важно учитывать электродинамический фактор.

Чтобы выдержать электродинамические перегрузки, проводники должны быть прочно закреплены и прочно соединены.

Для шинопроводов и кабелепроводов заводского изготовления, шин и т.д. также важно удостовериться, что характеристики электродинамической стойкости, при прохождении тока короткого замыкания, удовлетворительны. Максимальная величина тока, ограничиваемая автоматическим выключателем или плавким предохранителем, должна быть меньше, чем ток электродинамической стойкости шин. Такие производители, как Schneider Electric, предоставляют готовые таблицы координации между своими автоматическими выключателями и шинопроводами, что позволяет быстро и легко выбрать оптимальное решение, гарантирующее надежность системы.

Шинопровод Canalis KSA100							
Макс. действ. значение тока Isc, кА		**25 кА**	**36 кА**	**50 кА**			
Тип автоматического выключателя	NG125	NG125N100	NG125H 80	NG125L 80			
	ComPact NSXm	NSXm B/F/N/H 100	NSXm F/N/H 100				
	ComPact NSX	NSX100B/F/N/H/S/L					
Шинопровод Canalis KSA160							
Макс. действ. значение тока Isc, кА		**25 кА**	**36 кА**	**50 кА**	**70 кА**	**90 кА**	
Тип автоматического выключателя	ComPact NSXm	**NSXm B/F/N/H 160**	**NSXm F/N/H 160**	**NSXm N/H 160**	**NSXm H 160**		
	ComPact NSX	NSX100B/F/N/H/S/L	NSX100F/N/H/S/L	NSX100N/H/S/L	NSX100H/S/L	NSX100S/L	
		NSX160B/F/N/H/S/L	**NSX160F/N/H/S/L**	**NSX160N/H/S/L**	**NSX160H/S/L**		
		NSX250B/F/N/H/S/L	NSX250F/N/H/S/L	NSX250N/H/S/L			
Шинопровод Canalis KSA250							
Макс. действ. значение тока Isc, кА		**25 кА**	**36 кА**	**50 кА**	**70 кА**	**100 кА**	**150 кА**
Тип автоматического выключателя	ComPact NSX	NSX160B/F/N/H/S/L	NSX160F/N/H/S/L	NSX160N/H/S/L	NSX160H/S/L	NSX160S/L	NSX160L
		NSX250B/F/N/H/S/L	**NSX250F/N/H/S/L**	**NSX250N/H/S/L**	**NSX250H/S/L**	**NSX250S/L**	**NSX250L**
		NSX400F/N/H/S/L	NSX400F/N/H/S/L	NSX400N/H/S/L			
Шинопровод Canalis KSA400							
Макс. действ. значение тока Isc, кА		**25 кА**	**36 кА**	**50 кА**	**70 кА**	**100 кА**	**150 кА**
Тип автоматического выключателя	ComPact NSX	NSX250B/F/N/H/S/L	NSX250F/N/H/S/L	NSX250N/H/S/L	NSX250H/S/L	NSX250S/L	NSX250L
		NSX400F/N/H/S/L	**NSX400F/N/H/S/L**	**NSX400N/H/S/L**	**NSX400H/S/L**	**NSX400S/L**	**NSX400L**
		NSX630F/N/H/S/L	NSX630F/N/H/S/L	NSX630N/H/S/L	NSX630H/S/L	NSX630S/L	NSX630L
	ComPact NS	NS630b N/H/L/LB	NS630b L/LB	NS630b L/LB	NS630b LB		
Шинопровод Canalis KSA500							
Макс. действ. значение тока Isc, кА		**25 кА**	**36 кА**	**50 кА**	**70 кА**	**100 кА**	**150 кА**
Тип автоматического выключателя	ComPact NSX	NSX400F/N/H/S/L	NSX400F/N/H/S/L	NSX400N/H/S/L	NSX400H/S/L	NSX400S/L	NSX400L
		NSX630F/N/H/S/L	**NSX630F/N/H/S/L**	**NSX630N/H/S/L**	**NSX630H/S/L**	**NSX630S/L**	**NSX630L**
	ComPact NS	NS630b N/H/L/LB		NS630b L / LB	NS630b LB		
Шинопровод Canalis KSA630							
Макс. действ. значение тока Isc, кА		**у 32 кА**	**36 кА**	**50 кА**	**70 кА**	**100 кА**	**150 кА**
Тип автоматического выключателя	ComPact NSX	NSX400F/N/H/S/L		NSX400N/H/S/L	NSX400H/S/L	NSX400S/L	NSX400L
		NSX630F/N/H/S/L		**NSX630N/H/S/L**	**NSX630H/S/L**	**NSX630S/L**	**NSX630L**
	ComPact NS	NS630b N/H/L/LB	NS630b L/LB				NS630b LB
		NS800N/H/L/LB	NS800L/LB				NS800LB
	MasterPact MTZ1	MTZ1 06 H1/H2/H3/L1	MTZ1 06 L1				
		MTZ1 08 H1/H2/H3/L1	MTZ1 08 L1				

Рис. G56. Пример таблицы координации автоматических выключателей и шинопроводов (Schneider Electric)

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

6 Нулевой защитный проводник (PE)

6.1 Схема соединений и выбор проводников

Нейтральные защитные проводники (PE) обеспечивают непрерывное соединение между всеми открытыми и внешними токопроводящими частями установки с целью создания главной непрерывной эквипотенциальной системы. Такие проводники проводят ток повреждения, возникший из-за пробоя в изоляции (между фазным проводником и открытой токопроводящей частью) к заземленной нейтрали источника. PE-проводники подсоединяются к главной шине заземления установки.

Главная шина заземления подсоединена к заземляющему электроду (см. главу E) заземляющим проводником (в США – проводник заземляющего электрода).

Нейтральные защитные проводники (PE) должны быть:

- покрыты изоляционным материалом и окрашены в желтый и зеленый цвет (полоски);
- защищены от механических и химических повреждений.

Для схем заземления IT и TN настоятельно рекомендуется, чтобы нейтральные защитные PE-проводники прокладывались в непосредственной близости от токоведущих кабелей цепи (то есть, в одной трубе, кабельном канале, кабельном лотке и т.д.). Это условие обеспечивает минимальное возможное индуктивное сопротивление цепи, проводящей ток замыкания на землю. Необходимо отметить, что это условие в шинопроводах выполнено изначально.

Схема соединений

Заземляющие провода должны:

- не включать в себя никаких устройств, нарушающих непрерывность цепи (например, выключатель, удаляемые вставки, и т.д.);
- индивидуально подсоединять открытые токопроводящие части к главному заземляющему проводнику, то есть, параллельно, а не последовательно, как показано на **рис. G57**;
- иметь отдельный зажим на общих заземляющих шинах в распределительных щитах.

Схема TT

Не требуется обязательное прокладывание заземляющего проводника в непосредственной близости от токоведущего провода соответствующей цепи, так как не требуются высокие значения тока замыкания на землю, чтобы работала защита типа УЗО, которая используется в установках типа TT.

Схемы IT и TN

Нейтральный защитный проводник PE или совмещенный защитный и рабочий проводник PEN, как отмечалось ранее, должен прокладываться как можно ближе к соответствующим токоведущим проводникам цепи, и между ними не должно быть ферромагнитного материала. PEN-проводник всегда должен подсоединяться непосредственно к заземляющему зажиму устройства, с перемычкой между клеммами нейтрали и заземления на самом устройстве (см. **рис. G58**).

- Схема TN-C (нейтральный и заземляющий проводники объединены в один заземляющий нейтральный PEN).

Защитная функция PEN-проводника имеет более высокий приоритет, и поэтому все правила, применяемые к заземляющим проводникам, также строго применяются к защитным заземляющим проводникам.

- Переход от схемы TN-C к схеме TN-S.

Заземляющий проводник установки подсоединяется к зажиму или шине PEN (см. **рис. G59**), обычно на входе установки. Вниз по сети от точки разделения нейтральный защитный проводник не может быть подсоединен к нейтральному рабочему проводнику.

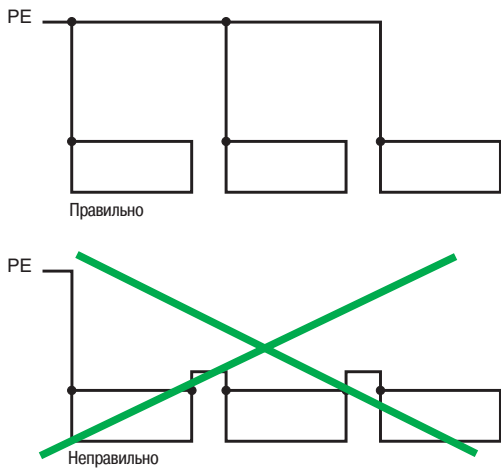


Рис. G57. Плохая схема соединений, в которой не защищены все устройства, расположенные ниже по цепи

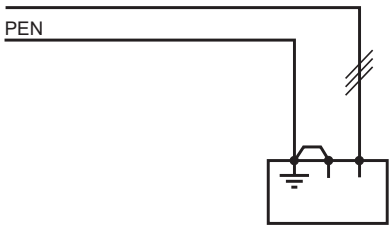


Рис. G58. Прямое подключение PEN-проводника к заземляющему зажиму устройства

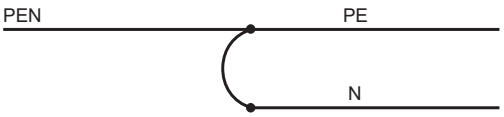


Рис. G59. Схема TN-C-S

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

6 Нулевой защитный проводник (PE)

Типы материалов

Все материалы, перечисленные ниже на **рис. G60**, можно использовать для заземляющих проводников (PE), при условии, что выполняются условия, указанные в последней колонке.

Тип защитного заземляющего проводника (PE)		Схема IT	Схема TN	Схема TT	Условия, которые должны выполняться
Дополнительный проводник	В том же кабеле, что и фазные проводники, или в той же кабельной трассе	Настоятельно рекомендуется	Настоятельно рекомендуется	Правильно	Заземляющий проводник должен иметь изоляцию того же уровня, что и фазные
	Независимо от фазных проводников	Возможно (1)	Возможно (1) (2)	Правильно	■ Заземляющий проводник может быть неизолированным и изолированным (2)
Металлический кожух шинной магистрали или других готовых кабельных каналов (5)		Возможно (3)	PE – возможно (3) PEN (8)	Правильно	■ Электрическая непрерывность провода должна обеспечиваться защитой от повреждений, связанных с механическими, химическими и электромеханическими воздействиями
Внешнее покрытие открытых проводников с минеральной изоляцией (например, кабели типа Pyrotenax)		Возможно (3)	PE – возможно (3) PEN – не рекомендуется (2)(3)	Возможно	
Определенные внешние токопроводящие элементы (6), например: ■ Стальные строительные конструкции ■ Рамы станков ■ Трубы водопровода (7)		Возможно (4)	PE – возможно (4) PEN – запрещено	Возможно	■ Проводимость провода должна быть адекватной
Металлические кабелепроводы, такие как трубы(9), короба, лотки, шинопроводы		Возможно (4)	PE – возможно (4) PEN – не рекомендуется (2)(4)	Возможно	
Запрещается использовать в качестве заземляющих проводников: металлические кабелепроводы (9), газовые трубы, трубы для горячей воды, броню кабеля в виде лент (9) или оплетки (9).					

(1) В схемах TN и IT отключение по току повреждения обычно осуществляется устройствами максимальной токовой защиты (плавкий предохранитель или выключатель), поэтому сопротивление петли тока повреждения должно быть достаточно низким, чтобы обеспечить правильную работу реле защиты. Самым надежным средством обеспечить низкое сопротивление токовой петли является использование дополнительной жилы в кабеле, который используется для проводов цепи (или проложенной в том же кабельном пути).
Этот прием минимизирует индуктивное сопротивление и, таким образом, полное сопротивление контура.
(2) PEN-проводник – это нейтральный проводник, который также используется как защитный заземляющий. Это означает, что ток может течь по нему в любое время (при отсутствии замыкания на землю). По этой причине в качестве PEN-проводника рекомендуется применять изолированный провод.
(3) Производитель предоставляет необходимые значения для элементов сопротивления R и X (фаза/PE, фаза/PEN), которые включаются в вычисление полного сопротивления петли короткого замыкания на землю.
(4) Возможно, но не рекомендуется, так как полное сопротивление петли короткого замыкания на землю неизвестно на стадии проектирования. Выполнение измерений на уже законченной установке является единственным практическим средством обеспечения адекватной защиты людей от поражения электрическим током.
(5) Должны позволять подключение других заземляющих проводников. **Примечание:** такие элементы должны иметь цветовую индикацию в виде желтых и зеленых полос, длиной от 15 до 100 мм (или буквы PE на расстоянии менее 15 см от каждого конца).
(6) Эти элементы можно демонтировать, только если были установлены другие элементы, обеспечивающие непрерывность защиты.
(7) С согласия соответствующих органов, отвечающих за воду.
(8) В готовых шинопроводах и подобных элементах металлический кожух можно использовать как PEN-проводник, подключенный параллельно с соответствующей шиной или другим заземляющим проводником в данном кожухе.
(9) Запрещено только в некоторых странах, обычно же разрешено использовать как дополнительный эквипотенциальный проводник.

Рис. G60. Выбор заземляющих проводников (PE)

6.2 Выбор сечения проводников

Данные на **рис. G61** ниже основаны на основана на МЭК 60364-5-54 (ГОСТ Р 50571.5.54-2013). В этой таблице приведены два метода определения подходящего сечения, как для нейтральных защитных проводников (PE), так и для совмещенных защитных и рабочих проводников (PEN), а также для проводника заземляющего электрода.

	Сечение фазовых проводников Sph (мм²)	Мин. сечение PE-проводника (мм²)	Мин. сечение PEN-проводника (мм²)	
			Медь	Алюминий
Упрощенный метод (1)	$S_{ph} \leqslant 16$	S_{ph} (2)	S_{ph} (3)	S_{ph} (3)
	$16 < S_{ph} \leqslant 25$	16	16	
	$25 < S_{ph} \leqslant 35$			25
	$35 < S_{ph} \leqslant 50$	$S_{ph}/2$	$S_{ph}/2$	
	$S_{ph} > 50$			$S_{ph}/2$
Адиабатический метод	Любой размер	$S_{PE/PEN} = \frac{\sqrt{I^2 \cdot t}}{k}$ (3) (4)		

(1) Данные действительны, если предлагаемый проводник выполнен из того же материала, что и линейный проводник; если нет, то необходимо применить корректирующий коэффициент.
(2) Когда PE-проводник отделен от фазных, необходимо соблюдать следующие минимальные значения:
■ 2,5 мм², если PE механически защищен;
■ 4 мм², если PE не является механически защищенным.
(3) Из условия механической прочности PEN-проводник должен иметь сечение не менее 10 мм² для меди или 16 мм² для алюминия.
(4) Применение данной формулы показано в таблице на **рис. G58**.

Рис. G61. Минимальная площадь поперечного сечения защитных проводников

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

6 Нулевой защитный проводник (PE)

Описание двух методов:

■ Адиабатический метод (совпадает с описанным в стандарте МЭК 60724, ГОСТ Р МЭК 60724-2009):

Данный метод, достаточно экономичный и обеспечивающий защиту проводника от перегрева, дает в результате меньшие значения сечения, по сравнению с сечением фазных проводников цепи. Результат иногда бывает несовместим с необходимостью в схемах IT и TN минимизировать полное сопротивление петли короткого замыкания на землю, чтобы обеспечить правильную работу быстродействующих реле максимальной защиты. Таким образом, на практике этот метод используется для установок типа TT и для определения размеров заземляющего проводника [(1)].

■ Упрощенный метод:

Этот метод основан на связи сечений заземляющих проводников с сечениями фазных проводников соответствующей цепи, предполагая, что в каждом случае используется один и тот же материал провода.

Таким образом, на **рис. G61**:

$Sph \leqslant 16$ мм^2 $S_{PE} = Sph$

$16 < Sph \leqslant 35$ мм^2 $S_{PE} = 16$ мм^2

$Sph > 35$ мм^2 $SPE = \frac{Sph}{2}$

Примечание: когда в схеме TT заземляющий электрод установки находится вне зоны влияния заземляющего электрода источника, сечение заземляющего провода можно ограничить до 25 мм^2 (для меди) или 35 мм^2 (для алюминия).

Нейтральный проводник можно использовать как PEN-проводник только тогда, когда его сечение равно или более чем: 10 мм^2 (медь) или 16 мм^2 (алюминий).

Более того, использование PEN-проводника в гибком кабеле не разрешается. Так как PEN-проводник также действует в качестве нейтрального провода, его сечение в любом случае не может быть меньше, чем сечение, необходимое для нейтрального провода, согласно подразделу 7.1 данной главы.

Это сечение не может быть меньше, чем сечение фазных проводников, кроме случаев, когда:

■ номинальная мощность в кВА однофазных нагрузок меньше, чем 10% от общей величины нагрузки в кВА;

■ ток Imax, который, как ожидается, будет проходить через нейтраль при нормальных обстоятельствах, меньше, чем ток, допустимый для выбранного сечения кабеля.

Более того, должна быть обеспечена защита нейтрального проводника защитными устройствами, установленными для защиты фазных проводников (см. подраздел 7.2 данной главы).

Значения коэффициента k для использования в формуле

Эти значения одинаковы для нескольких национальных стандартов, а диапазоны превышения температуры, взятые вместе со значениями коэффициента k и верхними пределами температуры для различных классов изоляции, соответствуют значениям, опубликованным в стандарте МЭК 60364-5-54 (ГОСТ Р 50571.5.54-2013), приложение A.
Данные, представленные на **рис. G62**, наиболее часто используются для проектирования низковольтной установки.

Значения K		Тип изоляции	
		Поливинилхлорид (ПВХ)	Сшитый полиэтилен (ПЭ-С, XLPE) Этиленпропиленовый каучук (СКЭП, EPR)
Конечная температура (°C)		160	250
Начальная температура (°C)		30	30
Изолированный провод, не встроенный в кабели или не изолированный провод в контакте с оболочкой кабеля	Медь	143	176
	Алюминий	95	116
	Сталь	52	64
Провода многожильного кабеля	Медь	115	143
	Алюминий	76	94

Рис. G62. Значения коэффициента k для низковольтных PE-проводников, обычно используемые в национальных стандартах и удовлетворяющих стандарту МЭК 60364-5-54 (ГОСТ Р 50571.5.54-2013), приложение A

(1) Grounding electrode conductor

© Schneider Electric – все права защищены

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

6 Нулевой защитный проводник (PE)

Защитный провод должен соответствовать принятым национальным стандартам.

6.3 Защитный проводник между понижающим трансформатором и главным распределительным щитом

Все фазные и нейтральные проводники, расположенные выше по цепи от главного вводного автоматического выключателя, который контролирует и защищает главный распределительный щит (ГРЩ), защищены устройствами, расположенными на высоковольтной стороне трансформатора. Эти проводники, включая заземляющий PE-проводник, должны иметь соответствующие сечения. Определение сечений фазных и нейтральных проводов, идущих от трансформатора, объяснено на примерах в подразделе 7.5 данной главы (для цепи C1 системы, показанной на **рис. G71**).

Рекомендуемые размеры сечений для неизолированных и изолированных заземляющих проводников, идущих от нейтральный точки трансформатора (**рис. G63**), перечислены ниже на **рис. G64**. Учитываемая номинальная мощность в кВА является суммой всех (если их несколько) мощностей трансформаторов, подключенных к общему распределительному щиту.

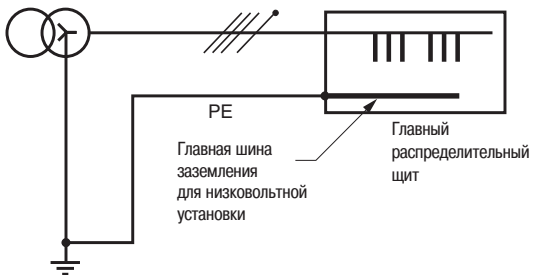


Рис. G63. PE-проводник и главная шина заземления главного распределительного щита

Таблица показывает сечение проводов в мм^2 в зависимости от:

- номинальной мощности понижающего трансформатора(ов) (кВА);
- времени устранения повреждения высоковольтным реле защиты (с);
- типов изоляции и материалов провода.

Если высоковольтная защита осуществляется плавким предохранителем, то используйте колонку «0,2 с».

В схемах IT, если устанавливается реле защиты от увеличения напряжения (между нейтральный точкой трансформатора и землей), размеры проводников для соединения с устройством должны определяться так же, как описано выше для заземляющих PE-проводников.

Мощность (кВА) (230/400 В)	Материал провода	Неизолированные провода			Провода с изоляцией ПВХ			Проводники из СПЭ		
	Медь, t (с)	0,2	0,5	-	0,2	0,5	-	0,2	0,5	-
	Алюминий, t (с)	-	0,2	0,5	-	0,2	0,5	-	0,2	0,5
⩽ 100	Сечение	25	25	25	25	25	25	25	25	25
160	проводника PE	25	25	35	25	25	50	25	25	35
200	SPE (мм^2)	25	35	50	25	35	50	25	25	50
250		25	35	70	35	50	70	25	35	50
315		35	50	70	35	50	95	35	50	70
400		50	70	95	50	70	95	35	50	95
500		50	70	120	70	95	120	50	70	95
630		70	95	150	70	95	150	70	95	120
800		70	120	150	95	120	185	70	95	150
1,000		95	120	185	95	120	185	70	120	150
1,250		95	150	185	120	150	240	95	120	185

Рис. G64. Сечение PE-проводника между понижающим трансформатором и главным распределительным щитом, в зависимости от номинальной мощности трансформатора и времени устранения повреждения

Эта таблица является результатом применения адиабатического метода, описанного в пункте 6.2 с:

- i^2 – уровень короткого замыкания на стороне НН трансформатора;
- t – время срабатывания выключателя СН при токе короткого замыкания.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

6 Нулевой защитный проводник (PE)

6.4 Эквипотенциальный проводник

Главный эквипотенциальный проводник

Обычно этот проводник должен иметь сечение, равное, как минимум, половине сечения самого большого PE-проводника, но в любой случае оно не должно превышать 25 мм^2 (медь) или 35 мм^2 (алюминий), а минимальное сечение проводника равно 6 мм^2 (медь) или 10 мм^2 (алюминий).

Дополнительный эквипотенциальный проводник

Этот проводник позволяет подсоединить открытые токопроводящие части, которые удалены от главного эквипотенциального проводника (PE-проводника), к местному защитному проводнику. Его сечение должно быть равно, как минимум, половине сечения защитного проводника, к которому он подсоединен.

Если он соединяет две открытые токопроводящие части (M1 и M2 на **рис. G65**), его сечение должно быть, по крайней мере, равно или меньше, чем сечение двух PE-проводников (для M1 и M2). Эквипотенциальные проводники, которые не встроены в кабель, должны быть защищены от механических повреждений (прокладка в трубах, коробах и т.п.) там, где это возможно.

Другой важной целью использования дополнительных эквипотенциальных проводов является снижение полного сопротивления петли тока КЗ на землю, особенно для схем защиты от косвенного прикосновения в установках заземления типа TN или IT и в специальных местах с повышенным риском поражения током (согласно стандарту МЭК 60364-4-41, ГОСТ Р 50571.3-2009).

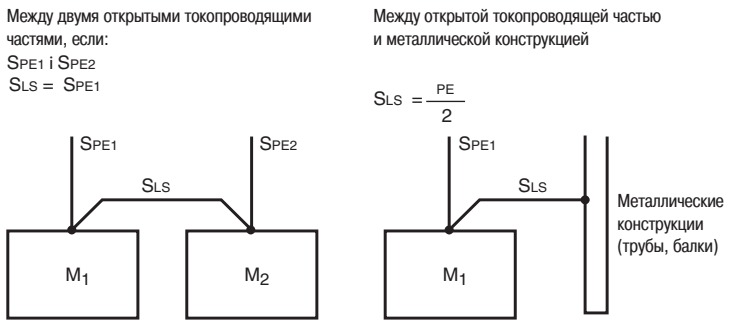


Рис. G65. Дополнительные эквипотенциальные проводники

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

7 Нейтральный проводник

Площадь сечения и защита нейтрального проводника, кроме требований к пропускной способности по току, зависят от нескольких факторов, а именно:
- типа системы заземления – TT, TN и т.д.;
- токов высших гармоник;
- способа защиты от опасностей косвенного прикосновения в соответствии с методами, описанными выше.

Нейтральный проводник, согласно правилам, должен быть синего цвета.
Изолированный PEN-проводник должен обозначаться одним из следующих способов:
- желто-зеленые полосы по всей длине и дополнительно голубые отметки на концах;
- голубой по всей длине и дополнительно желто-зеленые отметки на концах.

7.1 Определение сечения нейтрального проводника

Влияние типа системы заземления

Схемы TT, TN-S и IT

- Однофазные цепи с сечением проводов менее 16 мм^2 (медь) и 25 мм^2 (алюминий): сечение нейтрального проводника должно быть равно сечению фазного.
- Трехфазные цепи с сечением >16 мм^2 (медь) или 25 мм^2 (алюминий): сечение нейтрального проводника можно выбрать:
  - ☐ равным сечению фазных проводников;
  - ☐ меньше, при условии, что:

- ток, который, как ожидается, будет течь через нейтраль в нормальных условиях, меньше, чем допустимое значение Iz. Влияние гармоник кратных трем (1) должно учитываться;
- нейтральный проводник должен быть защищен от короткого замыкания, в соответствии с подразделом G7.2;
- сечение нейтрального проводника равно, как минимум, 16 мм^2 (медь) или 25 мм^2 (алюминий).

Схема TN-C

В теории применяются те же условия, что описаны выше, но на практике нейтральный проводник ни в коем случае не должен быть разомкнут, так как он выполняет роль заземляющего и нейтрального проводников (см. **рис. G61**, колонка «Мин. сечение PEN-проводника»).

Схема IT

В целом, не рекомендуется распределять нейтральный проводник, то есть трехфазная трехпроводная схема является предпочтительной. Когда нужна трехфазная четырехпроводная установка, то применяются условия, описанные выше для схем TT и TN-S.

Влияние токов высших гармоник

Влияние гармоник третьего порядка и кратных им

Токи высших гармоник генерируются нелинейными нагрузками, подключенными к электроустановке (компьютеры, лампы дневного света, выпрямители, электронные прерыватели нагрузки) и могут вызывать большие токи в нейтральном проводнике. В трехфазных установках имеют тенденцию суммироваться в нейтрали особенно гармоники третьего порядка и кратными, так как:
- основные токи не совпадают по фазе на 2π/3, поэтому их сумма равна нулю;
- с другой стороны, гармоники третьего порядка трех фаз всегда позиционируются одинаковым образом относительно своих основных токов и совпадают по фазе друг с другом (см. **рис. G66**).

(1) Гармоники третьего порядка и кратные им.

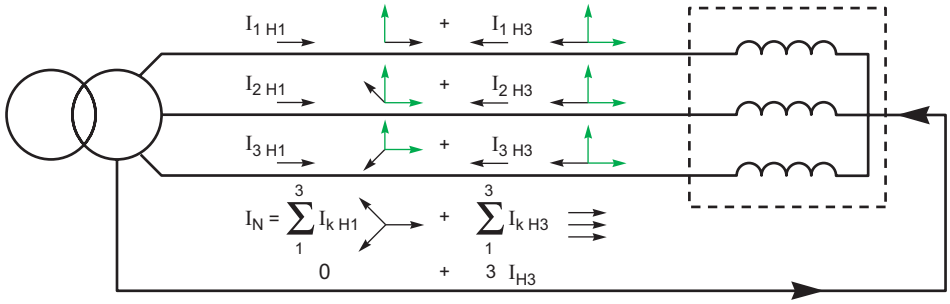


Рис. G66. Гармоники третьего порядка совпадают по фазе и суммируются в нейтрали

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

7 Нейтральный проводник

На **рис. G67** показана величина коэффициента загрузки нейтрального проводника, в зависимости от наличия третьей гармоники.

На практике, максимальная величина коэффициента загрузки не может превышать $\sqrt{3}$.

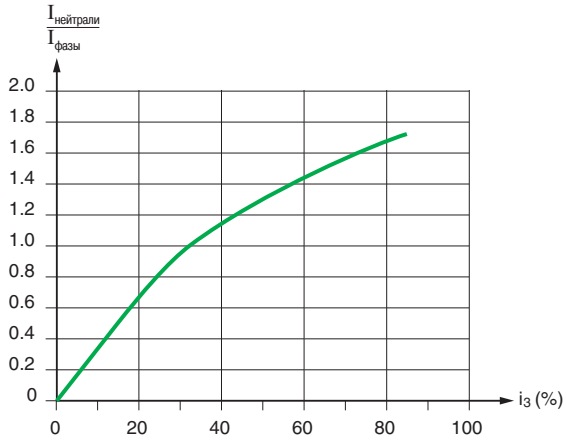


Рис. G67. Нагрузка нейтрального проводника в зависимости от наличия третьей гармоники

Рис. G68. Автоматический выключатель ComPact NSX100

Коэффициенты снижения для гармонических токов в четырехжильных и пятижильных кабелях, где 4 жилы передают ток

Базовые расчеты кабелей относятся только к кабелям с тремя токоведущими жилам, то есть в нейтральном проводнике ток отсутствует. Из-за тока третьей гармоники в нейтральном проводнике возникает ток. В результате, такой ток в нейтральном проводнике создает дополнительный нагрев для трехфазных жил и, соответственно, необходимо применять понижающий коэффициент при расчете фазных жил (см. **рис. G69**).

Понижающие коэффициенты, применяемые при расчете пропускной способности по току кабеля с тремя токоведущими проводами, дают пропускную способность кабеля с четырьмя токоведущими проводами, где ток в четвертом проводе появляется из-за гармоник. Понижающие коэффициенты также учитывают нагрев проводов из-за токов высших гармоник.

- Там, где ожидается, что ток в нейтрали будет выше, чем ток в фазах, сечение кабеля должно выбираться на основе тока в нейтральном проводнике.
- Там, где сечение жил кабеля выбрано по току в нейтрали, который лишь незначительно выше фазового тока, необходимо снизить значение пропускной способности по току для трех фазных жил.
- Если ток в нейтрали составляет более 135% от тока в фазах, и сечение кабеля выбирается на основе тока в нейтрали, то три фазных проводника не будут нести полную нагрузку. Снижение тепла, выделяемого фазными проводниками, снижает тепло, выделяемое нейтральным проводником до такой степени, что нет необходимости применять понижающий коэффициент к пропускной способности по току для трех нагруженных проводников.
- Для защиты кабелей, предохранитель или автоматический выключатель должен быть рассчитан с учетом наибольшей из величин токов линий (фазы или нейтраль). Однако, существуют специальные устройства (например, автоматический выключатель ComPact NSX, оснащенный OSN-расцепителем), которые позволяют использовать сечение фазного проводника меньше, чем сечение нейтрального проводника. Таким образом, могут быть достигнуты большие экономические выгоды.

Третья гармоническая составляющая фазного тока (%)	Коэффициент снижения	
	На основании тока в фазных проводниках	На основании тока в нейтральном проводнике
0-15	1,0	-
15-33	0,86	-
33-45	-	0.86
> 45	-	1,0 (1)

(1) Если ток в нейтрали составляет более 135% от тока в фазах, и сечение кабеля выбирается на основе тока в нейтрали, то три фазных проводника не будут нести полную нагрузку. Снижение тепла, выделяемого фазными проводниками, снижает тепло, выделяемое нейтральным проводником до такой степени, что нет необходимости применять понижающий коэффициент к пропускной способности по току для трех нагруженных проводников.

Рис. G69. Коэффициенты снижения из-за токов высших гармоник в четырехжильных и пятижильных кабелях (согласно стандарту МЭК 60364-5-52, ГОСТ Р 50571.5.52-2011)

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

7 Нейтральный проводник

Примеры

Рассмотрим трехфазную цепь с расчетной нагрузкой 37 А, в которой используется четырехжильный кабель с изоляцией ПВХ, с креплением к стене, метод монтажа C. Согласно **рис. G2**, кабель 6 мм^2 с медными проводами имеет пропускную способность 40 А. Допустим, что в цепи не присутствуют гармоники.

■ Если присутствует 20% тока третьей гармоники, то применяется коэффициент снижения 0,86, и расчетная нагрузка становится равной: 37/0,86 = 43 А.
Для этой нагрузки необходим кабель сечением 10 мм^2.

■ Если присутствует 40% тока третьей гармоники, то сечение кабеля выбирается на основе тока в нейтральном проводнике, который равен: 37 x 0,4 x 3 = 44,4 А, и применяется коэффициент снижения 0,86, поэтому расчетная нагрузка будет: 44,4/0,86 = 51,6 А.

Для этой нагрузки необходим кабель сечением 10 мм^2.

■ Если присутствует 50% тока третьей гармоники, то сечение кабеля также выбирается на основе тока в нейтральном проводнике: 37 x 0,5 x 3 = 55,5 А. В этом случае коэффициент равен 1 и потребуется кабель сечением 16 мм^2.

В этом случае использование специального защитного устройства (например, ComPact NSX, оснащенного OSN-расцепителем) позволит использовать кабель 6 мм^2 для фазного проводника и 10 мм^2 для нейтрального проводника.

7.2 Защита нейтрального проводника

(см. **рис. G70** на след. стр.)

Защита от перегрузки

Если сечение нейтрального проводника выбрано правильно (включая гармоники), то не требуется специальная защита нейтрального проводника, так как он защищен устройствами защиты фазных проводников.

Однако, на практике, если сечение нейтрального проводника меньше, чем сечение фазного, должна быть установлена защита нейтрального проводника от перегрузки.

Защита от короткого замыкания

Если сечение нейтрального проводника меньше, чем сечение фазного, то он должен быть защищен от короткого замыкания.

Если сечение нейтрального проводника равно сечению фазного или больше, то не требуется специальная защита нейтрального проводника, так как он защищен защитой фазных проводников.

7.3 Отключение нейтрального проводника

(см. **рис. G70** на след. стр.)

Необходимость отключать или не отключать нейтральный проводник связана с защитой от косвенного прикосновения.

В схеме TN-C

Нейтральный проводник ни в коем случае не должен быть разомкнут, так как он выполняет роль заземляющего и нейтрального проводников.

В схемах TT, TN-S и IT(1)

В случае повреждения, автоматический выключатель цепи отключит все полюса, включая полюс нейтрали, то есть, автоматический выключатель является многополюсным.
В случае плавких предохранителей, это действие может быть достигнуто только непрямым способом, когда срабатывание одного или более предохранителей приводит к механическому размыканию всех полюсов соответствующего выключателя нагрузки, подсоединенного последовательно.

7.4 Изоляция нейтрального проводника

(см. **рис. G70** на след. стр.)

Общепринято, что каждый проводник должен быть оснащен устройством отключения от источника.

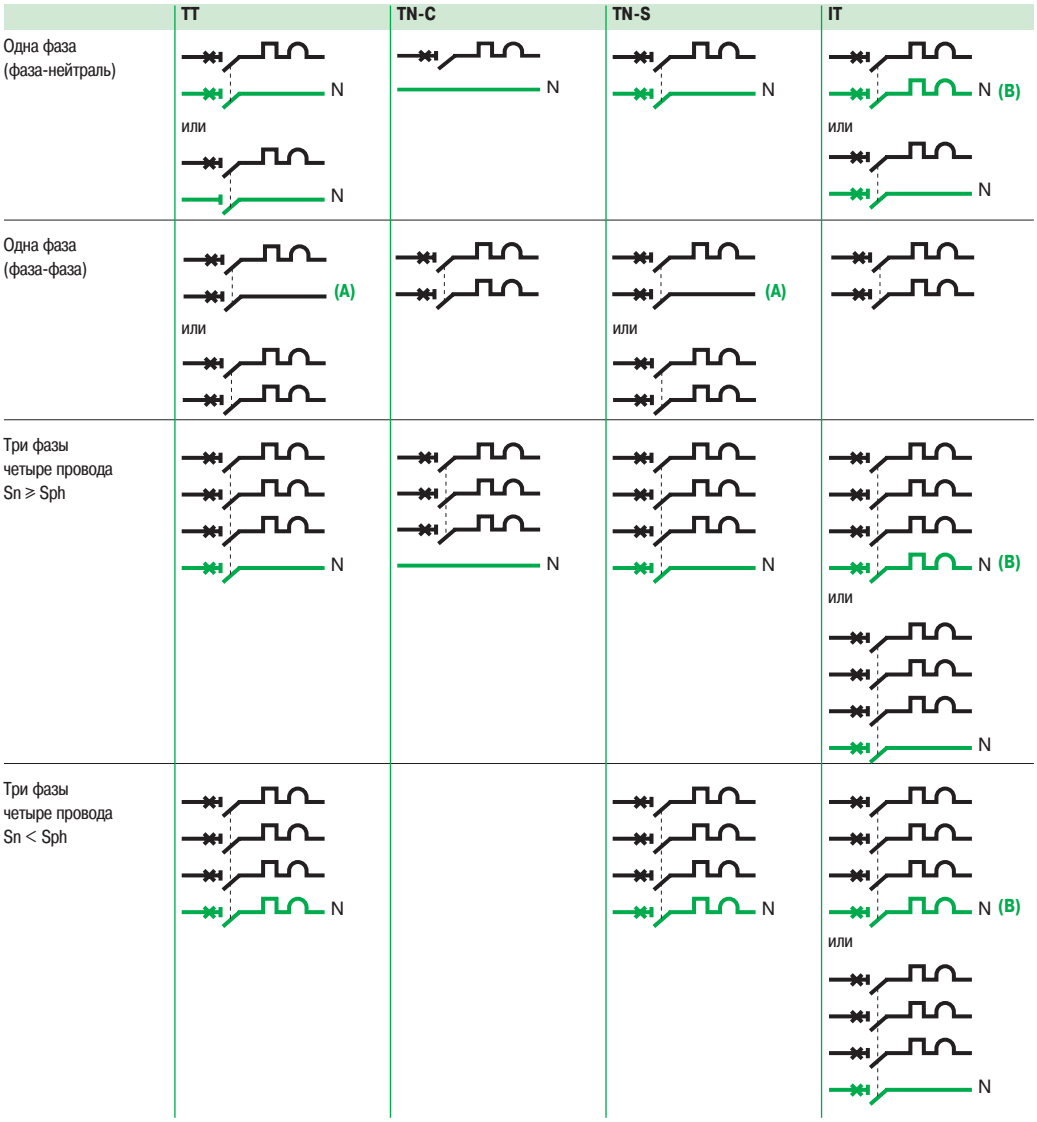
(1) В некоторых странах правила, применяемые для системы TN-S, аналогичны правилам для системы TN-C

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

7 Нейтральный проводник



(A) Разрешено для схем TT или TN-S, если установлена защита типа УЗО в начале цепи или выше ее, и отсутствует дополнительный нейтральный проводник ниже по цепи от точки защиты.

(B) Защита нейтрального проводника от перегрузки по току не требуется:
– если нейтральный проводник защищен от короткого замыкания с помощью устройства, установленного выше по цепи;
– если цепь имеет защиту типа УЗО, чувствительность которой составляет меньше 15% допустимого тока в нейтрали.

Рис. G70. Различные варианты для нейтрального проводника

(1) В некоторых странах правила, применяемые для системы TN-S, аналогичны правилам для системы TN-C

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

8 Пример расчета кабелей

Пример расчета кабелей (см. рис. G71)

Установка запитана через трансформатор 630 кВА. Производственный процесс требует высокой степени бесперебойности питания, что обеспечивается установкой резервного генератора (250 кВА, 400 В) и применением системы заземления TN-S в главном распределительном устройстве.

Однолинейная схема приведена на **рис. G71**.

Результаты компьютерного исследования цепи от трансформатора T1 до кабеля C7 приведены на **рис. G72**. Это исследование было проведено с помощью Ecodial (программное обеспечение Schneider Electric).

Также приведены аналогичные расчеты, выполненные по упрощенному методу, описываемому в данном руководстве.

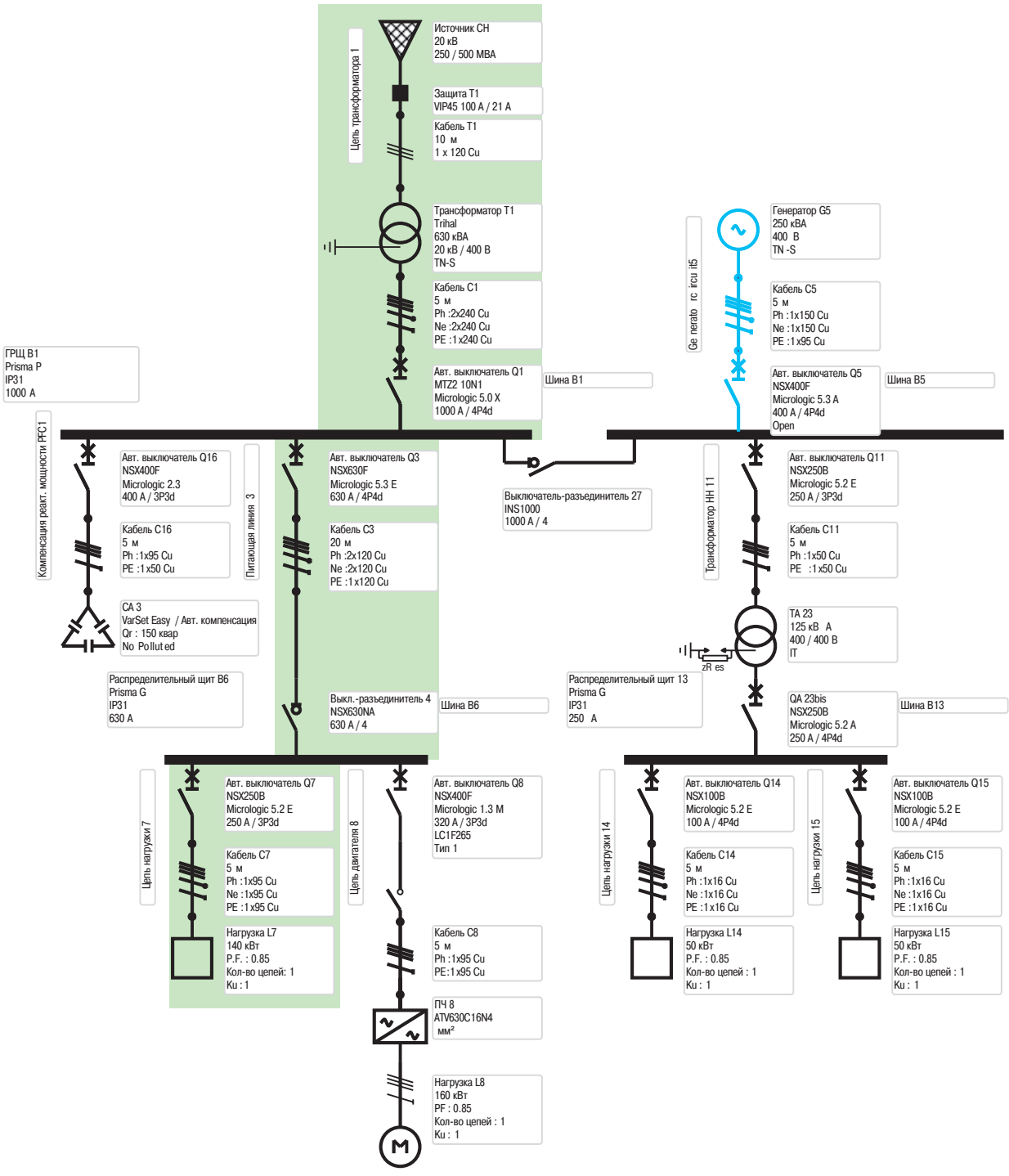


Рис. G71. Пример однолинейной схемы

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

8 Пример расчета кабелей

Расчет с помощью программного обеспечения Ecodial

Общие характеристики сети	
Система заземления	TN-S
Распределенная нейтраль	Нет
Напряжение (В)	400
Частота (Гц)	50
	500
Активное сопротивление сети высокого напряжения (мОм)	0,0351
Реактивное сопротивление сети высокого напряжения (мОм)	0,351
Трансформатор T1	
Ном. мощность (кВА)	630
Напряжение КЗ (%)	4
Нагрузочные потери (Вт)	7100
Напряжение холостого хода (В)	420
Номинальное напряжение (В)	400
Кабель C1	
Длина (м)	5
Макс. ток нагрузки (А)	909
Тип изоляции	ПВХ
Температура окружающего воздуха (°C)	30
Материал проводников	медь
Количество жил в кабеле	1
Метод монтажа	31F
Количество цепей поблизости	1
Выбранная площадь поперечного сечения фазного проводника (мм^2)	2x240
Выбранная площадь поперечного сечения нейтрального проводника (мм^2)	2x240
Выбранная площадь поперечного сечения защитного PE-проводника (мм^2)	1x240
Потеря напряжения, ΔU (%)	0,124
Ток трехфазного КЗ, Iк3 (кА)	21,5
Ток однофазного КЗ на землю, Id (кА)	18
Выключатель Q1	
Ток нагрузки (А)	909
Тип	MasterPact
Выключатель	MTZ2 10N1
Ном. ток (А)	1000
Количество полюсов и защищенных полюсов	4P4d
Тип расцепителя	Micrologic 5.0X
Отключение при перегрузке	920
Уставка мгновенного расцепителя Im / Isd (А)	9200
Выдержка времени tm (мс)	50
Распределительный щит B1	
Тип	Prisma P
Ном. ток (А)	1000
Выключатель Q3	
Ток нагрузки (А)	518
Тип	ComPact
Выключатель	NSX630F
Ном. ток (А)	630
Количество полюсов и защищенных полюсов	4P4d
Тип расцепителя	Micrologic 5.3E
Отключение при перегрузке	518
Уставка мгновенного расцепителя Im / Isd (А)	1036
Кабель C3	
Длина (м)	20
Макс. ток нагрузки (А)	518
Тип изоляции	ПВХ
Температура окружающего воздуха (°C)	30
Материал проводников	медь
Количество жил в кабеле	1
Метод монтажа	F31
Выбранная площадь поперечного сечения фазного проводника (мм^2)	2x120
Выбранная площадь поперечного сечения нейтрального проводника (мм^2)	2x120
Выбранная площадь поперечного сечения защитного PE-проводника (мм^2)	1x120
Потеря напряжения в кабеле, ΔU (%)	0,459
Общее падение напряжения, ΔU (%)	0,583
Ток трехфазного КЗ, Iк3 (кА)	21,5
Ток однофазного КЗ на землю, Id (кА)	18
Распределительный щит B6	
Тип	Prisma G
Ном. ток (А)	630
Выключатель Q7	
Ток нагрузки (А)	238
Тип	ComPact
Выключатель	NSX250B
Ном. ток (А)	250
Количество полюсов и защищенных полюсов	3P3d
Тип расцепителя	Micrologic 5.2E
Отключение при перегрузке	258
Уставка мгновенного расцепителя Im / Isd (А)	2380
Кабель C7	
Длина (м)	5
Макс. ток нагрузки (А)	238
Тип изоляции	ПВХ
Температура окружающего воздуха (°C)	30
Материал проводников	медь
Количество жил в кабеле	1
Метод монтажа	F31
Выбранная площадь поперечного сечения фазного проводника (мм^2)	1x95
Выбранная площадь поперечного сечения нейтрального проводника (мм^2)	-
Выбранная площадь поперечного сечения защитного PE-проводника (мм^2)	1x95
Потеря напряжения в кабеле, ΔU (%)	0,131
Общее падение напряжения, ΔU (%)	0,714
Ток трехфазного КЗ, Iк3 (кА)	18,0
Ток однофазного КЗ на землю, Id (кА)	14,2

Рис. G72. Выборочные результаты расчета с помощью Ecodial программного обеспечения (Schneider Electric). Расчет производится в соответствии с требованиями Cenelec TR50480 и МЭК 60909

Аналогичный расчет с помощью упрощенного метода, рекомендованного в данном руководстве

■ Определение параметров цепи C1

Трансформатор среднего/низкого напряжения 630 кВА имеет номинальное напряжение 400 В. Цепь C1 должна быть рассчитана на ток:

$$I_B = \frac{630 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 400} = 909 \text{ А на фазу}$$

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

8 Пример расчета кабелей

Для каждой фазы используется два одножильных медных кабеля с изоляцией ПВХ, соединенных параллельно. Эти кабели прокладываются в лотках по методу 31F.

Поэтому, ток в каждом проводнике – 455 А. Согласно **рис. G21a**, площадь поперечного сечения проводника с ПВХ изоляцией – 240 мм^2.

Активное и реактивное сопротивления для двух параллельных кабелей при длине 5 м:

$R = \frac{18{,}51 \times 5}{240 \times 2} = 0{,}19$ мОм (удельное сопротивление материала кабеля: 18,51 мОм·мм^2/м при температуре 20 °C)

X = 0.08 / 2 x 5 = 0.2 мОм (реактивное сопротивление кабеля: 0,08 мОм/м, 2 параллельных кабеля)

■ Определение параметров цепи

Цепь C3 питает 2 нагрузки суммарной мощностью 310 кВт с cos φ = 0,85, тогда полный ток нагрузки рассчитывается:

$$I_B = \frac{310 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 400 \times 0.85} = 526 \text{ A}$$

Для каждой фазы используется два одножильных медных кабелей с изоляцией ПВХ, соединенных параллельно. Эти кабели прокладываются в лотках по методу F.

Поэтому, ток в каждом проводнике – 263 А. Согласно **рис. G21a**, площадь поперечного сечения проводника с ПВХ изоляцией – 120 мм^2.

Активное и реактивное сопротивления для двух параллельных кабелей при длине 20 м:

$R = \frac{18{,}51 \times 20}{120 \times 2} = 1{,}54$ мОм (удельное сопротивление материала кабеля: 18,51 мОм·мм^2/м)

X = 0,08 / 2 x 20 = 0,8 мОм (реактивное сопротивление кабеля: 0,08 мОм/м, 2 параллельных кабеля)

■ Определение параметров цепи C7

Цепь C7 снабжает потребителя мощностью 140 кВт с cos φ = 0,85, тогда полный ток нагрузки рассчитывается:

$$I_B = \frac{140 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 400 \times 0{,}85} = 238 \text{ A}$$

Для каждой фазы используется один одножильный медный кабель с изоляцией ПВХ. Эти кабели прокладываются в лотках по методу F.

Поэтому, ток в каждом проводнике – 238 А. Согласно **рис. G21a**, для 3-х нагруженных проводников с ПВХ-изоляцией требуемая площадь сечения составляет 95 мм^2.

Активное и реактивное сопротивления для кабеля длиной 5 м:

$R = \frac{18{,}51 \times 5}{95} = 0{,}97$ мОм (удельное сопротивление материала кабеля: 18,51 мОм·мм^2/м)

X = 0,08 x 5 = 0,4 мОм (реактивное сопротивление кабеля: 0,08 мОм/м)

■ Расчет токов короткого замыкания (КЗ) для выбора автоматических выключателей Q1, Q3, Q7 (см. рис. G73)

Компоненты сети	R (мОм)	X (мОм)	Z (мОм)	Ikmax (кА)
500 МВА на стороне высокого напряжения (см. **рис. G34**)	0,035	0,351		
Трансформатор 630 кВА, 4% (см. **рис. G35**)	2,9	10,8		
Кабель C1	0,19	0,2		
Промежуточный итог	**3,13**	**11,4**	**11,8**	**21**
Кабель C3	1,54	0,8		
Промежуточный итог	**4,67**	**12,15**	**13,0**	**19**
Кабель C7	0,97	0,4		
Промежуточный итог	**5,64**	**12,55**	**13,8**	**18**

Рис. G73. Пример расчета тока трехфазного КЗ

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

8 Пример расчета кабелей

■ Защитный проводник

При использовании адиабатического метода, минимальный сечение PE-проводник для защитного заземления можно рассчитать по формуле, приведенной на **рис. G61**.

$$S_{PE} = \frac{\sqrt{I^2.t}}{k}$$

Для цепи C1, I=21 кА и k=143

t – максимальное время работы защиты на стороне CH, например, 0,5 с

Это дает:

$$S_{PE} = \frac{\sqrt{I^2.t}}{k} = \frac{21000 \times \sqrt{0,5}}{143} = 104 \text{ мм}^2$$

Достаточно одного одножильного проводника 120 мм^2, при условии, что он удовлетворяет требованиям, предъявляемым к защите при косвенном прикосновении (т.е., что его сопротивление достаточно мало).

Как правило, для цепей с фазным проводом сечением Sph ≥ 50 мм^2, минимальное сечение заземляющего провода будет Sph / 2. Тогда для цепи C1 сечение заземляющего провода будет 240 мм^2, для C3 – 120 мм^2, и для схемы C7 сечение заземляющего провода будет составлять 50 мм^2.

■ Защита от косвенного прикосновения

Для системы заземления TN минимальное значение Lmax определяется исходя из максимального сопротивления между фазой и землей. В главе F, раздел "Реализация системы TN", подробно представлены расчет короткого замыкания на землю и расчет максимальной длины цепи.

В этом примере (для 3-фазной 4-проводной схемы) максимально допустимая длина цепи определяется по формуле:

$$L_{max} = \frac{0,8 \times U_0 \times S_{ph}}{\rho \times (1 + m) \times I_a}$$

$$L_{max} = \frac{0.8 \times 230 \times 2 \times 120}{23,7 \times 10^{-3} \times (1+2) \times 630 \times 11} = 90 \text{ м}$$

Значение в знаменателе 630 x 11 = 6930 A – это уставка мгновенного расцепителя выключателя 630 A. Поэтому длина 20 м полностью защищена расцепителем автоматического выключателя мгновенного действия.

■ Потеря напряжения

Падение напряжения рассчитывается с использованием данных, приведенных на **рис. G28**, для симметричных трехфазных цепей, мощность двигателя при нормальной работе (cos φ = 0,8).

Результаты представлены на **рис. G74**.

Общая потеря напряжения в цепи C7: ΔU% = 0,73 %

	C1	C3	C7
Сечение	2 x 240 мм^2	2 x 120 мм^2	1 x 95 мм^2
ΔU в проводнике (В/А/км) см. **рис. G28**	0,22	0,36	0,43
Ток нагрузки (А)	909	526	238
Длина, м	5	20	5
Падение напряжения, В	0,50	1,89	0,51
Падение напряжения,%	0,12	0,47	0,13

Рис. G74. Падение напряжения в различных кабельных линиях

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

Низковольтная распределительная аппаратура

1 Основные функции низковольтной распределительной аппаратуры H2

1.1 Электрическая защита ... H2
1.2 Гарантированное разъединение ... H3
1.3 Управление ... H4

2 Коммутационные аппараты H5

2.1 Простые коммутационные устройства ... H5
2.2 Комбинированные коммутационные аппараты ... H9

3 Выбор распределительного устройства H10

3.1 Подбор распределительного устройства ... H10
3.2 Сводная таблица функциональных возможностей ... H10

4 Автоматический выключатель H11

4.1 Стандарты и описание ... H11
4.2 Основные характеристики автоматического выключателя ... H13
4.3 Другие характеристики автоматического выключателя ... H15
4.4 Выбор автоматического выключателя ... H18
4.5 Согласование характеристик автоматических выключателей ... H22
4.6 Селективное отключение трансформатора на подстанции потребителя ... H29
4.7 Автоматические выключатели, предназначенные для IT-систем ... H30
4.8 Сверхбыстродействующий автоматический выключатель ... H30

5 Обслуживание распределительного устройства низкого напряжения H33

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Основные функции низковольтной распределительной аппаратуры

Назначение распределительной аппаратуры:
- электрическая защита;
- безопасное изолирование от токоведущих частей;
- местная или дистанционная коммутация.

Национальные и международные стандарты определяют способ реализации электрических цепей низковольтных электроустановок, а также характеристики и возможности различных коммутационных аппаратов, которые в совокупности называются распределительной аппаратурой.

Основные функции распределительного устройства:
- электрическая защита;
- электрическое разделение отдельных секций электроустановки;
- местная или дистанционная коммутация.

Эти функции сведены в таблицу, показанную на **рис. H1**.

За исключением плавких предохранителей, электрическая защита низкого напряжения обычно реализуется в автоматических выключателях с помощью термомагнитных расцепителей и/или отключающих элементов, реагирующих на дифференциальный ток (реже с помощью устройств, реагирующих на дифференциальное напряжение, применение которых допускается стандартами МЭК, но не рекомендуется).

Помимо функций, указанных на **рис. H1**, специальными устройствами (разрядниками для защиты от грозовых и иных перенапряжений, реле с контакторами, дистанционно управляемыми автоматическими выключателями, комбинированными автоматическими выключателями-разъединителями и т.д.) обеспечиваются другие функции, а именно:
- защита от повышенного напряжения;
- защита от пониженного напряжения.

Электрическая защита	Изолирование (отключение)	Управление и контроль
■ От токов перегрузки ■ От токов КЗ ■ От пробоя изоляции	■ Разъединение контактов, ясно указываемое разрешенным к применению надежным механическим индикатором ■ Видимый разрыв или установленный изолирующий экран между разомкнутыми контактами	■ Функциональная коммутация ■ Аварийное отключение ■ Аварийный останов ■ Отключение для технического обслуживания механических узлов

Рис. H1. Основные функции низковольтной коммутационной аппаратуры

Электрическая защита обеспечивает:
- защиту элементов цепей от термических и механических напряжений, возникающих под действием токов короткого замыкания;
- защиту людей в случае повреждения изоляции;
- защиту питаемых электроприборов и оборудования (например, электродвигателей и др.).

1.1 Электрическая защита

Цель состоит в том, чтобы предотвратить или ограничить разрушительные или опасные последствия протекания чрезмерно больших токов короткого замыкания или токов, обусловленных перегрузкой или повреждением изоляции, а также отделить поврежденную цепь от остальной части электроустановки.

Различаются следующие виды защиты:
- защита элементов электроустановки (кабелей, проводов, распределительной аппаратуры и др.);
- защита людей и животных;
- защита оборудования и бытовых электроприборов, питаемых от рассматриваемой электроустановки;
- защита цепей:
  - от перегрузки, т.е. от чрезмерного тока, поступающего от неповрежденной (исправной) электроустановки;
  - от токов короткого замыкания, вызванных полным пробоем изоляции между проводниками разных фаз или (в системах заземления TN) между фазным и нулевым (или PE-) проводником.

В этих случаях защита обеспечивается или плавкими предохранителями, или автоматическими выключателями, установленными в распределительном щите, от которого отходит оконечная цепь, к которой подсоединена соответствующая нагрузка. Некоторые отличия от этих правил представлены в национальных стандартах, как отмечалось в подпункте 1.4 главы H.

Защита людей

В соответствии с требованиями стандарта МЭК 60364-4-41 (ГОСТ Р 50571.3-2009), автоматическое отключение в случае возникновения неисправности является защитной мерой:
- автоматические выключатели или предохранители могут быть использованы в качестве защитных устройств, которые отключают подачу питания к потребителю;
- от пробоев изоляции. В зависимости от используемой системы заземления электроустановки (TN, TT или IT) защита будет обеспечиваться плавкими предохранителями или автоматическими выключателями, УЗО и/или посредством постоянного контроля сопротивления изоляции электроустановки относительно земли.

© Schneider Electric – все права защищены

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Основные функции низковольтной распределительной аппаратуры

Защита электродвигателей

□ Защита от перегрева, вызванного, например, длительной перегрузкой, торможением ротора, работой двигателя с обрывом одной фазы и др. Для согласования специальных характеристик электродвигателей используются специальные термореле.

При необходимости такие реле защищают также от перегрузки кабель питания цепи двигателя. Защита от короткого замыкания обеспечивается плавкими предохранителями типа aM или автоматическим выключателем без тепловой защиты.

Считается, что гарантированное разъединение, ясно указываемое разрешенным к применению надежным механическим индикатором, или видимый разрыв контактов соответствуют требованиям национальных стандартов многих стран.

1.2 Гарантированное разъединение

Цель гарантированного разъединения состоит в том, чтобы изолировать цепь, аппаратуру или единицу оборудования (например, электродвигатель и др.) от остальной части системы, находящейся под напряжением, для обеспечения безопасного проведения техническим персоналам необходимых работ на этой изолированной части.

В принципе, все цепи низковольтной электроустановки должны иметь средства для гарантированного разъединения. Для обеспечения бесперебойности энергоснабжения целесообразно устанавливать устройство разъединения на вводе каждой цепи.

Устройство, гарантирующее разъединение, должно отвечать следующим требованиям:

■ Контакты всех полюсов цепи, включая нейтральный (за исключением случая, когда нулевой проводник является PEN-проводником) должны быть разомкнутыми(1).

■ Устройство должно быть снабжено блокировкой, запираемой ключом в отключенном положении (например, висячим замком) с тем, чтобы не допустить непреднамеренного повторного включения.

■ Оно должно соответствовать признанным национальным или международным стандартам, например МЭК 60947-3, в отношении величины промежутка между контактами, длины пути тока утечки через изолятор, способности выдерживать перенапряжения, а также:

□ Возможности проверки разомкнутого состояния контактов этого разъединительного устройства. Такая проверка может проводиться:

- визуально, если устройство спроектировано таким образом, что его контакты можно визуально наблюдать (в некоторых национальных стандартах такое требование предъявляется к разъединительному устройству, расположенному на вводе низковольтной электроустановки, питаемой непосредственно от понижающего трансформатора);
- с помощью механического индикатора, жестко приваренного к рабочему валу этого устройства. В этом случае конструкция устройства должна быть такова, чтобы в случае «приваривания» контактов индикатор не мог указывать на то, что устройство находится в разомкнутом положении.

□ Токов утечки. При разомкнутом положении разъединительного устройства токи утечки между разомкнутыми контактами каждой фазы не должны превышать:

- 0,5 мА для нового устройства;
- 6,0 мА в конце срока его нормальной эксплуатации.

□ Способности выдерживать перенапряжения на разомкнутых контактах. При разомкнутых контактах разъединительное устройство должно выдерживать импульс напряжения длительностью 1,2/50 мкс и пиковым значением 6, 8 или 12 кВ, в зависимости от его рабочего напряжения (**рис. H2**). Данное устройство должно удовлетворять этим условиям при высоте до 2000 м.

В стандарте МЭК 60664-1 (ГОСТ Р МЭК 60664.1-2012) приведены поправочные коэффициенты для высоты свыше 2000 м.

Поэтому, если испытания проводятся на уровне моря, то для учета влияния высоты результаты испытаний должны быть увеличены на 23% (см. стандарт МЭК 60947).

Номинальное напряжение (В)	Категория выдерживаемого пикового значения импульса напряжения для высоты 2000 м (кВ)	
	III	IV
400/230, 480/277	4	6
400/690	6	8
1000/577	8	12

Рис. H2. Пиковое значение импульсного напряжения в зависимости от номинального рабочего напряжения испытуемого образца. Категории III и IV отражают степени «загрязненности» сети питания, определение которых дано в стандарте МЭК 60664-1 (ГОСТ Р МЭК 60664.1-2012).

■ Оборудование с IV категорией перенапряжения предназначено для использования на вводе установки.

■ Оборудование с III категорией перенапряжения предназначено для всего остального оборудования в стационарных установках.

(1) Для большей безопасности и удобства эксплуатации настоятельно рекомендуется одновременное размыкание всех токоведущих проводников, хотя это не всегда является обязательным. Контакт нейтрали размыкается после фазных контактов, а замыкается перед ними (стандарт МЭК 60947-1, ГОСТ IEC 60947-1-2014).

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Основные функции низковольтной распределительной аппаратуры

Функции управления распределительной аппаратуры позволяют обслуживающему персоналу видоизменять нагруженную систему в любой момент времени в зависимости от требований и включают в себя:
- функциональное управление (оперативную коммутацию и др.);
- аварийное отключение;
- работы по техническому обслуживанию системы электроснабжения.

1.3 Управление

В широком смысле «управление» означает любое устройство для безопасного видоизменения нагруженной системы электроснабжения на всех уровнях электроустановки. Работа распределительной аппаратуры является важной частью управления системой электроснабжения.

Функциональное управление

Этот вид управления относится ко всем операциям коммутации цепей в нормальных условиях эксплуатации, осуществляемым для подачи питания или обесточивания части системы или электроустановки или отдельной единицы оборудования, агрегата и др.

Распределительная аппаратура для выполнения такой функции должна быть установлена, по крайней мере:
- на вводе любой электроустановки;
- на оконечной цепи или оконечных цепях нагрузки (один выключатель может управлять несколькими нагрузками).

Маркировка (управляемых цепей) должна быть четкой и понятной.

Для обеспечения максимальной эксплуатационной гибкости и бесперебойности электроснабжения, особенно там, где коммутационный аппарат осуществляет также защиту (например, автоматический выключатель или выключатель-предохранитель), предпочтительно устанавливать выключатель на каждом уровне распределения, т.е. на каждой отходящей линии всех главных и вторичных распределительных щитов.

Эта операция может осуществляться:
- вручную (посредством рукоятки управления на выключателе);
- электрически (с помощью кнопки, установленной на выключателе или дистанционно).

Такие выключатели срабатывают мгновенно (т.е. без преднамеренной выдержки времени), а те, которые обеспечивают защиту, являются всегда многополюсными(1).

Главный автоматический выключатель всей электроустановки, а также любые автоматические выключатели, используемые для переключения с одного источника питания на другой, должны быть многополюсными аппаратами.

Аварийное отключение / аварийный останов

Аварийное отключение предназначено для обесточивания цепи, находящейся под напряжением, которая является или может стать опасной (поражение электрическим током или пожар).

Аварийный останов предназначен для того, чтобы прекратить движение, которое стало опасным.

В этих двух случаях:
- устройство аварийного управления или средства его приведения в действие (местные или дистанционные), например, большая красная кнопка аварийного останова с грибовидной головкой, должны быть узнаваемы, легко доступны и находиться вблизи любого места, где может возникнуть опасность, или откуда ее можно заметить;
- однократное действие должно привести к полному обесточиванию всех токоведущих проводников(2)(3);
- разрешается применение устройства инициирования аварийного отключения с разбиваемым стеклом, однако, в случае электроустановок, работающих без обслуживающего персонала, возобновление подачи питания может быть осуществлено только с помощью ключа, хранящегося у уполномоченного лица.

Следует отметить, что в некоторых случаях может потребоваться подвод вспомогательного питания к цепям аварийной системы торможения вплоть до момента полного останова механического оборудования.

Отключение питания для технического обслуживания механического оборудования

Эта операция обеспечивает останов машины и невозможность ее непреднамеренного включения во время проведения технического обслуживания приводных механизмов. Отключение обычно выполняется с помощью функционального коммутационного аппарата с использованием соответствующей блокировки и предупредительной надписи, размещенной на этом аппарате.

(1) По одному отключению в каждой фазе и нейтрали (если используется соответствующая система).

(2) Учитывая остановленные электродвигатели.

(3) При использовании схемы TN PEN-проводник не должен отлючаться, поскольку он выполняет одновременно функции защитного провода и нулевого проводника системы.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2.1 Простые коммутационные устройства

Разъединитель (рис. H3)

Представляет собой ручной двухпозиционный (вкл./откл.) коммутационный аппарат с возможностью блокировки, обеспечивающий при фиксации в разомкнутом положении безопасное гарантированное разъединение цепи. Его характеристики определены в стандарте МЭК 60947-3 (ГОСТ IEC 60947-3-2016). Разъединитель не предназначен для того, чтобы включать или отключать токи(1), и в стандартах не регламентируются номинальные значения для этих функций. Но он должен выдерживать прохождение токов короткого замыкания, и для него устанавливается номинальный кратковременный выдерживаемый ток (обычно длительностью 1 с, если иное время не согласовано между пользователем и изготовителем). Эта величина обычно значительно превышает максимальные рабочие токи, действующие в течение более длительных периодов, например, пусковые токи электродвигателей. Также должны выполняться стандартные требования по механической износостойкости, перенапряжениям и токам утечки.

Выключатель нагрузки (рис. H4)

Этот выключатель обычно управляется вручную (но иногда для удобства оператора снабжается электрическим приводом отключения) и является неавтоматическим двухпозиционным коммутационным аппаратом (вкл./откл.).

Он используется для включения и отключения нагруженных цепей в нормальных условиях.

Поэтому он не обеспечивает защиту управляемой им цепи.

Стандарт МЭК 60947-3 (ГОСТ IEC 60947-3-2016) устанавливает:
- частоту коммутаций (не более 600 циклов включения/отключения в час);
- механическую и коммутационную износостойкость (обычно меньшую, чем у контактора);
- номинальные токи включения и отключения для нормальных и нечастых коммутаций.

При включении выключателя с целью подачи напряжения всегда существует вероятность того, что в цепи произошло непредвиденное короткое замыкание. По этой причине для выключателей нагрузки задается максимальный ток включения на короткое замыкание, т.е. обеспечивается успешное замыкание цепи при наличии электродинамических сил, связанных током короткого замыкания. Отключение короткого замыкания обеспечивается вышерасположенными защитными устройствами.

Периодическая коммутация отдельных электродвигателей относится к категории AC 23. Включение/отключение конденсаторов или ламп накаливания должно быть предметом соглашения между изготовителем и пользователем.

Категории использования, указанные на **рис. H5**, не относятся к оборудованию, которое обычно применяется для пуска, разгона и/или останова отдельных двигателей.

Пример:

Выключатель нагрузки на 100 А, соответствующий к категории AC 23 (индуктивная нагрузка), должен быть способен:
- включать ток 10 In (= 1000 А) при коэффициенте мощности 0,35;
- отключать ток 8 In (= 800 А) при коэффициенте мощности 0,45;
- выдерживать при включении кратковременные токи короткого замыкания.

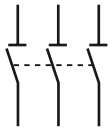


Рис. H3. Обозначение разъединителя

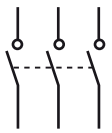


Рис. H4. Обозначение выключателя нагрузки

Категории использования		Типовые применения	Cos φ	Ток включения x In	Ток отключения x In
Частые коммутации	Нечастые коммутации				
AC 20A	AC 20B	Коммутация цепей без нагрузки	-	-	-
AC 21A	AC 21B	Коммутация активных нагрузок, включая умеренные перегрузки	0,95	1,5	1,5
AC 22A	AC 22B	Коммутация смешанных активных и индуктивных нагрузок, включая умеренные перегрузки	0,65	3	3
AC 23A	AC 23B	Коммутация электродвигателей или других высокоиндуктивных нагрузок	0,45 для I ⩽ 100 A 0,35 для I > 100 A	10	8

Рис. H5. Категории использования низковольтных коммутационных аппаратов переменного тока согласно стандарту МЭК 60947-3

(1) Низковольтный разъединитель фактически является коммутационным аппаратом обесточенной системы, который должен применяться при отсутствии напряжения как на входе, так и на выходе, в частности, при включении, поскольку существует возможность неожиданного короткого замыкания в нижерасположенной части цепи. Часто используется блокировка с помощью вышерасположенного выключателя или автоматического выключателя.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

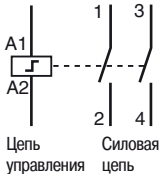


Рис. H6. Обозначение выключателя с дистанционным управлением

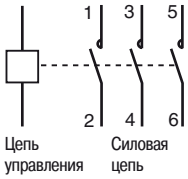


Рис. H7. Обозначение контактора

Широко применяются два типа низковольтных плавких предохранителей:
- тип gG: для бытовых и аналогичных электроустановок;
- типы gG, gM или aM: для промышленных электроустановок.

Рис. H8. Графическое обозначение плавких предохранителей

Выключатель с дистанционным управлением (рис. H6)

Этот аппарат широко используется для управления осветительными цепями, когда при нажатии кнопки дистанционного управления отключается уже включенный или включается отключенный выключатель.

Стандартные применения:
- коммутация на лестничных клетках больших зданий;
- схемы сценического освещения;
- освещение фабрик и др.

Существуют вспомогательные устройства для реализации функций:
- дистанционной индикации его положения в любой момент времени;
- выдержки времени;
- самоудержания.

Контактор (рис. H7)

Контактор представляет собой коммутационный аппарат с электромагнитным управлением, который обычно удерживается в замкнутом положении током (уменьшенной величины), проходящим через включающий соленоид (хотя для специальных применений существуют различные типы с механической блокировкой). Контакторы предназначены для выполнения многократных циклов включения/отключения и обычно управляются дистанционно с помощью двухпозиционных нажимных кнопок. Большое количество повторных циклов срабатывания стандартизировано в таблице VIII стандарта МЭК 60947-4-1 (ГОСТ Р 50030.4.1-2012) по:
- продолжительности работы: 8 часов, непрерывно, периодически; кратковременно в течение 3, 10, 30, 60 и 90 минут;
- категории использования: например, контактор категории AC3 можно использовать для пуска и останова асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором;
- циклам пуска-останова (1 ÷ 1200 циклов в час);
- механической износостойкости (количеству коммутаций без нагрузки);
- коммутационной износостойкости (количеству коммутаций под нагрузкой);
- номинальному току включения и отключения в зависимости от категории использования.

Пример:
Контактор на ток 150 A категории AC3 должен иметь минимальный ток отключения 8 In (1200 A) и минимальный ток включения 10 In (1500 A) при коэффициенте мощности 0,35 при индуктивной нагрузке.

Контактор с тепловым реле (1)

Контакторы, оснащенные тепловым реле для защиты от перегрузки, широко используются для дистанционного управления осветительными цепями с помощью кнопок и, как отмечено в п. 2.2 «Комбинированные коммутационные аппараты», могут также рассматриваться как важный элемент в управлении двигателем. Такой коммутационный аппарат не эквивалентен автоматическому выключателю, поскольку его отключающая способность при коротком замыкании ограничена величиной 8 или 10 In. Поэтому для защиты от короткого замыкания необходимо последовательно с данным контактором (выше по цепи) устанавливать или плавкие предохранители, или автоматический выключатель.

Интегрированный автоматический выключатель

Интегрированный автоматический выключатель представляет собой единое устройство, сочетающее функции:
- автоматического выключателя для защиты кабелей;
- дистанционного управления по фиксированным и/или импульсным типам команды;
- удаленной индикации состояния;
- интерфейса, совместимого с системой управления зданием.

Устройство такого типа позволяет упростить конструкцию и использование распределительного щита.

Плавкие предохранители (рис. H8)

Первая буква указывает на диапазон отключающих токов:
- плавкие вставки g: отключающая способность во всем диапазоне;
- плавкие вставки a: отключающая способность в части диапазона.

Вторая буква указывает на категорию использования и с точностью определяет времятоковые характеристики.

Например:
- gG: обозначает плавкие вставки общего применения с отключающей способностью во всем диапазоне;
- gM: обозначает плавкие вставки с отключающей способностью во всем диапазоне, предназначенные для защиты цепей электродвигателей;
- aM: обозначает плавкие вставки с отключающей способностью в части диапазона, предназначенные для защиты цепей электродвигателей.

Существуют предохранители с механическими индикаторами «перегорания» и без них. Плавкие предохранители отключают цепь в результате управляемого расплавления плавкого элемента, когда в течение соответствующего периода времени ток превышает установленную величину.

(1) В стандартах МЭК не дано определение данного термина, но он широко используется в нескольких странах.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

Соотношение тока и времени представляется в форме рабочей характеристики каждого типа предохранителя. В стандартах определены два класса предохранителей:

■ предохранители для применения в бытовых электроустановках, изготовляемые в форме патрона, рассчитанные на токи до 100 А и обозначаемые в стандартах МЭК 60269-1 и 3 (ГОСТ Р IEC 60269-1-2016 и ГОСТ МЭК 60269-3-1-2011) типом gG;

■ предохранители для промышленного применения, обозначаемые в стандартах МЭК 60269-1 и 2 (ГОСТ Р IEC 60269-1-2016 и ГОСТ 31196.2-2012) как gG (общего применения) и gM и aM (для цепей электродвигателей).

Бытовые и промышленные предохранители различаются в основном уровнями номинального напряжения и тока (предохранители на большие напряжение и ток имеют гораздо большие размеры) и отключающей способностью при коротком замыкании. Плавкие вставки типа gG часто применяются для защиты цепей электродвигателей, что возможно, если их характеристики позволяют без повреждений выдерживать пусковой ток.

В последнее время МЭК стандартизовал новый тип предохранителей gM для защиты цепей двигателей, способных функционировать при пусковых токах и токах короткого замыкания. В одних странах этот тип предохранителей распространен больше, чем в других, но в настоящее время расширяется применение предохранителя типа aM в сочетании с тепловым реле. Для плавкой вставки типа gM предусмотрены две номинальные величины тока. Первая величина In соответствует номинальному току плавкой вставки и номинальному току патрона предохранителя; вторая величина Ich обозначает времятоковую характеристику данной плавкой вставки, определяемую по таблицам II, III и VI, приведенным в стандарте МЭК 60269-1 (ГОСТ Р IEC 60269-1-2016).

Эти две номинальные величины разделяются буквой, указывающей категорию использования.

Например, In M Ich обозначает предохранитель, предназначенный для защиты цепей электродвигателей и имеющий характеристику G. Первая величина In соответствует максимальному непрерывному току для всего предохранителя, а вторая, Ich – характеристике G его плавкой вставки. Дополнительная информация содержится в примечании, помещенном в конце п. 2.1.

Плавкая вставка aM характеризуется одной величиной тока In и времятоковой характеристикой, показанной далее на **рис. H11**.

Важное замечание: в некоторых национальных стандартах используется тип предохранителя gI (промышленный), аналогичный по всем основным параметрам предохранителям типа gG. Вместе с тем предохранители типа gI не должны использоваться в бытовых и аналогичных электроустановках.

При использовании предохранителей типа gM требуется применение отдельного теплового реле, описанного в примечании, к п. 2.1.

Зоны плавления – условные токи

Условия плавления предохранителей определены стандартами в зависимости от их класса.

Предохранители класса gG

Эти предохранители обеспечивают защиту от перегрузок и коротких замыканий.

Стандартизованы условные токи неплавления и плавления (**рис. H9** и **рис. H10**).

■ Условный ток неплавления Inf – это величина тока, который данный плавкий элемент может выдержать установленное время без плавления.

Пример: предохранитель на 32 А, проводящий ток 1,25 In (т.е. 40 А), не должен расплавиться менее чем за час (см. таблицу на **рис. H10**).

■ Условный ток плавления If (= I2 на **рис. H9**) – это величина тока, который вызовет плавление плавкого элемента до истечения установленного времени.

Пример: предохранитель на 32 А, проводящий ток 1,6 In (т.е. 52,1 А), должен расплавиться за 1 час или менее.

В стандарте МЭК 60269-1 описаны испытания, требующие того, чтобы рабочая кривая конкретного испытываемого предохранителя лежала между двумя предельными кривыми, показанными на **рис. H9**. Это означает, что при низких уровнях перегрузки по току два предохранителя, удовлетворяющие данному испытанию, могут иметь существенно отличающиеся значения времени срабатывания.

■ Приведенные выше два примера для предохранителя на ток 32 А в сочетании с предшествующими примечаниями в отношении требований испытаний объясняют, почему эти предохранители неэффективны при низких уровнях перегрузки.

■ Поэтому, чтобы избежать последствий возможной длительной перегрузки (худший случай: перегрузка 60% в пределах часа), необходимо использовать кабель, рассчитанный на более высокую допустимую токовую нагрузку в амперах, чем тот, который обычно требуется.

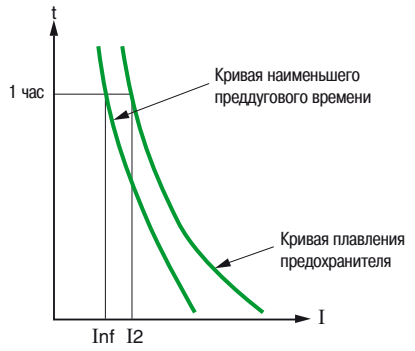


Рис. H9. Зоны плавления и неплавления предохранителей типов gG и gM (в соответствии со стандартом МЭК 60269-2-1 (ГОСТ 31196.2.1-2012))

Номинальный ток (1) In (A)	Условный ток неплавления, Inf	Условный ток плавления, If	Условное время (ч)
In ⩽ 4 A	1,5 In	2,1 In	1
4 < In < 16 A	1,5 In	1,9 In	1
16 < In ⩽ 63 A	1,25 In	1,6 In	1
63 < In ⩽ 160 A	1,25 In	1,6 In	2
160 < In ⩽ 400 A	1,25 In	1,6 In	3
400 < In	1,25 In	1,6 In	4

(1) Ich для предохранителей класса gM.

Рис. H10. Зоны плавления и неплавления для низковольтных плавких предохранителей типов gG и gM (в соответствии со стандартами МЭК 60269-1 (ГОСТ Р IEC 60269-1-2016) и МЭК 60269-2-1 (ГОСТ 31196.2.1-2012))

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

Предохранители типа aM обеспечивают защиту только от коротких замыканий и должны применяться в комбинации с устройством защиты от перегрузок.

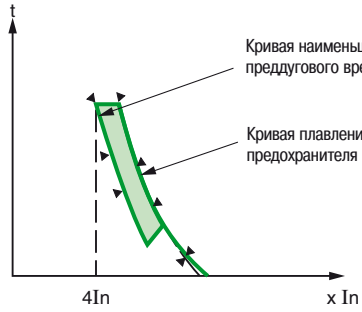
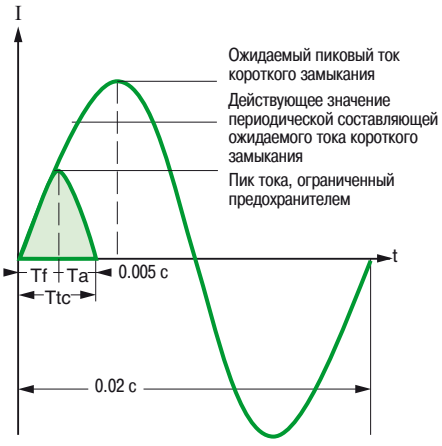


Рис. H11. Стандартные зоны плавления предохранителей класса aM (все номинальные токи)



Tf: Время плавления предохранителя до возникновения дуги
Ta: Время существования дуги
Ttc: Общее время отключения короткого замыкания

Рис. H12. Ограничение тока плавким предохранителем

Для сравнения, автоматический выключатель с аналогичным номинальным током:
- не должен отключать цепи в течение промежутка времени менее часа при прохождении тока 1,05 In;
- при прохождении тока 1,25 In должен отключать цепь в течение часа или менее (худший случай: перегрузка 25% в пределах часа).

Предохранители типа aM для электродвигателей

Эти предохранители обеспечивают защиту только от токов короткого замыкания и должны обязательно применяться в сочетании с другими коммутационными аппаратами (например, контакторами, оснащенными тепловым реле, или автоматическими выключателями) с тем, чтобы обеспечить защиту от перегрузки при токах < 4 In. Поэтому они не могут применяться автономно. Поскольку предохранители типа aM не предназначены для защиты от малых токов перегрузки, для них не устанавливаются уровни условных токов плавления и неплавления. Рабочие кривые для испытаний этих предохранителей приводятся для токов короткого замыкания, превышающих приблизительно 4 In (**рис. H11**), и рабочие кривые предохранителей, тестированных по стандарту МЭК 60269, должны располагаться в заштрихованной области.

Примечание: маленькие стрелки на диаграмме указывают пограничные времятоковые величины для различных тестируемых предохранителей (стандарт МЭК 60269).

Номинальная отключающая способность при коротком замыкании

Особенностью современных патронных плавких предохранителей является то, что благодаря быстроте плавления вставки при больших уровнях токов короткого замыкания(1) отключение тока начинается до появления первого большого пика тока, поэтому ток замыкания никогда не достигает своего ожидаемого максимального значения (**рис. H12**).

Такое ограничение тока значительно снижает вероятность возникновения термических и динамических напряжений и, тем самым, сводит к минимуму опасность и степень ущерба в том месте, где произошло короткое замыкание. Поэтому номинальная отключающая способность предохранителя определяется действующим значением переменной составляющей ожидаемого тока короткого замыкания.

Для плавких предохранителей не устанавливается номинальный ток включения на короткое замыкание.

Напоминание:

В начальный момент токи короткого замыкания содержат постоянные составляющие, амплитуда и длительность которых зависят от соотношения XL/R поврежденного участка цепи.

Вблизи источника питания (понижающего трансформатора) соотношение Ipeak/Irms (где Irms - действующее значение периодической составляющей тока непосредственно сразу после момента короткого замыкания) может достигать 2,5 (это регламентировано стандартами МЭК и показано на **рис. H13**).

Как отмечалось выше, на нижних уровнях распределения питания в электроустановке величина XL мала по сравнению с R, и поэтому для оконечных цепей Ipeak / Irms ~ 1,41 (это условие отражено на **рис. H12**).

Эффект ограничения пикового тока происходит только тогда, когда ожидаемое действующее значение переменной составляющей тока короткого замыкания достигает определенного уровня. Например, на приведенном выше графике предохранитель 100 A начнет отключать пиковый ток при ожидаемом действующем значении тока замыкания 2 кA (a). Тот же предохранитель при ожидаемом действующем значении тока замыкания 20 кA ограничит пиковый ток до 10 кA (b). В последнем случае при отсутствии токоограничивающего предохранителя пиковый ток мог бы достичь 50 кA (c). Как уже упоминалось, на нижних уровнях распределения R значительно превосходит XL, и уровни токов замыкания обычно небольшие. Это означает, что уровень тока короткого замыкания может не достичь достаточно высоких значений для того, чтобы вызвать ограничение пикового тока. С другой стороны, как уже отмечалось, в данном случае апериодические составляющие тока в переходном процессе имеют незначительное влияние на величину пика тока

Примечание о номинальных токах срабатывания предохранителей типа gM:

Предохранитель типа gM представляет собой фактически предохранитель типа gG, плавкий элемент которого рассчитан на ток Ich, который может, например, составлять 63 A.

Это испытательное значение, принятое в стандартах МЭК, поэтому его времятоковая характеристика аналогична такой же характеристике предохранителя типа gG на 63 A.

Значение 63 A выбрано для того, чтобы выдержать большие пусковые токи электродвигателя, рабочий ток которого в нормальном режиме (In) может находиться в диапазоне 10-20 A.

Это означает, что можно использовать меньшие по размерам патрон и металлические части предохранителя, поскольку отвод тепла, который требуется при нормальных условиях эксплуатации, относится к сниженным значениям тока (10-20 A). Стандартный предохранитель типа gM, пригодный для такого случая, обозначался бы как 32M63 (т.е. In M Ich).

Первый номинальный ток (In) характеризует тепловые характеристики плавкой вставки при установившейся нагрузке, а второй номинальный ток (Ich) относится к ее функционированию при кратковременном пусковом токе. Вполне очевидно, что хотя предохранитель пригоден для защиты электродвигателя от коротких замыканий, он не обеспечивает его защиты от перегрузок, и поэтому при применении предохранителей типа gM всегда необходимо устанавливать отдельное тепловое реле. Таким образом, единственное преимущество предохранителей gM перед предохранителями типа aM заключается в том, что они меньше по размерам и немного дешевле.

(1) Для токов, превышающих определенный уровень, в зависимости от номинального тока предохранителя, как показано на **рис. H13**.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

Рис. H13. Зависимость ограниченного пикового тока от ожидаемых действующих значений переменной составляющей тока короткого замыкания для низковольтных плавких предохранителей

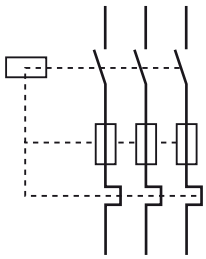


Рис. H14. Обозначение автоматического выключателя-предохранителя

Рис. H15. Обозначение неавтоматического выключателя-предохранителя

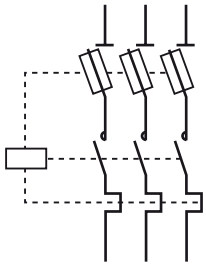


Рис. H17. Обозначение комбинации предохранитель-разъединитель + контактор с тепловым реле

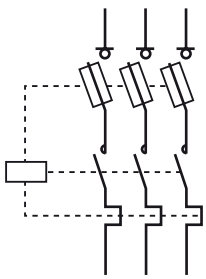


Рис. H18. Обозначение комбинации предохранитель–выключатель-разъединитель + контактор с тепловым реле

2.2 Комбинированные коммутационные аппараты

Отдельные элементы коммутационной аппаратуры могут не удовлетворять всем требованиям трех основных функций, а именно защиты, управления и гарантированного разъединения.

В тех случаях, когда установка автоматического выключателя нецелесообразна (например, там, где наблюдается высокая частота коммутаций в течение продолжительных периодов), используются комбинации элементов, специально предназначенных для таких функций. Ниже описаны наиболее распространенные комбинации коммутационных аппаратов.

Комбинации выключателей и плавких предохранителей

Рассматриваются два случая:

■ Тип, в котором срабатывание одного или нескольких предохранителей вызывает отключение выключателя. Это достигается путем использования предохранителей, снабженных бойками, и системы отключающих пружин и шарнирных механизмов (**рис. H14**).

■ Тип, в котором неавтоматический выключатель соединен с комплектом предохранителей в едином корпусе.

В некоторых странах и в стандарте 60947-3 термины «выключатель-предохранитель» и «предохранитель-выключатель» имеют специальный смысл, а именно:

□ выключатель-предохранитель состоит из выключателя (обычно с двумя разрывами на полюс), установленного перед тремя стационарными патронами предохранителей, в которые вставлены плавкие вставки (**рис. H15**);

□ предохранитель-выключатель состоит из трех ножевых контактов, каждый из которых имеет двойной разрыв на каждой фазе.

Эти ножевые контакты не являются непрерывными по длине, и каждый имеет промежуток в центре, который перекрывается патроном плавкого предохранителя. В некоторых конструкциях имеется только один разрыв на фазу (**рис. H15** и **H16**).

Диапазон токов для этих устройств ограничен 100 А в трехфазной сети напряжением 400 В, хотя их основное применение – в бытовых и аналогичных электроустановках. Чтобы избежать путаницы между первой группой (т.е. автоматическим отключением) и второй группой, термин «выключатель-предохранитель» должен использоваться с прилагательными «автоматический» или «неавтоматический».

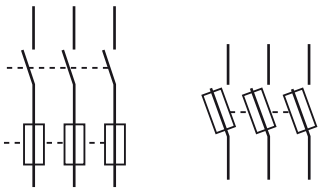


Рис. H16. Обозначение неавтоматического предохранителя-выключателя

Предохранитель-разъединитель + контактор с тепловым реле и предохранитель-выключатель-разъединитель + контактор с тепловым реле

Как указывалось выше, контактор с тепловым реле не обеспечивает защиты от токов короткого замыкания. Поэтому вместе с ним необходимо применять предохранители (обычно типа aM). Такая комбинация используется главным образом в цепях управления электродвигателями, разъединитель или выключатель-разъединитель обеспечивают возможность безопасного проведения операций технического обслуживания, включая:

■ замену плавких вставок (при отключенной цепи);

■ работы на участке цепи ниже контактора с тепловым реле (существует риск дистанционного включения этого контактора с тепловым реле).

Предохранитель-разъединитель и контактор с тепловым реле должны соединяться так, чтобы было невозможно отключение или включение предохранителя-разъединителя, если контактор с тепловым реле не отключен (**рис. H17**), поскольку такой предохранитель-разъединитель не обеспечивает функцию коммутации нагрузки.

Очевидно, что для комбинации предохранитель-выключатель-разъединитель блокировка не требуется (**рис. H18**). Если данная цепь питает электродвигатель, этот выключатель должен быть класса AC22 или AC23.

Автоматический выключатель + контактор и автоматический выключатель + контактор с тепловым реле

Эти комбинации используются в системах распределения с дистанционным управлением, для которых характерна высокая частота коммутаций, или для управления и защиты цепи питания электродвигателей

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Выбор распределительного устройства

3.1 Подбор распределительного устройства

Для оптимального выбора распределительного устройства все больше и больше применяется программное обеспечение. Рассматривается по очереди каждая цепь, и составляется перечень требуемых функций защиты и эксплуатационных требований электроустановки, из тех, которые приведены на **рис. H19** и **рис. H1**.

Анализируются несколько комбинаций распределительных устройств, которые сравниваются друг с другом по соответствующим критериям с целью достижения:
- удовлетворительной работы;
- на совместимость отдельных элементов между собой (от номинального тока In до предельной отключающей способности Icu);
- на совместимость с вышерасположенным коммутационным аппаратом или учета его «влияния»;
- на соответствие всем нормам и требованиям, касающимся безопасной и надежной работы цепей.

Необходимо определиться с количеством полюсов коммутационного аппарата (см. главу G, **рис. G64**). Для того чтобы определить число полюсов в элементах распределительного устройства, см. главу G, п. 7, **рис. G64**. Многофункциональные распределительные устройства, изначально более дорогостоящие, но снижается стоимость монтажа и устранение проблем установки или эксплуатации. Часто оказывается, что такое распределительное устройство обеспечивает лучшее решение.

3.2 Сводная таблица функциональных возможностей

На основе изучения основных функций низковольтных распределительных устройств (пункт 1, **рис. H1**) и их различных элементов (пункт 2) составлена сводная таблица функциональных возможностей, см. **рис. H19**.

Устройство	Изолирование	Управление				Электрическая защита		
		Функциональное	Аварийное отключение	Аварийный останов (механических узлов)	Откл. для тех. обслуживания механич. узлов	От перегрузки	От короткого замыкания	От тока утечки
Разъединитель (4)	■							
Выключатель (5)	■	■	■ (1)	■ (1) (2)	■			
УЗО (5)	■	■	■ (1)	■ (1) (2)	■			■
Выключатель–разъединитель	■	■	■ (1)	■ (1) (2)	■			
Контактор		■	■ (1)	■ (1) (2)	■	■ (3)		
Двухпозиционный выключатель с дистанционным управлением		■	■ (1)	■ (1) (2)	■			
Предохранитель	■	■	■ (1)	■ (1) (2)	■	■	■	■ (6)
Автоматический выключатель (5)		■	■ (1)	■ (1) (2)	■	■	■	■ (6)
Авт. выключатель-разъединитель (5)	■	■	■ (1)	■ (1) (2)	■	■	■	■ (6)
УЗО + авт. выключатель с защитой от сверхтоков (5)	■	■	■ (1)	■ (1) (2)	■	■	■	■
Место установки (общий принцип)	Ввод каждой цепи	Все места, где по эксплуатационным причинам может потребоваться остановка процесса	Как правило, на входящей цепи каждого распределительного щита	В месте подвода питания к каждой машине и/или на соответствующей машине	В месте подвода питания к каждой машине	Ввод каждой цепи	Ввод каждой цепи	Ввод цепей в случае использования систем заземления TN-S, IT, TT

(1) Где обеспечивается обесточивание всех активных проводников.

(2) Может потребоваться подвод питания к системе торможения.

(3) Если он электрически соединен с тепловым реле.

(4) В некоторых странах применение разъединителя с видимым разрывом на вводе низковольтной электроустановки, питаемой непосредственно от понижающего трансформатора, является обязательным.

(5) Определенные элементы коммутационной аппаратуры пригодны для выполнения функций изолирования или разъединения (например, УЗО в соответствии со стандартом МЭК 1008), хотя на них отсутствует соответствующая маркировка.

(6) Автоматический выключатель и предохранитель также могут осуществить автоматическое отключение питания в случае возникновения неисправности.

Рис. H19. Функции, выполняемые разными элементами коммутационной аппаратуры

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Автоматический выключатель

Автоматический выключатель/разъединитель выполняет все основные функции распределительного устройства, а при использовании вспомогательных элементов может обеспечивать многочисленные дополнительные функции.

Как показано на **рис. H20**, автоматический выключатель/разъединитель является единственным коммутационным аппаратом, способным одновременно выполнять все основные функции, необходимые в электроустановке.

Кроме того, за счет применения вспомогательных элементов, он может обеспечить широкий диапазон дополнительных функций, таких как: индикация (включение-отключение-отключение при коротком замыкании), отключение по минимальному напряжению; дистанционное управление и др. Это делает автоматический выключатель/разъединитель основным элементом распределительного устройства для любой электроустановки.

Функции		Возможные условия
Гарантированное разъединение		■
Управление	Оперативное	■
	Аварийное отключение	■ С возможностью использования катушки отключения для телеуправления
	Отключение для тех. обслуживания механического оборудования	■
Защита	Перегрузка	■
	Короткое замыкание	■
	Замыкание на землю	■ С применением УЗО
	Минимальное напряжение	■ С использованием катушки минимального напряжения
Дистанционное управление		■ Добавленное или встроенное
Индикация и измерение		■ Обычно является дополнительной опцией с электронным расцепителем

Рис. H20. Функции, выполняемые автоматическим выключателем/разъединителем

H11

4.1 Стандарты и описание

Стандарты

Промышленные автоматические выключатели должны соответствовать стандартам МЭК 60947-1 и 60947-2 или другим эквивалентным стандартам.
Бытовые автоматические выключатели должны соответствовать стандарту МЭК 60898 или другому эквивалентному стандарту.

В промышленных низковольтных электроустановках должны применяться следующие существующие или разрабатываемые международные стандарты:
■ 60947-1: общие правила;
■ 60947-2, часть 2: автоматические выключатели;
■ 60947-3, часть 3: выключатели, разъединители, выключатели-разъединители и их комбинации с плавкими предохранителями;
■ 60947-4, часть 4: контакторы и пускатели электродвигателей;
■ 60947-5, часть 5: устройства и коммутационные аппараты для цепей управления;
■ 60947-6, часть 6: многофункциональные коммутационные устройства;
■ 60947-7, часть 7: вспомогательное оборудование;
■ 60947-8, часть 8: блоки управления для встроенной термической защиты для вращающихся электрических машин.
Для бытовых и аналогичных низковольтных электроустановок соответствующим стандартом является МЭК 60898 или эквивалентный национальный стандарт.

Описание

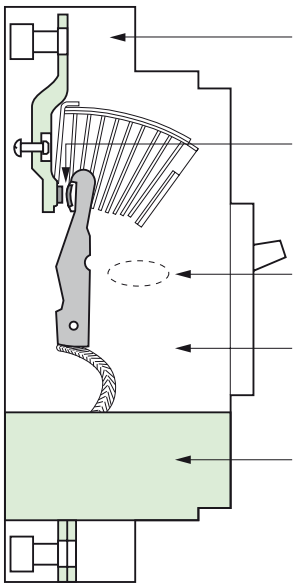


Рис. H21. Основные элементы автоматического выключателя

На **рис. H21** схематически показаны основные части низковольтного автоматического выключателя и его четыре основные функции:
■ Узлы, осуществляющие отключение цепей, включая неподвижные и подвижные контакты и дугогасительную камеру.
■ Механизм блокировки, который разблокируется расцепителем при обнаружении аномальных условий по току.
Этот механизм также соединен с ручкой управления выключателя.
■ Исполнительное устройство расцепляющего механизма:
□ термомагнитный (комбинированный) расцепитель, в котором биметаллическая пластина, чувствительная к изменению температуры, обнаруживает перегрузку, а электромагнитный расцепитель срабатывает при уровнях тока, характерных для условий короткого замыкания;
□ электронное реле, срабатывающее от измерительных трансформаторов тока, установленных по одному на каждой фазе.
■ Место, предусмотренное для размещения нескольких типов контактных зажимов, которые используются для подсоединения основных проводников силовой цепи.

Бытовые автоматические выключатели (**рис. H22** на следующей странице), отвечающие стандарту МЭК 60898 и аналогичным национальным стандартам, выполняют функции:
■ изолирования цепей;
■ защиты от сверхтоков.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Автоматический выключатель

Рис. H22. Бытовой автоматический выключатель серии Acti 9, обеспечивающий функции защиты от сверхтоков и изоляции цепей

Рис. H23. Бытовой автоматический выключатель серии Acti 9, дополнительно обеспечивающий защиту человека от поражения электрическим током

Некоторые из моделей могут быть адаптированы для обнаружения с высокой чувствительностью (30 мА) токов утечки на землю и отключения цепи с помощью дополнительного модуля, как показано на **рис. H23**, а в других моделях (RCBOs), отвечающих стандартам МЭК 61009 (ГОСТ IEC 61009-1-2014) и 60947-2 (ГОСТ Р 50030.2-2010), приложение B (модель CBRs), функция обнаружения дифференциального тока встроена в конструкцию автоматического выключателя.

Помимо вышеуказанных функций, установка дополнительных модулей (как показано на **рис. H24**) позволяет базовому автоматическому выключателю выполнять вспомогательные функции, а именно, дистанционное управление и индикацию (включение-отключение-отключение при коротком замыкании).

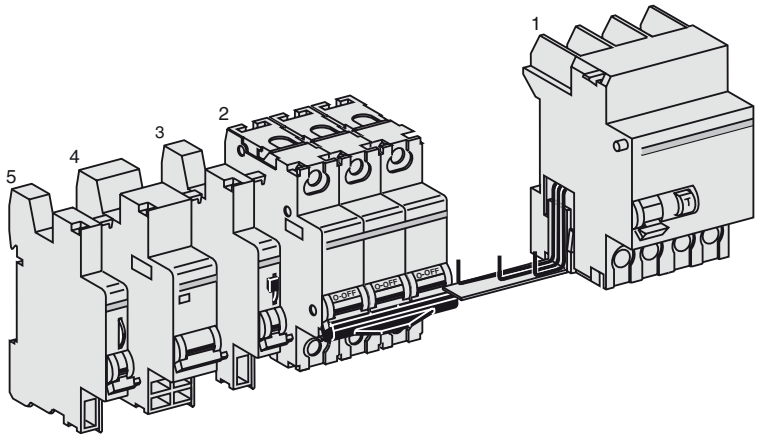


Рис. H24. Система модульных распределительных аппаратов низкого напряжения серии Acti 9

В настоящее время на рынке имеются промышленные автоматические выключатели в литом корпусе, отвечающие стандарту МЭК 60947-2 (ГОСТ Р 50030.2-2010), которые с помощью дополнительных встраиваемых модулей обеспечивают набор вспомогательных функций, аналогичных тем, которые были описаны выше (**рис. H25**).

Промышленные автоматические выключатели для тяжелых условий эксплуатации, рассчитанные на большие токи и удовлетворяющие стандарту МЭК 60947-2 (ГОСТ Р 50030.2-2010), имеют много встроенных электронных функций и функций связи. Они как правило, устанавливаются в главном распределительном щите и обеспечивают защиту от 630 А до 6300 А (**рис. H26**).

Кроме функций защиты, модуль MicroLogic обеспечивает дополнительные функции, такие как измерение (включая функции контроля качества электроэнергии), диагностика, связь, управление и мониторинг.

Рис. H25. Промышленный автоматический выключатель ComPact NSX, обладающий различными дополнительными функциями

Рис. H26. Воздушный автоматический выключатель MasterPact, обладающий множеством функций автоматизации благодаря использованию электронного блока контроля и управления MicroLogic

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4.2 Основные характеристики автоматического выключателя

Основными характеристиками автоматического выключателя являются:
- номинальное напряжение Ue;
- номинальный ток In;
- диапазоны регулировки уровней тока отключения для защиты от перегрузки Ir(1) или Irth(1) и защиты от короткого замыкания Im(1);
- отключающая способность при коротком замыкании (Icu – для промышленных автоматических выключателей и Icn – для бытовых автоматических выключателей).

Номинальное рабочее напряжение (Ue)

Это то напряжение, при котором данный выключатель работает в нормальных условиях.

Для автоматического выключателя устанавливаются и другие значения напряжения, соответствующие импульсным перенапряжениям (см. подраздел 4.3).

Номинальный ток (In)

Это максимальная величина тока, который автоматический выключатель, снабженный специальным отключающим реле максимального тока, может проводить бесконечно долго при температуре окружающей среды, оговоренной изготовителем, без превышения установленных значений максимальной температуры токоведущих частей.

Пример:

Автоматический выключатель с номинальным током In = 125 A при температуре окружающей среды 40 °C, оснащенный отключающим реле максимального тока, откалиброванного соответствующим образом (настроенным на ток 125 A). Этот же автоматический выключатель может использоваться при более высоких температурах окружающей среды, но за счет занижения номинальных параметров. Например, при окружающей температуре 50 °C этот выключатель сможет проводить бесконечно долго 117 A, а при 60 °C – лишь 109 A при соблюдении установленных требований по допустимой температуре.

Уменьшение номинального тока автоматического выключателя производится путем уменьшения уставки его теплового реле. Использование электронного расцепителя, который может работать при высоких температурах, обеспечивают возможность эксплуатации автоматических выключателей (с пониженными уставками по току) при окружающей температуре 60 °C или даже 70 °C.

Примечание: в автоматических выключателях, соответствующих стандарту МЭК 60947-2 (ГОСТ Р 50030.2-2010), ток In равен обычно Iu для всего распределительного устройства, где Iu обозначает номинальный длительный ток.

Номинальный ток выключателя при использовании расцепителей с разными диапазонами уставок

Автоматическому выключателю, который может быть оборудован расцепителями, имеющими различные диапазоны уставок по току, присваивается номинальное значение, соответствующее номинальному значению расцепителя с наивысшим уровнем уставки по току отключения.

Пример:

Автоматический выключатель NSX630N может быть оснащен четырьмя электронными расцепителями с номинальными токами от 150 до 630 A. В таком случае номинальный ток данного автоматического выключателя составит 630 A.

Уставка реле перегрузки по току отключения (Irth или Ir)

За исключением небольших автоматических выключателей, которые легко заменяются, промышленные автоматические выключатели оснащаются сменными, т.е. заменяемыми реле отключения максимального тока. Для того чтобы приспособить автоматический выключатель к требованиям цепи, которой он управляет, и избежать необходимости устанавливать кабели большего размера, отключающие реле обычно являются регулируемыми. Уставка по току отключения Ir или Irth (оба обозначения широко используются) представляет собой ток, при превышении которого данный автоматический выключатель отключит цепь. Кроме того, это максимальный ток, который может проходить через автоматический выключатель без отключения цепи. Это значение должно быть обязательно больше максимального тока нагрузки Iв, но меньше максимально допустимого тока в данной цепи Iz (см. главу G, подпункт 1.3).

Термореле обычно регулируются в диапазоне 0,7-1,0 In, но в случае использования электронных устройств этот диапазон больше и обычно составляет 0,4-1,0 In.

Пример (**рис. H27**):

Автоматический выключатель NSX630N, оснащенный расцепителем MicroLogic 6.3E на 400 A, который отрегулирован на 0,9 In, будет иметь уставку тока отключения:

Ir = 400 x 0,9 = 360 A.

Примечание: для цепей, оборудованных нерегулируемыми расцепителями, Ir = In.

Пример: для автоматического выключателя iC60N на 20 A Ir = In = 20 A.

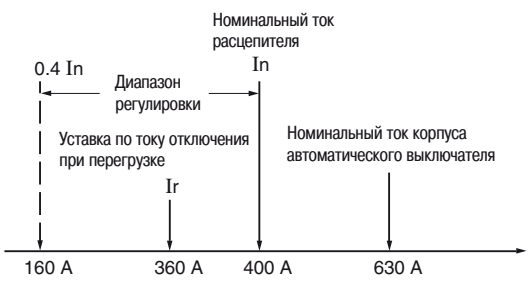


Рис. H27. Пример автоматического выключателя NSX630N с расцепителем MicroLogic 6.3E, отрегулированным на 0,9In (Ir = 360 A)

(1) Величины уставок, которые относятся к термомагнитным (комбинированным) расцепителям для защиты от перегрузки и короткого замыкания.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Автоматический выключатель

Уставка по току отключения при коротком замыкании (Im)

Расцепители мгновенного действия или срабатывающие с небольшой выдержкой времени предназначены для быстрого выключения автоматического выключателя в случае возникновения больших токов короткого замыкания. Порог их срабатывания Im:

- для бытовых автоматических выключателей регламентируется стандартами, например МЭК 60898;
- для промышленных автоматических выключателей указывается изготовителем согласно действующим стандартам, в частности МЭК 60947-2 (ГОСТ Р 50030.2-2010).

Для промышленных выключателей имеется большой выбор расцепителей, что позволяет пользователю адаптировать защитные функции автоматического выключателя к конкретным требованиям нагрузки (см. **рис. H28**, **H29** и **H30**).

	Тип расцепителя	Защита от перегрузки	Защита от короткого замыкания		
Бытовые автоматические выключатели (МЭК 60898)	Термомагнитный (комбинирован.)	Ir = In	Нижняя уставка Тип B 3 In ⩽ Im ⩽ 5 In	Стандартная уставка Тип C 5 In ⩽ Im ⩽ 10 In	Верхняя уставка Тип D 10 In ⩽ Im ⩽ 20 In(1)
Модульные промышленные (2) авт. выключатели	Термомагнитный (комбинирован.)	Ir = In (не регулируется)	Нижняя уставка Тип B или Z 3,2 In ⩽ постоянная ⩽ 4,8 In	Стандартная уставка Тип C 7 In ⩽ постоянная ⩽ 10 In	Верхняя уставка Тип D или K 10 In ⩽ постоянная ⩽ 14 In
Промышленные (2) автоматические выключатели (МЭК 60947-2)	Термомагнитный (комбинирован.)	Ir = In (не регул.)	Постоянная: Im = 7 - 10 In		
		Регулируется: 0,7 In ⩽ Ir ⩽ In	Регулируемая: - нижняя уставка: 2 - 5 In - стандартная уставка: 5 - 10 In		
	Электронный	Большая выдержка времени 0,4 In ⩽ Ir ⩽ In	Короткая выдержка времени, регулируемая: 1,5 Ir ⩽ Im ⩽ 10 Ir Мгновенное срабатывание (I), время не регулируется: I = 12 - 15 In		

(1) 50 In в стандарте МЭК 60898, что по мнению большинства европейских изготовителей является нереально большим значением (M-G = 10-14 In).

(2) Для промышленного использования значения не регламентируются стандартами МЭК. Указанные выше значения соответствуют тем, которые обычно используются.

Рис. H28. Диапазоны токов отключения устройств защиты от перегрузки и короткого замыкания для низковольтных автоматических выключателей

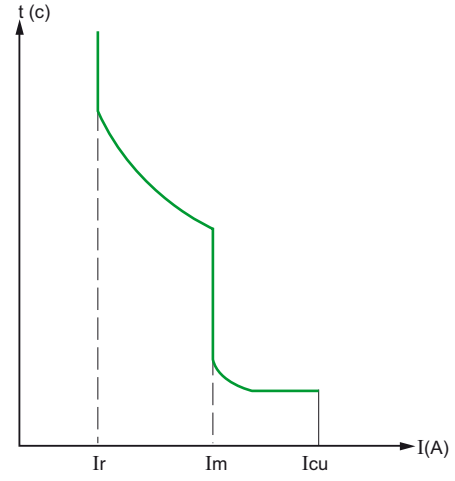
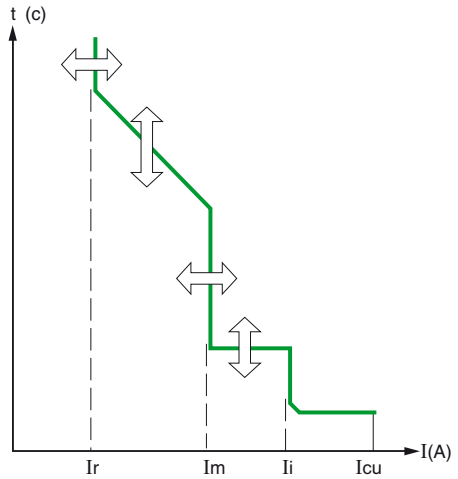


Рис. H29. Кривая срабатывания термомагнитного расцепителя автоматического выключателя



Ir: уставка по току отключения при перегрузке (тепловое реле или реле с большой выдержкой времени)
Im: уставка по току отключения при коротком замыкании (магнитное реле или реле с малой выдержкой времени)
Ii: уставка расцепителя мгновенного действия по току отключения при коротком замыкании
Icu: отключающая способность

Рис. H30. Кривая срабатывания электронного расцепителя автоматического выключателя

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Автоматический выключатель

Гарантированное разъединение

Автоматический выключатель пригоден для гарантированного разъединения цепи, если он удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к разъединителю (при его номинальном напряжении) в соответствующем стандарте (см. подраздел 1.2). В таком случае его называют автоматическим выключателем-разъединителем и на его фронтальной поверхности наносят маркировку в виде символа .
К этой категории относятся все низковольтные коммутационные аппараты компании Schneider Electric: Acti 9, ComPact NSX и MasterPact.

Отключающая способность низковольтного автоматического выключателя связана с коэффициентом мощности (cos φ) поврежденного участка цепи. В ряде стандартов приводятся типовые значения такого соотношения.

Номинальная отключающая способность при коротком замыкании (Icu или Icn)

Отключающая способность автоматического выключателя – максимальный (ожидаемый) ток, который данный автоматический выключатель способен отключить и остаться в работоспособном состоянии. Упоминаемая в стандартах величина тока представляет собой действующее значение периодической составляющей тока замыкания, т.е. при расчете этой стандартной величины предполагается, что апериодическая составляющая тока в переходном процессе (которая всегда присутствует в наихудшем возможном случае короткого замыкания) равна нулю. Эта номинальная величина (Icu) для промышленных автоматических выключателей и (Icn) для бытовых автоматических выключателей обычно указывается в кА.

Icu (номинальная предельная отключающая способность) и Ics (номинальная эксплуатационная отключающая способность) определены в стандарте МЭК 60947-2 (ГОСТ Р 50030.2-2010) вместе с соотношением Ics и Icu для различных категорий использования А (мгновенное отключение) и В (отключение с выдержкой времени), рассмотренных в подразделе 4.3.

Проверки для подтверждения номинальных отключающих способностей автоматических выключателей регламентируются стандартами и включают в себя:
■ коммутационные циклы, состоящие из последовательности операций, т.е. включения и отключения при коротком замыкании;
■ фазовый сдвиг между током и напряжением. Когда ток в цепи находится в фазе с напряжением питания (cos φ = 1), отключение тока осуществить легче, чем при любом другом коэффициенте мощности. Гораздо труднее осуществлять отключение тока при низких отстающих величинах cos φ, при этом отключение тока в цепи с нулевым коэффициентом мощности является самым трудным случаем.

На практике все токи короткого замыкания в системах электроснабжения возникают обычно при отстающих коэффициентах мощности, и стандарты основаны на значениях, которые обычно считаются типовыми для большинства силовых систем. В целом, чем больше ток короткого замыкания (при данном напряжении), тем ниже коэффициент мощности цепи короткого замыкания, например, рядом с генераторами или большими трансформаторами.

В таблице, приведенной на **рис. H31** и взятой из стандарта МЭК 60947-2 (ГОСТ Р 50030.2-2010), указано соотношение между стандартными величинами cos φ для промышленных автоматических выключателей и их предельной отключающей способностью Icu.
■ после проведения цикла «отключение – выдержка времени - включение/ отключение» для проверки предельной отключающей способности (Icu) автоматического выключателя выполняются дополнительные испытания, имеющие целью убедиться в том, что в результате проведения этого испытания не ухудшились:
□ электрическая прочность изоляции;
□ разъединяющая способность;
□ правильное срабатывание защиты от перегрузки.

Icu	cos φ
6 кА < Icu ⩽ 10 кА	0,5
10 кА < Icu ⩽ 20 кА	0,3
20 кА < Icu ⩽ 50 кА	0,25
50 кА < Icu	0,2

Рис. H31. Соотношение между Icu и коэффициентом мощности (cos φ) цепи короткого замыкания (МЭК 60947-2, ГОСТ Р 50030.2-2010)

4.3 Другие характеристики автоматического выключателя

Знакомство с приведенными ниже менее важными характеристиками низковольтных автоматических выключателей часто оказывается необходимым при окончательном выборе модели.

Номинальное напряжение изоляции (Ui)

Это величина напряжения, относительно которого выбирается напряжение при испытании электрической прочности изоляции, которое обычно превышает 2 Ui, и определяется длина пути тока утечки через изолятор.

Максимальная величина номинального рабочего напряжения не должна превышать величину номинального напряжения изоляции, т.е. Ue = Ui.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Автоматический выключатель

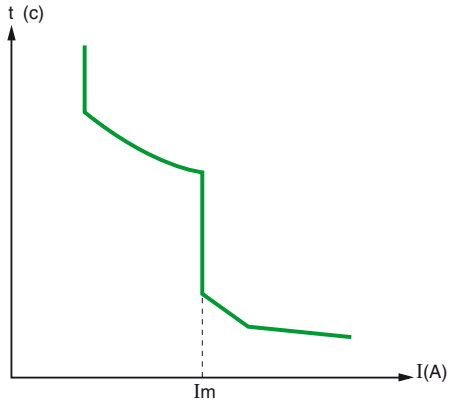


Рис. H32. Автоматический выключатель категории A

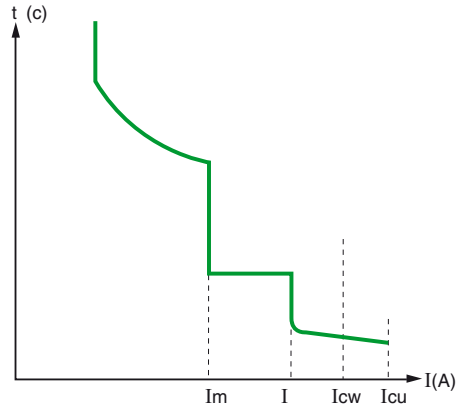


Рис. H33. Автоматический выключатель категории B

В правильно спроектированной электроустановке автоматический выключатель не будет использоваться для отключения тока короткого замыкания, равного предельной отключающей способности Icu. По этой причине была введена новая характеристика Ics. Согласно стандарту МЭК 60947-2 (ГОСТ Р 50030.2-2010), она выражается в процентах от Icu (25, 50, 75, 100%).

Номинальное выдерживаемое импульсное напряжение (Uimp)

Этот параметр представляет собой величину импульса напряжения (определенной формы и полярности) в кВ, который рассматриваемое оборудование может выдержать в условиях испытаний без повреждения.

Обычно для промышленных автоматических выключателей Uimp = 8 кВ, для бытовых автоматических выключателей Uimp = 6 кВ.

Категория (A или B) и номинальный выдерживаемый кратковременный ток (Icw)

Как уже упоминалось выше (подпункт 4.2), стандарт МЭК 60947-2 (ГОСТ Р 50030.2-2010) устанавливает две категории низковольтной промышленной коммутационной аппаратуры, A и B:

■ К категории A относятся аппараты, для которых не предусмотрена преднамеренная задержка срабатывания магнитного расцепителя мгновенного действия при коротком замыкании (**рис. H32**). Это, как правило, автоматические выключатели в литом корпусе.

■ К категории B относятся аппараты, в которых, с целью согласования их с другими последовательно соединенными автоматическими выключателями по времени срабатывания, предусмотрена возможность задержки отключения автоматического выключателя, в котором значение тока короткого замыкания ниже максимального выдерживаемого им кратковременного тока (Icw) (**рис. H33**). Это обычно имеет место в больших воздушных автоматических выключателях и в некоторых типах автоматических выключателей в литом корпусе, предназначенных для тяжелых условий эксплуатации. Ток Icw – максимальный ток, который автоматический выключатель категории B может выдержать термически и электродинамически без получения повреждений в течение периода времени, указанного изготовителем.

Номинальная включающая способность (Icm)

Icm – величина максимального мгновенного значения тока, который данный автоматический выключатель может включить при номинальном напряжении в оговоренных условиях эксплуатации. В системах переменного тока эта мгновенное пиковое значение связано с Icu (т.е. с предельной отключающей способностью) коэффициентом k, зависящим от коэффициента мощности (cos φ) цепи короткого замыкания (**рис. H34**).

Icu	cos φ	Icm = kIcu
6 кА < Icu ⩽ 10 кА	0,5	1,7 x Icu
10 кА < Icu ⩽ 20 кА	0,3	2 x Icu
20 кА < Icu ⩽ 50 кА	0,25	2,1 x Icu
50 кА ⩽ Icu	0,2	2,2 x Icu

Рис. H34. Соотношение между предельной отключающей способностью Icu и номинальной включающей способностью Icm при разных величинах коэффициента мощности цепи короткого замыкания (стандарт МЭК 60947-2, ГОСТ Р 50030.2-2010)

Пример: автоматический выключатель MasterPact NW08H2 имеет предельную отключающую способность Icu = 100 кА. Пиковое значение его номинальной включающей способности Icm составит 100 x 2,2 = 220 кА.

Рабочая отключающая способность (Ics)

Номинальная отключающая способность (Icu) или (Icn) представляет собой максимальный ток короткого замыкания, который автоматический выключатель может успешно отключить без повреждения. Вероятность возникновения такого тока крайне мала, и в нормальных обстоятельствах токи короткого замыкания гораздо ниже предельной отключающей способности (Icu) автоматического выключателя. С другой стороны, важно, чтобы большие токи (имеющие низкую вероятность) отключались так, чтобы этот автоматический выключатель был сразу готов для повторного включения тока после восстановления поврежденной цепи. Именно по этим причинам была введена новая характеристика (Ics), выраженная в процентах от Icu: 25, 50, 75 и 100% для промышленных автоматических выключателей. Стандартная последовательность проверок является следующей:

■ Откл. – Вкл./откл. – Вкл./откл. (при токе Ics);

■ проверки, проводимые после этой последовательности, предназначены для того, чтобы убедиться, что испытуемый автоматический выключатель находится в работоспособном состоянии и готов к нормальной эксплуатации.

Для бытовых автоматических выключателей Ics = k Icn. Значения коэффициента k приведены в стандарте МЭК 60898 (таблица XIV).

В Европе обычной практикой в промышленности является использование k = 100%, и поэтому Ics = Icu.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Автоматический выключатель

Многие типы низковольтных автоматических выключателей обладают способностью ограничивать ток короткого замыкания, благодаря которой этот ток снижается и не достигает своего максимального пикового значения (рис. H38). Токоограничивающая способность таких автоматических выключателей представляется в форме кривых, показанных на рис. H39, диаграмма (a).

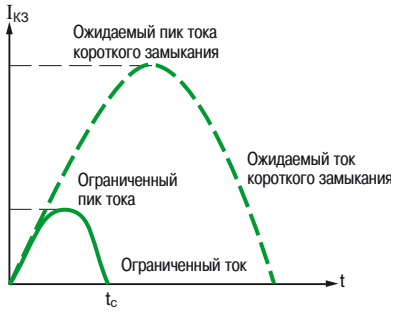


Рис. H35. Ожидаемый и фактический токи

Ограничение тока снижает температурные и электродинамические напряжения во всех элементах цепи, через которые этот ток проходит, благодаря чему продлевается срок их эксплуатации. Кроме того, токоограничивающая функция дает возможность использовать методы «каскадного» включения (см. подраздел 4.5), что позволяет значительно снизить затраты на проектные и монтажные работы.

Ограничение тока короткого замыкания

Способность автоматического выключателя ограничивать ток короткого замыкания заключается в том, что с большей или меньшей эффективностью он может предотвращать протекание максимального ожидаемого тока короткого замыкания и допускать лишь ограниченный ток (**рис. H35**). Токоограничивающая способность указывается изготовителем автоматических выключателей в форме кривых (**рис. H36**).

■ Диаграмма **(a)** показывает ограниченное пиковое значение тока в зависимости от действующего значения периодической составляющей ожидаемого тока короткого замыкания. Ожидаемый ток короткого замыкания представляет собой ток короткого замыкания, который протекал бы, если бы данный автоматический выключатель не обладал токоограничивающей способностью.

■ Ограничение тока значительно снижает температурные напряжения (пропорциональные I^2t), что отражено на **рис. H36** на диаграмме **(b)**, построенной тоже в зависимости от действующего значения переодической составляющей ожидаемого тока короткого замыкания.

В некоторых стандартах, например в европейском стандарте EN 60 898, классифицируются низковольтные автоматические выключатели для бытовых и аналогичных применений. Токоограничевающие автоматические выключатели имеют стандартные величины I^2t, предусмотренные для этого класса.

В этих случаях изготовители, как правило, не указывают кривые токоограничения.

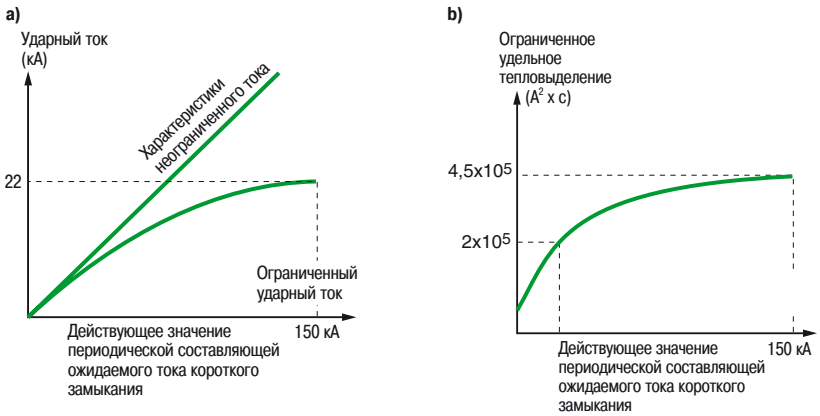


Рис. H36. Кривая токоограничения (a) и кривая ограничения тепловыделения (b)

Преимущества ограничения тока

Использование токоограничивающих автоматических выключателей дает много преимуществ:

■ улучшенная сохранность цепей электроустановки: такие автоматические выключатели резко ослабляют все нежелательные последствия, связанные с протеканием токов короткого замыкания;

■ снижение термических эффектов: значительно снижается нагрев проводников и, соответственно, изоляции, благодаря чему удлиняется срок службы кабелей;

■ снижение механических эффектов: силы, обусловленные электромагнитным отталкиванием, оказываются меньше, в результате чего снижается риск деформации, возможного разрушения, чрезмерного выгорания контактов и др;

■ снижение влияния электромагнитных помех:

□ меньшее негативное влияние на измерительные приборы и соответствующие цепи, телекоммуникационные системы и др.

Таким образом, такие автоматические выключатели способствуют более эффективной эксплуатации:

■ кабелей и проводки;

■ кабелепроводов заводского изготовления;

■ коммутационных аппаратов.

Тем самым они замедляют старение данной электроустановки.

Пример

В системе, имеющей ожидаемый ток короткого замыкания 150 кА, автоматический выключатель ComPact ограничивает ток до величины, менее чем 10% от расчетного ожидаемого пика тока, а термические эффекты снижаются до уровня, менее 1% от расчетного.

Каскадное включение нескольких коммутационных аппаратов в электроустановке, расположенных ниже токоограничивающего автоматического выключателя, также приведет к значительной экономии средств.

Фактически, метод каскадирования, описанный в подразделе 4.5, обеспечивает значительную экономию (до 20%) на коммутационной аппаратуре (ниже токоограничивающего автоматического выключателя или выключателей могут применяться аппараты с пониженными эксплуатационными характеристиками).

Использование автоматических выключателей серии ComPact NSX позволяет реализовать схемы селективной защиты и каскадирования и обеспечить необходимую отключающую способность коммутационной аппаратуры.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Автоматический выключатель

Выбор автоматических выключателей определяется электрическими характеристиками электроустановки, условиями эксплуатации, нагрузками и необходимостью дистанционного управления (в зависимости от типа планируемой телекоммуникационной сети).

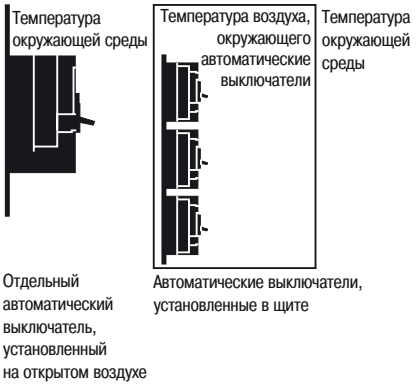


Рис. H37. Температура окружающей среды

Порог срабатывания автоматических выключателей с некомпенсируемыми комбинированными расцепителями зависит от окружающей температуры.

4.4 Выбор автоматического выключателя

Критерии выбора автоматического выключателя

Выбор автоматического выключателя производится с учетом:

- электрических характеристик электроустановки, для которой предназначен этот автоматический выключатель;
- условий его эксплуатации: температуры окружающей среды, размещения в здании подстанции или корпусе распределительного щита, климатических условий и др.;
- требований к включающей и отключающей способности при коротких замыканиях, эксплуатационных требований: селективного отключения, требований к дистанционному управлению и индикации и соответствующим вспомогательным контактам, дополнительным расцепителям, соединениям;
- правил устройства электроустановок, в частности требований в отношении обеспечения защиты людей;
- характеристик нагрузки, например электродвигателей, люминесцентного освещения, разделительных трансформаторов низкого напряжения.

Следующие замечания относятся к выбору низковольтного автоматического выключателя для использования в распределительных системах.

Выбор номинального тока с учетом окружающей температуры

Номинальный ток автоматического выключателя определяется для работы при определенной температуре окружающей среды, которая обычно составляет:

- 30°C для бытовых автоматических выключателей;
- 40°C для промышленных автоматических выключателей.

Функционирование этих автоматических выключателей при другой окружающей температуре зависит главным образом от технологии применяемых расцепителей (**рис. H37**).

Некомпенсируемые термомагнитные комбинированные расцепители

Автоматические выключатели с некомпенсируемыми термомагнитными расцепителями имеют порог срабатывания, который зависит от окружающей температуры. Если автоматический выключатель установлен в оболочке или в помещении с высокой температурой (например, в котельной), то ток, необходимый для отключения этого автоматического выключателя при перегрузке, будет заметно ниже. Когда температура среды, в которой расположен автоматический выключатель, превышает оговоренную изготовителем температуру, его характеристики окажутся «заниженными». По этой причине изготовители автоматических выключателей приводят таблицы с поправочными коэффициентами, которые необходимо применять при температурах, отличных от оговоренной температуры функционирования автоматического выключателя. Из типовых примеров таких таблиц (**рис. H38**) следует, что при температуре, оговоренной изготовителем, происходит повышение порога срабатывания соответствующего автоматического выключателя. Кроме того, небольшие модульные автоматические выключатели, установленные вплотную друг к другу (**рис. H24**), обычно монтируются в небольшом закрытом металлическом корпусе. В таком случае, вследствие взаимного нагрева при прохождении обычных токов нагрузки, к их токовым уставкам необходимо применять поправочный коэффициент 0,8.

Пример:

Какой номинальный ток (In) следует выбрать для автоматического выключателя iC60N? Этот аппарат:

- обеспечивает защиту цепи, в которой максимальный расчетный ток нагрузки составляет 34 A;
- установлен вплотную к другим автоматическим выключателям в закрытой распределительной коробке;
- эксплуатируется при окружающей температуре 50°C.

При окружающей температуре 50°C уставка автоматического выключателя iC60N с номинальным током 40 A снизится до 35,6 A (см. таблицу на **рис. H38**). Взаимный нагрев в замкнутом пространстве учитывается поправочным коэффициентом 0,8. Таким образом, получаем 35,6 x 0,8 = 28,5 A, что неприемлемо для тока нагрузки 34 A.

Поэтому будет выбран автоматический выключатель на 50 A, и соответствующая скорректированная уставка по току составит 44 x 0,8 = 35,2 A.

Компенсированные комбинированные расцепители

Эти расцепители содержат биметаллическую компенсирующую пластину, которая обеспечивает возможность регулировки уставки по току отключения при перегрузке (Ir или Irth) в установленных пределах независимо от температуры окружающей среды.

Пример:

- В некоторых странах система заземления TT является стандартной в низковольтных распределительных системах, а бытовые (и аналогичные) электроустановки защищаются в месте ввода автоматическим выключателем, который устанавливается соответствующей энергоснабжающей организацией. Такой автоматический выключатель, помимо защиты от косвенного прикосновения, обеспечит отключение цепей при перегрузках, если потребитель превысит уровень потребляемого тока, оговоренный в его контракте с энергоснабжающей организацией. Регулировка уставок автоматического выключателя с номинальным током менее 60 A возможна при температуре от -5 до +40°C.
- Низковольтные автоматические выключатели с номинальным током менее 630 A обычно оснащаются компенсируемыми расцепителями для этого диапазона температуры (от -5 до +40 °C).

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Автоматический выключатель

Автоматические выключатели iC60 (МЭК 60947-2, ГОСТ Р 50030.2-2010)

	Температура (°C)												
Ном. ток (A)	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**35**	**40**	**45**	**50**	**55**	**60**	**65**	**70**
0.5	0.58	0.57	0.56	0.55	0.54	0.53	0.52	0.51	0.5	0.49	0.48	0.47	0.45
1	1.16	1.14	1.12	1.1	1.08	1.06	1.04	1.02	1	0.98	0.96	0.93	0.91
2	2.4	2.36	2.31	2.26	2.21	2.16	2.11	2.05	2	1.94	1.89	1.83	1.76
3	3.62	3.55	3.48	3.4	3.32	3.25	3.17	3.08	3	2.91	2.82	2.73	2.64
4	4.83	4.74	4.64	4.54	4.44	4.33	4.22	4.11	4	3.88	3.76	3.64	3.51
6	7.31	7.16	7.01	6.85	6.69	6.52	6.35	6.18	6	5.81	5.62	5.43	5.22
10	11.7	11.5	11.3	11.1	10.9	10.7	10.5	10.2	10	9.8	9.5	9.3	9
13	15.1	14.8	14.6	14.3	14.1	13.8	13.6	13.3	13	12.7	12.4	12.1	11.8
16	18.6	18.3	18	17.7	17.3	17	16.7	16.3	16	15.7	15.3	14.9	14.5
20	23	22.7	22.3	21.9	21.6	21.2	20.8	20.4	20	19.6	19.2	18.7	18.3
25	28.5	28.1	27.6	27.2	26.8	26.4	25.9	25.5	25	24.5	24.1	23.6	23.1
32	37.1	36.5	35.9	35.3	34.6	34	33.3	32.7	32	31.3	30.6	29.9	29.1
40	46.4	45.6	44.9	44.1	43.3	42.5	41.7	40.9	40	39.1	38.2	37.3	36.4
50	58.7	57.7	56.7	55.6	54.5	53.4	52.3	51.2	50	48.8	47.6	46.3	45
63	74.9	73.5	72.1	70.7	69.2	67.7	66.2	64.6	63	61.4	59.7	57.9	56.1

ComPact NSX100-250 с расцепителем TM-D и TM-G

	Температура (°C)												
Ном. ток (A)	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**35**	**40**	**45**	**50**	**55**	**60**	**65**	**70**
16	18.4	18.7	18	18	17	16.6	16	15.6	15.2	14.8	14.5	14	13.8
25	28.8	28	27.5	25	26.3	25.6	25	24.5	24	23.5	23	22	21
32	36.8	36	35.2	34.4	33.6	32.8	32	31.3	30.5	30	29.5	29	28.5
40	46	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34
50	57.5	56	55	54	52.5	51	50	49	48	47	46	45	44
63	72	71	69	68	66	65	63	61.5	60	58	57	55	54
80	92	90	88	86	84	82	80	78	76	74	72	70	68
100	115	113	110	108	105	103	100	97.5	95	92.5	90	87.5	85
125	144	141	138	134	131	128	125	122	119	116	113	109	106
160	184	180	176	172	168	164	160	156	152	148	144	140	136
200	230	225	220	215	210	205	200	195	190	185	180	175	170
250	288	281	277	269	263	256	250	244	238	231	225	219	213

Рис. H38. Таблицы для определения коэффициентов понижения/повышения токовых уставок, которые должны применяться к автоматическим выключателям с некомпенсируемыми тепловыми расцепителями в зависимости от температуры

Электронные расцепители устойчиво функционируют при изменении окружающей температуры.

Электронные расцепители

Важным преимуществом электронных расцепителей является их устойчивая работа при изменении температурных условий. Однако само распределительное устройство часто налагает эксплуатационные ограничения при повышенных температурах, поэтому изготовители обычно приводят рабочую диаграмму, на которой указываются максимально допустимые значения уставок тока в зависимости от окружающей температуры (**рис. H39**).
Электронные расцепители также могут предоставлять информацию, которая может быть использована для лучшего управления распределением электроэнергии, улучшения ее качества и эффективности использования.

Тип выкатного автоматического выключателя MasterPact		**MTZ2 N1 - H1 - H2 - H3 -L1 -H10**					
		08	**10**	**12**	**16**	**20(1)**	**20(2)**
Температура окружающей среды (°C)							
Спереди или сзади Горизонтальное исполнение	40	800	1000	1250	1600	2000	2000
	45						
	50						
	55						
	60					1900	
	65					1830	1950
	70				1520	1750	1900
Спереди Вертикальное исполнение	40	800	1000	1250	1600	2000	2000
	45						
	50						
	55						
	60						
	65						
	70						

(1) Тип: H1/H2/H3.
(2) Тип: L1.

Рис. H39. Снижение максимального значения токовой уставки автоматического выключателя MasterPact MTZ2 в зависимости от температуры

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Автоматический выключатель

Выбор уставок срабатывания без выдержки времени

На **рис. H40** представлены основные характеристики расцепителей мгновенного срабатывания.

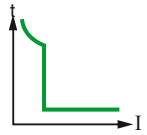
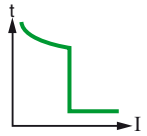
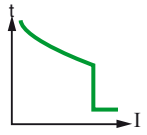
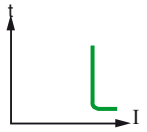
Тип	Расцепитель	Применения
	Электромагнитный 3-5 In Тип B	■ Источники питания, создающие низкие уровни тока короткого замыкания (резервные генераторы) ■ Кабели или цепи большой длины
	Электромагнитный 5-10 In Тип C	■ Защита цепей: общий случай
	Электромагнитный 10-14 In Тип D или K	■ Защита цепей, имеющих высокие уровни переходных токов (цепи электродвигателей, трансформаторов)
	12 In Тип MA	■ Защита цепей электродвигателей в сочетании с контакторами, оснащенными тепловыми реле.

Рис. H40. Различные расцепители мгновенного действия

Для установки низковольтного автоматического выключателя требуется, чтобы его предельная отключающая способность (или отключающая способность вышестоящего выключателя, удовлетворяющего условиям координации с нижестоящим) была равна расчетному ожидаемому току короткого замыкания или превышала его.

Выбор автоматического выключателя с учетом требований к отключающей способности при КЗ

Автоматический выключатель, предназначенный для использования в низковольтной электроустановке, должен удовлетворять одному из двух следующих условий:

■ иметь предельную отключающую способность Icu (Icn), которая равна расчетному ожидаемому току короткого замыкания в месте установки или превышает его;

■ использоваться совместно с другим устройством, расположенным выше по цепи и имеющим требуемую отключающую способность.

Во втором случае характеристики этих двух устройств должны быть согласованы так, чтобы ток, который может проходить через вышерасположенное устройство, не превышал максимальный ток, который способны выдержать нижерасположенный выключатель и все соответствующие кабели, провода и другие элементы цепи без какого-либо повреждения. Данный метод целесообразен при использовании:

■ комбинаций плавких предохранителей и автоматических выключателей;

■ комбинаций токоограничивающих автоматических выключателей и стандартных автоматических выключателей. Этот метод называют «каскадированием» (см. подраздел 4.5 данной главы).

При наличии нескольких трансформаторов, включенных параллельно, автоматический выключатель, установленный на выходе самого маленького трансформатора, должен иметь отключающую способность не менее суммарной отключающей способности других низковольтных автоматических выключателей трансформаторов.

Выбор автоматических выключателей вводных и отходящих линий

Случай применения одного трансформатора

Если трансформатор расположен на потребительской подстанции, то в некоторых национальных стандартах требуется применение низковольтного автоматического выключателя, в котором были бы явно видны разомкнутые контакты, такого как, например, выкатной выключатель ComPact NSX.

Пример (**рис. H41** на следующей странице):

Какой тип автоматического выключателя пригоден для главного автомата защиты электроустановки, питаемой от трехфазного понижающего трансформатора мощностью 250 кВА и напряжением во вторичной обмотке 400 В, установленного на потребительской подстанции?

Ток трансформатора In = 360 A
Ток (трехфазный) Isc = 8,9 кА

Для таких условий подходящим вариантом будет автоматический выключатель ComPact NSX400N с диапазоном регулировки расцепителя 160 - 400 A и предельной отключающей способностью (Icu) 50 кА.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Автоматический выключатель

Рис. H41. Пример установки автоматического выключателя на выходе трансформатора, расположенного на потребительской подстанции

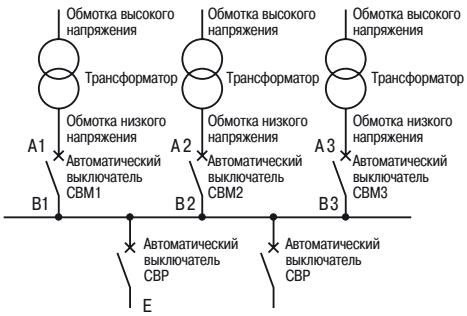


Рис. H42. Параллельное включение трансформаторов

Несколько трансформаторов, включенных параллельно (**рис. H42**)

■ Каждый из автоматических выключателей CBP, установленных на линиях, отходящих от низковольтного распределительного щита, должен быть способен отключать суммарный ток короткого замыкания от всех трансформаторов, подсоединенных к шинам, т.е. Isc1 + Isc2 + Isc3.

■ Автоматические выключатели CBM, каждый из которых контролирует выход соответствующего трансформатора, должны быть способны отключать максимальный ток короткого замыкания, например, ток Isc2 + Isc3, если короткое замыкании возникло в месте, расположенном выше выключателя CBM1.

Из этих соображений понятно, что в таких обстоятельствах автоматический выключатель самого маленького трансформатора будет подвергаться самому большому току короткого замыкания, а автоматический выключатель самого большого трансформатора будет пропускать наименьший ток короткого замыкания.

■ Номинальные токи отключения автоматических выключателей CBM должны выбираться в зависимости от номинальной мощности к кВА соответствующих трансформаторов.

Примечание: необходимыми условиями для успешной параллельной работы трехфазных трансформаторов являются следующие:

1. Фазовый сдвиг напряжений во вторичной и первичной обмотках должен быть одинаков во всех параллельно включенных трансформаторах.

2. Коэффициенты трансформации должны быть одинаковы для всех трансформаторов.

3. Напряжения короткого замыкания (Uк %) должны быть одинаковыми для всех трансформаторов. Например, трансформатор мощностью 750 кВА с Uк = 6% будет правильно делить нагрузку с трансформатором мощностью 1000 кВА, имеющим Uк = 6%, т.е. эти трансформаторы будут автоматически нагружаться пропорционально их мощностям. Для трансформаторов, у которых отношение номинальных мощностей превышает 2, параллельная работа не рекомендуется.

В таблице, приведенной на **рис. H43**, указаны максимальные токи короткого замыкания, которым подвергаются автоматические выключатели вводных и отходящих линий (соответственно CBM и CBP на **рис. H42**), для самой распространенной схемы параллельной работы (2 или 3 трансформатора одинаковой мощности). Приведенные данные базируются на следующих допущениях:

■ мощность трехфазного короткого замыкания на стороне высокого напряжения трансформатора составляет 500 МВА;

■ трансформаторы являются стандартными распределительными трансформаторами напряжением 20/0,4 кВ, характеристики которых приведены в таблице;

■ кабели от каждого трансформатора к его низковольтному автоматическому выключателю состоят из одножильных проводников длиной 5 метров;

■ между каждым автоматическим выключателем вводной цепи (CBM) и каждым автоматическим выключателем отходящей цепи (CBP) имеется шина питания длиной 1 м;

■ распределительное устройство расположено в напольном закрытом распределительном щите, температура окружающего воздуха - 30°C.

Кроме того, в этой таблице указаны модели автоматических выключателей Schneider Electric, рекомендуемые для применения в каждом случае в качестве автоматических выключателей вводных и отходящих линий.

Пример (**рис. H44** на следующей странице):

■ Выбор автоматического выключателя вводной линии (CBM):

Для трансформатора мощностью 800 кВА In = 1155 A, Icu (минимальный ток) = 38 кА (из **рис. H43**). При таких характеристиках рекомендуется использовать ComPact NS1250N (Icu = 50 кА).

■ Выбор автоматического выключателя отходящей линии (CBP):

Из **рис. H43** требуемая отключающая способность (Icu) для таких автоматических выключателей составляет 56 кА.

Для трех отходящих линий 1, 2 и 3 рекомендуется использовать токоограничивающие автоматические выключатели типа NSX400 L, NSX250 L и NSX100 L. В каждом случае номинальная отключающая способность Icu = 150 кА.

Количество и мощность трансформаторов 20/0,4 кВ (кВА)	Мин. отключающая способность авт. выключателя ввода Icu (кА)	Авт. выключатели ввода (CBM), полностью согласованные с авт. выключателем отходящих линий	Мин. отключающая способ ность авт. выключ. ввода (CBP) отходящих линий Icu (кА)	Авт. выключатели ввода (CPB) на ном. ток 250 А
2 X 400	14	MTZ1 08H1 / MTZ2 08N1 / NS800N	28	NSX100-630F
3 X 400	28	MTZ1 08H1 / MTZ2 08N1 / NS800N	42	NSX100-630N
2 X 630	22	MTZ1 10H1 / MTZ2 10N1 / NS1000N	44	NSX100-630N
3 X 630	44	MTZ1 10H2 / MTZ2 10N1 / NS1000N	66	NSX100-630S
2 X 800	19	MTZ1 12H1 / MTZ2 12N1 / NS1250N	38	NSX100-630N
3 X 800	38	MTZ1 12H1 / MTZ2 12N1 / NS1250N	57	NSX100-630H
2 X 1000	23	MTZ1 16H1 / MTZ2 16N1 / NS1600N	46	NSX100-630N
3 X 1000	46	MTZ1 16H2 / MTZ2 16N1 / NS1600N	69	NSX100-630H
2 X 1250	29	MTZ2 20N1/NS2000N	58	NSX100-630H
3 X 1250	58	MTZ2 20H1/NS2000N	87	NSX100-630S
2 X 1600	36	MTZ2 25N1/NS2500N	72	NSX100-630S
3 X 1600	72	MTZ25 20H2/NS2500H	108	NSX100-630L
2 X 2000	45	MTZ2 32H1/NS3200N	90	NSX100-630S
3 X 2000	90	MTZ2 32H2	135	NSX100-630L

Рис. H43. Максимальные значения тока короткого замыкания, который должен отключаться автоматическими выключателями ввода и отходящих линий (соответственно CBM и CBP) при параллельной работе нескольких трансформаторов

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Автоматический выключатель

Эти автоматические выключатели обеспечивают следующие преимущества:
□ полное согласование с характеристиками вышерасположенных автоматических выключателей (CBM), т.е. селективность срабатывания защит;
□ использование метода каскадирования с соответствующей экономией затрат в отношении всех элементов, расположенных ниже по цепи.

Значения тока короткого замыкания в любом месте электроустановки можно определить с помощью таблиц.

Выбор автоматических выключателей отходящих и оконечных линий

Использование таблицы на рис. G39
С помощью этой таблицы можно быстро определить величину трехфазного тока короткого замыкания в любом месте электроустановки, зная:
■ величину тока короткого замыкания в точке, расположенной выше места, предназначенного для установки соответствующего автоматического выключателя;
■ длину, сечение и материал проводников между этими двумя точками.

После этого можно выбрать автоматический выключатель, у которого отключающая способность превышает полученное табличное значение.

Детальный расчет тока короткого замыкания
Для того, чтобы более точно рассчитать величину тока короткого замыкания, особенно в случае, когда отключающая способность автоматического выключателя чуть меньше величины, полученной из таблицы, необходимо использовать метод, описанный в пункте 4 главы G.

Двухполюсные автоматические выключатели (для фазы и нейтрали) с одним защищенным полюсом
Такие автоматические выключатели обычно имеют устройство максимальной защиты только на полюсе фазы и могут применяться в системах TT, TN-S и IT. В системе IT должны выполняться следующие условия:
■ условие (B) из таблицы на **рис. G64** для максимальной защиты нулевого проводника в случае двойного короткого замыкания;
■ отключающая способность при КЗ: двухполюсный автоматический выключатель (фаза-нейтраль) должен быть способен отключать на одном полюсе (при линейном напряжении) ток двойного короткого замыкания, равный 15% трехфазного тока короткого замыкания в месте его установки, если этот ток не превышает 10 кА, или 25% трехфазного тока короткого замыкания, если он превышает 10 кА;
■ защита от косвенного прикосновения: такая защита обеспечивается в соответствии с правилами, предусмотренными для систем заземления IT.

Недостаточная отключающая способность при КЗ
В низковольтных распределительных системах, особенно в сетях, эксплуатируемых в тяжелых условиях, иногда случается, что рассчитанный ток трехфазного КЗ Isc превышает предельную отключающую способность Icu автоматических выключателей, имеющихся в наличии для установки, или же изменения, произошедшие в системе выше, привели к изменениям требований к отключающим способностям автоматических выключателей.
■ Решение 1: убедитесь в том, что соответствующие автоматические выключатели, расположенные выше тех, которых это коснулось, являются тогоограничивающими, поскольку в таком случае можно использовать принцип каскадного включения (см. подраздел 4.5).
■ Решение 2: установите несколько автоматических выключателей с более высокой отключающей способностью. Такое решение представляется экономически целесообразным в том случае, если затронуты один или два автоматических выключателя.
■ Решение 3: установите последовательно с затронутыми автоматическими выключателями и выше по цепи токоограничивающие плавкие предохранители (типа gG или aM). При этом такая схема должна отвечать следующим условиям:
□ предохранитель должен иметь соответствующий номинал;
□ предохранитель не должен устанавливаться в цепи нулевого проводника, за исключением определенных электроустановок системы IT, в которых при двойном коротком замыкании в нулевом проводнике возникает ток, превышающий отключающую способность автоматического выключателя. В этом случае расплавление предохранителя в нулевом проводнике приведет к тому, что этот автоматический выключатель отключит все фазы.

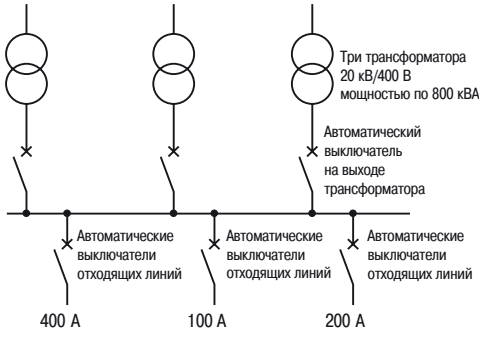


Рис. H44. Параллельная работа трансформаторов

Метод каскадирования основан на использовании токоограничивающих автоматических выключателей и позволяет устанавливать ниже по цепи коммутационные аппараты, кабели и другие элементы со значительно сниженными номинальными характеристиками. Благодаря этому упрощается и удешевляется электроустановка.

4.5 Согласование характеристик автоматических выключателей

Каскадирование или резервная защита

Определение метода каскадирования
Ограничивая пиковую величину тока короткого замыкания, токоограничивающий автоматический выключатель позволяет использовать во всех цепях, расположенных ниже места его установки, коммутационные аппараты и элементы цепей с гораздо меньшими отключающими способностями, а также меньшей термической и электродинамической устойчивостью. Меньшие физические размеры и сниженные требования к характеристикам приводят к значительной экономии и существенному упрощению монтажных работ. Стоит отметить, что хотя токоограничивающий автоматический выключатель влияет на нижерасположенные цепи, увеличивая полное сопротивление источника питания при коротком замыкании, он не оказывает такое влияние в любое другое время, например, при включении крупного электродвигателя (когда низкое полное сопротивление источника питания весьма желательно). Особый интерес представляет серия токоограничивающих автоматических выключателей ComPact NSX с высокими ограничивающими характеристиками.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Автоматический выключатель

В целом, для проверки того, что условия применения соответствуют требованиям национальных стандартов, требуются лабораторные испытания, а изготовителями должны поставляться совместимые комбинации коммутационных аппаратов.

Условия применения

Большинство национальных стандартов допускают применение метода каскадного отключения коммутационных аппаратов при условии, что количество энергии, проходящей через токоограничивающий автоматический выключатель, меньше того, которое все нижерасположенные автоматические выключатели и элементы цепи способны выдержать без повреждений.
На практике это можно проверить только лабораторными испытаниями с автоматических выключателей. Такие испытания проводятся изготовителями, которые приводят их результаты в виде таблиц. Благодаря этому пользователи могут уверенно проектировать схему каскадного соединения выключателей, основанную на комбинации рекомендованных типов автоматических выключателей.
Например, на **рис. H45** показаны возможности каскадирования автоматических выключателей типа iC60, C120 и NG125, расположенных ниже токоограничивающих автоматических выключателей типа NSX 250 N, H или L в трехфазной электроустановке напряжением 230/400 В или 240/415 В.

Вышестоящий АВ		**NSX250**					
		B	**F**	**N**	**H**	**S**	**L**
	Icu (кА)	**25**	**36**	**50**	**70**	**100**	**150**
Нижестоящий АВ							
Тип	**Ном. ток (А)**	**Icu (кА)**	**Увеличенная отключающая способность (кА)**					
iDPN (1)	1-40	6	10	10	10	10	10	10
iDPN N (1)	1-16	10	20	20	20	20	20	20
	25-40	10	16	16	16	16	16	16
iC60N	0,5-40	10	20	25	30	30	30	30
	50-63	10	20	25	25	25	25	25
iC60H	0,5-40	15	25	30	30	30	30	30
	50-63	15	25	25	25	25	25	25
iC60L	0,5-25	25	25	30	30	30	30	30
	32-40	20	25	30	30	30	30	30
	50-63	15	25	25	25	25	25	25
C120N	63-125	10	25	25	25	25	25	25
C120H	63-125	15	25	25	25	25	25	25
NG125N	1-125	25		36	36	36	50	70
NG125H	1-125	36			40	50	70	100
NG125L	1-80	50			50	70	100	150

(1) 230 В «фаза-нейтраль».
Примечание: актуальные каскадные значения представлены в документации производителя, такой как «Дополнительная техническая информация» от Schneider Electric.

Рис. H45. Пример возможностей каскадирования в трехфазной электроустановке напряжением 230/400 В или 240/415 В

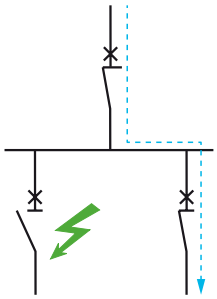


Рис. H46. Принцип селективности

Селективность отключения может быть полной или частичной и зависеть от соотношения величин токов, времени отключения или комбинации этих факторов. В системе, запатентованной Schneider Electric, используются преимущества как токоограничения, так и селективности.

Преимущества каскадирования

Ограничение тока дает преимущества всем нижерасположенным цепям, которые управляются соответствующим токоограничивающим автоматическим выключателем. Данный принцип не накладывает никакие дополнительные ограничения, т.е. токоограничивающие автоматические выключатели могут устанавливаться в любом месте электроустановки, в котором нижерасположенные цепи недостаточно защищены.
Преимущества:

- упрощение расчетов токов короткого замыкания;
- более широкий выбор нижерасположенных коммутационных аппаратов и бытовых приборов;
- использование коммутационных аппаратов и бытовых приборов, рассчитанных на более легкие условия эксплуатации и, следовательно, менее дорогих;
- экономия пространства, поскольку оборудование, рассчитанное на меньшие токи, обычно является более компактным.

Селективное отключение

Селективность отключения обеспечивается автоматическими защитными устройствами и состоит в том, что короткое замыкание, возникшее в любом месте электроустановки, отключается ближайшим защитным устройством, расположенным выше этого места, а все остальные защитные устройства не отключаются (см. **рис. H47**).

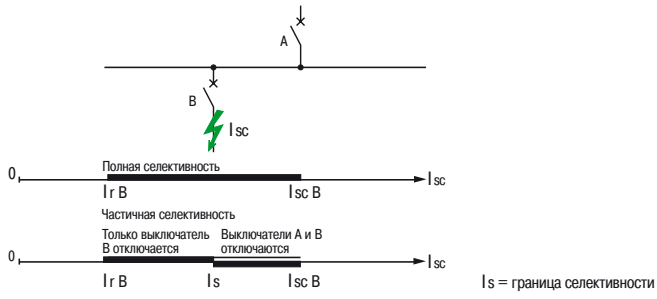


Рис. H47. Полная и частичная селективность

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Автоматический выключатель

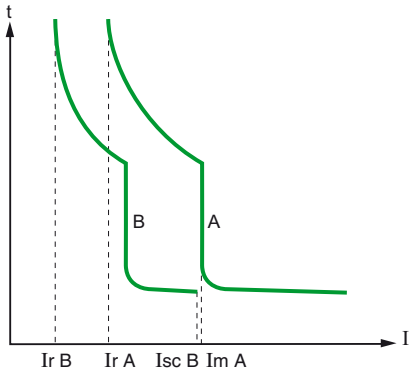


Рис. H48. Полная селективность автоматических выключателей A и B

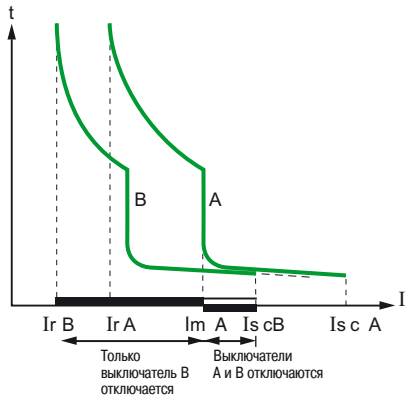


Рис. H49. Частичная селективность автоматических выключателей A и B

H24

Обеспечение селективности необходимо для установок, питающих критические нагрузки, когда короткое замыкание в одной цепи не должно вызывать прерывание питания других цепей. Стандарт МЭК 60364 регламентирует обязательное обеспечение селективности для оборудования систем безопасности (МЭК 60364-5-56 2009 560.7.4). Обеспечение селективности также может потребоваться в соответствии с некоторыми местными нормативными актами или для некоторых специальных помещений, таких как:

- Медицинские учреждения
- Морской транспорт
- Высотные здания

Селективность настоятельно рекомендуется в случаях, когда непрерывность питания имеет решающее значение из-за характера нагрузок:

- ЦОД
- Объекты инфраструктуры (туннели, аэропорты...)
- Критический процесс

Селективность достигается в тот момент, когда максимальный ток короткого замыкания в точке установки становится ниже предела селективности автоматических выключателей, питающих данную точку установки. Селективность следует проверять для всех поставляемых цепей по одному источнику и для всех типов неисправностей (перегрузка, короткое замыкание, замыкание на землю). В случаях, когда питание системы может осуществляться разными способами (например, сетью или генераторной установкой), необходимо осуществлять проверку селективности для каждого источника.

Селективность между двумя автоматическими выключателями может быть полной или частичной. Селективность между автоматическими выключателями A и B является полной, если максимальная величина тока короткого замыкания в цепи B (IscB) не превышает мгновенную уставку автоматического выключателя A (ImA). При этом условии только выключатель B будет отключать ток (см. **рис. H48**). Селективность автоматических выключателей A и B является частичной, если максимально возможный ток короткого замыкания в цепи B превышает мгновенную уставку автоматического выключателя A. В таких условиях оба выключателя A и B будут срабатывать одновременно (см. **рис. H49**).

Защита от перегрузки: токовая селективность (см. **рис. H50a**)

Данный метод реализуется посредством задания различных токовых уставок IrA и IrB, от более низких уставок по току для нижерасположенных коммутационных элементов к более высоким уставкам по мере приближения к источнику питания. Как указывалось в предыдущих примерах, в зависимости от конкретных условий селективность может быть полной или частичной. Практически селективность отключения обеспечивается, когда:

- $IrA/IrB > 2$.

Защита от малых токов короткого замыкания: временная селективность (см. **рис. H50b**)

Данный метод реализуется посредством регулировки расцепителей, срабатывающих с выдержкой времени. При этом нижерасположенные реле имеют самые короткие значения времени срабатывания, а по мере приближения реле к источнику питания время выдержки последовательно возрастает.

В показанной двухуровневой схеме вышерасположенный автоматический выключатель A имеет достаточное время выдержки, чтобы обеспечить полное согласование с характеристиками выключателя B (например, выключателя MasterPact с электронным расцепителем).

Селективность отключения, основанная на комбинации методов 1 и 2 (см. **рис. H50c**)

Временная селективность в комбинации с токовой селективностью может повысить общую эффективность селективного отключения. Вышерасположенный автоматический выключатель имеет две уставки быстродействующего расцепителя:

- Im A: селективная токовая отсечка;
- Ii: мгновенное срабатывание.

Селективность является полной, если Isc B < Ii (мгновенное срабатывание).

Защита от больших токов короткого замыкания: селективность отключения, основанная на энергии дуги

Эта технология, реализованная в токоограничивающих автоматических выключателях серии ComPact NSX, очень эффективна для обеспечения полной селективности.

Принцип действия: когда очень большой ток короткого замыкания обнаруживается двумя автоматическими выключателями A и B, контакты одновременно размыкаются, в результате чего величина этого тока ограничивается.

- Очень высокий уровень энергии дуги (B) вызывает отключение автоматического выключателя B.
- В то же время, эта величина энергии дуги недостаточна для того, чтобы вызвать отключение автоматического выключателя A.

Практически селективность отключения автоматических выключателей ComPact NSX обычно является полной, если соотношение номинальных токов выключателей A и B превышает 2,5.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

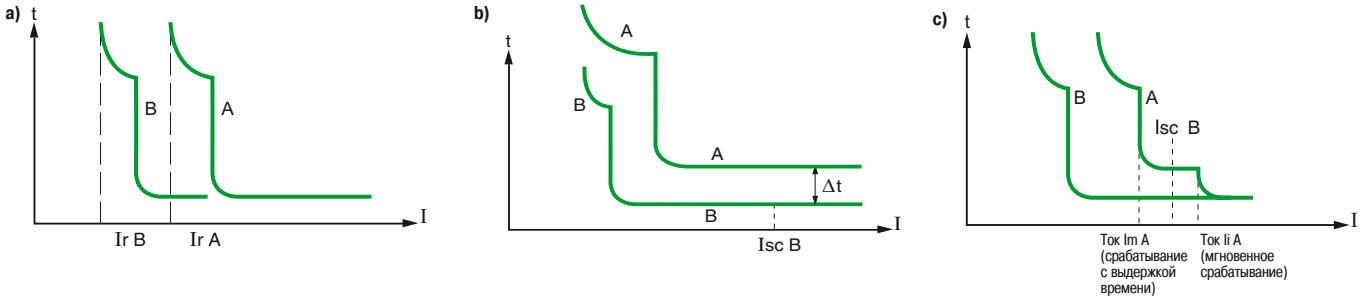


Рис. H50. Обеспечение селективности

Токовая селективность

Этот метод непосредственно связан с постановкой длительного времени кривых отключения двух последовательно соединенных автоматических выключателей.

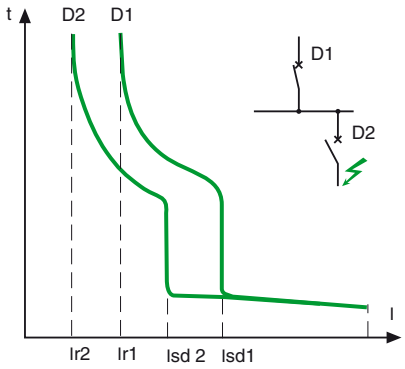


Рис. H51. Токовая селективность

Предел селективность является:
- Is = Isd2, если пороги Isd1 и Isd2 слишком близко друг к другу,
- Is = Isd1, если пороги Isd1 и Isd2 достаточно далеко друг от друга.

Как правило, селективность по току достигается, когда:
- Ir1 / Ir2 < 2;
- Isd1 / Isd2 > 2.

Предел селективности:
- Is = Isd1.

Качество селективности
Селективность общая, если> Isc (D2), т.е. Isd1> Isc (D2).
Как правило, это означает:
- Относительно низкий уровень Isc (D2),
- Большая разница между номиналами автоматических выключателей D1 и D2.

Текущая селективность обычно используется в окончательном распределении.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Автоматический выключатель

Для реализации селективности по времени используются автоматические выключатели, которые в некоторых странах называют «селективными».
Применение таких выключателей является относительно простым и заключается в задержке срабатывания быстродействующих расцепителей нескольких последовательно соединенных автоматических выключателей.

Селективность по времени

Это продолжение селективности по току, достигается путем добавления кривых отключения с течением времени. Этот метод заключается в том, что дает задержку по времени T на короткий промежуток времени (ST) срабатывания D1.

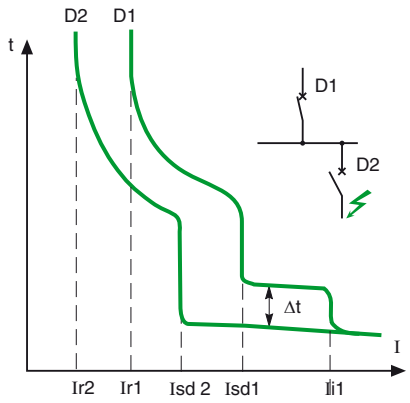


Рис. H52. Селективность по времени

При уставках (Ir1, Isd1) выключателя D1 и уставках (Ir2, Isd2) выключателя D2 соблюдается правило селективного отключения.
Предельный ток селективности Is в данном случае по меньшей мере равен значению мгновенной токовой отсечки Ii1 выключателя D1.

Качество селективности
Есть два возможных метода оценки:
■ **На отходящих линиях конечного распределения, а также на уровне промежуточного распределения**
Автоматические выключатели категории A могут использоваться с вышестоящими выключателями, которые имеют выдержку времени. Это позволяет обеспечить селективность при токах короткого замыкания до величины мгновенной токовой отсечки Ii1 вышестоящего автоматического выключателя: Is = Ii1.
Если значение Isc (D2) невелико, что характерно для уровня конечного распределения, то может быть обеспечена полная селективность.
■ **На вводе и отходящих линиях ГРЩ НН**
На этом уровне, надежное и бесперебойное электроснабжение является основным требованием, поэтому на нем, как правило, применяются автоматические выключатели категории B, предназначенные для отключения с выдержкой времени. Для этих выключателей характерна высокая термическая стойкость (Icw U = 50% Icn для t = 1 c): Is = Icw1.
Даже при больших значениях Isc(D2), селективность по времени позволяет обеспечить полную селективность: Icw1> Icc (D2).

Примечание: Использование автоматических выключателей категории B означает, что установка должна выдерживать высокие электродинамические и термические напряжения.
Следовательно, эти автоматические выключатели имеют мгновенную токовую отсечку Ii, которую можно настроить и отключить в целях защиты сборных шин, если это необходимо.
Пример многоуровневой селективности автоматических выключателей Schneider Electric с электронными расцепителями
Автоматические выключатели MasterPact NT полностью селективны с автоматическими выключателями ComPact NSX, то есть нижестоящие автоматические выключатели будут отключены при любом значении тока короткого замыкания, вплоть до его отключающей способности. Кроме того, все автоматические выключатели ComPact NSX полностью селективны между собой до тех пор, пока соотношение токовых уставок расцепителей не будет > 1,6, соотношение номинальных токов автоматических выключателей не будет > 2,5. Те же правила применяются для полной селективности с модульными автоматическими выключателями Acti 9 (см. **рис. H53**).

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Автоматический выключатель

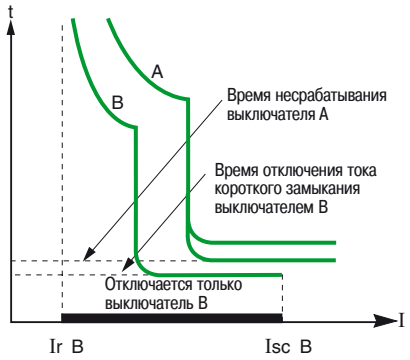


Рис. H53. 4 ступени селективности автоматических выключателей Schneider Electric: MasterPact NT, ComPact NSX и Acti 9

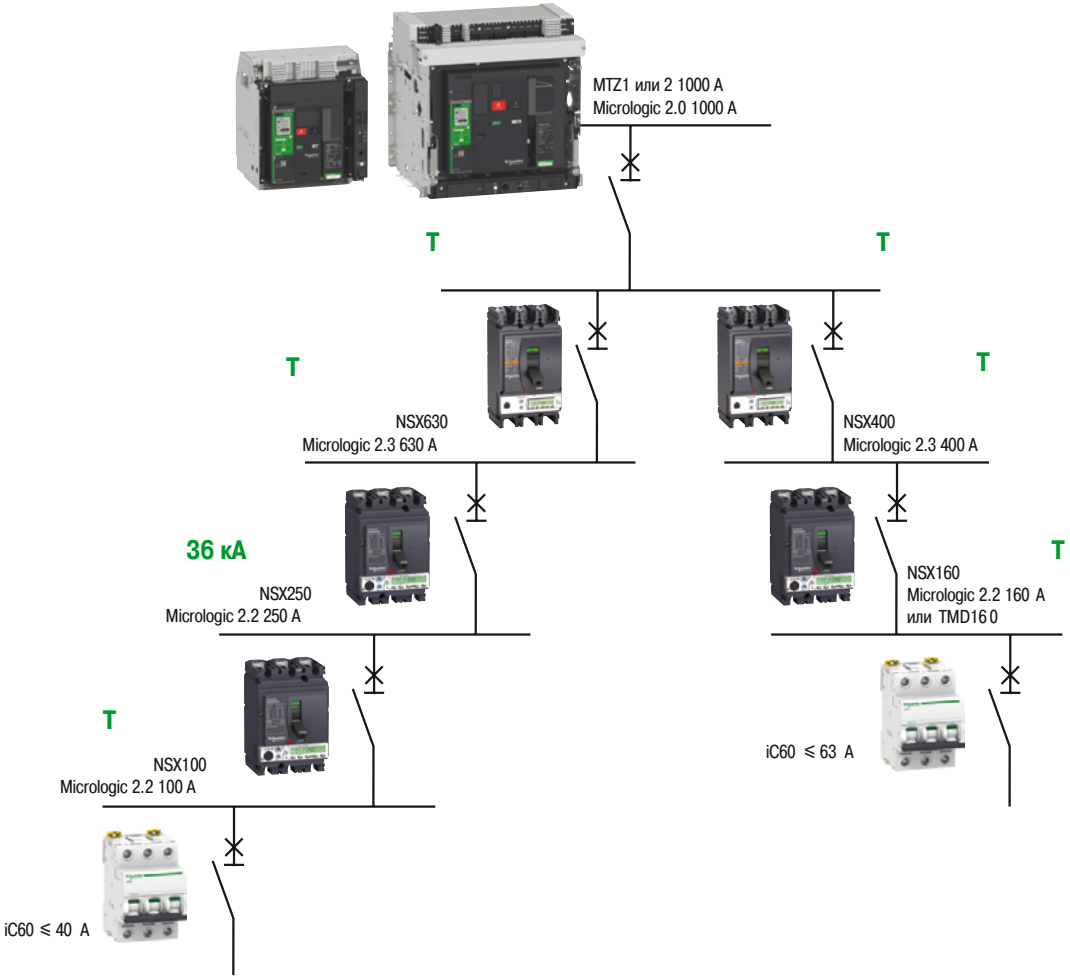


Рис. H54. Практический пример обеспечения селективности на нескольких уровнях с помощью автоматических выключателей Schneider Electric с электронными расцепителями

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Автоматический выключатель

Возможны схемы селективного отключения, основанные на логической селективности с использованием автоматических выключателей с электронными расцепителями, предназначенными для этой цели (ComPact, MasterPact) и соединенными цепями управления.

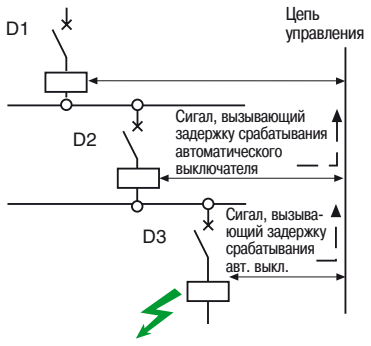


Рис. H55. Логическая селективность

Селективное отключение с использованием энергии дуги

Если автоматический выключатель не является токоограничивающим, то каскадное отключение двух коммутационных аппаратов достигается отключением вышерасположенного автоматического выключателя A с тем, чтобы «помочь» нижерасположенному автоматическому выключателю B отключить ток. Максимальная величина предельного тока селективности Is ниже предельной отключающей способности Icu выключателя B. Технология, основанная на использовании энергии дуги и реализованная в автоматических выключателях ComPact NSX, позволяет повысить предельный ток селективности.

■ Нижестоящий выключатель ComPact NSX B обнаруживает очень большой ток короткого замыкания. Происходит очень быстрое отключение тока (менее, чем за 1 мс) и, следовательно, величина тока ограничивается.

■ Вышестоящий автоматический выключатель ComPact NSX A обнаруживает ограниченный ток короткого замыкания. Этот ток вызывает расхождение контактов с образованием между ними дуги. В результате возрастает напряжение дуги, и ток еще более ограничивается. Однако электродинамических усилий, вызывающих расхождение контактов, недостаточно, чтобы вызвать отключение этого автоматического выключателя. Таким образом, выключатель ComPact NSX A помогает выключателю ComPact NSX B, не отключаясь при этом. Предельный ток селективности может превышать величину тока Icu выключателя B, в таком случае обеспечивается полная селективность при оптимальной стоимости этих устройств.

Полная селективность при использовании выключателей серии ComPact NSX

Основное преимущество состоит в обеспечении полной селективности при условии, что:

■ соотношение токовых уставок расцепителей > 1,6;

■ соотношение номинальных токов автоматических выключателей > 2,5.

Логическая селективность или "зона последовательной блокировки"

Этот тип селективности может быть достигнут при использовании автоматических выключателей ComPact, MasterPact, оснащенных специально разработанными электронными расцепителями, обеспечивающими защиту от короткого замыкания с кратковременной задержкой срабатывания (STP) и защиты от замыкания на землю (GFP), управляемыми с помощью логической селективности. В частности функции защиты токовой селективности это не касается.

Одним из преимуществ такого решения является малое время отключения вне зависимости от места возникновения неисправности с уровнем селективности автоматического выключателя B. При использовании временной селективности, напротив, требуется длительное время для отключения неисправности в начале установки.

Настройки управляемых автоматических выключателей

■ Уставки по времени: необходимо соблюдать ступенчатое расположение уставок по времени ($\Delta tD1 \geq \Delta tD2 \geq \Delta tD3$),

■ Уставки по току: необходимо соблюдать ступенчатое расположение уставок защит ($IcrD1 \geq IcrD2 \geq IcrD3$).

Примечание: Этот вид селективности позволяет обеспечить ее даже для выключателей с близкими номинальными токами.

Принцип действия

Активация функции логической селективности осуществляется посредством передачи информации по цепи управления:

■ Вход зоны логической селективности:

□ Низкий уровень (ошибка находится ниже по селективности): функция защиты находится в режиме ожидания с уменьшенным временем задержки (≤ 0,1 с),

□ Высокий уровень (наличие неисправностей ниже по селективности): соответствующая функция защиты переходит в состояние временной задержки, установленной на устройстве.

■ Выход зоны логической селективности:

□ Низкий уровень: расцепитель не обнаруживает ошибки и не посылает сигнал блокировки.

□ Высокий уровень: расцепитель обнаруживает неисправность и отправляет сигнал блокировки.

Функционирование

Цепь управления каскадно соединена с устройством защиты установки (см. **рис. H55**). При возникновении неисправности, каждый автоматический выключатель, расположенный выше повреждения, обнаруживает его и посылает сигнал блокировки на верхний уровень, т.е. вышестоящему выключателю. В этом случае вышестоящий аппарат будет работать с заданной на расцепителе выдержкой времени. В случае если вышестоящий автоматический выключатель не получает сигнал блокировки, он срабатывает мгновенно.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Автоматический выключатель

Качество селективности:
Эта методика позволяет:
- легко обеспечить селективность на трех и более уровнях;
- значительно снизить воздействие токов короткого замыкания на электроустановку, связанное с выдержкой времени вышестоящего аппарата при его срабатывании, если короткое замыкание произошло на вышерасположенных сборных шинах;

Все защиты, в этом случае являются практически мгновенными.
- легко обеспечить селективность с нижестоящими аппаратами.

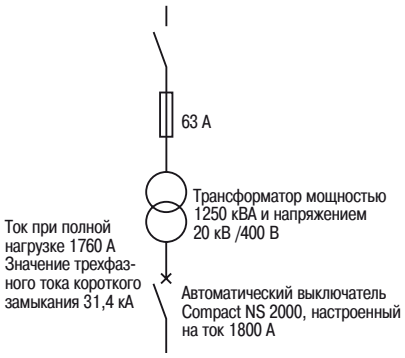


Рис. H56. Пример

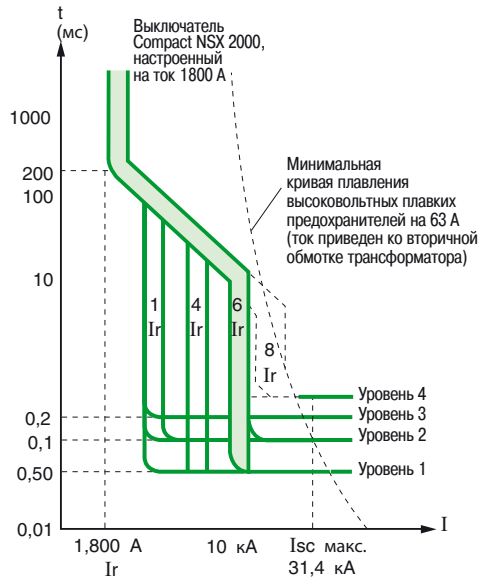


Рис. H57. Кривые срабатывания высоковольтных плавких предохранителей и низковольтного автоматического выключателя

4.6 Селективное отключение трансформатора на подстанции потребителя

Обычно трансформатор на подстанции потребителя защищается высоковольтными плавкими предохранителями, имеющими соответствующий этому трансформатору номинал, согласно принципам, изложенным в стандартах МЭК 60787 и МЭК 60420, и рекомендациям изготовителя указанных предохранителей.

Основное требование состоит в том, чтобы высоковольтный плавкий предохранитель не срабатывал при низковольтных коротких замыканиях, возникающих ниже низковольтного автоматического выключателя этого трансформатора с тем, чтобы кривая отключения этого выключателя располагалась слева от кривой плавления высоковольтного предохранителя.

Это требование обычно определяет максимальные уставки срабатывания защиты, обеспечиваемой низковольтным автоматическим выключателем:
- максимальную уставку магнитного расцепителя по отключаемому току короткого замыкания;
- максимальное время выдержки, допустимое для данного расцепителя (см. **рис. H56**)

Пример:
- уровень тока короткого замыкания на высоковольтных вводах трансформатора: 250 МВА;
- понижающий трансформатор: 1250 кВА, 20/0,4 кВ;
- высоковольтные предохранители: 63 А;
- кабели между трансформатором и низковольтным автоматическим выключателем: 10-метровые, одножильные;
- низковольтный автоматический выключатель ComPact NSX 2000, настроенный на ток 1800 А (Ir).

Какова максимальная уставка по отключаемому току короткого замыкания и максимально допустимое время выдержки?

График на **рис. H57** показывает, что селективное отключение обеспечивается, если расцепитель автоматического выключателя, настроен на:
- ток ⩽ 6 Ir = 10,8 кА;
- уставку времени 1 или 2.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Автоматический выключатель

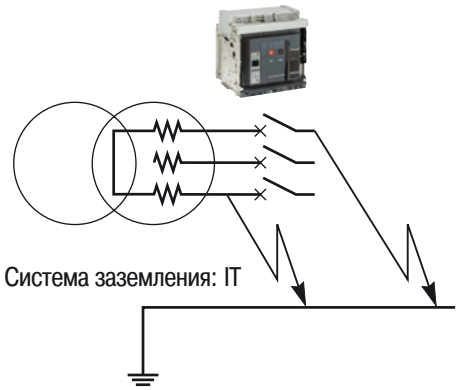


Рис. H58. Двойное замыкание на землю

4.7 Автоматические выключатели, предназначенные для IT-систем

В IT-системах автоматическим выключателям, возможно, придется столкнуться с необычной ситуацией – двойное замыкание на землю, когда второе замыкание на землю случается в присутствии первого замыкания и происходит на противоположной стороне автоматического выключателя (см. **рис. H58**).
В таком случае автоматический выключатель должен устранить неисправность с фазным напряжением на одном полюсе. В такой ситуации возможно будет изменена отключающая способность выключателя.
Приложение H стандарта МЭК 60947-2 (ГОСТ Р 50030.2-2010) регламентирует аспекты, касаемые автоматического выключателя, используемого в системе IT, кроме того выключатель должен быть протестирован в соответствии с настоящим приложением.
Когда автоматический выключатель не проходит тестирование в соответствии с настоящим приложением, маркировочный символ должен стоять на заводской табличке.
В некоторых странах могут быть дополнительные требования для выключателей.

4.8 Сверхбыстродействующий автоматический выключатель

По мере увеличения установленной мощности распределение электроэнергии должно перейти от конструкции низкого напряжения к конструкции среднего напряжения. Высокий уровень напряжения при коротком замыкании может быть угрозой для установки и сделает невозможным выбор низковольтного оборудования (распределительного щита и шин, автоматических выключателей и т.д.).
Такие ситуации могут быть опасны для электрических сетей морских платформ, промышленных кольцевых сети, где значения параметров тока короткого замыкания высоки за счет высоких генерирующих мощностей (параллельно установленных трансформаторов или генераторов).
Существует два решения:

- **Пиротехнические прерывания устройств коммутации**
- **Решение на базе выключателя силовой цепи**

Некоторые силовые автоматические выключатели с дополнительной функцией (например, на основе технологии эффекта Томсона) обеспечивают сверхбыстродействующую защиту при очень высоком токе короткого замыкания (см. **рис. H59**). Это позволяет ограничить ток короткого замыкания и напряжения и защитить электрическую установку от электродинамических и тепловых эффектов короткого замыкания.

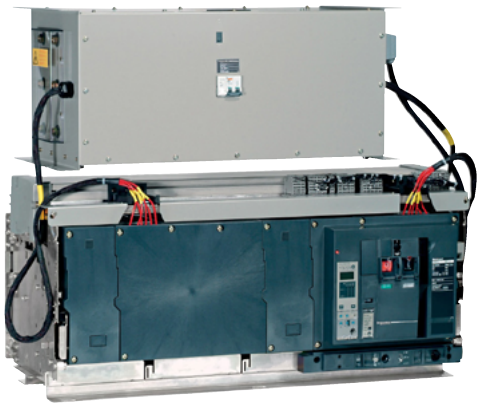


Рис. H59. Сверхбыстродействующий силовой выключатель MasterPact UR компании Schneider Electric

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Автоматический выключатель

Ограничение тока при помощи MasterPact UR заключается в размыкании сборных шин в случае короткого замыкания (см. рис. H60):
При коротком замыкании на отходящей линии установки (A на **рис. H60**), не защищенной токоограничивающим выключателем, его значение будет равно общей сумме всей генерируемой мощности (кривая 1 на **рис. H60**).

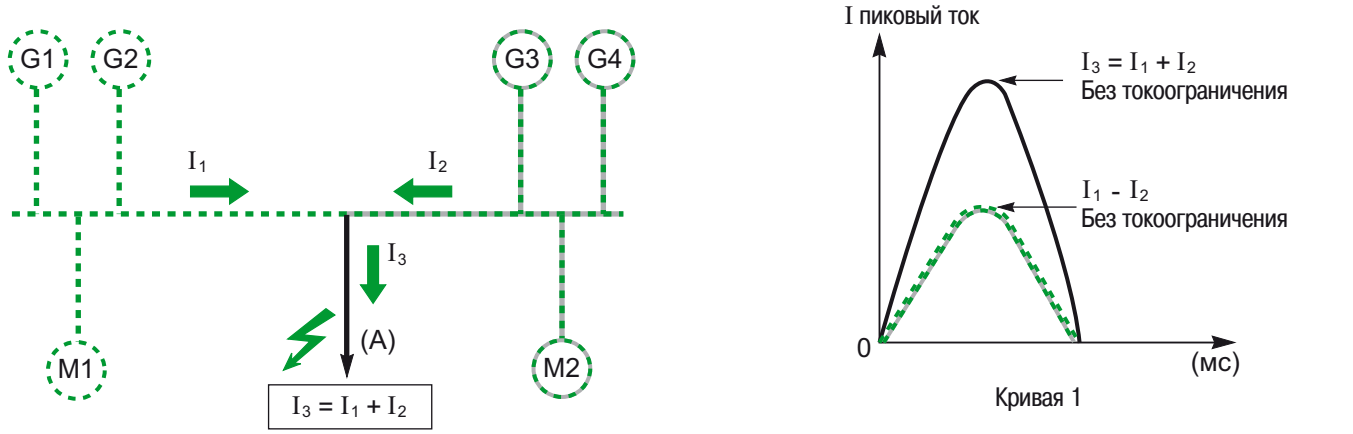


Рис. H60. Диаграмма сети

H31

При наличии токоограничивающего выключателя (см. рис. H62) MasterPact UR в случае неисправности значение короткого замыкания в точке (A) будет ограничено.
Функцией выключателя является ограничение тока короткого замыкания генераторов G1 и G2 путем их разделения (кривая 2 на **рис. H61**). Ток короткого замыкания для генераторов G3 и G4 (кривая 3 на **рис. H61**) не ограничивается.

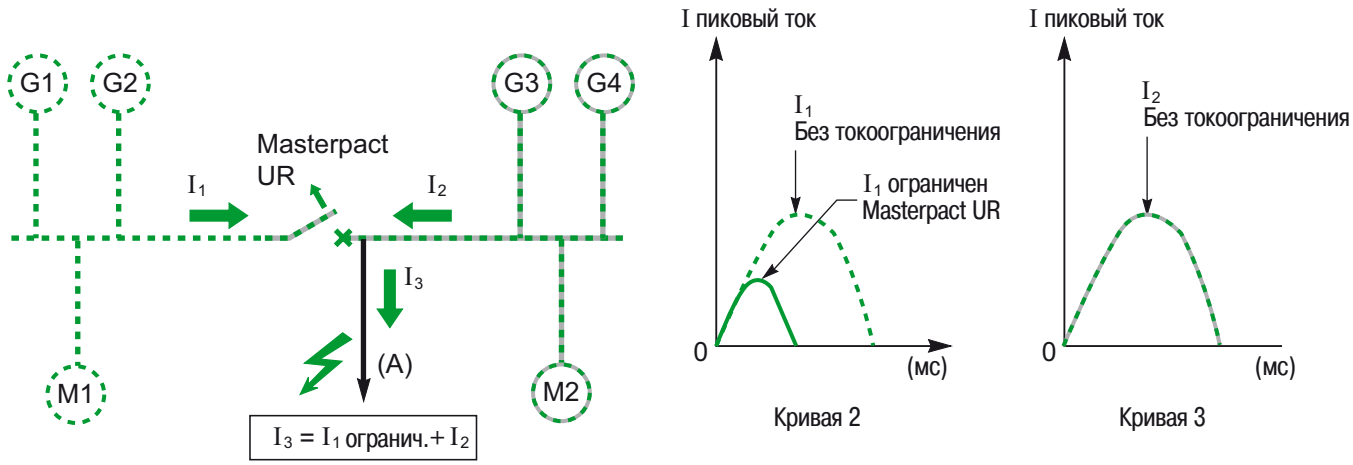


Рис. H61. Схема сети с секционным автоматическим выключателем MasterPact UR

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Автоматический выключатель

Результирующий уровень короткого замыкания иллюстрируется кривой 4 (см. **рис. H62**):

Рис. H62. Диаграмма сети

Ограничение тока короткого замыкания и потенциальной энергии позволяет проектировать низковольтные сети вместо сетей среднего напряжения. Токоограничение также защищает сеть от полного отключения в случае короткого замыкания в главном распределительном щите.

В таблице на **рис. H63** приведен пример использования токоограничивающего автоматического выключателя MasterPact UR между источниками 1 и 2.

Источник 2	Источник 1																							
	50		55		60		65		70		75		80		85		90		95		100		110	
50	169	207	183	229	193	240	203	251	213	262	224	273	234	284	244	295	254	306	264	317	274	327	295	349
55	176	229	189	240	199	251	210	262	220	273	230	284	240	295	250	306	260	317	270	327	281	338	301	360
60	178	240	191	251	201	262	211	273	220	284	230	295	240	306	249	317	259	327	269	338	278	349	298	371
65	181	251	194	262	204	273	214	284	223	295	233	306	242	317	252	327	262	338	272	349	281	360	301	382
70	185	262	198	273	207	284	217	295	226	306	236	317	246	327	255	338	265	349	275	360	284	371	304	393
75	189	273	201	284	211	295	220	306	230	317	240	327	249	338	259	349	268	360	278	371	288	382	307	404
80	192	284	205	295	214	306	224	317	233	327	243	338	252	349	262	360	272	371	281	382	291	393	310	415
85	196	295	208	306	218	317	227	327	237	338	246	349	256	360	265	371	275	382	284	393	294	404	313	426
90	199	306	212	317	221	327	231	338	240	349	249	360	259	371	268	382	278	393	288	404	297	415	316	437
95	204	317	216	327	225	338	235	349	244	360	253	371	263	382	272	393	282	404	291	415	301	426	320	448
100	209	327	221	338	230	349	239	360	249	371	258	382	268	393	277	404	287	415	296	426	306	437	325	458
110	218	349	230	360	239	371	248	382	258	393	267	404	276	415	286	426	295	437	305	448	314	458	333	480

Ограниченное

Без ограничений

Рис. H63. Токоограничение с помощью автоматического выключателя MasterPact UR на 690 В, 60 Гц

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Обслуживание распределительного устройства низкого напряжения

Стандарт МЭК 60364-6 (ГОСТ Р 50571.16-2007) требует проведения предварительных испытаний и периодических проверок электрических установок. Электрический распределительный щит и все установленное в нем оборудование со временем изнашиваются, поэтому необходимо удостовериться, что их технические характеристики соответствуют нормам. Процесс старения обусловлен, главным образом, воздействием окружающей среды и условиями эксплуатации.
Для гарантии соответствия РУНН и, особенно, выключателя техническим характеристикам, заявленным производителем для всего срока службы, рекомендуются следующие меры:
■ установка устройства в оптимальных экологических зонах и соблюдение соответствующих условий эксплуатации;
■ осуществление профилактических осмотров и регулярное техническое обслуживание силами квалифицированного персонала.

Факторы, влияющие на старение

Устройство, установленное в неблагоприятной среде, подвергается её воздействию. Основные факторы, влияющие на старение устройства:
– температура;
– вибрации;
– высокая относительная влажность;
– соли;
– пыль;
– агрессивная атмосфера;
– высокие нагрузки;
– гармоники тока.

Профилактика

Профилактика заключается в проведении проверок с заранее определенной периодичностью и в соответствии с установленными критериями с целью снижения вероятности выхода системы из строя или ухудшения ее работы.

H33

Два вида профилактики:

■ **Периодическое обслуживание**
Для каждого вида продукции технический отдел выпускает письменные рекомендации по техническому обслуживанию. Проверки обеспечивают поддержание систем и их сборочных узлов в рабочем состоянии в течение всего срока службы. Они проводится с периодичностью, указанной в этом документе.

■ **Условно-техническое обслуживание**
Операции условно-технического обслуживания являются средством для уменьшения объема (но не полной отмены) периодического технического обслуживания. Таким образом минимизируется ежегодное отключение установки для его проведения.
Эти операции запускаются, когда поступает сигнал о достижении уставки порогового значения. (Количество операции > долговечность, старение индикаторов ...).
Условное обслуживание является средством для оптимизации технического обслуживания установки.

Пример обслуживания силовых автоматических выключателей (> 630 A)
В таблице ниже указаны операции технического обслуживания и их периодичность:
Приведенная выше периодичность проверок рекомендуется для нормальных условий

Интервал	Операции по техническому обслуживанию
1 год	Визуальный осмотр и проверка работоспособности, замена неисправных комплектующих
2 года	Вышеуказанные ежегодные операции + техническое обслуживание и проверка узлов установки
5 лет	Все ранее указанные операции + диагностика и ремонт, проводимые изготовителем

Рис. H64. Рекомендуемые операции периодического технического обслуживания для стандартных условий эксплуатации

окружающей среды и эксплуатации.
Если экологические условия являются более благоприятными, то интервалы технического обслуживания могут быть увеличены. И наоборот, при ухудшении условий техническое обслуживание должно проводиться чаще.

Оборудование, обеспечивающее безопасность, требует более частых проверок, например, устройства аварийного отключения и компоненты защиты от токов утечки на землю.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Обслуживание распределительного устройства низкого напряжения

Корпус

Корпус является существенным элементом выключателя.

Во-первых, он обеспечивает ряд функций безопасности:

– функциональная изоляция между самими фазами и между фазами и открытыми проводящими частями, чтобы противостоять переходным перенапряжениям, вызванным системой распределения;

– защита от прямого контакта пользователя с токоведущими частями;

– защита от воздействия электрической дуги и сверхдавления вследствие короткого замыкания.

Во-вторых, он служит основой для установки органов управления, а также механических и электрических принадлежностей автоматического выключателя.

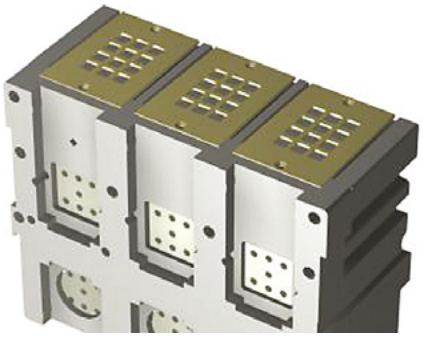
Корпусе не должен иметь:

– следов грязи (смазки), чрезмерной пыли или конденсации, которые ухудшают свойства изоляции;

– никаких повреждений или трещин, которые позволили бы сократить механическую его прочность и, следовательно, стойкость к коротким замыканиям.

Профилактика состоит из визуального осмотра его состояния и очистки сухой тряпкой или пылесосом.

Все чистящие средства с растворителями строго запрещены. Рекомендуется измерять прочность изоляции каждые пять лет и после короткого замыкания. Продукт должен быть заменен при несоответствии каким-либо техническим требованиям.



Дугогасительная камера (для воздушного автоматического выключателя)

Во время короткого замыкания, дугогасительная камера служит для гашения дуги и поглощает высокий уровень энергии вдоль всего пути тока короткого замыкания. Это также способствует гашению дуги при номинальных условиях. Дугогасительная камера, которая не находится в хорошем состоянии, не способна полностью прервать ток короткого замыкания, что, в конечном итоге, может привести к выходу выключателя из строя. Дугогасительную камеру для воздушного выключателя необходимо регулярно проверять. Ребра дугогасительной камеры могут иметь черноватый оттенок, но не должны быть значительно повреждены. Более того, фильтры не должны быть заблокированы, чтобы избежать внутреннего избыточного давления. Рекомендуется использовать пылесос, а не тряпку, для удаления пыли с внешней стороны дугогасительной камеры.

Рис. H65. Рекомендации по обслуживанию силовых автоматических выключателей (> 630 A)

© Schneider Electric – все права защищены

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Обслуживание распределительного устройства низкого напряжения

Главные контакты (для воздушного автоматического выключателя)

Замыкающие и размыкающие контакты срабатывают при нормальных условиях (при номинальном токе установки), а также в исключительных условиях (при перегрузках и коротких замыканиях). Эти контакты выполняют большое количество коммутационных циклов и могут быть повреждены токами короткого замыкания.

Изношенные контакты могут привести к аномальному повышению температуры и ускорению старения устройства.

Крайне важно, уделять внимание дугогасительной камере и визуально проверять износ контактов, по крайней мере, один раз в год и после каждого короткого замыкания.

Индикаторы износа контактов должны составлять минимальное значение, которое не должно быть превышено.

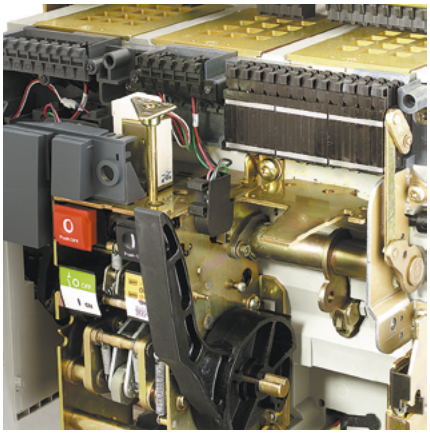
Механизмы и устройства ходовой части

Механическая работа автоматического выключателя может быть затруднена пылью, повреждениями от ударов, воздействием агрессивной среды, работой без смазки или с чрезмерной смазкой. Безопасность эксплуатации обеспечивается за счет очистки, правильной смазки агрегатов и регулярным открытием и закрытием автоматического выключателя.

Рабочие циклы

Бесперебойная работа установки, как правило, означает редкое срабатывание автоматических выключателей. С одной стороны, чрезмерное количество рабочих циклов ускоряет старение устройства, а с другой, отсутствие работы в течение длительного периода может привести к механическим неисправностям. Регулярное техническое обслуживание необходимо для поддержания нормального уровня производительности каждого агрегата, участвующего в коммутациии.

В установках, где силовые выключатели используются в системах АВР, рекомендуется периодическая работа автоматического выключателя к качестве альтернативного источника.



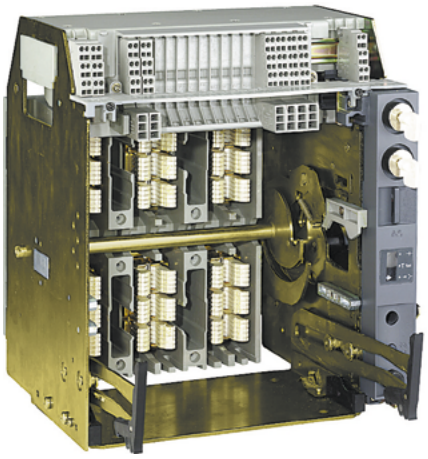


Рис. H65. Рекомендации по обслуживанию силовых автоматических выключателей (> 630 A) (продолжение)

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Обслуживание распределительного устройства низкого напряжения

Электронный расцепитель

При возникновении электрической неисправности в установке, электронный блок обнаруживает ее и отправляет сигнал выключателю. После этого происходит срабатывание расцепителя, и тем самым обеспечивается сохранность установок и безопасность людей. Электронные компоненты и печатные платы чувствительны к окружающей среде (температуре, влажности и агрессивным факторам) и к тяжелым условиям эксплуатации (магнитным полям, вибрациям и т.д.). Для обеспечения их правильной работы, необходимо периодически проверять:

– последовательность операций при возникновении неисправности;

– время отклика в зависимости от уровня тока короткого замыкания.

Рекомендуется определить срок службы в зависимости от условий эксплуатации и окружающей среды и заменять устройства по мере необходимости во избежание риска неправильного срабатывания.

Цепь управления

Вспомогательные устройства

Электромагнитные расцепители включения (XF) и отключения (MX) соответственно используются для удаленного замыкания и размыкания автоматического выключателя по электрическому сигналу или команде системы диспетчеризации через сеть связи. Расцепитель минимального напряжения (MN) используется для разрыва цепи питания, если напряжение в системе распределения пропадает, или происходит обрыв, в целях защиты людей (аварийное отключение) или имущества.

Профилактика заключается в периодической проверке работы при минимальных значениях. Рекомендуется определить срок службы в зависимости от условий эксплуатации и окружающей среды и заменять устрйства по мере необходимости во избежание риска неправильного срабатывания.

Сеть связи

Сеть связи используется для передачи сигналов на различные устройства управления и для передачи информации о статусе состояния. Неправильное подключение или повреждение изоляции может привести либо к нарушениям работы выключателя, либо к ложным срабатываниям. Сеть должна регулярно проверяться, и кабели должны быть заменены по мере необходимости, особенно в условиях вибраций, высокой температуры окружающей среды или агрессивной атмосферы.

Вспомогательные контакты

Контакты состояния автоматического выключателя (ON / OFF), аварийной сигнализации (CE), положения шасси (CD, CT), сигнализации электрической неисправности (SDE) или готовности выключателя к замыканию (PF) обеспечивают оператора информацией, необходимой для реагирования на любую нештатную ситуацию. Неправильные показания могут привести к неисправности аппарата и поставить под угрозу безопасность людей и имущества. Недостаточность контакта (износ, незатянутые соединения) может возникнуть в результате вибраций, коррозии или аномального повышения температуры. Поэтому необходимо проводить профилактические работы, направленные на проверку контактов.

Мотор-редуктор

Мотор-редуктор автоматически перезаряжает рабочий механизм пружины, как только автоматический выключатель замкнут. Мотор-редуктор позволяет мгновенно повторно замкнуть устройство, в случае его размыкания. Эта функция может оказаться необходимой в целях безопасности. Под воздействием механических сил мотор-редуктор быстро изнашивается. Поэтому необходимо проводить периодическую проверку его работы для обеспечения функции отключения аппарата.

Рис. H65. Рекомендации по обслуживанию силовых автоматических выключателей (> 630 A) (продолжение)

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

Глава J

Защита от перенапряжений

1 Перенапряжения атмосферного происхождения 2

1.1 Определение перенапряжения 2
1.2 Атмосферные перенапряжения 3
1.3 Воздействие на электроустановки 3
1.4 Характеристика волны молнии 6

2 Принцип защиты от удара молнии 7

2.1 Основные правила 7
2.2 Система молниезащиты здания 7
2.3 Система защиты электрической установки 9
2.4 УЗИП 10

3 Проектирование системы защиты электроустановок 13

3.1 Правила проектирования 13
3.2 Элементы системы защиты 14
3.3 Общие характеристики УЗИП в зависимости от параметров электроустановки 16
3.4 Выбор УЗИП I типа 19
3.5 Выбор УЗИП II типа 19
3.6 Выбор внешнего устройства защиты от короткого замыкания (автоматического выключателя) 20
3.7 УЗИП и координация устройств защиты 22

4 Установка УЗИП 24

4.1 Подключение 24
4.2 Правила прокладки кабелей 26

5 Применение 28

5.1 Примеры монтажа 28
5.2 УЗИП для фотоэлектрических установок 29

6 Техническое приложение 32

6.1 Стандарты молниезащиты 32
6.2 Компоненты УЗИП 32
6.3 Индикатор окончания срока службы 34
6.4 Подробные характеристики внешнего УЗКЗ 34
6.5 Распространение волны тока молнии 36
6.6 Пример удара тока молнии в систему ТТ 37

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Перенапряжения атмосферного происхождения

1.1 Определение перенапряжения

Различные типа перенапряжений

Перенапряжение – это импульс или волна напряжения с наложением на номинальное напряжение сети (см. **рис. J1**).

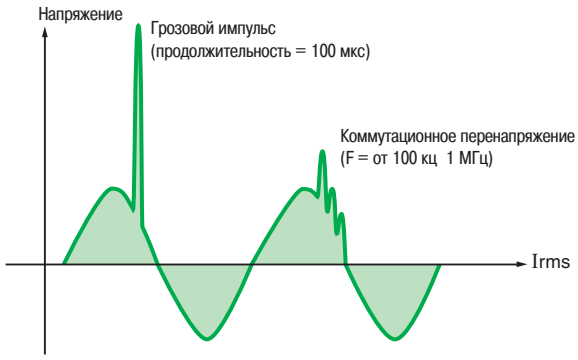


Рис. J1. Примеры перенапряжений

Этот тип перенапряжений имеет следующие характеристики (см. **рис. J2**):
- время нарастания tf (мкс);
- градиент S (кВ/мкс).

Перенапряжения нарушают работу оборудования и вызывают электромагнитное излучение. Более того, продолжительность перенапряжения (T) вызывает всплеск энергии в электрических цепях, который может повредить оборудование.

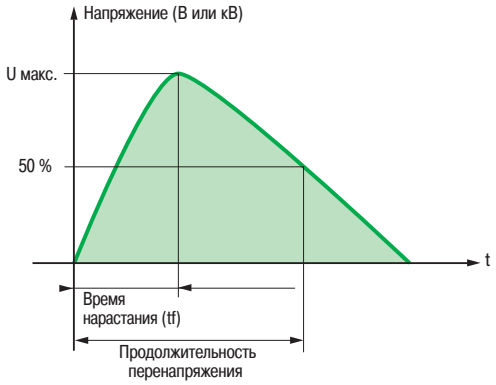


Рис. J2. Основные характеристики перенапряжения

Существуют четыре типа перенапряжений, которые могут нарушать работу электроустановок и оборудования (потребителей):
- коммутационные перенапряжения:

высокочастотные перенапряжения или импульсные помехи (см. **рис. J1**), вызванные изменением стационарного состояния электрической сети (во время работы распределительного устройства);
- перенапряжения промышленной частоты:

перенапряжение одной и той же частоты, что и частота сети (50, 60 или 400 Гц), вызванные постоянным изменением состояния в сети (из-за нарушения целостности изоляции, пробоя нейтрального проводника и т.д.);
- перенапряжения, вызванные электростатическим разрядом:

очень короткое перенапряжение (несколько наносекунд) очень высокой частоты, вызванные разрядом накопленных электрических зарядов (например, человек, идущий по ковру с изолирующей подошвой, электрически заряжен напряжением в несколько киловольт);
- перенапряжение атмосферного происхождения.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Перенапряжения атмосферного происхождения

Удары молнии в нескольких фактах:
Молния производит чрезвычайно большое количество импульсной электрической энергии (см. рис. J4)
- нескольких тысяч ампер (и несколько тысяч вольт),
- высокая частота (приблизительно 1 мегагерц),
- короткая продолжительность (от микросекунды до миллисекунды).

1.2 Атмосферные перенапряжения

От 2000 до 5000 разрядов молний постоянно образуются в атмосфере земли. Грозы сопровождаются разрядами молнии, которые представляют серьезную угрозу для людей и оборудования. Разряды молнии достигают земли с частотой 30-100 ударов в секунду, т.е. около 3 миллиардов ударов каждый год.
В таблице на **рис. J3** показаны характерные величины удара молнии. Из таблицы видно, что в 50 % случаев значение тока, превышает 35 кА и в 5 % случаев превышает 100 кА. Таким образом, энергия, передаваемая посредством удара молнии, является очень высокой.

Вероятность (%)	Пиковое значение тока (кА)
95	5
50	35
5	100
1	200

Рис. J3. Характеристики разряда молнии, представленные в стандарте МЭК 62305-1 (Таблица A.3, 2010 г.)

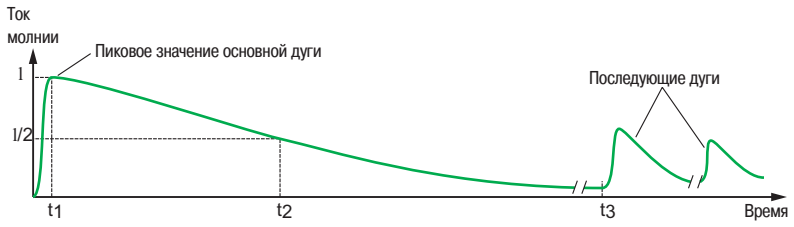


Рис. J4. Пример тока молнии

Также удары молнии являются причиной значительного количества пожаров, в основном, в сельскохозяйственных районах (уничтожают дома или делают их непригодными для использования). Высотные здания и сооружения особенно подвержены ударам молнии.

1.3 Воздействие на электроустановки

Молния повреждает электрические и электронные систем, в частности: трансформаторы, счетчики электроэнергии и электрические приборы в жилых и производственных помещениях.
Стоимость устранения повреждений, вызванных ударом молнии очень высока. Но очень трудно оценить последствия:
- нарушений, вызванных в компьютерах и телекоммуникационных сетях;
- сбоев в программах логических контроллеров и систем управления.

Кроме того, стоимость операционных потерь может быть гораздо выше, чем стоимость поврежденного оборудования.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Перенапряжения атмосферного происхождения

Молния представляет собой высокочастотное электрическое явление, которое вызывает перенапряжение во всех токопроводящих элементах, особенно в электрических кабелях и оборудовании.

1.3.1 Последствия удара молнии

Удары молнии могут повлиять на электрические (и / или электронные) системы здания двумя способами:

- путем прямого удара молнии в здание (см. **рис. J5 a**);
- путем косвенного воздействия удара молнии на здание:
  - удар молнии может прийтись на воздушную линию электропередачи, входящую в здание (см. **рис. J5 б**). Перегрузки по току и перенапряжения могут распространяться на несколько километров от точки удара;
  - удар молнии может произойти вблизи линии электропередачи (см. **рис. J5 c**), в результате чего электромагнитное излучение тока молнии вызовет высокий ток и перенапряжение в электрической сети.

В двух последних случаях опасные токи и напряжения передаются по электросети;

- удар молнии может произойти возле здания (см. **рис. J5 d**), вследствие чего потенциал земли вокруг точки удара резко поднимается до опасных значений.

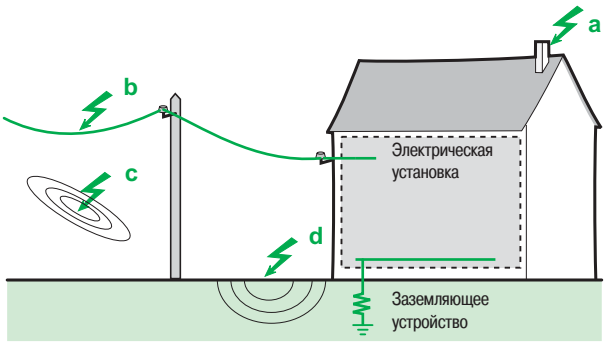


Рис. J5. Различные типы воздействия молнии

Во всех случаях последствия для электрических установок и нагрузок могут быть критичными.

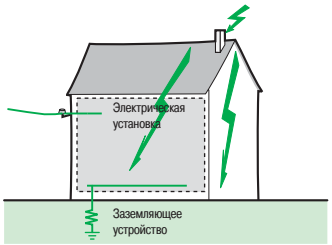
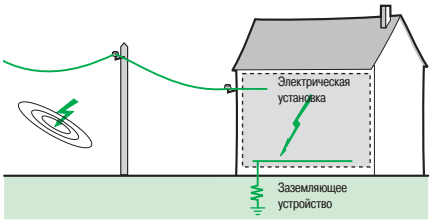
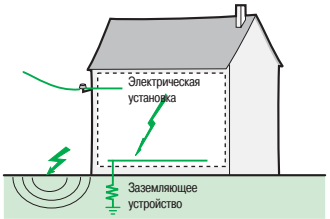
Удар молнии в незащищенное здание	Удар молнии вблизи воздушной линии электропередач	Удар молнии вблизи здания
		
Ток молнии течет в землю через более или менее проводящие конструкции здания с очень разрушительными последствиями: ■ тепловые эффекты: очень сильный перегрев материалов, является причиной пожаров; ■ механические эффекты: структурная деформация; ■ искрение: чрезвычайно опасное явление в присутствии легковоспламеняющихся или взрывчатых веществ (углеводородов, пыль и т.д.).	Ток молнии генерирует перенапряжение посредствам электромагнитной индукции в системе распределения. Эти перенапряжение распространяются по линии электропередач на оборудование внутри зданий.	Удар молнии генерирует те же типы перенапряжения, что описаны выше. Кроме того, ток молнии поступает из земли на электрооборудование, тем самым вызывая поломку оборудования.
Здание и все, что установлено внутри него, обычно подвержено повреждению	**Все электроприборы внутри здания обычно подвержены повреждению**	

Рис. J6. Последствия удара молнии

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Перенапряжения атмосферного происхождения

1.3.2 Различные режимы перенапряжений

■ Несимметричные (синфазные) перенапряжения

Несимметричные (синфазные) перенапряжения возникают между проводниками под напряжением и землей: фаза/земля или нейтраль/земля (см. **рис. J7**). Они особенно опасны для конструкций, которые заземлены в силу риска пробоя диэлектрика.

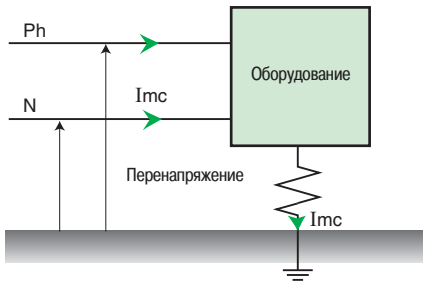


Рис. J7. Несимметричные (синфазные) перенапряжения

■ Симметричные (дифференциальные) перенапряжения

Симметричные (дифференциальные) перенапряжения циркулируют между проводниками фаза/фаза или фаза/нейтраль под напряжением (см. **рис. J8**). Они особенно опасны для электронного оборудования, чувствительного компьютерного оборудования и т.д.

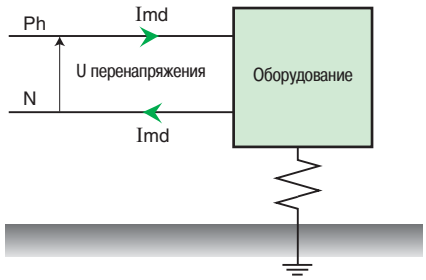


Рис. J8. Симметричные (дифференциальные) перенапряжения

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Перенапряжения атмосферного происхождения

1.4 Характеристика волны молнии

Анализ явлений позволяет определить типы кривой тока молнии и волны напряжения.

■ Два типа кривой волны тока рассматриваются в стандартах МЭК:

□ волна 10/350 мкс: характеризует форму волны тока от прямого удара молнии (см. **рис. J9**);

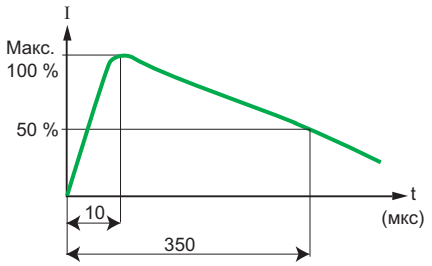


Рис. J9. Форма волны тока 10/350 мкс

□ волна 8/20 мкс: характеризует форму волны тока от косвенного удара молнии (см. **рис. J10**).

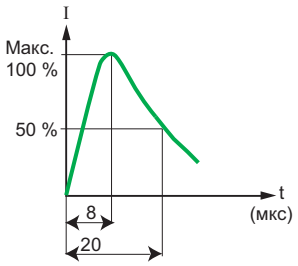


Рис. J10. Форма волны тока 8/20 мкс

Эти два типа кривых тока молнии используются для проверки УЗИП (стандарт МЭК 61643-11, ГОСТ IEC 61643-11-2013)) и надежности оборудования к токам молнии.

Пиковое значение волны тока характеризует интенсивность удара молнии.

■ **Перенапряжение**, созданное ударом молнии, характеризуется формой волны напряжения 1,2/50 мкс (см. **рис. J11**).

Этот тип волны напряжения используется для проверки надежности оборудования к нагрузке при повышенном напряжении на уровне атмосферного происхождения (импульсное напряжение в соответствии со стандартами МЭК 61000-4-5 (ГОСТ IEC 61000-4-5-2017)).

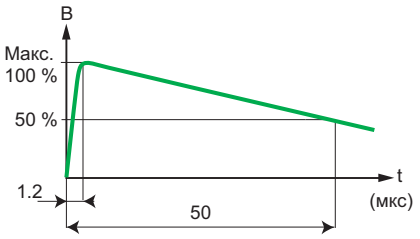


Рис. J11. Форма волны напряжения 1,2/50 мкс

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Принцип защиты от удара молнии

2.1 Основные правила

Система защиты здания от воздействия удара молнии должна включать в себя:
■ защиту сооружения от прямых ударов молнии;
■ защиту электроустановок от прямых и косвенных ударов молнии.

Меры для предотвращения удара молнии

Основной принцип защиты установки от удара молнии заключается в отводе нежелательной энергии от чувствительного оборудования. Для достижения этого необходимо:

■ установить молниеотвод и направить ток молнии в землю по самому прямому пути (избегая близости чувствительного оборудования);

■ выполнить уравнивание потенциалов установок;
Это уравнивание потенциалов осуществляется присоединением проводников, а также установкой устройства защиты от перенапряжений (УЗИП) или разрядника.

■ минимизировать наведенные и косвенные эффекты путем установки УЗИП и/или фильтров.

Две системы защиты используются для устранения или ограничения перенапряжений: система защиты здания (за пределами зданий) и система защиты электрической установки (для внутренней части зданий).

2.2 Система молниезащиты здания

Роль системы защиты здания заключается в том, чтобы защитить его от прямого удара молнии.

Система состоит из:
■ молниеотводов: система защиты от молнии;
■ токоотводов, предназначенных для передачи тока молнии от молниеотводов в землю;
■ заземлителя типа «воронья лапка»;
■ связи между всеми металлическими частями (эквипотенциальными поверхностями) и заземлением.

Когда ток молнии протекает по проводнику, может появиться разность потенциалов между проводником и металлическими частями, соединенными с землей, которые расположены в непосредственной близости. Данное явление может привести к разрушительным дуговым разрядам.

J7

2.2.1 Три типа системы молниезащиты здания

Используются три типа защиты здания:

■ **Стрежневой молниеотвод (простой стержень или активный молниеприемник)**
Молниеотвод представляет собой конусообразный стержень, расположенный наверху здания. Он заземляется одним или несколькими проводниками-токоотводами (часто это медные полосы) (см. **рис. J12**).

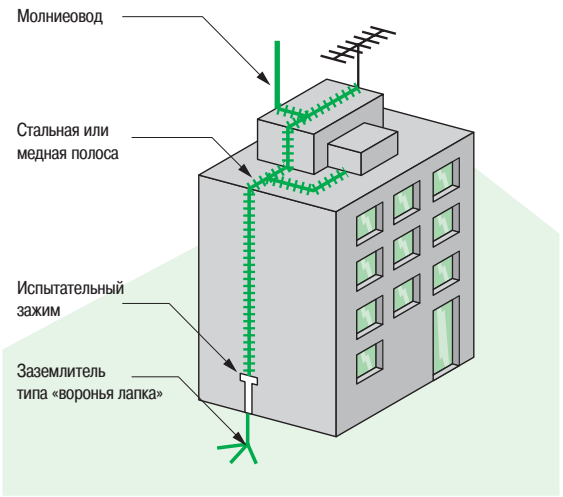


Рис. J12. Стрежневой молниеотвод (простой стержень или активный молниеприемник)

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Принцип защиты от удара молнии

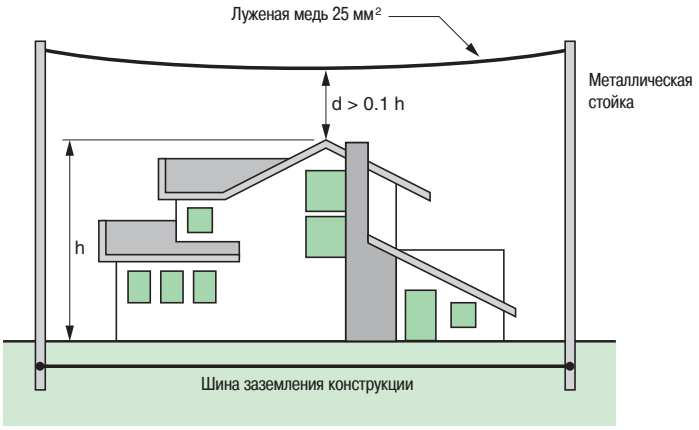


Рис. J13. Пример защиты с помощью тросовых молниеотводов

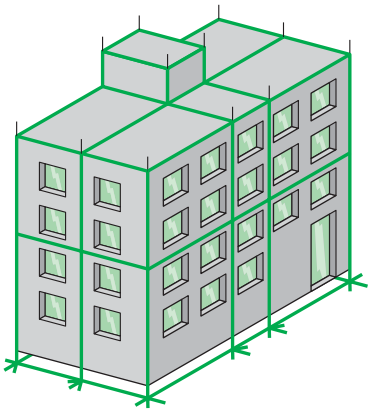


Рис. J14. Пример защиты по принципу сетки (клетки Фарадея)

■ **Тросовый молниеотвод**
Трос натягивается над защищаемым сооружением. Этот метод применяется для специальных сооружений: площадок для запуска ракет, оборонных объектов, воздушных высоковольтных линий электропередачи (см. **рис. J13**).

■ **Сетка (клетка Фарадея)**
Такая защита включает в себя размещение многочисленных вертикальных/горизонтальных лент, симметрично расположенных вокруг здания (см. **рис. J14**).
Этот тип системы используется для защиты зданий с чувствительными установками, такими как компьютерные комнаты.

2.2.2 Последствия защиты здания для электрического оборудования

50% тока молнии, отведенного в систему защиты здания, возвращаются обратно через сеть заземления электрооборудования (см. **рис. J15**): потенциальный подъем тока очень часто превышает порог напряженности в сети, вследствие чего может произойти пробой изоляции в различных сетях (НН, телекоммуникационных, видеокабелях и т.д.). Кроме того, поток тока через токоотводы порождает индуцированные перенапряжения в электрической установке.

Как следствие, система защиты здания не защищает электрическое оборудование: поэтому требуется предусмотреть систему защиты электроустановок

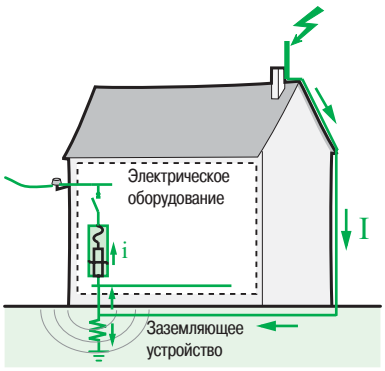


Рис. J15. Обратный ток при прямом ударе молнии

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Принцип защиты от удара молнии

2.3 Система защиты электрической установки

Основная цель системы защиты электрической установки – это ограничение перенапряжения до значений, которые являются приемлемыми для данного оборудования.
Система электрической защиты установки состоит из:
- одного или нескольких УЗИП в зависимости от конфигурации здания;
- металлической сетки из открытых проводящих частей для уравнивания потенциалов.

2.3.1 Реализация

Процедура защиты электрических и электронных систем здания выглядит следующим образом.

Поиск информации
- Определить все чувствительные нагрузки и их расположение в здании.
- Определить местоположение электрических и электронных систем и их соответствующие точки входа в здание.
- Проверить, присутствует ли на здании или в непосредственной близости система защиты от молнии.
- Ознакомиться с правилами, действующими в месте расположения здания.
- Оценить риск удара молнии в зависимости от географического местоположения, типа источника питания, интенсивности молний и т.д.

Решения по реализации
- Установить заземление проводника по принципу сетки.
- Установить УЗИП в распределительном щите низкого напряжения.
- Установить дополнительный УЗИП в каждой подгруппе распределительного щита, расположенного в непосредственной близости от чувствительного оборудования (см. **рис. J16**).

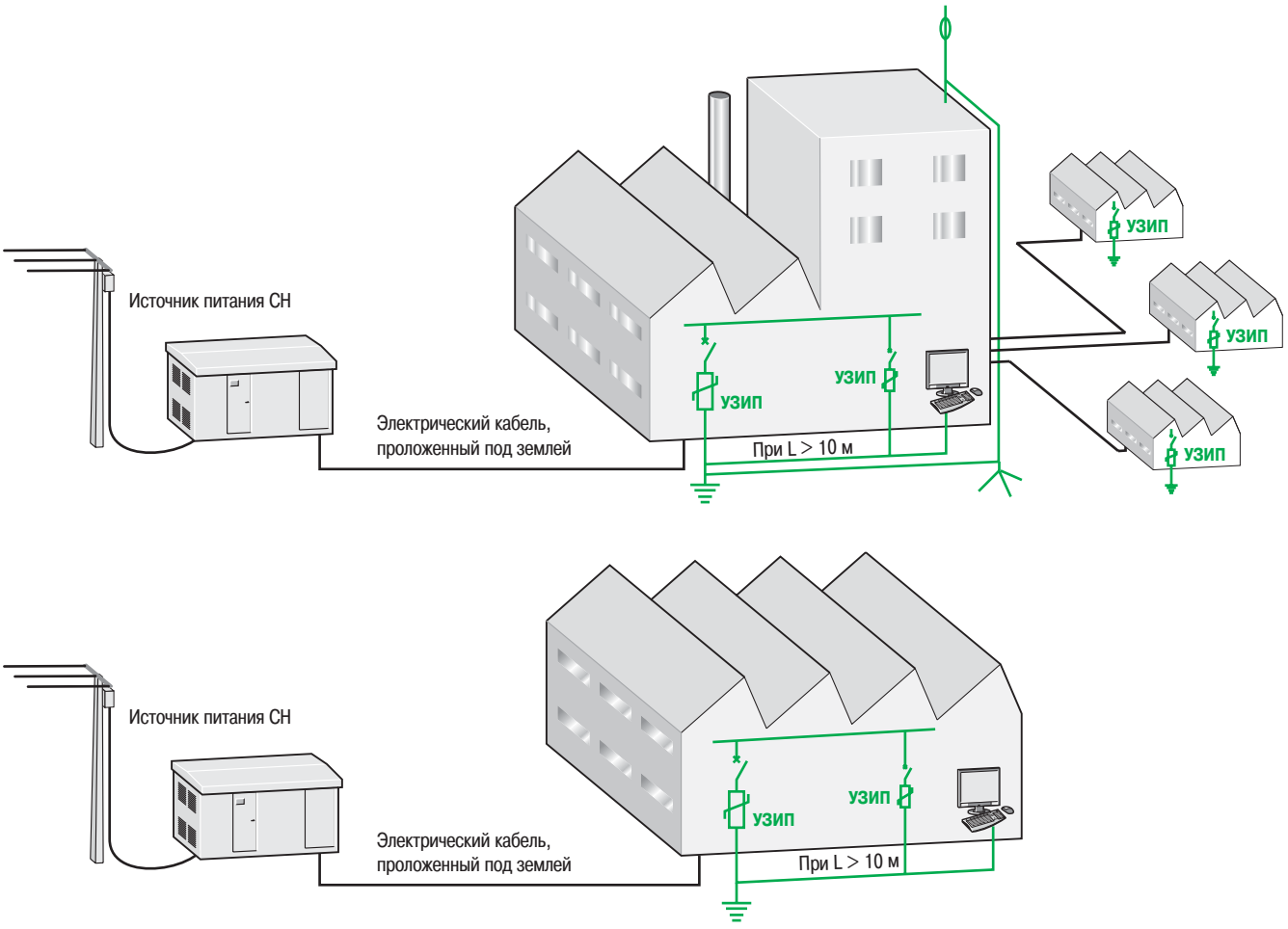


Рис. J16. Пример защиты крупномасштабной электроустановки

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Принцип защиты от удара молнии

Устройства защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП) используются в сетях электроснабжения, телефонных сетях, а также на линиях связи и коммуникационных шинах систем автоматизации и управления.

2.4 УЗИП

Устройство защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП) является частью системы защиты электрической установки.
Это устройство подсоединяется параллельно к цепи питания нагрузок, которые она может защитить (см. **рис. J17**). Оно также может быть использовано на всех уровнях сети электропитания.
Оно используется наиболее часто и является самым эффективным типом защиты от перенапряжения.

УЗИП соединены параллельно и имеют высокое полное сопротивление. После того как в системе появляются переходные перенапряжения, полное сопротивление устройств уменьшается таким образом, что ударные токи протекают через УЗИП, в обход чувствительного оборудования.

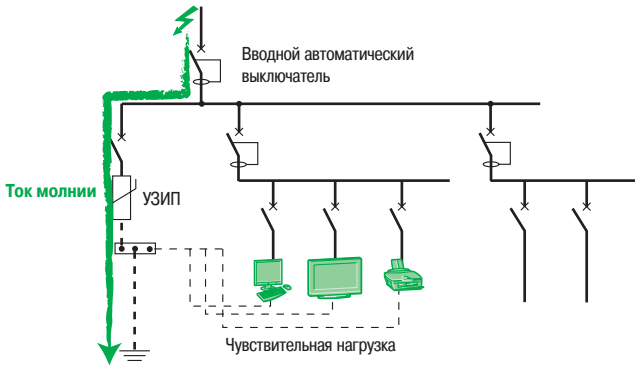


Рис. J17. Принцип системы защиты при параллельном подключении УЗИП

Принцип
УЗИП предназначено для ограничения переходных напряжений атмосферного происхождения и стеканию тока молнии в землю, таким образом, чтобы ограничить пиковые значения этого перенапряжения, которые являются опасными для электрической установки, распределительного щита и устройств управления.

УЗИП устраняет перенапряжение:
- в несимметричном режиме, между фазой и нейтралью или землей;
- в симметричном режиме, между фазой и нейтралью.

В случае если повышение напряжения выше порога срабатывания, то УЗИП:
- проводит энергию в землю, в несимметричном режиме;
- распределяет энергию между другими проводниками, находящихся в симметричном режиме.

Три типа УЗИП:

■ УЗИП типа 1
УЗИП типа 1 рекомендуется применять в конкретных областях, таких как сфера услуг или промышленные здания, защищенные системой молниезащиты или сеткой.
Оно защищает электрические установки от прямых ударов молнии и может изолировать обратный ток молнии, распространяющийся от заземляющего устройства в электрическую сеть.
УЗИП 1 типа характеризуется формой волны тока 10/350 мкс.

■ УЗИП типа 2
УЗИП типа 2 является основной системой защиты для всех низковольтных электрических установок. Установленное в каждом электрическом распределительном щите, оно предотвращает распространение перенапряжения в электроустановках и защищает нагрузку.
УЗИП типа 2 характеризуется формой волны тока 8/20 мкс.

■ УЗИП типа 3
Эти УЗИП имеют низкую разрядную емкость. Поэтому они должны быть установлены в обязательном порядке в качестве дополнения к УЗИП типа 2 и в непосредственной близости от чувствительных нагрузок.
УЗИП типа 3 характеризуется сочетанием формой волны напряжения (1,2/50 мкс) и формой волны тока (8/20 мкс).

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Принцип защиты от удара молнии

■ **Выбор УЗИП**

	Прямой удар молнии	Косвенный удар молнии	
МЭК 61643-1	Тест I класса	Тест II класса	Тест III класса
МЭК 61643-11/2011	Тип 1: **T1**	Тип 2 : **T2**	Тип 3 : **T3**
EN/МЭК 61643-11	Тип 1	Тип 2	Тип 3
Бывший VDE 0675v	B	C	D
Форма испытательной волны	10/350	8/20	1.2/50 + 8/20

Примечание 1: Существуют УЗИП, которые объединяют T1 + T2 (или УЗИП типа 1 + 2). Данные УЗИП имеют объединенную защиту нагрузок от прямых и косвенных ударов молнии.

Примечание 2: некоторые УЗИП T2, также могут быть применены как T3.

Рис. J18. Выбор УЗИП в соответствии со стандартами

Почему важно знать I_n?
I_n соответствует номинальному току разряда и показывает, что УЗИП может выдержать значение тока не менее чем в 19 раз превышающее номинальное: более высокое значение I_n означает более длительный срок службы для УЗИП, поэтому настоятельно рекомендуется выбирать более высокие значения, чем минимальное значение 5 кА.

Почему важно знать I_{imp}?
В соответствии со стандартом МЭК 62305 значение максимального импульсного тока в каждой фазе трехфазной системы должно быть 25 кА.
Это означает, что УЗИП должно выдержать в сети 3P + N максимальный импульсный ток 100 кА, идущий от заземления.

Почему важно знать I_{max}?
Если сравнить два УЗИП с одинаковым In, но с разными Imax: УЗИП с более высоким значением Imax имеет более высокий «запас прочности» и может выдерживать более высокий импульсный ток без повреждения.

2.4.1 Характеристики УЗИП

Международный стандарт МЭК 61643-11-1.0 (03/2011) определяет характеристики и испытания для УЗИП, подключенного к системе распределения низкого напряжения (см. **рис. J19**).

■ **Общие характеристики**

□ Uc: Максимальное рабочее напряжение

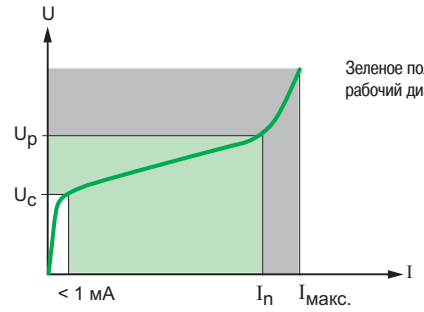
Это напряжение при постоянном или переменном токе, выше которого УЗИП начинает работать. Это значение выбирается в зависимости от номинального напряжения сети и системы заземления.

□ Up: Уровень защитного напряжения (при In)

Это максимальное напряжение на выводах УЗИП, когда оно находится в рабочем состоянии. Это напряжение достигается, когда ток, протекающий в УЗИП, равен In. Уровень защитного напряжения должен быть выбран на уровне, который способна выдерживать нагрузка (см. раздел 3.2). В случае ударов молнии, напряжение на выводах УЗИП, как правило, остается меньше, чем на входе.

□ In: Номинальный разрядный ток

Это максимальное значение тока при форме волны 8/20 мкс. Означает, что УЗИП способно выдержать его как минимум 19 раз (1).



Зеленое поле – фиксированный рабочий диапазон УЗИП.

Рис. J19. Времятоковая характеристика УЗИП с варистором

■ **УЗИП типа 1**

□ Iimp: Импульсный ток

Это пиковое значение тока при форме волны 10/350 мкс. Означает, что УЗИП способно выдержать его как минимум 1 раз (2).

□ Ifi: Самогаситель сопровождающего тока

Применим только к технологии разрядника.

Это такой ток (50 Гц), что способен прерывать УЗИП сам по себе, после того, как происходит поверхностный пробой. Этот ток всегда должен быть больше, чем ожидаемый ток короткого замыкания в точке установки.

■ **УЗИП типа 2**

□ Imax: Максимальный ток разряда

Это пиковое значение тока при форме волны 8/20 мкс. Означает, что УЗИП способен выдержать его один раз.

■ **УЗИП типа 3**

□ Uoc: Напряжение холостого хода применяется для испытания УЗИП по классу III (тип 3).

(1) Последовательность испытаний для УЗИП на основе МОВ (металлооксидного варистора) в соответствии со стандартом МЭК 61643-11. Всего 19 импульсов при In:
- Один положительный импульс
- Один отрицательный импульс
- 15 импульсов синхронизируются через каждые 30° на частоте 50 Гц
- Один положительный импульс
- Один отрицательный импульс

(2) Для УЗИП типа 1 после 15 импульсов при In (см. Предыдущее примечание):
- Один импульс при 0,1 x Imp
- Один импульс при 0,25 x Imp
- Один импульс при 0,5 x Imp
- Один импульс при 0,75 x Imp
- Один импульс при Imp

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Принцип защиты от удара молнии

2.4.2 Основные области применения

■ УЗИП для сетей низкого напряжения

Очень разные устройства обозначаются этим термином, как с технологической точки зрения, так и с точки зрения использования. Низковольтные УЗИП являются модульными для легкого монтажа внутри распределительных щитов низкого напряжения. Есть также УЗИП, адаптируемые к розеткам, но эти устройства имеют низкую разрядную емкость.

■ УЗИП для сетей связи

Эти устройства защищают телефонные сети, коммутируемые сети и коммуникационные шины систем управления и автоматизации от перенапряжений, поступающих извне (молнии), и внутренних по отношению к сети электропитания (компьютерное оборудование, распределительные устройства и т.д.).

Такие УЗИП подключаются с помощью разъемов RJ11, RJ45 или интегрированы в нагрузку.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Проектирование системы защиты электроустановок

Применяя простые правила, легко сделать выбор средств защиты электроустановки в здании:
- ■ УЗИП;
- ■ система защиты.

3.1 Правила проектирования

Основные параметры для определения системы молниезащиты в распределительных электрических сетях и выбора УЗИП для защиты электроустановки в здании:
- ■ УЗИП
- □ количество УЗИП;
- □ тип;
- □ уровень воздействия максимального тока разряда Imax для выбора УЗИП
- ■ Устройство защиты от короткого замыкания
- □ максимальный ток разряда Imax;
- □ ток короткого замыкания Isc в точке установки.

На логической схеме на **рис. J20** представлены правила проектирования.

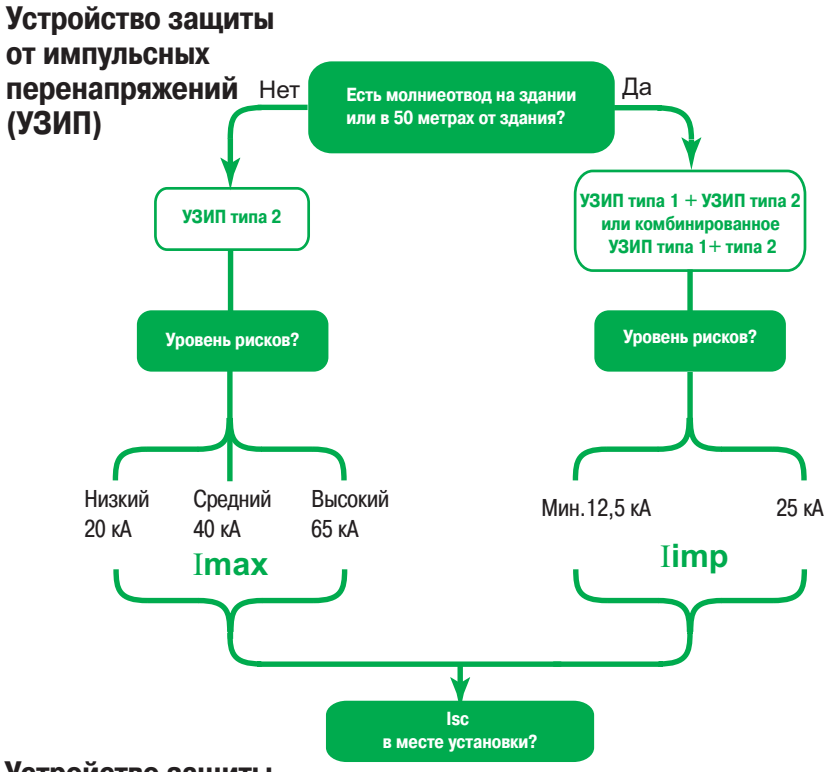


Рис. J20. Логическая схема для выбора системы защиты

Остальные характеристики для выбора УЗИП, устанавливаемого в электроустановках:
- ■ количество полюсов в УЗИП;
- ■ уровень защиты по напряжению Up;
- ■ рабочее напряжение Uc.

Далее в данном разделе 3 подробно описаны критерии выбора системы защиты в соответствии с характеристиками установки, защищаемого оборудования и окружающей среды.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Проектирование системы защиты электроустановок

УЗИП всегда должно быть установлено на вводе электроустановки.

3.2 Элементы системы защиты

3.2.1 Расположение и тип УЗИП

УЗИП должно быть установлено на вводе электроустановки, и его тип зависит от наличия или отсутствия системы молниезащиты. Если здание оснащено системой молниезащиты (в соответствии с МЭК 62305), то устанавливается УЗИП типа 1.

Для УЗИП, установленного в конце линии непосредственно у электроприемников, требования стандарта МЭК 60364 предписывают минимальные значения для следующих 2 характеристик:

- номинальный ток разряда **In = 5 кА (8/20) мкс**;
- уровень защитного напряжения **Up (при In) < 2,5 кВ.**

Количество дополнительных УЗИП в установке зависит от:

- размера объекта и сложности монтажа заземляющего проводника; на больших объектах, необходимо установить УЗИП на вводе каждого распределительного щита;
- расстояния, отделяющего чувствительные нагрузки от устройства защиты. При нагрузке, расположенной на расстоянии более 30 метров от УЗИП, установленного на вводе распределительного щита, необходимо предусмотреть дополнительную защиту, как можно ближе к чувствительной нагрузке. Явление отражения волн увеличивается с 10 метров (смотри раздел 6.5);
- опасных воздействий. При опасных воздействиях на установку УЗИП, установленное на вводе распределительного щита, не может обеспечить защиту от высоких значений тока молнии и надлежащий уровень защиты от повышенного напряжения. В таких случаях с УЗИП типа 1, как правило, устанавливается дополнительное УЗИП типа 2.

В таблице на **рис. J21** показано количество и тип УЗИП, которые должны быть установлены исходя из двух факторов, приведенных выше.

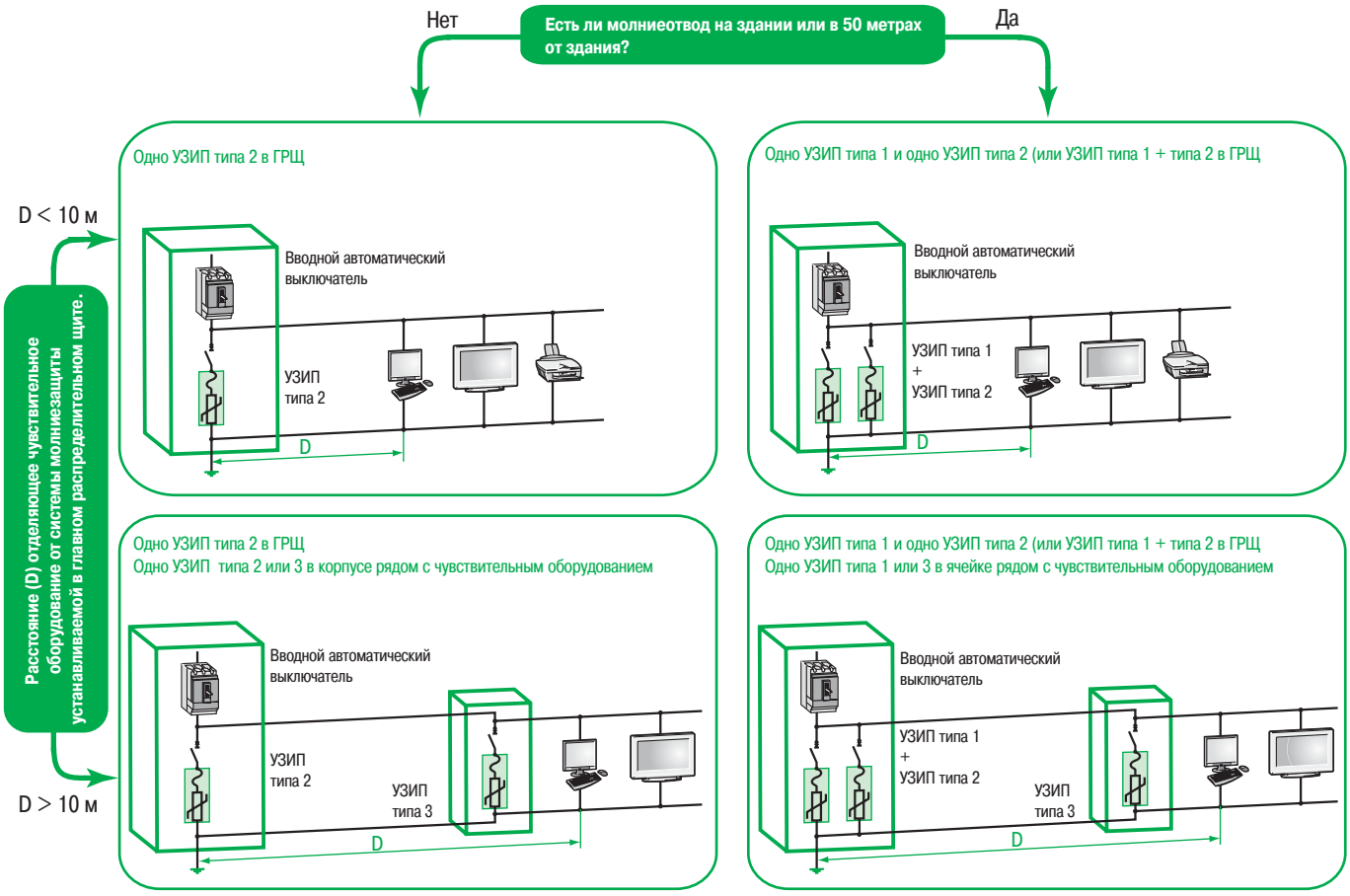


Рис. J21. Четыре примера реализации УЗИП
Примечание. УЗИП типа 1 устанавливается в щитовом электрооборудовании, подключенном к проводу заземления системы молниезащиты.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Проектирование системы защиты электроустановок

3.2.2 Многоуровневая защита

Многоуровневая защита с использованием УЗИП позволяет распределить энергию между несколькими устройствами, как показано на **рис. J22**, и УЗИП каждого типа выполняет определенные функции:

- Тип 1: когда здание оснащено системой молниезащиты, он располагается на вводе установки и поглощает очень большое количество энергии.
- Тип 2: поглощает остаточные перенапряжения.
- Тип 3: при необходимости обеспечивает «тонкую» защиту наиболее чувствительного оборудования, расположенного в непосредственной близости от нагрузки.

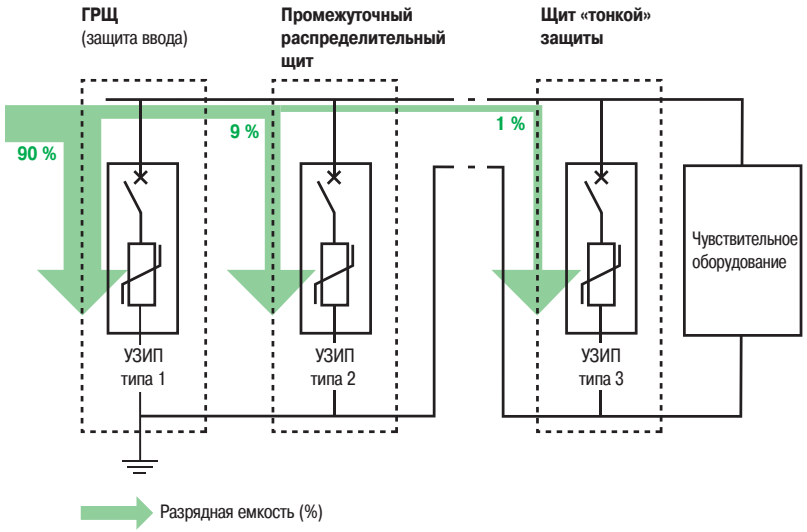


Рис. J22. Структура многоуровневой защиты
Примечание: УЗИП типов 1 и 2 могут устанавливаться в одной ячейке.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Проектирование системы защиты электроустановок

3.3 Общие характеристики УЗИП в зависимости от параметров электроустановки

3.3.1 Рабочее напряжение Uc

В зависимости от системы заземления, максимальное рабочее напряжение Uc УЗИП должно быть равно или больше, чем значения, приведенные в таблице на **рис. J23**.

Проводники, между которыми устанавливается УЗИП	Система заземления распределительной сети		
	TN	TT	IT
Линейный проводник и нейтраль	1.1 U / √3	1.1 U / √3	1.1 U / √3
Линейный проводник и проводник PE	1.1 U / √3	1.1 U / √3	1.1 U
Линейный проводник и проводник PEN	1.1 U / √3	Не применяется	Не применяется
Нейтральный провод и проводник PE	U / √3(1)	U / √3(1)	1.1 U / √3

(1) Данные значения относятся к наихудшим условиям неисправности, поэтому допустимое отклонение 10% не учитывается.
U: межфазное напряжение низковольтной системы.

Рис. J23. Минимальное требуемое значение Uc для УЗИП в зависимости от системы заземления сети (на основе таблицы 53C стандарта МЭК 60364-5-53 (ГОСТ Р 50571.5.53-2013))

Наиболее распространенные значения Uc выбирается в зависимости от системы заземления.

TT, TN: 260, 320, 340, 350 В

IT: 440, 460 В

3.3.2 Уровень защитного напряжения Up (при In)

Часть 443-4 стандарта МЭК 60364 «Выбор оборудования в установке» помогает при выборе уровня защиты Up для УЗИП в зависимости от защищаемых нагрузок. Таблица **рис. J24** указывает на значение импульса выдерживаемого напряжения для каждого вида оборудования.

Ном. напряжение установки, В(1)	Напряжение между проводником и нейтралью, выведенное на основании номинального напряжения пер. или постоянного тока, В, до и включительно	Требуемое выдерживаемое импульсное напряжение, кВ(3)			
		Категория перенапряжения IV (оборудование с очень высоким номинальным импульсным напряжением)	Категория перенапряжения III (оборудование с высоким номинальным импульсным напряжением)	Категория перенапряжения II (оборудование с нормальным значением номинального импульсного напряжения)	Категория перенапряжения I (оборудование с пониженным номинальным импульсным напряжением)
		Например, счетчики электроэнергии, системы телеуправления	Например, распределительные щиты, розетки, выключатели	Например, бытовые приборы и инструмент	Например, чувствительное электронное оборудование
120/208	150	4	2.5	1.5	0.8
230/400(2)(4) 277/480(2)	300	6	4	2.5	1.5
400/690	600	8	6	4	2.5
1000	1 000	12	8	6	4
1500 пост. тока	1 500 пост. тока			8	6

(1) В соответствии с МЭК 60038 (ГОСТ 29322-2014).

(2) В Канаде и Соединенных Штатах для напряжений, превышающих 300 В относительно земли, выдерживаемое импульсное напряжение соответствует более высокому напряжению в столбце.

(3) Это импульсное напряжение между токопроводящим проводником с током и PE-проводником.

(4) Для систем IT, работающих при 220-240 В, следует использовать напряжение 230/400 В из-за возможного замыкания линии на землю.

Рис. J24. Категории выдерживаемого импульсного напряжения электроустановок в соответствии с МЭК 60364 (таблица 44B)

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Проектирование системы защиты электроустановок

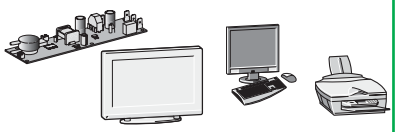
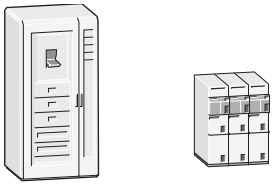
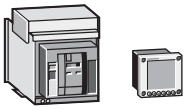
	■ Оборудование I категории перенапряжения подходит только для использования в стационарной установке здания, где защитные средства применяются до оборудования – для ограничения переходных напряжений до указанного уровня. Это оборудование, содержащее электронные схемы, например, компьютеры, устройства с электронными программами и т.д.
	■ Оборудование II категории перенапряжения подходит для подключения к стационарной электрической установке, обеспечивая надлежащую степень надежности при частом использовании. Примерами такого оборудования являются бытовые приборы и другие подобные нагрузки.
	■ Оборудование III категории перенапряжения предназначено для использования в стационарной установке на отходящих линиях. Оно обеспечивает высокую степень надежности. Примерами такого оборудования являются распределительные щиты, автоматические выключатели, кабельные системы, соединительные коробки, выключатели, штепсельные розетки стационарной установки, а также оборудование для промышленного использования, например, стационарные двигатели с подключением к стационарной установке..
	■ Оборудование IV категории перенапряжения подходит для использования в точке подключения установки, или в непосредственной близости от нее, например, на вводе главного распределительного щита. Примерами такого оборудования являются счетчики электроэнергии, первичные устройства защиты от перегрузки по току и блоки управления.

Рис. J25. Категории перенапряжения оборудования

Защитное напряжение Up должно быть правильно выбрано относительно импульса выдерживаемого напряжения нагрузки. УЗИП имеет уровень защитного напряжения Up, который является внутренним, т.е. определен и испытан независимо от установки, где его применяют. На практике при выборе параметров УЗИП, запас прочности должен быть принят так, чтобы учесть перенапряжения, присущие установке с УЗИП (см. **рис. J26** и п. 4.1).

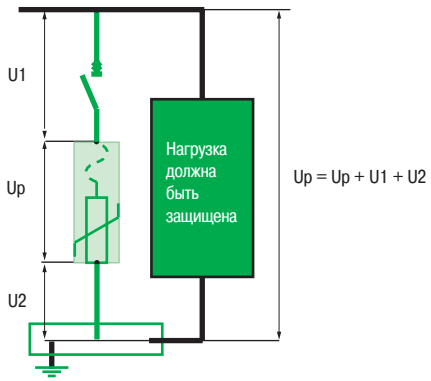


Рис. J26. Составляющие Up

Защитный уровень напряжения Up, как правило, составляет 2,5 кВ для защиты чувствительного оборудования в электроустановках на 230/400 В (категория перенапряжения II, см. **рис. J27**).

Примечание:

Если предусмотренный уровень защитного напряжения не может быть достигнут за счет выбранного типа УЗИП, или если чувствительные элементы оборудования являются удаленными (см. раздел 3.2.1), дополнительные УЗИП должны быть установлены для достижения требуемого уровня защиты.

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Проектирование системы защиты электроустановок

3.3.3 Количество полюсов

■ В зависимости от системы заземления необходимо предусмотреть подключение УЗИП, обеспечивающего защиту в симметричном режиме (CM) и несимметричном режиме (DM).

	TT	TN-C	TN-S	IT
Фаза и нейтраль (DM)	Рекомендуется(1)	-	Рекомендуется	Не подходит
Фаза и земля (PE или PEN) (CM)	Да	Да	Да	Да
Нейтраль и земля (PE) (CM)	Да	-	Да	Да(2)

(1) Защита между фазой и нейтралью может быть выполнена посредством УЗИП, расположенного в начале установки или удаленного от ГРЩ, но установленного рядом с защищаемым оборудованием

(2) Если нейтраль разделена

Рис. J27. Выбор защиты в зависимости от используемой системы заземления

Примечание:

■ **Симметричный режим перенапряжения**

Основным видом защиты в симметричном режиме между фазой и проводником PE (PEN) является установка УЗИП вне зависимости от типа системы заземления.

■ **Несимметричный режим перенапряжения**

В системах TT и TN-S заземление нейтрали приводит к асимметрии из-за удельного сопротивления грунта, что становится причиной несимметричного режима напряжений, даже несмотря на то перенапряжение, которое индуцировано ударом молнии и является симметричным.

Ограничители перенапряжения 1P, 2P, 3P и 4P (см. рис. J28)

■ Подходят для систем заземления IT, TN-C и системы TN-C-S.
■ Обеспечивают только защиту от общего режима перенапряжений.

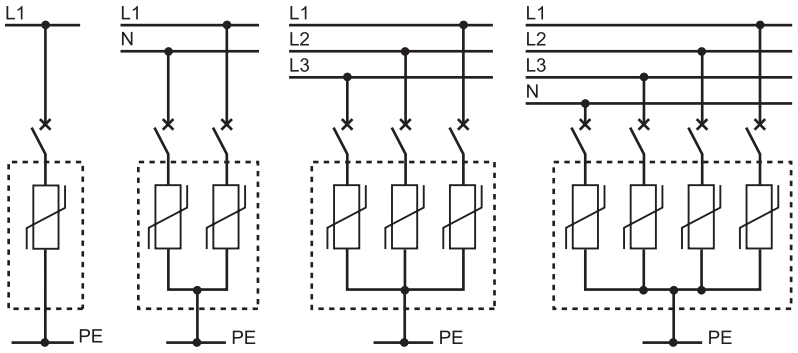


Рис. J28. Ограничители перенапряжения 1P, 2P, 3P, 4P

Ограничители перенапряжения 1P + N, 3P + N SPDs (см. рис. J29)

■ Подходят для систем заземления TT и TN-S.
■ Обеспечивают защиту от симметричного режима и несимметричного режима перенапряжений.

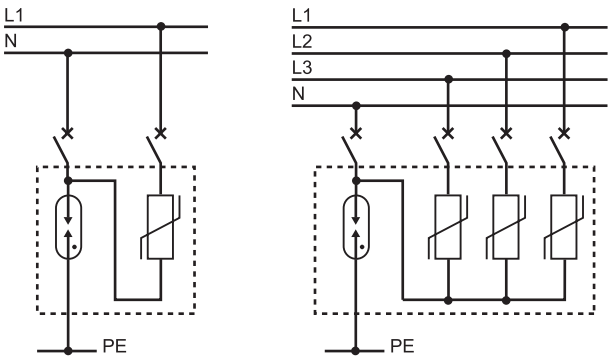


Рис. J29. Ограничители перенапряжения 1P + N, 3P + N

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Проектирование системы защиты электроустановок

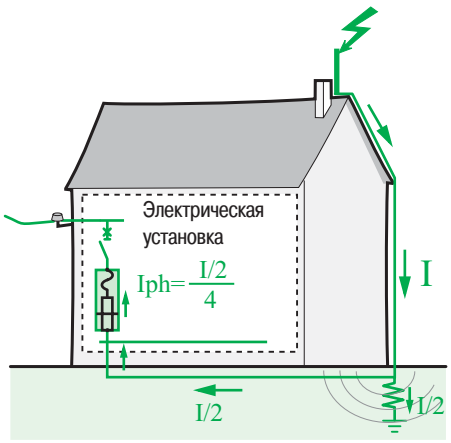


Рис. J30. Типовой пример сбалансированного Iimp в трехфазной системе распределения тока

3.4 Выбор УЗИП I типа

3.4.1 Импульсный ток Iimp

■ Там, где нет национальных правил или специальных требований для данного типа УЗИП, здания должны быть защищены, согласно правилу:
Импульсный ток Iimp должен составлять не менее 12,5 кА (волны 10/350 мкс) в каждом проводнике в соответствии с МЭК 60364-5-534.

■ Там, где существуют национальные правила:
Стандарт МЭК 62305-2 (ГОСТ Р МЭК 62305-2-2010) определяет 4 уровня: I, II, III и IV.
В таблице на **рис. J31** показаны различные уровни Iimp.

Степень защиты в соответствии с EN 62305-2	Система молниезащиты, предназначенная для срабатывания при прямом ударе молнии:	Минимальное необходимое Iimp для УЗИП типа 1 для одного проводника
I	200 кА	25 кА/проводник
II	150 кА	18,75 кА/проводник
III / IV	100 кА	12,5 кА/проводник

Рис. J31. Таблица значений Iimp в зависимости от уровня напряжения защиты здания (на основе МЭК/EN 62305-2)

3.4.2 Самогаситель сопровождающего тока Ifi

Эта характеристика применима только для УЗИП с технологией разрядника. В самогасителе сопровождающего тока Ifi всегда должен быть больше, чем ожидаемый ток короткого замыкания в точке установки Isc.

3.5 Выбор УЗИП II типа

3.5.1 Максимальный ток разряда Imax

Максимальный ток разряда Imax определяется в соответствии с расчетным уровнем воздействия относительно места расположения здания.

Величина максимального тока разряда (Imax) определяется с помощью анализа риска (см. таблицу на **рис. J32**).

	Уровень воздействия		
	Низкий	Средний	Высокий
Место расположения здания	Микрорайоны, расположенные в городской или пригородной зоне	Здания, расположенные на равнине	Здания, с определенным риском: наличие колонн и деревьев, расположение в горной местности, в зоне с повышенной влажностью или рядом с прудом
Рекомендуемое значение Imax (кА)	20	40	65

Рис. J32. Рекомендуемый максимальный ток разряда Imax в соответствии с уровнем воздействия

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Проектирование системы защиты электроустановок

Устройства защиты с тепловом или электромагнитным расцепителем должны быть согласованы с УЗИП, чтобы обеспечить:
■ непрерывность работы:
□ способность противостоять волне тока молнии;
□ не создавать чрезмерного остаточного напряжения.
■ эффективную защиту от всех типов перегрузки по току:
□ перегрузки, сопровождающиеся тепловым пробоем варистора;
□ короткое замыкание низкой интенсивности;
□ короткое замыкание высокой интенсивности.

3.6 Выбор внешнего устройства защиты от короткого замыкания (автоматического выключателя)

3.6.1 Риски, которые следует избегать в конце срока службы УЗИП

■ **В связи со старением**

В случае естественного конца срока службы из-за старения защита от теплового пробоя УЗИП с варистором должна иметь внутренний разъединитель, который отключит УЗИП.

Примечание: Конец срока службы защиты от теплового пробоя не относится к УЗИП с газоразрядной трубкой или закрытым разрядником.

■ **Из-за неисправности**

Причинами окончания срока службы из-за короткого замыкания являются:

□ Превышение максимальной разрядной емкости.
Эта ошибка приводит к сильному короткому замыканию.

□ Неисправность из-за распределительной системы (переключение нейтрали / фазы , отключение нейтрали).

□ Постепенное ухудшение варистора.

Последние две ошибки приводят к короткому замыканию на землю.

Установка должна быть защищена от повреждений данного типа:

внутренний (тепловой) разъединитель не успевает прогреться, следовательно, сработать.

Специальное устройство, называемое внешним устройством защиты от короткого замыкания (внешнее УЗКЗ), должно быть установлено для устранения короткого замыкания. Оно может быть реализовано посредством автоматического выключателя или предохранителя.

3.6.2 Характеристики внешнего УЗКЗ

Внешнее УЗКЗ должно быть согласовано с УЗИП. Оно должно быть способным:

Выдерживать ток молнии
Выдерживаемый ток молнии является неотъемлемой характеристикой УЗИП внешнего УЗКЗ. Внешнее УЗКЗ не должно срабатывать при 15 последовательных импульсных токах In.

Выдерживать ток короткого замыкания
■ **Отключающая способность** определяется правилами по установке (стандарт МЭК 60364): Внешнее УЗКЗ должно иметь отключающую способность, равную или больше, чем ожидаемый ток короткого замыкания Isc в точке установки (в соответствии со стандартом МЭК 60364).

■ **Защита установки от коротких замыканий**
Сопротивление короткого замыкания рассеивает много энергии, поэтому оно должно быть устранено как можно быстрее для предотвращения повреждения установки и УЗИП.

Правильное согласование между УЗИП и его внешним УЗКЗ должно предоставлено производителем.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Проектирование системы защиты электроустановок

3.6.3 Способы установки внешнего УЗКЗ

■ **Установка последовательно**
УЗКЗ устанавливается последовательно (см. **рис. J33**), когда защита осуществляется общим устройством защиты сети, и оно тоже должно быть защищено (например, подключением выключателя, установленного выше по сети).

■ **Установка параллельно**
УЗКЗ устанавливается параллельно (см. **рис. J34**), когда защита осуществляется специальным устройством защиты, связанным с УЗИП.

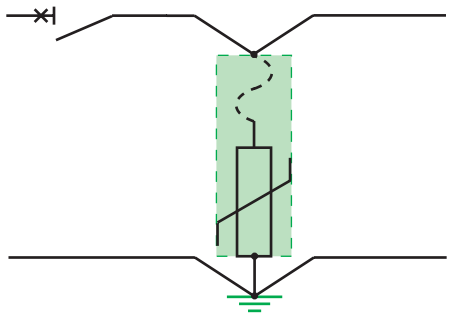


Рис. J33. Установка последовательно

■ Внешнее УЗКЗ называется «защитным выключателем», если функция защиты выполняется с помощью автоматического выключателя.
■ Автоматический выключатель может быть интегрирован с УЗИП или устанавливаться отдельно.

Примечание:
При установке УЗИП с газоразрядной трубкой или закрытым разрядником, УЗКЗ обесточивает отходящую от устройства цепь.

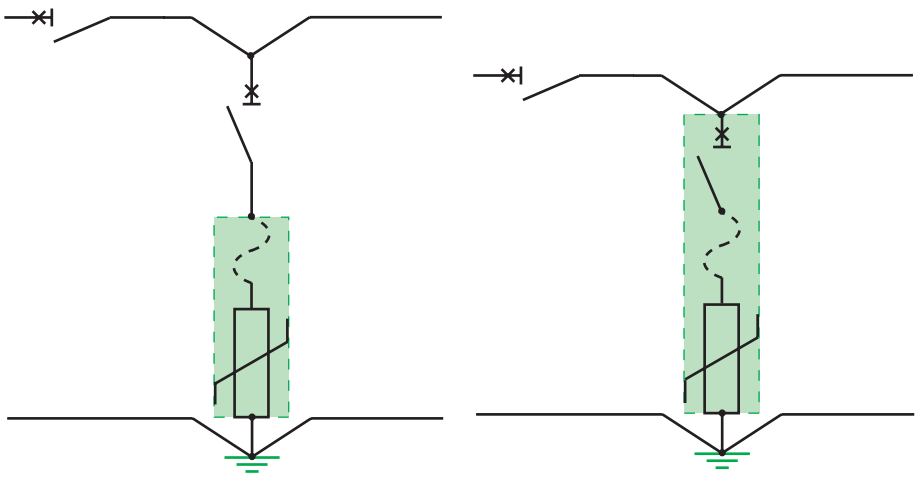


Рис. J34. Установка параллельно

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Проектирование системы защиты электроустановок

3.6.4 Обеспечение защиты

Внешнее УЗКЗ должно быть согласовано с УЗИП, протестировано и находиться на гарантии у производителя УЗИП в соответствии с рекомендациями стандарта МЭК 61643-11 (ГОСТ IEC 61643-11-2013). Оно также должно быть установлено в соответствии с рекомендациями завода-изготовителя. В качестве примера, см. таблицы координации Schneider Electric УЗКЗ + УЗИП. Когда это устройство интегрировано в соответствии со стандартом МЭК 61643-11 (ГОСТ IEC 61643-11-2013), то оно естественным образом обеспечивает защиту.

Рис. J35. УЗИП с внешним УЗКЗ, не интегрированным (iC60N + iPRD 40r) и интегрированным (iQuick PRD40r)

3.6.5 Краткое описание внешних характеристик УЗКЗ

Подробный анализ характеристик приведен в разделе 6.4.

В таблице на **рис. J36** дано краткое описание характеристик защиты в зависимости от различных типов внешних УЗК

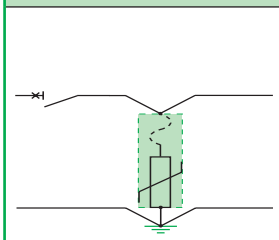
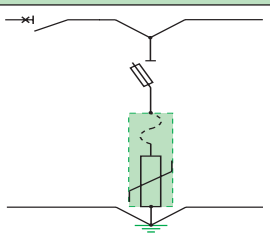
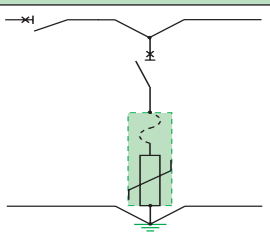
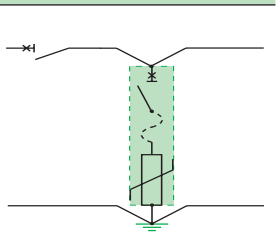
Режим установки внешнего УЗКЗ	Последовательно	Параллельно		
		Связанный с предохранителем	Связанный с автоматическим выключателем	Интегрирован с автоматическим выключателем
				
Защита оборудования от импульсных перенапряжений	=	=	=	=
	УЗИП обеспечивают удовлетворительную защиту оборудования вне зависимости от типа связанного с ним внешнего УЗКЗ			
Защита установки в конце срока службы	-	=	+	+ +
	Защита не гарантируется	Гарантия производителя		Полная гарантия
		Неудовлетворительная защита от коротких замыканий на землю	Отличная защита от коротких замыканий	
Непрерывность обслуживания в конце срока службы	- -	+	+	+
	Установка отключается полностью	От цепи отключается только УЗИП		
Техническое обслуживание в конце срока службы	- -	=	+	+
	Требуется завершение работы установки	Замена предохранителей	Немедленный повторный запуск	

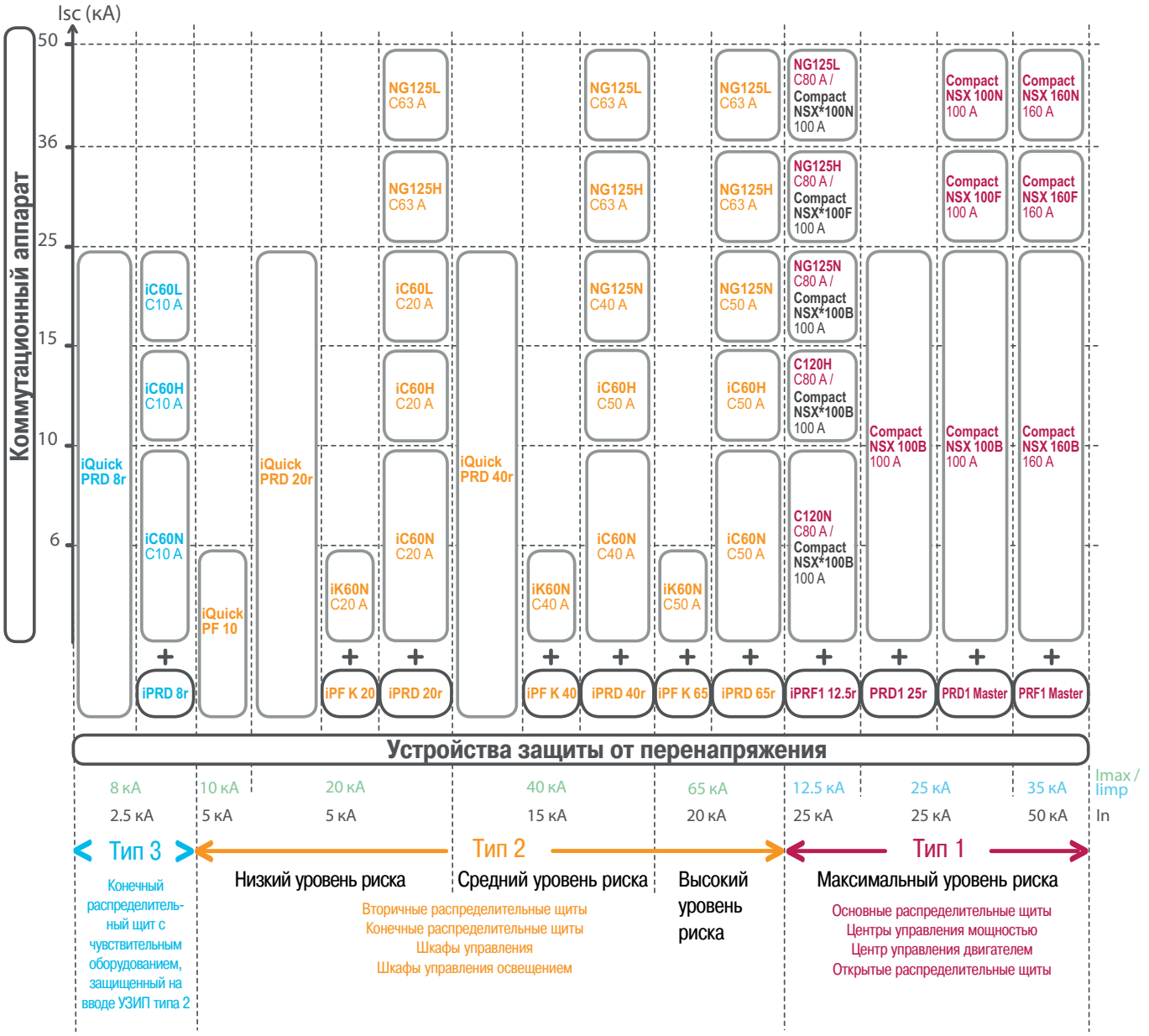
Рис. J36. Характеристики защиты, обеспечиваемой УЗИП типа 2 с истекшим сроком эксплуатации, связанным с внешним УЗКЗ

3.7 УЗИП и координация устройств защиты

В таблице на **рис. J37** показана координация защитных выключателей (внешний УЗКЗ) с УЗИП типов 1 и 2 компании Schneider Electric для всех уровней токов короткого замыкания. Согласованная работа УЗИП и защитных выключателей, гарантируемая компанией Schneider Electric, обеспечивает надежную защиту, выдерживает волну тока молнии, обеспечивает усиленную защиту от токов короткого замыкания на землю и т.д.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Проектирование системы защиты электроустановок



Все автоматические выключатели с кривой C

(*) В этом случае применяется ComPact NSX, который выдерживает импульс тока молнии.

Рис. J37. Таблица координации между УЗИП и их защитными выключателями Schneider Electric

3.7.1 Координация устройств защиты, установленных выше по сети

Координация с устройствами защиты от сверхтоков

В электроустановках внешнее УЗКЗ является устройством, идентичным устройству защиты: это дает возможность применять селективные и каскадные методы технической и экономической оптимизации защиты.

Координация с устройствами остаточного тока

Если УЗИП устанавливается после устройства защиты от утечки на землю, последнее должно быть селективного типа (si) со стойкостью к импульсным токам не менее 3 кА (ток волны 8/20 мкс).

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Установка УЗИП

Соединение УЗИП с нагрузкой должно быть как можно короче, чтобы уменьшить значение уровня защитного напряжения (установленного выше) на выводах защищаемого оборудования.
Общее расстояние между подключенным к сети УЗИП и клеммами заземления не должно превышать 50 см.

4.1 Подключение

Одной из основных характеристик для защиты оборудования является максимальный уровень защитного напряжение (установленного выше), что оборудование может выдержать на своих клеммах. Соответственно, УЗИП должно быть выбрано с уровнем защитного напряжения Up, приложенного к защищаемому оборудованию (см. **рис. J38**). Общая длина соединительных проводников L = L1 + L2 + L3.
Для высокочастотных токов сопротивление на единицу длины этой связи составляет около 1 мкГн/м. Поэтому, применив закон Ленца, получим: $\Delta U = L\ di/dt$
Нормированная волна тока 8/20 мкс с амплитудой 8 кА, соответственно, создает повышение напряжения в 1000 В на метр кабеля.
$U = 1 \times 10^{-6} \times 8 \times 10^{3} / 8 \times 10^{-6} = 1000$ В

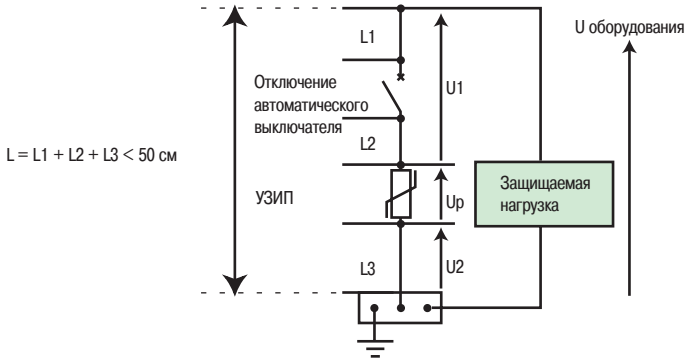


Рис. J38. Длина оединения с УЗИП L < 50 см

Напряжение на клеммах оборудования рассчитывается по формуле:
Up = Up + U1 + U2
Если L1 + L2 + L3 = 50 см, а волна тока 8/20 мкс с амплитудой 8 кА, то напряжение на клеммах оборудования будет увеличено на 500 В.

4.1.1 Подключение УЗИП в пластмассовом корпусе

Ниже на **рис. J39a** показано, как подключить УЗИП в пластмассовом корпусе.

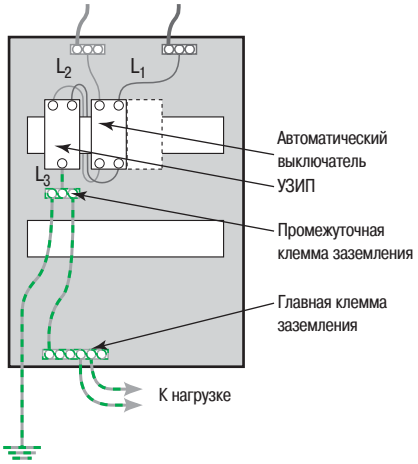


Рис. J39a. Пример подключения УЗИП в пластиковом корпусе

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Установка УЗИП

4.1.2 Подключение УЗИП к КРУ в металлическом корпусе

При подключении УЗИП к комплектному распределительному устройству (КРУ) в металлическом корпусе целесообразно подсоединить его непосредственно к металлической оболочке, которая будет использоваться в качестве защитного проводника (см. **рис. J39b**).
Такая схема соответствует стандарту МЭК 61439-2 (ГОСТ Р МЭК 61439.2-2012), и изготовитель КРУ должен убедиться, что характеристики корпуса делают такое соединение возможным.

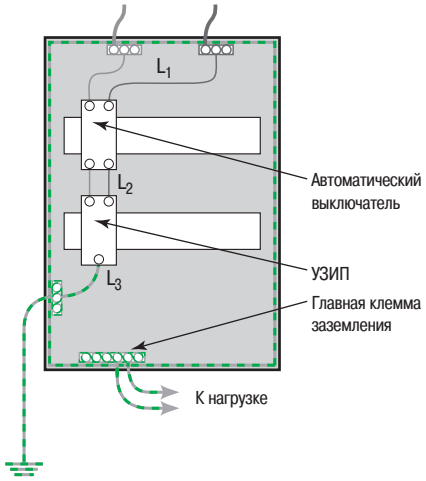


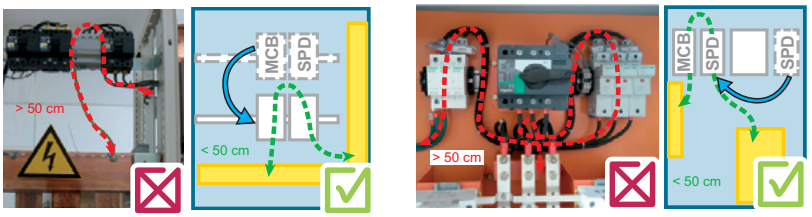
Рис. J39b. Пример подключения УЗИП к КРУ в металлическом корпусе

J25

4.1.3 Сечение провода

Рекомендованные минимальные сечения проводника учитывают следующие факторы:
■ Проводники при нормальном режиме работы: волна тока молнии при максимальном падении напряжения (длина проводника не более 50 см).
Примечание: явление молнии является высокочастотным, и с увеличением поперечного сечения проводника его сопротивление уменьшается несущественно.
■ Проводники при токах короткого замыкания: проводник должен выдерживать ток короткого замыкания до момента срабатывания максимальной токовой отсечки.
Стандарт МЭК 60364 рекомендует применять проводники со следующим минимальным поперечным сечением:
□ 4 мм^2 (Cu) для подключения УЗИП типа 2;
□ 16 мм^2 (Cu) для подключения УЗИП типа 1 (при наличии устройств молниезащиты).

4.1.4 Пример правильного и неправильного подключения УЗИП



Пример 1:
Монтаж и установка оборудования должны производиться в соответствии с правилами монтажа: длина кабеля должна быть менее 50 см.

Пример 2:
Размещение устройств должно быть выполнено в соответствии с правилами монтажа: уменьшить длину кабелей до < 50 см и выполнить местные рекомендации по площади контура для уменьшения воздействия магнитных полей, создаваемых током молнии.

Рис. J39c. Пример правильного и неправильного подключения УЗИП

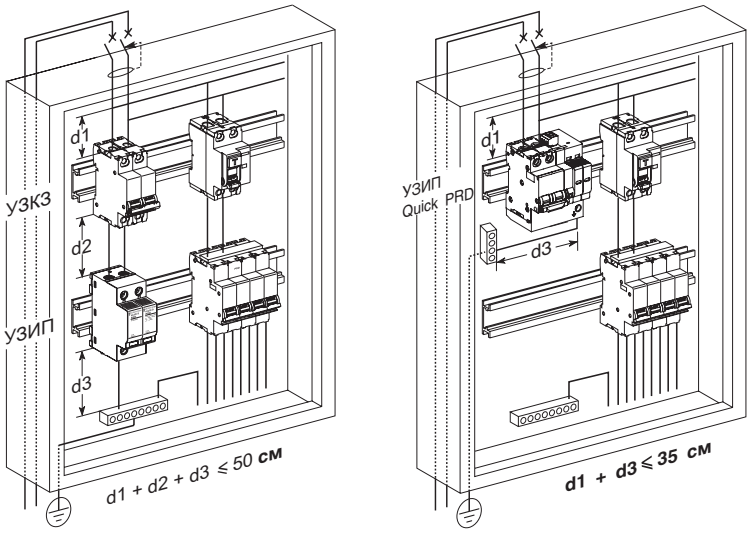
© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Установка УЗИП

4.2 Правила прокладки кабелей

Правило 1:

Для выполнения первого правила, необходимо, чтобы суммарная длина участков цепи (выключатель – УЗИП – клемма заземления), по которым проходит ток грозового разряда, не превышала 50 см.
На **Рис. J40** показаны два способа подключения УЗИП.



d1 = расстояние между началом цепи перенапряжения и выключателем
d2 = расстояние между выключателем и ограничителем перенапряжения
d3 = расстояние между ограничителем перенапряжения и окончанием цепи перенапряжения

Рис. J40. Отдельно стоящий УЗИП и УЗИП, совмещенный с УЗКЗ

Правило 2:

Защита проводников отходящих фидеров:
- проводники должны быть подключены к клеммам внешнего УЗКЗ или УЗИП;
- проводники должны быть физически отделены от загрязненных входящих проводников.

Они расположены справа от клемм УЗИП и УЗКЗ (см. **рис. J41**).

Рис. J41. Соединения защищенных отходящих фидеров, находящихся справа от клемм УЗИП

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Установка УЗИП

Правило 3:

Подключаемые фазный, нейтральный и защитный (PE) проводники должны быть расположены рядом друг с другом в целях уменьшения поверхности контура (см. **рис. J42**).

Правило 4:

Проводники, подключаемые к УЗИП, должны быть отделены от защищенных отходящих проводников, чтобы избежать загрязнения при их близости (см. **рис. J42**).

Правило 5:

Кабели должны быть прижаты к металлическому корпусу шкафа (если таковые имеются), с тем чтобы свести к минимуму площадь поверхности контура рамы и, следовательно, извлечь выгоду из экранирующего эффекта от ЭМ помех.
Во всех случаях необходимо проверить, что каркасы распределительных щитов и шкафов заземлены по наикратчайшему пути.
И, наконец, если используются экранированные кабели, следует избегать их большой длины, так как они снижают эффективность экранирования (см. **рис. J42**).

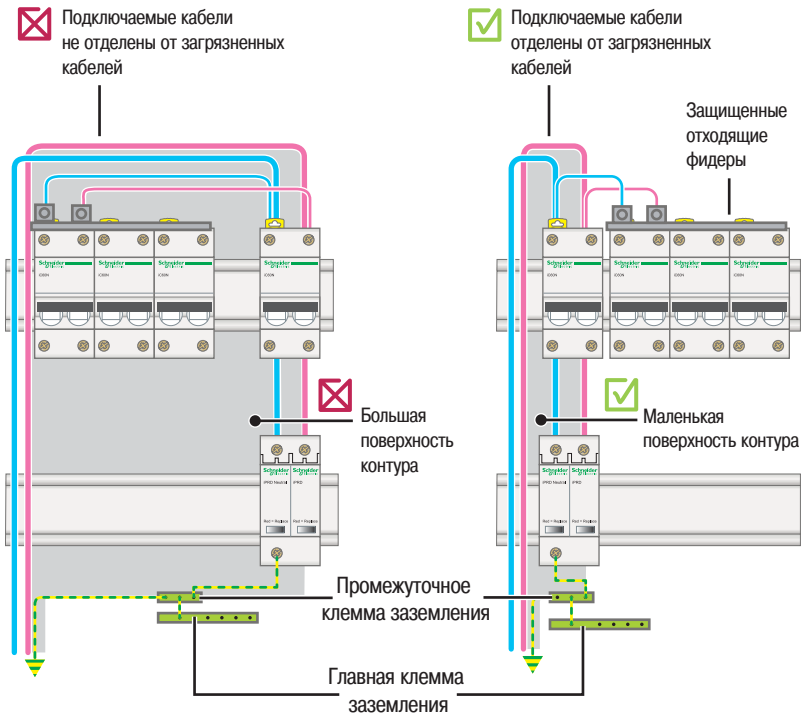


Рис. J42. Пример улучшения ЭМС за счет уменьшения поверхности петель и общего сопротивления в электрическом шкафу

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Применение

5.1 Примеры монтажа

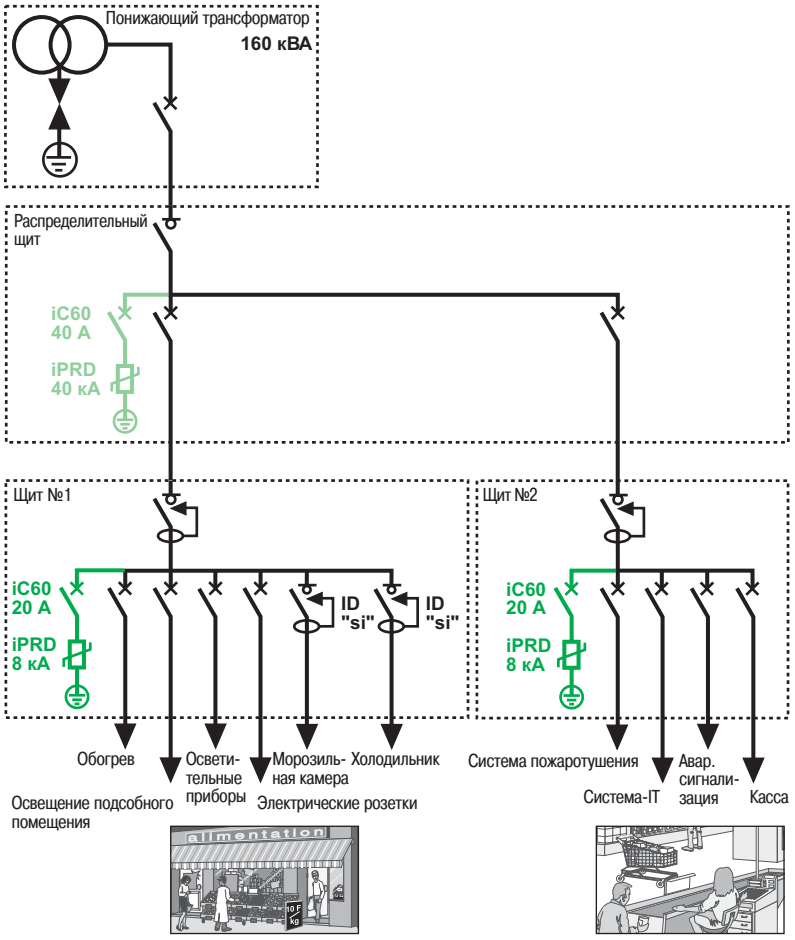


Рис. J43. Пример применения: супермаркет

Решения и принципиальная схема

■ Руководство по выбору устройств защиты от импульсных перенапряжений и помех, позволяет определить подходящее УЗИП на вводе щита и согласовать его с УЗКЗ.

■ В случае расположения чувствительных устройств (Uimp < 1,5 кВ) на расстоянии более 10 м от устройства защиты на входе, конечные УЗИП должны устанавливаться как можно ближе к электроприемникам.

■ Для обеспечения бесперебойного обслуживания неотапливаемых помещений используются:

□ УЗО типа «si» используется для предотвращения ложного срабатывания из-за повышения потенциала земли при прохождении молнии.

■ Для защиты от атмосферных перенапряжений:

□ необходимо установить УЗИП в главном распределительном щите;

□ необходимо установить конечное УЗИП в каждом распределительном щите (1 и 2), к которому подключены чувствительные электроприемники, если УЗИП расположен на расстоянии более 10 м от электропотребителей;

□ необходимо установить УЗИП по телекоммуникационной сети для защиты подключаемых устройств, например, приборов пожарной сигнализации, модемов, телефонов, факсов.

Рекомендации по прокладке кабелей

■ Следует обеспечить эквипотенциальность сети заземления в здании.

■ Следует, по возможности, исключить контуры, образуемые силовыми кабелями.

Рекомендации по монтажу

■ Следует установить УЗИП, Imax = 40 кА (8/20 мкс) и автоматический выключатель IC60 с номинальным током 40 А.

■ Следует установить УЗИП на входе, Imax = 8 кА (8/20 мкс) и автоматический выключатель IC60 с номинальным током 10 А.

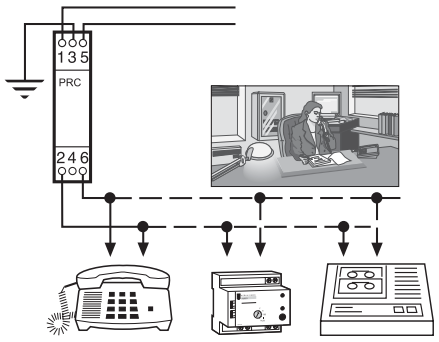


Рис. J44. Телекоммуникационные сети

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Применение

5.2 УЗИП для фотоэлектрических установок

Повышенное напряжение может в электроустановках может быть вызвано различными факторами, например:
- Неисправности в распределительной сети в результате удара молнии или любой выполняемой работы.
- Удары молнии вблизи зданий с фотоэлектрические установками или непосредственно в них или в их молниеотводы.
- Изменение электрического поля из-за молнии.

Как и все наружные конструкции, фотоэлектрические установки подвергаются риску удара молнии, который варьируется в зависимости от региона. Необходимо установить защитные системы и устройства молниезащиты, которые должны быть в исправном состоянии.

5.2.1. Защита уравниванием потенциалов

Основная защита – это соединения между различными частями установки и заземляющим контуром посредством проводников, что обеспечивает уравнивание потенциалов между всеми токопроводящими частями фотоэлектрической установки. Цель состоит в том, чтобы связать все заземленные проводники и металлические детали с целью уравнивания потенциалов.

5.2.2. Защита посредством устройства защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП)

УЗИП особенно важны для защиты чувствительных электрических приборов, таких как инвертор постоянного/переменного тока, устройства мониторинга и фотоэлектрические модули и другое чувствительное оборудование, запитанное от электрической сети переменного тока (~230 В). Следующий метод оценки риска основан на оценке критической длины L_{crit} и её сравнения с длиной L кумулятивной длины линии постоянного тока.

J29

УЗИП требуется, если $L \geq L_{crit}$.
L_{crit} зависит от типа фотоэлектрической установки и рассчитывается, как показано в таблице (**рис. J45**):

Тип монтажа	Индивидуальные жилые помещения	Производственное помещение (завод)	Сфера услуг/Промышленность/ Сельское хозяйство/ Здания
L_{crit} (в метрах)	115/Ng	200/Ng	450/Ng
$L \geq L_{crit}$	Устройства защиты от перенапряжений требуются на стороне постоянного тока		
$L < L_{crit}$	Устройства защиты от перенапряжений не требуются на стороне постоянного тока		

Рис. J45. Выбор УЗИП на стороне постоянного тока

L представляет собой:
- сумму расстояний между инвертором(ами) и распределительной коробкой(ами), принимая во внимание, что длины кабелей, расположенных в одном канале, учитываются только один раз;
- сумму расстояний между коробкой и точками подключения фотоэлектрических модулей, образующих линию, принимая во внимание, что длины кабелей, расположенных в одном канале, подсчитываются только один раз.

Ng – это плотность ударов молнии (количество ударов на км^2 или в год).

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Применение

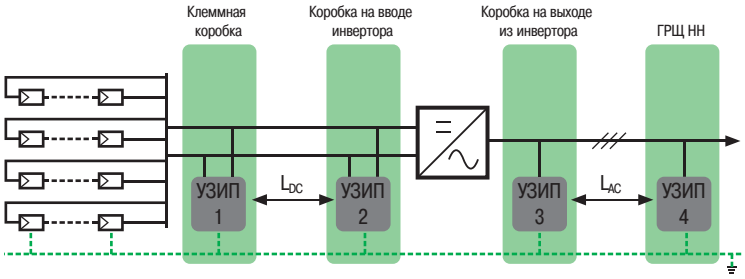


Рис. J46a. Выбор УЗИП

Защита УЗИП							
Место расположения	**Фотоэлектрические модули или клеммные коробки**		**Инвертор со стороны постоянного тока**	**Инвертор со стороны переменного тока**		**Главный щит**	
	L_{DC}			**L_{AC}**		**Молниеотвод**	
Критерии	< 10 м	> 10 м		< 10 м	> 10 м	Да	Нет
Тип УЗИП	Не нужно	«УЗИП 1» Тип 2*	«УЗИП 2» Тип 2*	Не нужно	«УЗИП 3» Тип 2*	«УЗИП 4» Тип 1*	«УЗИП 4» Тип 2*, если Ng > 2,5 и ВЛ

* Требования стандарта EN 62305 не распространяются на УЗИП типа 1

Рис. J46b. Выбор УЗИП

Установка УЗИП

Количество и место расположения УЗИП на стороне постоянного тока зависят от длины кабелей между солнечными батареями и инвертором. УЗИП должны быть установлены в непосредственной близости от инвертора, если длина составляет менее 10 метров. Если кабель больше, чем 10 метров, второе УЗИП необходимо, и они должны быть установлены в коробке рядом с панелью солнечных батарей, в то время как первое расположено в зоне инвертора. Для повышения эффективности УЗИП соединяются кабелями L+ / L- сети, и расстояние между клеммной коробкой УЗИП и заземлением сборных шин должно быть как можно более коротким – менее 2,5 метров (d1 + d2 < 50 см).

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Применение

Безопасная и надежная генерация фотоэлектрической энергии

В зависимости от расстояния между генератором» и «инвертором может быть необходима установка двух или более УЗИП для обеспечения защиты каждой из двух частей.

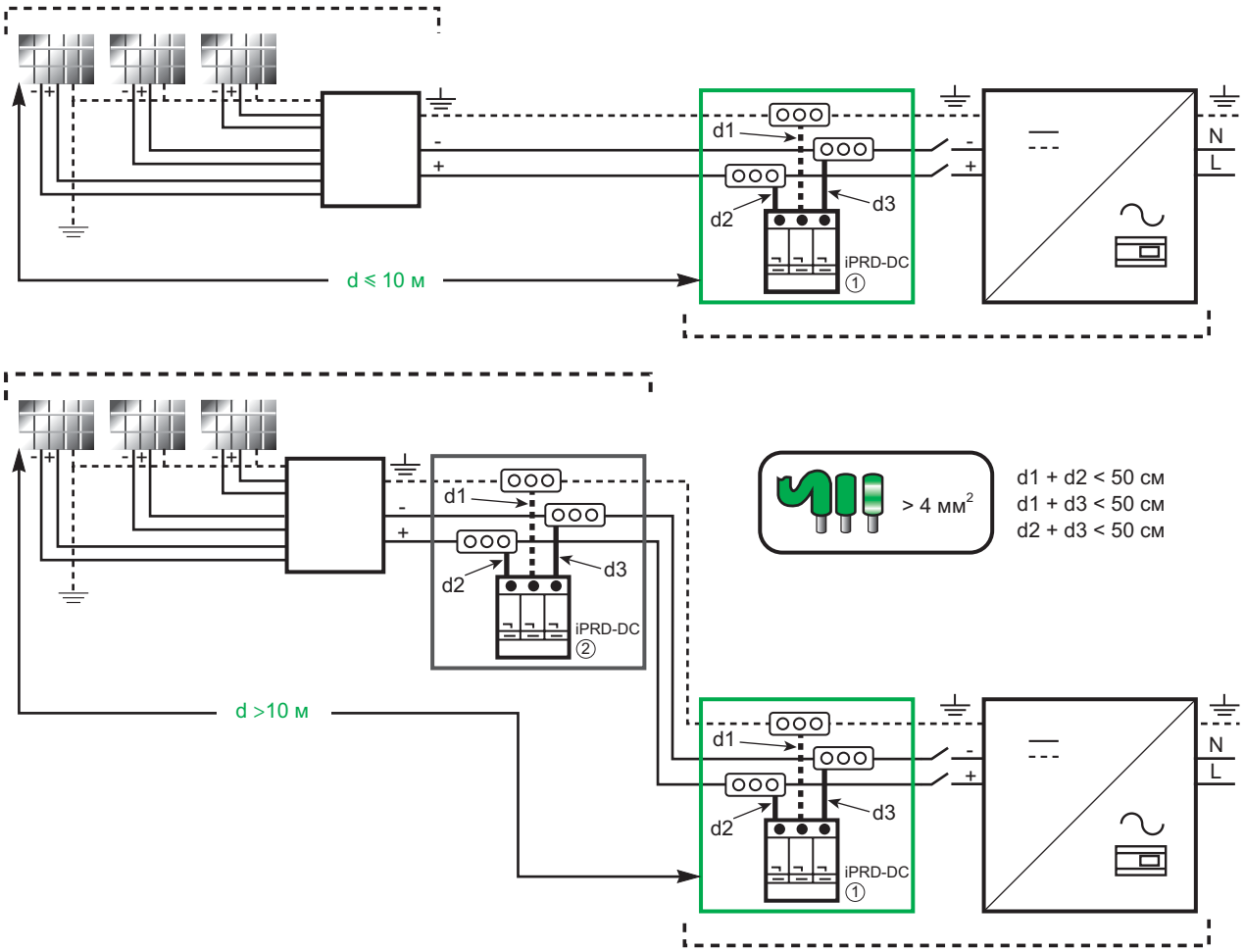


Рис. J47. Расположение УЗИП

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

6 Техническое приложение

6.1 Стандарты молниезащиты

Части 1-4 стандарта МЭК 62305 (NF EN 62305, части 1-4) реорганизуют и обновляют стандартные публикации стандартов МЭК 61024 , МЭК 61312 и МЭК 61663 о системах молниезащиты.

■ Часть 1 – Общие принципы

Эта часть представляет общую информацию о молнии и ее характеристиках, а также общие данные и вводит другие документы.

■ Часть 2 – Управление рисками

Представленный в этой части анализ делает возможным рассчитать риск для системы и определить различные сценарии защиты для настройки технической и экономической оптимизации.

■ Часть 3 – Физические повреждения конструкции и опасности для жизни

Эта часть описывает защиту от прямых ударов молнии, в том числе: систему защиты от молнии, соединительный проводник, заземление, эквипотенциальность и, следовательно, УЗИП с уравниванием потенциалов (УЗИП типа 1).

■ Часть 4 – Электрические и электронные системы в конструкции

Эта часть описывает защиту от индуцированных эффектов молнии, в том числе системы защиты УЗИП (типы 2 и 3), экранирование кабеля, правила установки УЗИП и т.д.

Эта серия стандартов дополняется:

■ стандартом МЭК61643 для определения средств защиты от перенапряжений (см. подраздел 2);

■ стандартом МЭК 60364-4 и -5 для применения продукции в электроустановках низкого напряжения (см. подраздел 3).

6.2 Компоненты УЗИП

УЗИП в основном состоит из (см. **рис. J48**):

1) одного или нескольких нелинейных компонентов: части под напряжением (варистор, газоразрядная трубка и т.д.);

2) теплового защитного устройства (внутренний разъединитель), которое защищает его от теплового пробоя в конце срока службы (УЗИП с варистором);

3) индикатора, который указывает на окончание срока службы УЗИП;

Некоторые УЗИП имеют возможность удаленно отчитываться об этом показателе.

4) внешнее УЗКЗ, которое обеспечивает защиту от коротких замыканий (это устройство может быть интегрировано в УЗИП).

6.2.1 Технология частей под напряжением

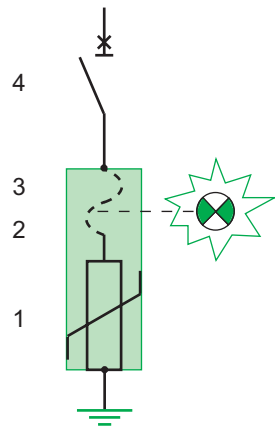


Рис. J48. Схема УЗИП

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

6 Техническое приложение

Имеется несколько технологий реализации компонентов под напряжением. Каждый тип компонентов имеет свои преимущества и недостатки:

- стабилитроны;
- газоразрядная трубка (контролируется или не контролируется);
- варистор (оксид цинка).

В таблице ниже приведены характеристики и три компоновки наиболее часто используемых технологий.

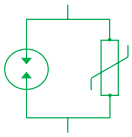
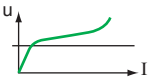
Компонент	Газоразрядная трубка (GDT)	Герметичный искровой разрядник	Варистор (оксид цинка)	Резистор серии GDT	Герметичный искровой разрядник с параллельным резистором
Характеристики					
					
Рабочий режим	Переключение напряжения	Переключение напряжения	Ограничение напряжения	Переключение напряжения и последовательные ограничения	Переключение напряжения и последовательные ограничения
Эксплуатационные кривые					
Применение	■ Телекоммуникационная сеть ■ Сеть НН (связана с варистором)	Сеть НН	Сеть НН	Сеть НН	Сеть НН
Тип	Тип 2	Тип 1	Тип 1 или Тип 2	Тип 1+ Тип 2	Тип 1+ Тип 2

Рис. J49. Сводная таблица производительности

Примечание: две технологии могут быть применены в одном УЗИП (см. **рис. J50**)

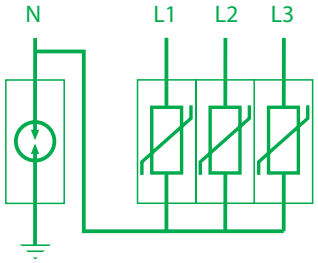


Рис. J50. УЗИП iPRD компании Schneider Electric включает в себя газоразрядную трубку между нейтралью и землей и резисторы между фазой и нейтралью

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

Рис. J51. Ограничитель перенапряжения iQuick PRD 3P + N компании Schneider Electric

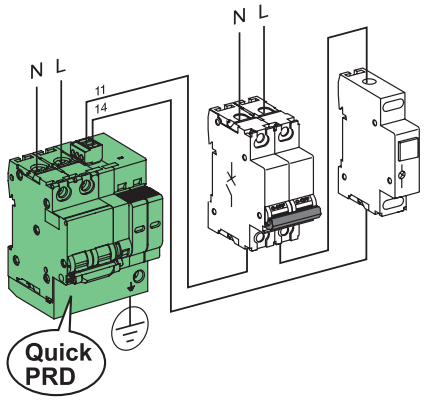


Рис. J52a. Пример индикации сигнальной лампой УЗИП iQuick PRD

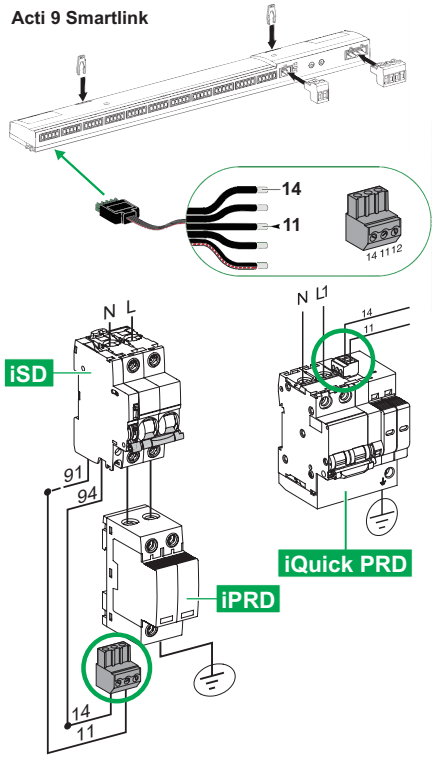


Рис. J52b. Дистанционная индикация состояния УЗИП с помощью Smartlink

6.3 Индикатор окончания срока службы

Индикатор окончания срока службы связан с внутренним прерывателем и внешним устройством защиты от короткого замыкания (УЗКЗ) УЗИП и информирует пользователя о том, что оборудование больше не защищает от перенапряжений атмосферного происхождения.

Местная индикация
Эта функция, как правило, требует установочных кодов.
Индикатор окончание срока службы может быть световым или механическим и располагаться на внутреннем прерывателе или внешнем УЗКЗ.
Когда внешнее УЗКЗ реализуется при помощи плавкого предохранителя, перед ограничителем перенапряжения должен быть установлен автоматический выключатель или предохранитель.

Встроенный автоматический прерыватель
Механический индикатор и положение рукоятки управления позволяют определить окончание срока службы индикатора.

6.3.1 Местная индикация и удаленная отчетность

Ограничитель перенапряжения iQuick PRD компании Schneider Electric полностью готов к подключению и интегрирован с автоматическим выключателем-разъединителем.

Местная индикация
Ограничитель перенапряжения iQuick PRD (см. **рис. J51**) оснащен местными механическими индикаторами состояния:
- красный механический индикатор в виде рукоятки, положение "Откл." которой указывает на окончание срока службы;
- красный механический индикатор на картридже указывает на окончание срока службы картриджа.

Дистанционная сигнализация (см. рис. J52)
Ограничитель перенапряжения iQuick PRD оснащен контактом для передачи данных о рабочем состоянии и обеспечивает сигнализацию:
- о конце срока службы картриджа;
- об отсутствии (снятии) картриджа и времени его замены;
- при неисправности в сети (короткое замыкание, обрыв нейтрали, изменение полярности «фаза-нейтраль»);
- о переключении на местное ручное управление (опускание ручки).

В результате, удаленный мониторинг рабочего состояния установленных УЗИП позволяет гарантировать, что эти защитные устройства, находящиеся в состоянии ожидания, всегда готовы к работе.

6.3.2 Техническое обслуживание в конце срока службы

Когда индикатор конца срока службы указывает на завершение работы, УЗИП (или картридж, о котором идет речь) должен быть заменен.
Использование УЗИП iQuick PRD облегчает техническое обслуживание:
- картридж по окончании срока службы легко идентифицировать и заменить с помощью персонала отдела технического обслуживания;
- картридж по окончании срока службы может быть заменен в полной безопасности, так как устройство безопасности запрещает включение автоматического выключателя, если картридж отсутствует (механическое соединенние с выключателем).

6.4 Подробные характеристики внешнего УЗКЗ

6.4.1 Выдерживаемая токовая волна

Внешние УЗКЗ выдерживают испытание волной тока и показывают следующее:
- Для оценки номинала и технологии (NH или цилиндрического предохранителя) волну тока лучше выдерживают предохранители типа aM (для защиты двигателя), чем предохранители типа gG (общего пользования).
- В данном случае волновое сопротивление лучше выдерживают устройства с включенными в цепь выключателями, чем с предохранителями.

Ниже на **рис. J53** показаны результаты испытаний волновым напряжением:
- Для защиты УЗИП, определенной для Imax=20 кА, внешний УЗКЗ будет выбран либо автоматический выключатель 16 A или предохранителем aM 63 A,

Примечание: в этом случае, предохранитель 63 A gG не подходит.
- Для защиты УЗИП, определенной для Imax=40 кА, внешний УЗКЗ будет выбран либо автоматический выключатель 40 A или предохранитель aM 125 A,

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

6 Техническое приложение

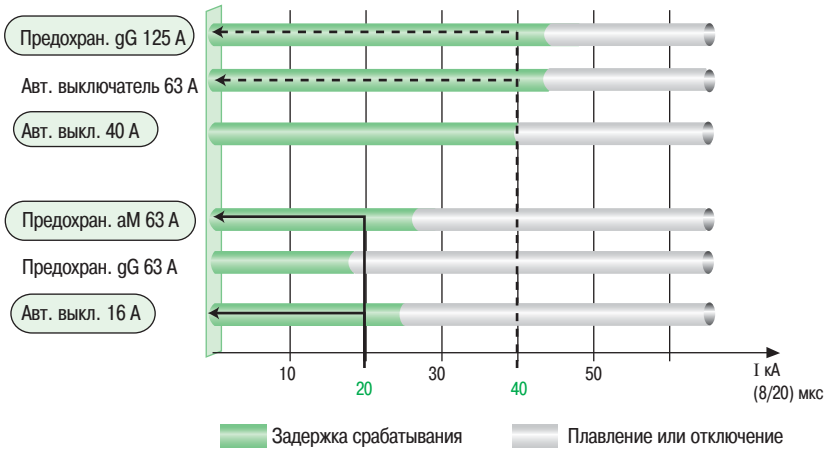


Рис. J53. Результаты испытаний волновым напряжением УЗИП для *I*max = 20 кА и *I*max = 40 кА

6.4.2 Установленный уровень напряжения защиты Up

Общие положения:

■ Падение напряжения на выводах автоматического выключателя выше, чем на клеммах предохранительного устройства. Это происходит потому, что полное сопротивление частей автоматического выключателя (теплового и магнитного расцепителя) выше, чем у плавкого предохранителя.

Однако:

■ Разница между падениями напряжения относительно небольшая, для волн тока не более 10 кА (95 % случаев);

■ Установленный уровень напряжения защиты Up также учитывает сопротивление кабелей. Он может быть высоким в случае использования предохранителей (устройства защиты, удаленные от УЗИП) и низким в случае использования автоматического выключателя (автоматического выключателя, расположенного рядом или даже интегрированного в УЗИП).

Примечание: Установленный уровень напряжения защиты Up является суммой падения напряжения:

□ в УЗИП;

□ во внешнем выключателе;

□ в кабельной сети оборудования.

6.4.3 Защита от короткого замыкания на землю

Короткое замыкание на землю рассеивает много энергии и поэтому должно быть как можно быстрее устранено во избежание повреждения установки и УЗИП.

На **рис. J54** сравниваются время отклика и ограничение энергии системы защиты с помощью предохранителя aM 63 A и автоматического выключателя 25 A.

Эти две системы защиты имеют волну тока 8/20 мкс (27 кА и 30 кА соответственно).

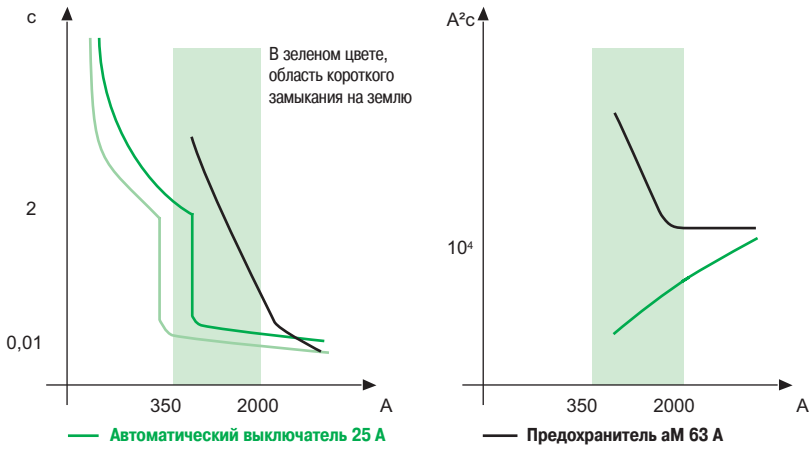


Рис. J54. Сравнение времени/тока и энергии ограничений кривые для автоматического выключателя и предохранителей, имеющих одинаковые характеристики 8/20 мкс

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

6 Техническое приложение

6.5 Распространение волны тока молнии

■ Электрические сети являются низкочастотными, в результате чего распространение волны напряжения по отношению к частоте происходит мгновенно, и в любой точке проводника напряжение имеет одинаковые значения.

■ Волна тока молнии является высокочастотным явлением (от нескольких сотен кГц до МГц). Волна тока молнии распространяется вдоль проводника при определенной скорости по отношению к частоте. В результате, в любой момент времени, напряжение не имеет одинакового значения во всех точках проводника (см. **рис. J55**).

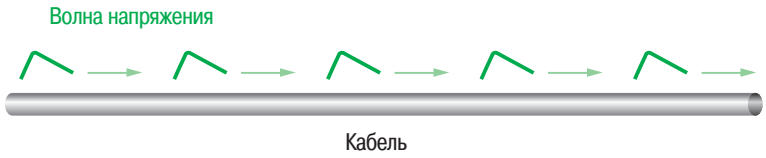


Рис. J55. Распространение волны тока молнии в проводнике

■ Изменение среды создает явление распространения и/или отражения волны в зависимости от:
- □ разности полного сопротивления между двумя средами;
- □ частоты волны (крутизны времени нарастания в случае импульса);
- □ длины проводника.

В случае полного внутреннего отражения значение напряжения может возрасти в два раза.

Пример: случай защиты с помощью УЗИП.
Моделирование явления удара молнии и испытания в лабораторных условиях показали, что максимальное напряжение нагрузки, запитанной на расстоянии 30 м от защищенного УЗИП при допустимом напряжении кабеля из-за эффекта отражения составит 2xUp (см. **рис. J56**). Эта волна напряжения не является сильнодействующей.

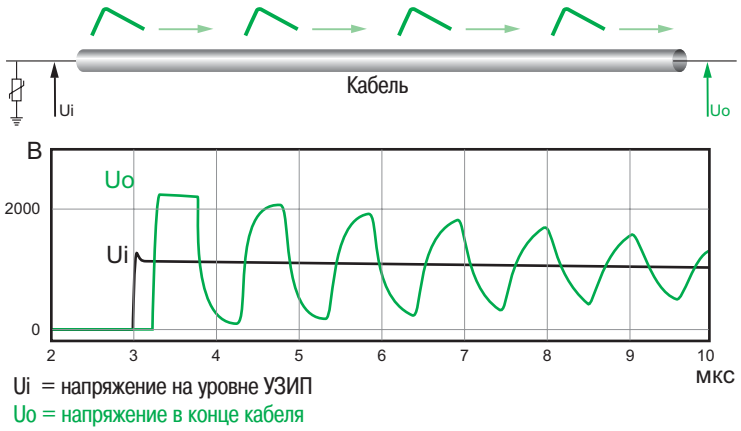


Рис. J56. Эффект отражения при протекании волны тока молнии по проводнику

Корректирующее действие
Из трех факторов (разность сопротивлений, частот, длин) длина кабеля между УЗИП и нагрузкой является единственной, которой на самом деле можно управлять, Чем больше эта длина, тем больше сказывается эффект отражения.
В общем случае для перенапряжений в зданиях, явления отражения существенны при длине от 10 м, а уже от 30 м напряжения могут удвоиться (см. **рис. J57**).
Необходимо установить второй УЗИП, если длина кабеля превышает 10 м между входящим УЗИП и оборудованием, подлежащим защите.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

6 Техническое приложение

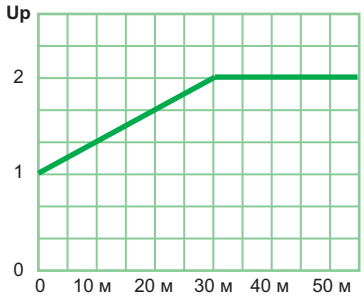


Рис. J57. Максимальное напряжение на конце кабеля в соответствии с его длиной и крутизной падающего напряжения = 4 кВ/мкс

6.6 Пример удара тока молнии в систему TT

Общий режим УЗИП между фазой и PE-проводником или фазой и PEN-проводником устанавливается независимо от типа системы заземления (см. **рис. J58**).
Резистор заземления нейтрали R1, используемый для опор линии электропередач, имеет меньшее сопротивление, чем резистор R2, используемый для электроустановки. Ток молнии протекает через цепь ABCD по пути наименьшего сопротивления. Он проходит через последовательные варисторы V1 и V2, вызывая несимметричное напряжение, равное в экстремальных случаях удвоенному остаточному напряжению грозозащитного разрядника (Up1 + Up2) на зажимах A и C на вводе установки.

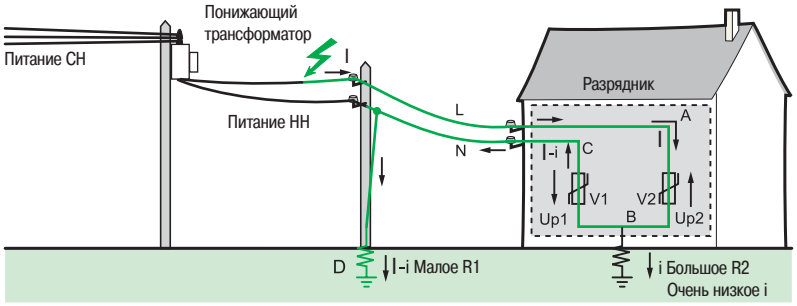


Рис. J58. Защита только в симметричном режиме

Чтобы обеспечить эффективную защиту между Ph и N, необходимо снизить напряжение при несимметричном режиме между A и C.
Поэтому, используется другая система заземления (см. **рис. J59**).
Ток молнии протекает через цепь ABH с меньшим полным сопротивлением, чем цепь ABCD в силу нулевого сопротивления компонента между B и H (газовый разрядник).
В этом случае напряжение при несимметричном режиме равно остаточному напряжению грозозащитного разрядника (Up2).

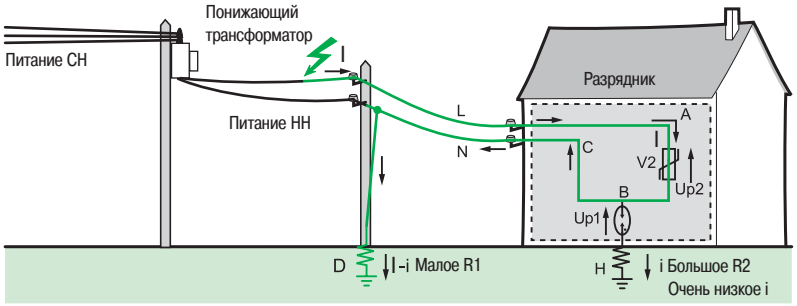


Рис. J59. Защита в симметричном и несимметричном режимах

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

Глава K

Энергоэффективность в электрических сетях

1 Общие сведения об энергоэффективности K2

2 Энергоэффективность и электроснабжение K3

2.1 Международные подходы к регулированию ... K3
2.2 Стандарты энергоэффективности ... K4
2.3 Стандарт МЭК 60364-8-1 ... K7
2.4 Практические вопросы ... K9

3 Диагностика с использованием электрических измерений K10

3.1 Электрические измерения ... K10
3.2 Выбор измерительных приборов ... K10

4 Решения по энергосбережению K13

4.1 Возможности энергосбережения, связанные с двигателями ... K13
4.2 Освещение ... K16
4.3 Коррекция коэффициента мощности и фильтрация гармоник ... K18
4.4 Управление нагрузкой ... K19
4.5 Связь и информационные системы ... K20
4.6 Умный щит (Smart Panel) ... K23

5 Оценка энергосбережения K28

5.1 Введение в IPMVP и EVO ... K28
5.2. Достижение устойчивого режима ... K30

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Общие сведения об энергоэффективности

Мировое потребление энергии продолжает возрастать, без перспективы к замедлению в ближайшем будущем. Эта тенденция обусловлена различными факторами, особенно экономическими и социологическими:

■ Увеличение численности населения мира, особенно в тех странах, где потребление энергии на человека, как ожидается, будут возрастать в будущем. Например, на сегодняшний день, более одного миллиарда человек не имеют доступа к электроэнергии, а около 40 % населения земного шара живет в условиях дефицита воды. Это означает, что потребности в энергии будут только увеличиваться для того, чтобы люди могли достичь более высокого уровня жизни. Эта дополнительная потребность в энергии глобально не компенсируется уменьшением потребления энергии в развитых странах. По данным Международного энергетического агентства, в среднем потребление энергии на человека увеличилось на 10 % в период с 1990 по 2008 гг.

■ Урбанизация и индустриализация, особенно в развивающихся странах. Это означает, что большая часть энергии потребуется для строительства, производства и транспортировки людей и товаров.

Большую часть энергии сегодня получают за счет сжигания ископаемого топлива (около 82 % в 2012 году). Следствием этого является выброс большого количества CO_2 (32 млрд тонн в 2014 году), который имеет огромное влияние на изменение климата и парникового эффекта.

Кроме того, эти ископаемые виды топлива подвержены колебаниям цен из-за геополитических проблем и конкуренции между странами.

По этим причинам существует глобальная приверженность стран по ограничению использования ископаемого топлива. Киотский протокол стал первым международным соглашением, по которому промышленно развитые страны устанавливают цели по сокращению выбросов парниковых газов. Такое обязательство было подтверждено в ходе Конференции Сторон (КС 21) в 2015 году, с целью ограничить глобальное потепление в допустимых пределах (не более 2 °C и, возможно, 1,5 °C).

Для достижения этих целей различные нормативные документы были внедрены во многих странах, например, касающихся энергоэффективных зданий.

Одним из предложенных решений проблемы баланса между экономическим развитием и выбросами CO_2 является увеличение части электроэнергии в энергетическом балансе. На производство электроэнергии идет около 30 % добываемых углеводородов во всем мире, и 68 % электроэнергии вырабатывается при сжигании ископаемого топлива (угля, нефти и природного газа).

Должны быть предприняты следующие меры:

■ Развитие использования возобновляемых источников энергии (в основном солнечной и ветровой). К сожалению, основной проблемой по-прежнему является стоимость, особенно в периоды, когда цена ископаемого топлива является низкой. Другой серьезной проблемой является колеблющийся характер солнечной и ветряной генерации. Необходимо аккумулирование энергии, что снова может негативно сказаться на стоимости.

■ Энергоэффективность. Цель состоит в том, чтобы обеспечить такой же уровень обслуживания, потребляя меньше энергии. Используя энергосберегающее электрооборудование и интеллектуальные контроллеры, можно сэкономить до 30 % энергии. Это является наиболее экономически эффективным средством ограничения выбросов CO_2, а также экономии энергии и затрат.

Вот основные моменты, представленные в этой главе:

■ Обзор международных стандартов и методов оценки эффективности использования энергии.
■ Представление электрического измерения как ключевого инструмента диагностики.
■ Обзор возможностей экономии энергии в электроустановках.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Энергоэффективность и электроснабжение

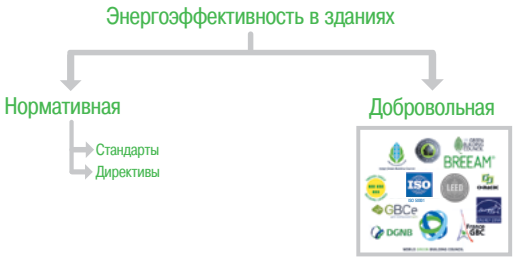


Рис. K1a. Сопоставление нормативного и добровольного подходов к обеспечению энергоэффективности зданий

2.1 Международные подходы к регулированию

Как показано на **рис. K1a**, энергоэффективность в зданиях может быть достигнута:
- Посредством нормативных мер, предусматривающих изменения правил, директив и стандартов, на национальном или международном уровне.
- Добровольной сертификацией энергоэффективных зданий (Green Building) в таких органах, как Leed, BREEAM, для чего собственники, владельцы или жильцы должны принять соответствующее решение.

2.1.1 Нормативные акты по повышению энергоэффективности в Европе

В Европейском Союзе приняты 2 директивы, в которых подчеркивается необходимость повышения энергоэффективности.

Директива по энергоэффективности

Директива по энергоэффективности 2012 устанавливает набор обязательных мер для достижения ЕС 20 % целевой энергоэффективности к 2020 году. В соответствии с директивой, все страны ЕС должны использовать энергию более эффективно на всех этапах энергетической цепочки, от производства до потребления. В частности, любая компания со штатом более 250 человек должна регулярно проводить энергетический аудит или установить стационарную систему управления энергией, как показано на **рис. K1b**. Требования директивы являются минимальными и не препятствует какому-либо государству-члену поддерживать или вводить более строгие меры.

Европейская директива по энергоэффективности зданий

Эта директива вступила в силу 4 января 2006 года и устанавливает требования к параметрам систем электроснабжения:
- Система энергоснабжения всех новых зданий должна соответствовать требованию Near Zero к 31 декабря 2020 года.
- Энергетические паспорта должны быть включены во все объявления о продаже или аренде зданий.
- Страны ЕС должны установить инспекционные схемы для систем отопления и кондиционирования воздуха или ввести эквивалентные меры.
- Страны ЕС должны установить минимальные требования к энергетической эффективности для новых зданий, для капитального ремонта зданий и для замены или модернизации строительных элементов (систем отопления и охлаждения, крыш, стен и т.д.).

Стандарт EN 15232 применяется для систем управления зданиями (BMS) и систем автоматизации и управления зданиями (BACS).

Рис. K1b. Соответствие между европейскими нормами (в зеленом цвете) и стандартами (в сером цвете)

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Энергоэффективность и электроснабжение

2.1.2 Примеры систем сертификации энергоэффективных зданий

Во многих странах существует система сертификации зеленых зданий, см. примеры на **рис. K1c**:

Сертификация экологически чистых (зеленых) зданий	Страна	Год релизации первой версии
LEED (Передовые разработки в энергообеспечении и экологии)	США	2009
BREEAM (Научно-исследовательский институт по строительству)	Англия	2008
NF HQE (Качественный показатель состояния окружающей среды)	Франция	2009
CASBEE (Система комплексной оценки экологической эффективности зданий)	Япония	2004
DGNB (Германское общество авиационной и космической медицины)	Германия	2009

Рис. K1c. Примеры систем сертификации зданий

2.2 Стандарты энергоэффективности

2.2.1 Область применения стандартов

Важно различать стандарты, которые применяются для полной оценки от стандартов, которые относятся к устройствам измерения, используемых для полной оценки, см. **рис. K1d**:

Полная оценка энергоэффективности	Инструменты для оценки	Устройства, используемые для оценки
ИСО 50001 Системы энергетического менеджмента – Требования и руководство по применению	**ИСО 50006** Энергетические базовые линии (EnB) и индикаторы энергопараметров (EnPI) **МЭК 60364-8-1** Электроустановки низковольтные. Часть 8-1. Энергоэффективность	**PMD (измерение мощности)** **МЭК 61557-12** Устройства для измерения и контроля рабочих характеристик (PMD) **Шлюзы, энергетические серверы, регистраторы данных** **МЭК 62974-1** Системы мониторинга и измерения, используемые для сбора, регистрации и анализа данных. Часть 1. Требования к приборам

Рис. K1d. Сферы применения некоторых стандартов, относящихся к энергоэффективности

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Энергоэффективность и электроснабжение

2.2.2 ISO 50001

ISO 50001 «Системы энергетического менеджмента – Требования и руководство по применению» является основным международным стандартом обеспечения требований по системам управлению энергии (энергоменеджмента). В нем изложены основные требования к организациям для реализации следующих шагов:

- Разработка политики для более эффективного использования энергии
- Постановка целей и задач, соответствующих политике энергоэффективности
- Использование имеющейся информации для лучшего понимания ситуации и принятия решений в сфере энергопотребления
- Измерение результатов
- Анализ принятых мер по обеспечению энергоэффективности
- Непрерывное улучшение управления энергопотреблением

Модель системы управления энергией, изложенная в ISO 50001, описана на **рис. K2**.

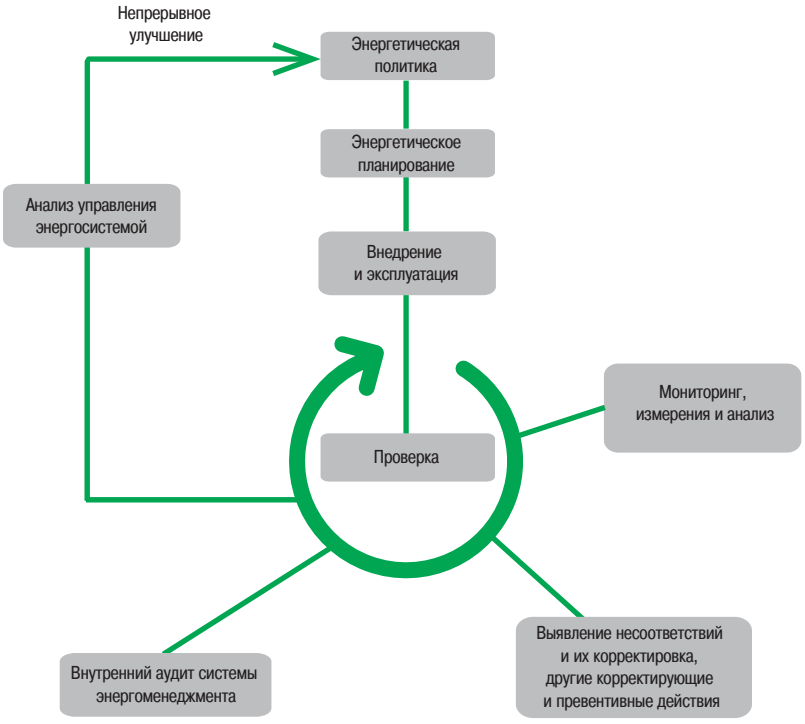


Рис. K2. Модель управления энергосистемой согласно стандарту ISO 50001

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Энергоэффективность и электроснабжение

2.2.3 ISO 50006

ISO 50006 является стандартом, сопутствующим ISO 50001, и представляет собой практическое руководство по контролю эффективности использования энергии посредством периодически измеряемых показателей энергетической эффективности (EnPI). Сравнение EnPI, измеренных в базовый и отчетный периоды, служит средством повышения энергоэффективности, см. **рис. K3**.

EnPI = значение или результат измерения, определяющие в количественном выражении эффективность использования и потребления энергии сооружениями, системами, процессами и оборудованием, в целом или по частям.

EnB = количественная оценка энергетической эффективности в течение определенного периода времени, которая используется как эталонное значение при сравнительном анализе эффективности использования энергии.

Организация должна принимать во внимание конкретные контрольные значения параметров показатели энергии при определении и разработке EnPI и EnB.
Одним из элементов, выделенных в ISO 50006, является важность определения и количественной оценки факторов или переменных, которые могут оказать влияние на потребление энергии (например, температура окружающей среды, место размещения и т.д.) для того, чтобы сравнить эффективность использования энергии при эквивалентных условиях.

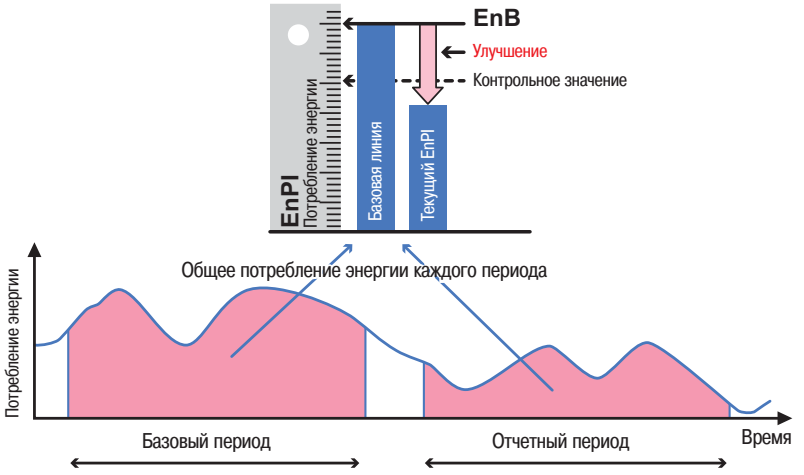


Рис. K3. Концепция базового и отчетного периодов согласно EnPI

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Энергоэффективность и электроснабжение

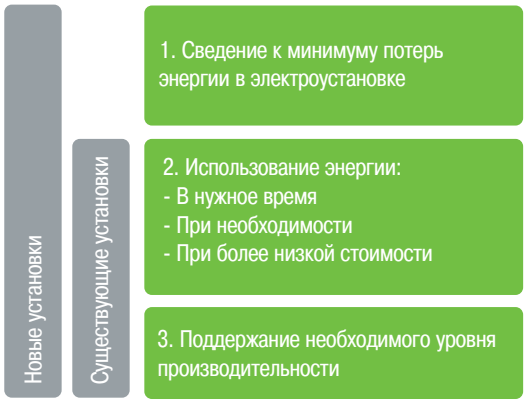


Рис. K4a. Реализация принципа энергоэффективности в соответствии со стандартом МЭК 60364-8-1

2.3 Стандарт МЭК 60364-8-1

В контексте международного регулирования в области энергоэффективности, стандарт МЭК 60364-8-1 ("Электроустановки низковольтные. Часть 8-1. Энергоэффективность») был разработан специально для электрических установок.

Стандарт содержит требования и рекомендации по проектированию электрической установки с учетом требований по энергоэффективности. Это подчеркивает важность энергоэффективности при проектировании электроустановок, наряду с правилами техники безопасности и ввода в эксплуатацию.

В промышленности энергоэффективность легко можно определить по количеству энергии (кВт · ч), необходимой для производства одного продукта. Что касается электроустановок общественных зданий, в частности, то энергоэффективность рассмативается как системный подход в достижении цели оптимизации использования электроэнергии, включая:
- минимизацию потерь энергии;
- использование электричества в нужное время и при более низкой стоимости;
- поддержание необходимого уровня производительности в течении всего срока эксплуатации установки.

Основные моменты, которые следует учитывать при реализации принципа энергоэффективности в электроустановках:
- отсутствие противоречий с требованиями безопасности людей и имущества;
- отсутствие перебоев в снабжении электрической энергией;
- применение как к новым, так и к существующим установкам;
- реализация в любой момент в зависимости от размера инвестиций;
- это интеративный подход, связанный с принятием решения о внедрении нового энергоэффективного оборудования, и улучшения могут быть постепенными.

При проектировании энергоэффективной установки необходимо учитывать следующие аспекты:
- оптимальное расположение подстанции СН/НН и распределительного щита с применением метода центрирования электрических нагрузок (см. также главу D данного руководства, пункт 7),
- снижение потерь в проводке за счет увеличения поперечного сечения кабелей и реализации коррекции коэффициента мощности и фильтрации гармоник;
- определение сеток или зон с оборудованием, имеющим аналогичные потребности в энергии;
- определение методов управления нагрузкой;
- установка системы контроля и управления оборудованием.

Пример оценки посредством 5 уровней производительности с учетом различных аспектов:
- мониторинг графика нагрузок;
- расположение и эффективность трансформаторной подстанции;
- оптимизация двигательной нагрузки, освещения и эффективности работы оборудования систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.

Например, на **рис. K4b** приведены рекомендуемые уровни оценки для определения графика нагрузки в кВт (меры по повышению энергоэффективности). Имеются и другие уровни оценки, например, гармоник, которые определяются по типу применения: для жилого сектора, коммерческих и промышленных зданий, инфраструктуры.

EM0	EM1	EM2	EM3	EM4
Не рассматривается	Суточный график нагрузки установки	Ежедневный график нагрузки установки в течение недели	Ежедневный график нагрузки установки в течение года	Постоянная регистрация данных о графике нагрузки установки

Рис. K4b. Определение графика нагрузки в кВт

Важно отметить, что целью энергоэффективности является не только экономия энергии. При реализации принципа энергетической эффективности должен сохраниться тот же уровень обслуживания и безопасности, поддержания производительности, а также экономия энергии и средств, в настоящее время и в будущем.

© Schneider Electric – все права защищены

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Энергоэффективность и электроснабжение

Рис. K5 из МЭК 60364-8-1 (ГОСТ Р 50571.8.1-2018) показывает, как реализовать электрическую систему управления энергией в пределах установки:

- Шаг 1: входные данные от пользователя должны быть приняты во внимание, например, заданная температура в здание.
- Шаг 2: все источники энергии рассматриваются в зависимости от наличия и стоимости в реальном времени.
- Шаг 3: принимаются во внимание экологические критерии во избежание принятия неуместных решений, таких как переключение света в течение дня.
- Шаг 4: измеряются параметры нагрузки, поскольку они являются ключевыми для проверки точности профиля нагрузки.
- Шаг 5: более подробная информация о потреблении энергии предоставляется пользователю.
- Шаг 6: принимаются решения относительно нагрузок, например, об их отключении.
- Шаг 7: принимаются решения по источникам энергии, чтобы пользователь получал энергию по самой низкой цене.

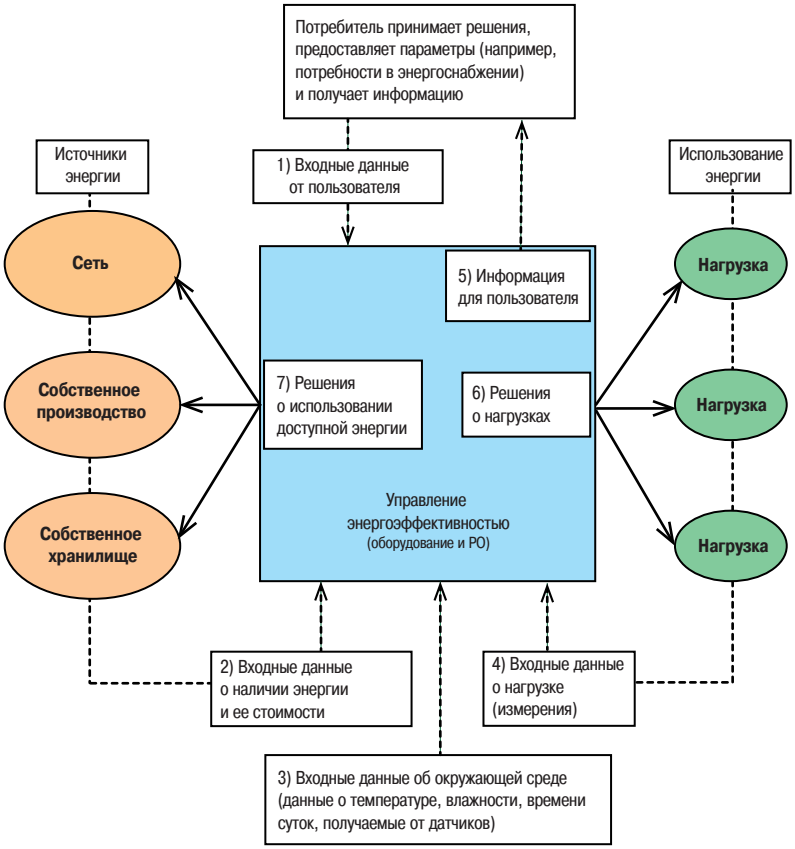


Рис. K5. Энергоэффективность и система управления нагрузками

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Энергоэффективность и электроснабжение

2.4 Практические вопросы

Несмотря на то, что в настоящее время можно получить экономию энергии до 30 %, этот потенциал сокращается и может быть действительно понят с точки зрения различий, которые существуют между активными и пассивными формами энергоэффективности.

Активная и пассивная энергоэффективность

Пассивная энергоэффективность достигается за счет таких мер, как снижение потерь тепла и использование оборудования, которое требует мало энергии.
Активная энергоэффективность достигается путем создания инфраструктуры для измерения, мониторинга и контроля использования энергии с целью выработки долгосрочных мер (см. **рис. K6**).

Рис. K6. Решения по повышению энергоэффективности в течение жизненного цикла

Экономия от 5 до 15 % может быть получена путем реализации пассивной энергоэффективности. Типичные меры включают в себя вывод из эксплуатации избыточных систем, использование высокоэффективных двигателей и освещения, коррекции коэффициента мощности. Более существенная экономия может быть достигнута за счет реализации активных мер по повышению энергоэффективности.
Как правило:
- Экономия до 40 % энергии, потребляемой двигателями, за счет внедрения систем управления и автоматизации моторизованными агрегатами.
- Экономия до 30 % энергии, потребляемой системой освещения, за счет внедрения автоматизированного управления режимом оптимального использования.

Метод активной эффективности не требует установки нового энергоэффективного оборудования, он может быть применен ко всем типам оборудования. Хорошее управление имеет важное значение для достижения максимальной энергоэффективности - нет смысла устанавливать энергосберегающие лампы, если вы будете оставлять их включенными в пустых комнатах!
Однако, важно помнить, что вся экономия может быть потеряна по следующим причинам:
- незапланированные / неуправляемые простои оборудования и процессов;
- отсутствие средств автоматизации / регулировки двигателей, систем отопления и т.д.;
- неспособность обеспечить экономию энергии принимаемыми мерами на протяжении всего срока эксплуатации.

Кроме этого, если энергоснабжающая организация будет вносить частые изменения в электрические сети, то эти изменения будут влиять и на оборудование, подключенное к этой сети, и этот факт должен побудить к поиску немедленных и существенных мер по оптимизации.
Энергоэффективный подход должен учитывать и другие параметры (температура, свет, давление и т.д.), так как при предположении, что энергия преобразуется без каких-либо потерь, в реальности часть оборудования может потреблять больше полезной энергии, чем она производит. Одним из примеров этого является двигатель, который преобразует часть потребляемой энергии в тепло, в дополнение к механической энергии.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Диагностика с использованием электрических измерений

3.1 Электрические измерения

Первым шагом при энергоэффективном подходе является диагностика системы и получение точного представления о том, где и в каком количестве потребляется электроэнергия. Для этого необходимо определить первоначальные меры и методы оценки эффективности работы, основные направления совершенствования и уровень экономии энергии, к которому необходимо прийти. Логика этого подхода основывается на понимании того, что «вы можете улучшить только то, что вы можете измерить».

Стандарт МЭК 61557-12 (ГОСТ IEC 61557-12-2015) содержит большой объем информации и подробный перечень требований к измерительным приборам, используемым в распределительных устройствах и щитах по всему миру. Подробную информацию см. в соответствующем разделе главы S.

Автономные устройства измерения мощности являются лучшим решением для получения необходимых данных в наиболее важных точках электрической установки. Большое количество устройств, предлагаемых различными производителями, охватывают весь спектр напряжения и тока, предоставляя данные об электрических параметрах (напряжение, ток, мощность, энергия и т.д.), с локальным дисплеем или возможностью удаленного доступа.

Тем не менее, большие преимущества могут быть получены путем объединения функций измерения и защиты в одном устройстве.
Во-первых, этот подход приводит к снижению затрат на установку оборудования: очевидно, что установка одного устройства обходится дешевле. Сочетание этих двух функций в одном блоке обеспечивает правильное определение размеров датчиков тока, а также исключает риск ошибок подключения и гарантирует правильную работу всего блока, испытанного в заводских условиях.

Примеры применения обоих типов устройств приведены в **§ 4.6 Умный щит (Smart Panel)**.

3.2 Выбор измерительных приборов

Наиболее передовым документом о способах построения плана измерений является Европейский стандарт **EN 17267 «План измерения и мониторинга энергии для организаций: разработка и внедрение. Принципы сбора энергетических данных»**, опубликованный в 2019 году.

В этом документе представлены 3 уровня измерений:
- базовый уровень;
- средний уровень;
- продвинутый уровень.

Таблицы в Приложении B данного стандарта определяют измерения, соответствующие каждому уровню измерительной системы. Ниже приведены выдержки из стандарта.

3.2.1 Измерение по зонам

Измерение активной энергии следует производить по зонам:

Контроль потребления по зонам	Базовый уровень	Средний уровень (в дополнение к базовому)	Продвинутый уровень (в дополнение к среднему)
Зоной считается каждый объект, подключенный к электросети через счетчик	■	■	■
Зоной считается каждый объект в пределах площадки		■	■
Каждый объект разделен на зоны (мастерская, офис, этажи,…)			■

Рис. K7. Измерение энергии по зонам (EN17267, Таблица B.1)

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Диагностика с использованием электрических измерений

3.2.2 Измерение потребляемой мощности

Внимание следует уделять измерениям потребляемой мощности, которые могут быть полезны для определения потенциальных источников повышения эффективности:

Системы, потребляющие энергию	Измеряемые параметры		
	Базовый уровень	**Средний уровень** (в дополнение к базовому)	**Продвинутый уровень** (в дополнение к среднему)
Системы HVAC (отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха)	Активная энергия	Внутренняя температура Влажность Коэффициент полезного действия (КПД)	---
Осветительные приборы	Активная энергия	---	---
Техника (компьютеры, принтеры и т.д.)	Активная энергия	---	---
Двигатели	Активная энергия	Реактивная энергия	THDi (коэффициент искажения синусоидальности кривой тока) Unb (небаланс напряжений)
Генераторы	Произведенная активная энергия	---	Эффективность (если рассчитывается)
Воздушный компрессор	Активная энергия	Реактивная энергия Стандартизированный расход воздуха Давление	Удельное потребление
Система выработки горячей воды и пара	Потребление энергии	Теплопроизводительность	Эффективность
Система рефрижерации	Активная энергия	Реактивная энергия Произведенная мощность охлаждения	Эффективность КПД (коэффициент полезного действия)

Рис. K8. Измерения потребляемой мощности (EN17267, Таблица B.4)

3.2.3 Измерение влияющих факторов

Стандарт ISO 50006 дает рекомендации по «системе энергетического менеджмента» и «показателям энергоэффективности». Эти понятия объединяют измерение энергии с другими влияющими факторами, например, измерение энергопотребления коррелируется с изменением температуры в течение дня или с количеством людей, присутствующих в данном месте, и т. д. Все влияющие факторы должны быть измерены или запрошены из другой базы данных.

Системы, потребляющие энергию	Влияющие факторы		
	Базовый уровень	**Средний уровень** (в дополнение к базовому)	**Продвинутый уровень** (в дополнение к среднему)
Системы HVAC	Температура окружающей среды (или среднесуточная температура)	Количество присутствующих	Мощность системы HVAC
Осветительные приборы	Время года	Естественное освещение Количество присутствующих	---
Техника (компьютеры, принтеры и т.д.)	---	Количество присутствующих	---
Двигатели	---	Температура окружающей среды	---
Генераторы	---	Температура окружающей среды	---
Воздушный компрессор	---	Температура окружающей среды	---
Система выработки горячей воды и пара	---	Температура воды, поступающей в систему Температура окружающей среды	---
Система рефрижерации	---	Температура окружающей среды	---

Рис. K9. Измерение влияющих факторов (EN17267, Таблица B.5)

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Диагностика с использованием электрических измерений

3.2.4 Контроль электроустановки

Важно отслеживать параметры системы распределения электроэнергии, поскольку измерения могут выявить проблемы с энергоэффективностью и риски, связанные с активами.

Место измерения		Измеряемые параметры(2)		
		Базовые	**Основные** (в дополнение к базовым)	**Расширенные** (в дополнение к основным)
Потребитель	**На месте установки потребителя**	Активная энергия	Напряжение, ток, частота, коэффициент мощности, реактивная энергия, активная/реактивная мощность, коэффициент искажения синусоидальности кривой тока и напряжения	Индивидуальные гармоники тока и напряжения
Распределительные щиты	**- Для каждого фидера мощностью не менее 100 кВА (1) (например: 160 А, 400 В)**	Активная энергия	Напряжение, ток, коэффициент мощности, реактивная энергия, активная/реактивная мощность, коэффициент искажения синусоидальности кривой тока и напряжения	Индивидуальные гармоники тока и напряжения
	- Для каждого фидера мощностью не менее 40 кВА (1) (например: 63 А, 400 В)	Активная энергия	Напряжение, ток, коэффициент мощности, активная энергия, активная/реактивная мощность	Коэффициент искажения синусоидальности кривой тока и напряжения
Нагрузка	**- Для каждого фидера мощностью не менее 3,5 кВА(1)(3) (например: 16 А, 230 В)**	---	---	Активная энергия
Трансформаторы	**Трансформаторы**	---	КПД трансформатора	Дисбаланс напряжения, напряжение на входе и на выходе

(1) Мощность зависит от типа установки и зданий: коммерческие, промышленные и т. д.
(2) Могут быть выполнены другие измерения в зависимости от целей и применения
(3) Такие здания, как центры обработки данных требуют контроля нагрузок более 2,3 кВА (например, 10 А, 230 В).

Рис. K10. Измеряемые параметры в соответствии с типом исходящей линии, входящей линии, генератора или теплообменника (EN 17267, Таблица B.7)

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Решения по энергосбережению

Для экономии энергии может быть принят ряд различных мер (см. **рис. K12**).

■ **Снижение энергопотребления**

Снижение потребления электроэнергии для достижения тех же результатов (например, использование энергосберегающих ламп позволяет получить то же значение освещенности при меньших затратах на электроэнергию) или уменьшение потребляемой мощности до допустимого минимума (сокращение количества ламп в некоторых зонах до значения, обеспечивающего необходимый уровень освещения).

■ **Экономия электроэнергии**

Мероприятия, направленные на снижение цены за 1 единицу электроэнергии, а не ее общей стоимости. Например, перенос определенных процессов или процедур на ночное время, чтобы потребление энергии осуществлялось по более низким ночным тарифам. Кроме того, отключение нагрузки в пиковое время также может служить примером.

■ **Непрерывность электроснабжения**

Способствует повышению уровня эффективности производства при отсутствии простоев, а также позволяет избежать потерь энергии, связанных с частыми перезапусками и дополнительной работой из-за выпуска бракованной продукции.

Рис. K11. Комплексная стратегия энергосбережения

Когда речь идет об энергосбережении, многие подразумевают установку энергосберегающих потребителей (двигателей, нагревательных и осветительных приборов). Менее очевидной является экономия за счет установки различных устройств управления и измерения и соответствующего программного освещения.

4.1 Возможности энергосбережения, связанные с двигателями

Электродвигатели потребляют 80 % электроэнергии в промышленном секторе.

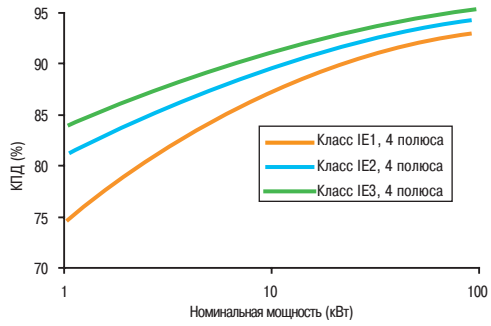


Рис. K12. Определение класса КПД для электродвигателей низкого напряжения в соответствии со стандартом МЭК 60034-30

Установки с электродвигателями являются одной из потенциальных областей, в которых могут быть выполнены мероприятия по экономии электроэнергии.

Ниже приведены решения для повышения энергетической эффективности этих систем.

Выбор / замена двигателя

Те, кто желает улучшить пассивную эффективность потребления энергии часто рассматривают замену двигателей в качестве основного решения, особенно, если существующие двигатели устарели и требуют перемотки.

Эта тенденция усиливается за счет большого количества стран, которые, в ближайшем будущем, хотят остановить продажи двигателей с низким КПД.

Стандарт МЭК 60034-30 (ГОСТ IEC 60034-30-1-2016) определяет три класса КПД (IE1, IE2, IE3).

Многие страны определили постепенный план замены двигателей классов IE1 и IE2 на двигатели класса IE3.

Согласно распоряжению Еврокомиссии (ЕС) № 640/2009 от 1 января 2015 двигатели номинальной мощностью менее 375 кВт должны иметь КПД класса IE3.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Решения по энергосбережению

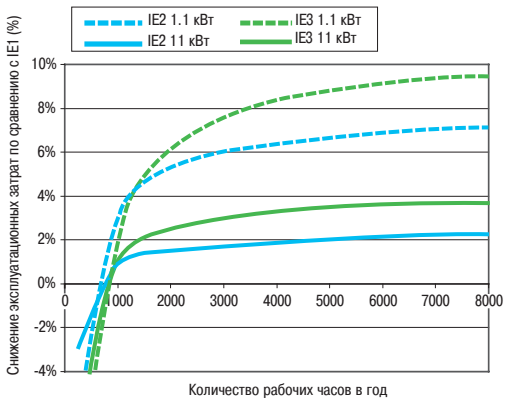


Рис. K13. Снижение эксплуатационных затрат для двигателей классов IE2 и E3 по сравнению с классом IE1 в зависимости от количества рабочих часов в год

Экономия может быть выполнена следующим путем:
■ Замена старых двигателей большой мощности на современные высокоэффективные двигатели с правильно выбранной мощностью
■ Правильная эксплуатация двигателя
■ Выбор подходящего пускателя/контроллера для двигателя

Есть две причины для замены старого двигателя:
■ Использование преимуществ современных высокоэффективных двигателей (см. **рис. K12**).
В зависимости от номинальной мощности, коэффициент полезного действия современных высокоэффективных двигателей выше, чем у обычных на 1-10 %. Перемотанные двигатели, как правило, теряют 3-4 % КПД по сравнению с изначальным значением.
■ Недопущение превышения достаточной мощности двигателя
В прошлом, конструкторы обычно завышали необходимые параметры двигателей для обеспечения достаточного запаса прочности, чтобы устранить риск отказа оборудования при любых, даже маловероятных, условиях. Изучение указанной проблемы показало, что примерно в трети случаев применения электродвигателей, их характеристики значительно превышают необходимые, и, как результат, эти двигатели работают с нагрузкой менее 50 % номинальной.
Однако:
□ двигатели с избыточной мощностью являются более дорогими;
□ двигатели с избыточной мощностью иногда менее эффективны в процессе эксплуатации, чем двигатели с необходимой мощностью. Обычно являются эффективными двигатели с рабочей точкой от от 30 до 100 % номинальной нагрузки, способные выдержать короткие периоды перегрузки до 120 % номинальной нагрузки; эффективность двигателей значительно снижается при нагрузке ниже 30%;
□ коэффициент мощности резко снижается, когда двигатель не работает при полной нагрузке, что может привести к потреблению реактивной мощности.

Зная, что затраты на электроэнергию составляют свыше 97 % расходов на протяжении всего срока эксплуатации двигателя, имеет смысл инвестировать в более дорогой, но более эффективный двигатель, и, как следствие, такое решение может быть очень прибыльным.
Тем не менее, прежде чем решить, следует ли заменить двигатель, необходимо:
■ принять во внимание оставшийся ресурс эксплуатации двигателя;
■ помнить, что замена двигателя не всегда оправдана, даже если он слишком большой, и если его нагрузка очень мала, или если он используется редко (менее 800 часов в год, см. **рис. K13**);
■ важно убедиться, что рабочие характеристики (например, скорость вращения) нового двигателя соответствуют характеристикам заменяемого.

Эксплуатация двигателя

Другие мероприятия по энергоэффективности, которые могут быть применены для электродвигателей:
■ Повышение активной энергоэффективности достигается за счет отключения двигателя на время, когда он не требуется. Данный способ может привести к необходимости использования автоматического управления, обучению, проверке и стимулированию персонала. Если работник, отвечающий за двигатель, не заинтересован в сокращении энергопотребления, он может оставить двигатель включенным даже при отсутствии в этом необходимости.
■ Проверка и регулировка щеточного механизма, особенно для двигателей с большой номинальной мощностью, могут повлиять на общую эффективность. Например, неотрегулированные щеточные узлы приводят к повышенному потреблению электроэнергии и могут стать причиной поломки двигателя. Угловое смещение щеточного узла всего на 0,6 мм приводит к потерям мощности до 8 %.

Управление двигателем

Для того чтобы обеспечить наилучшую общую эффективность использования энергии, система управления двигателем должна тщательно выбираться, в зависимости от функций двигателя:

■ Для двигателя с постоянной скоростью выбираются дешевые пускатели, которые обеспечивают решения с низким уровнем энергопотреблением. Три вида пускателей могут быть использованы, в зависимости от ограничений системы:
□ пускатель (контактор) прямого действия;
□ пускатель со схемой звезда-треугольник: для ограничения пускового тока, при условии, что нагрузка позволяет уменьшить пусковой момент до 1/3 номинального крутящего момента;
□ устройство плавного пуска и торможения: когда пускатель со схемой звезда-треугольник не подходит для ограничения текущего пускового тока, и если необходимо мягкое торможение.
Двигатели постоянной скорости используются в системах вентиляции, насосах для хранения воды, системах очистки сточных вод, конвейерах и т.д.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Решения по энергосбережению

Способы запуска / управления двигателем всегда должны быть основаны на анализе системного уровня, принимая во внимание несколько факторов, таких как требования к скорости, общая эффективность и стоимость, механические ограничения, надежность и т.д.

LC1 D65A•• LC3 D32A•• ATS48••

Рис. K14. Устройства управления электродвигателями компании Schneider Electric: пускатель прямого действия и пускатель со схемой звезда-треугольник серии TeSys D, устройство плавного пуска и торможения Altistart

■ В применениях, где требуется изменение скорости вращения двигателя, использование преобразователей частоты (ПЧ) является самым эффективным решением для уменьшения потребления энергии. ПЧ выгодно отличаются от обычных механических решений (клапанов, задвижек, дросселей и т.д.), используемых в насосах и вентиляторах, принцип действия которых предполагает потребление дополнительной энергии на блокировку каналов, в то время как двигатели работают на полной скорости.

ПЧ обеспечивают улучшенный контроль, снижение уровня шума, переходных эффектов и вибраций. Дополнительные преимущества могут быть получены при использовании ПЧ в сочетании с устройствами управления с учетом индивидуальных требований.

Поскольку ПЧ - это дорогостоящие устройства, которые также являются источником дополнительных потерь энергии и электрических помех, то их использование должно быть ограничено областями, где действительно необходимы регулировка скорости вращения или функции точного управления.

Сферы применения ПЧ: грузоподъемные механизмы, станки с позиционированием, замкнутые контуры управления, погружные или нагнетательные насосы, системы вентиляции и т.д.

Altivar 12 (≤ 4 кВт) Altivar 212 (≤ 75 кВт) Altivar 71 (≤ 630 кВт)

Рис. K15. Преобразователи частоты серии Altivar компании Schneider Electric различной номинальной мощности

■ Для регулирования нагрузки в зависимости от изменяющихся требований применения используются пускатели и преобразователи частоты или сочетание этих устройств (см. пример на **рис. K16**), что представляет наиболее эффективное и выгодное решение в целом.

Пример применения: системы HVAC в зданиях, конвейеры, системы водоснабжения и т.д.

Выбор устройств управления двигателем должен основываться на системном анализе с учетом таких важных факторов, как требования к изменению скорости, общая эффективность, стоимость, механические ограничения, надежность и т.д.

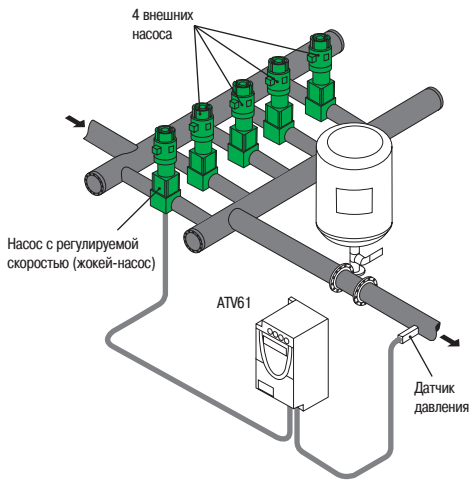


Рис. K16. Пример системы с каскадными насосами, пускателями и ПЧ, представляющей собой гибкое и не очень дорогое решение

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4.2 Освещение

Осветительные приборы, в зависимости от их вида, потребляют до 35 % электроэнергии в зданиях. Система управления освещением является наиболее простым способом снижения затрат на электроэнергию с низкими начальными вложениями, поэтому применяется достаточно широко.

Нормы освещения для коммерческих зданий регулируются стандартами, правилами и строительными нормами. Освещение должно нести не только функциональную нагрузку, но и обеспечивать безопасность работающего персонала.

В большинстве случаев освещение офисных зданий избыточно, поэтому энергосбережение может быть осуществлено за счет пассивных мер. Это может быть достигнуто путем замены неэффективных светильников на современные энергосберегающие с электронными дросселями. Данное решение даст положительный результат в помещениях, где освещение требуется постоянно или в течение достаточно продолжительного времени, т.к. в этом случае экономия за счет отключения света неприменима. Сроки окупаемости подобных мер имеют достаточно большой разброс, но в большинстве случаев составляют порядка двух лет.

Освещение и электронные балласты или светодиодные технологии

В зависимости от требований, типа и возраста системы освещения, возможно использование более эффективных светильников. Например, доступны новые флуоресцентные лампы, для которых требуется замена пускорегулирующей аппаратуры (дросселя).
Энергопотребление современных конструкций светильников с электронными дросселями меньше по сравнению со старыми, оснащенными электромагнитными дросселями. Например, светильник с современной лампой T8 с электронным дросселем потребляет от 32 до 40 % меньше электроэнергии, чем светильник с лампой T12, оснащенный электромагнитным дросселем.

Тем не менее, электронные ПРА имеют ряд недостатков по сравнению с электромагнитными ПРА:
- Их рабочая частота (от 20 до 60 кГц) может стать причиной возникновения высокочастотных кондуктивных и излучаемых помех, которые, например, могут создавать помехи с устройствами связи по линии электропередачи. Должны быть подобраны правильные фильтры.
- В настоящее время применение электронной пускорегулирующей аппаратуры может стать причиной возникновения высокочастотных помех в питающей сети (см. также главу M).

Производители светильников с электронной аппаратурой включают в нее пассивные фильтры, которые позволяют снизить коэффициент несинусоидальности (отношение действующего значения высших гармонических к действующему значению первой гармоники) до уровня менее 20 % или даже 5 % для более важных объектов (больниц, производственных помещений с чувствительным оборудованием и т.д.)

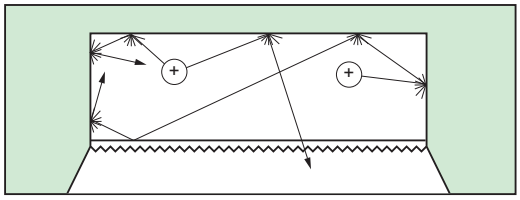
Светодиодная технология, появившаяся всего несколько лет назад, предлагает значительные перспективы для роста, особенно для умных устройств управления. Светодиодные светильники рассматриваются в качестве устойчивого альтернативного решения для достижения целей энергосбережения в системах освещения. Это первая технология освещения, которая подходит для всех областей (зданий жилых секторов, строительства, инфраструктуры ...), обеспечивает высокую энергоэффективность и возможность интеллектуального управления.

Существуют и другие типы ламп, которые могут быть использованы в зависимости от назначения здания. При выборе типа светильников следует тщательно проанализировать характер работ в помещении и необходимые значения освещенности и цветопередачи. Большинство старых светильников были разработаны для большей освещенности, чем требуют современные стандарты. Современное проектирование тесно связано с экономией энергии, которую можно достичь за счет изменения системы освещения для обеспечения минимально необходимого уровня освещенности.

Помимо вопроса энергосбережения, необходимо помнить о важности соблюдения соответствующих норм и правил, а также о других требованиях к системам освещения. К ним относятся более низкие затраты на техническое обслуживание, возможность вносить коррективы с учетом потребностей (офисные помещения, помещения с постоянным пребыванием людей), больший визуальный комфорт (исключение мерцаний, вызывающих мигрень и напряжение глаз) и улучшенная цветопередача.

Отражатели

Еще одной возможностью пассивного энергосбережения, наряду с заменой ламп и использованием пускорегулирующей аппаратуры, является замена отражателей светильников. Отражатель в светильнике служит для направления света от лампы в необходимую сторону. В настоящее время выпускаются отражатели из современных материалов и более качественной конструкции, которые можно установить в уже существующие светильники. Данная мера приведет к увеличению полезного светового потока и сокращения количества работающих ламп без ущерба для освещенности помещения. Современный отражатель обладает спектральной эффективностью более 90 %.
Это означает, что:
- две лампы могут быть заменены одной, что позволяет снизить стоимость электроэнергии на освещение на 50 % и более;
- имеющиеся светильники могут быть оборудованы высокотехнологичными отражателями с сохранением расстояния между ними, что делает подобную замену простым и эффективным решением, практически не изменяющим дизайн потолка.



Вверху: Около 70 % сетового потока лампы направлено в стороны и вверх от освещаемой плоскости.

Внизу: Новые серебряные поверхности предназначены для отражения максимально возможной части светового потока.

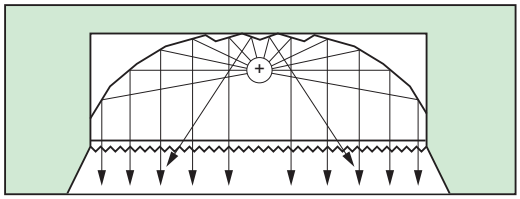


Рис. K17. Иллюстрация принципа работы высокопроизводительных отражателей

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Решения по энергосбережению

Управление освещением

Описанные выше пассивные методы энергосбережения оставляют возможность для экономии электроэнергии.
Целью программ управления освещением является возможность предоставления пользователям требуемого уровня удобства и гибкости, а также экономия энергии и снижение затрат путем выключения света, как только он больше не требуется. Есть целый ряд доступных технологий с различной степенью сложности с окупаемостью от шести до двенадцати месяцев.
В настоящее время для решения этих задач имеются различные устройства (см. **рис. K18**).

Рис. K18. Устройства управления освещением: таймеры, датчики освещенности, датчики движения

■ Свет отключается таймером через определенный интервал после включения. Применение таймеров наиболее подходит к помещениям, где люди находятся строго определенное время (например, коридоры).
■ Свет отключается по сигналу датчика присутствия или движения, когда в помещении не наблюдается движения человека в течение определенного времени. Датчики присутствия наиболее подходят для помещений, в которых люди могут находиться неопределенное количество времени (кладовые, лестничные клетки и т.д.).
■ Фотоэлементы и датчики освещенности, устанавливаемые вблизи окон. Свет выключается или приглушается, когда дневное освещение становится достаточным.
■ Программируемые таймеры для включения и отключения света в заранее определенное время (например, наружная реклама, дежурное освещение офисных помещений, которые отключаются по ночам и на выходные).
■ Приглушение света для снижения уровня освещенности в определенное время, например, на парковках, которые должны быть ярко освещены только в пиковое время (например, до полуночи).
■ Регуляторы напряжения для оптимизации потребления энергии. Электронная пускорегулирующая аппаратура может снизить уровень отдачи ламп дневного света. Сейчас также выпускаются регуляторы напряжения для других видов ламп, например, натриевых ламп высокого давления.
■ Беспроводные устройства управления для простого и экономичного оснащения существующих установок.

Эти различные технологии могут быть объединены и также использованы для создания определенного эффекта или обстановки. Например, программируемые световые панели в конференц-залах (для заседаний совета директоров, презентаций, конференций и др.) имеют ряд различных настроек света, которые могут быть изменены при нажатии на выключатель.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Решения по энергосбережению

Централизованное управление освещением

Современные системы управления освещением на базе протокола KNX имеют дополнительные преимущества, обеспечивающие интеграцию с системой управления зданием (см. **рис. K19**). Они обеспечивают большую гибкость управления и централизованного мониторинга, а также более широкие возможности для экономии энергии и объединяют управление освещением с другим оборудованием здания (например, с управлением кондиционерами). Некоторые системы управления освещением позволяют сэкономить до 30 % энергии в зависимости от применения.

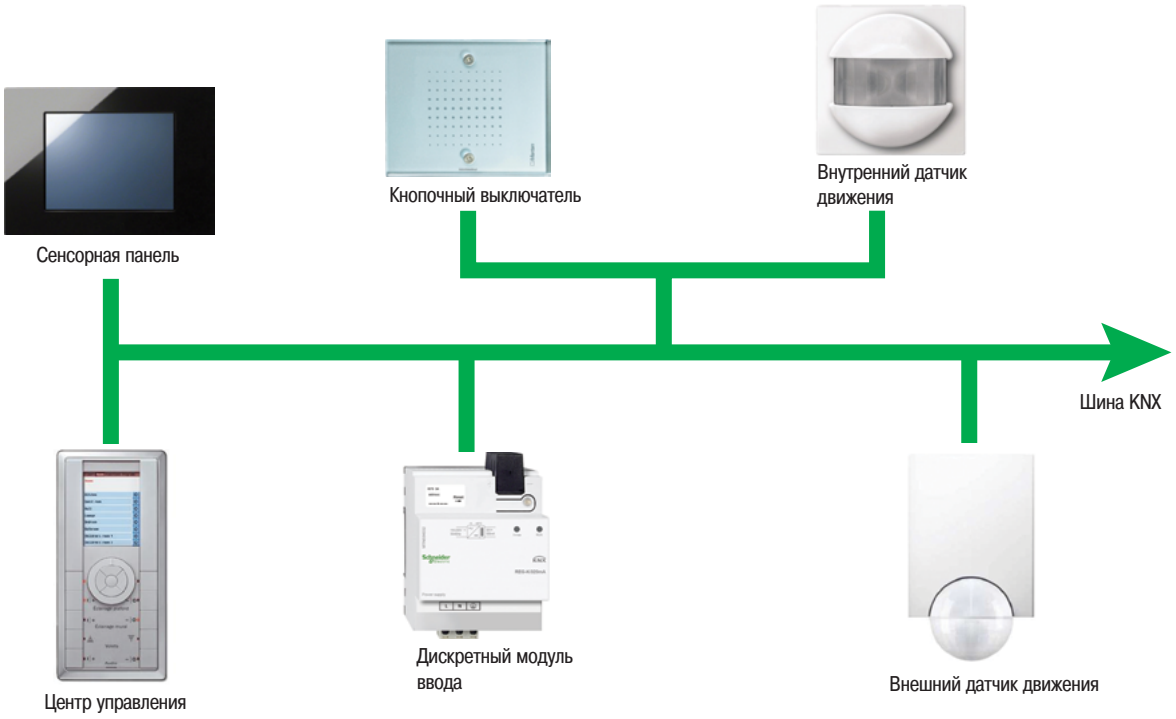


Рис. K19. Система управления освещением на базе протокола KNX компании Schneider Electric

Анализ системы освещения вместе с энергетическим аудитом помогает найти наилучшее решение и определить мероприятия и работы, которые необходимо провести в помещении, а также выявить основные возможности энергосбережения. Помимо устройств управления для внутреннего освещения компания Schneider Electric предлагает готовые решения для уличного освещения территории, стоянок и подсветки, обеспечивающие оптимальный уровень энергопотребления.

4.3 Коррекция коэффициента мощности и фильтрация гармоник

■ Если энергетическая компания штрафует потребителя за низкий коэффициент мощности, установка компенсации реактивной мощности может быть достаточно весомым фактором снижения затрат на электроэнергию. Установка компенсации реактивной мощности относится к пассивным мерам энергосбережения и не предполагает увеличения текущих расходов, изменения технических процессов или дополнительной нагрузки на обслуживающий персонал. Срок окупаемости устройства компенсации реактивной мощности составляет обычно менее года.
Коррекция коэффициента мощности более подробно описана в **главе L**.
■ Некоторые виды оборудования (ПЧ, электронные дроссели и т.д.) и компьютеры генерируют гармоники в пределах своей питающей сети. Эффект присутствия высших гармоник в питающей сети увеличивает нагрев и вибрацию электрооборудования, что приводит к их преждевременному выходу из строя. Установка конденсаторов позволяет решить эти проблемы. Фильтрация гармоник является еще одной стандартной пассивной мерой энергосбережения.
Вопросы гармонического состава тока и напряжения в питающей сети рассматриваются в **главе M**.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Решения по энергосбережению

4.4 Управление нагрузкой

В рамках данного направления синхронизации производства и потребления электрической энергии в долгосрочной перспективе энергоснабжающие компании адаптируют свои тарифы таким образом, чтобы стимулировать потребителей к сокращению своих потребностей в пиковые периоды.
Выбор стратегии зависит от уровня потребления и эксплуатационных требований: ограничение спроса (см. **рис. K20**), исключение пиковых периодов, планирование нагрузки или даже генерация дополнительной энергии на месте.
Эти меры называют также «управление спросом».

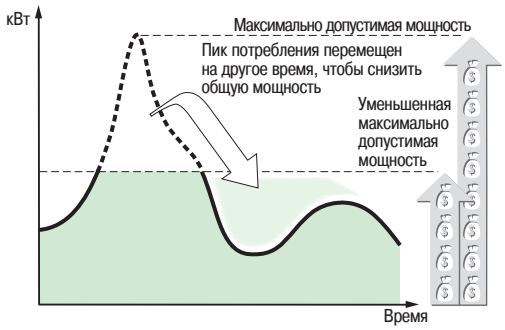


Рис. K20. Пример стратегии распределения нагрузки по времени

■ **Ограничение спроса**
Энергоснабжающие компании могут использовать это решение в контрактах на поставку, содержащих обязательные или аварийные (включая обязательные лимиты) ограничительные положения, применение которых определяется потребителем (на основе специальных ставок). Эта политика в области управления, как правило, используется в самые жаркие или холодные месяцы года, когда компании и частные клиенты имеют очень высокие требования к вентиляции, кондиционированию и отоплению, а также, когда потребление электроэнергии значительно превышает нормальный спрос. Снижение потребления, таким образом, может оказаться проблематичным в жилом секторе и в секторе услуг, так как они могут причинить значительные неудобствам жителям или посетителям. Потребители могут быть заинтересованы в схемах такого рода, и могут получить выгоду от контрактов в виде сокращения удельных затрат на 30 %, если они имеют большое количество второстепенных нагрузок.

■ **Исключение пиковых периодов**
Этот метод включает в себя перемещение пиков потребления в соответствии с различными тарифными ставками. Идея заключается в том, чтобы уменьшить затраты, даже если общее потребление энергии остается неизменным.

■ **Планирование нагрузки**
Эта стратегия управления является вариантом для компаний, способных извлечь выгоду из более низких ставок путем планирования потребления для всех своих процессов, в которых время суток не является ключевым или критичным фактором.

■ **Генерация дополнительной электроэнергии на месте**
Генерация электроэнергии непосредственно на производстве позволяет добиться определенной гибкости. Наличие локального генератора позволяет обеспечить электроэнергией потребителей, которые были бы отключены для недопущения пика потребления или, согласно схеме снижения потребляемой мощности, по запросу поставщика. Автоматизированная система электрической сети предприятия может быть расширена для внедрения системы управления генераторными установками, включенными в единую электрическую сеть предприятия. Автоматическая система управления может быть запрограммирована для постоянного сравнения стоимости электроэнергии, поставляемой энергетической компанией, со стоимостью энергии, вырабатываемой дополнительным источником энергии, например, автономным дизель-генератором. Если тариф поставщика электроэнергии выше стоимости энергии, вырабатываемой автономным генератором, автоматика переключает нагрузки на питание от локального источника энергии.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4.5 Связь и информационные системы

Информационные системы

Энергоэффективность невозможна без систем связи.
К чему бы это не относилось, к измерениям номинальных значений или рабочего состояния, необработанные данные могут быть полезны только тогда, когда преобразуются в полезную информацию и распространяются для обеспечения энергетической эффективности, с целью повышения качества процесса управления энергопотреблением. Полученные данные должны быть понятны, так как люди воздействуют на процесс управления, и они должны в полной мере понимать все факторы, связанные с аспектами управления, так как это является неотъемлемой частью любой политики энергосбережения. Распределение данных должно происходить на постоянной основе, и эти действия, обеспечивающие устойчивую энергоэффективность системы, будут непрерывны (см. **рис. K21**).
Тем не менее, данный цикл операций требует создания эффективной коммуникационной сети.

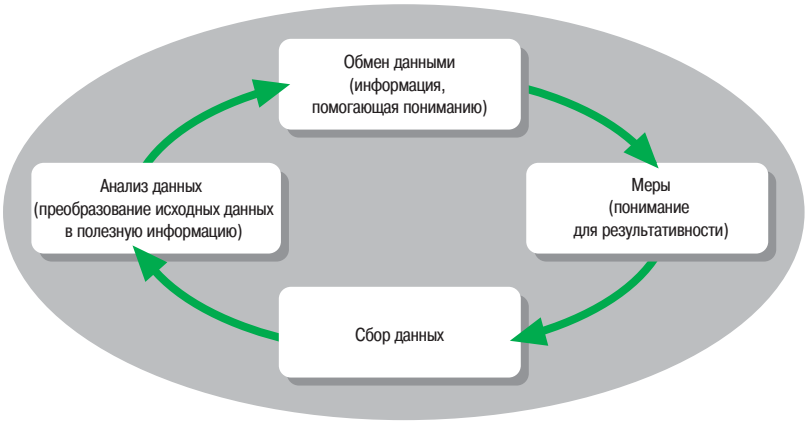


Рис. K21. Обмен данными, необходимыми для повышения энергоэффективности

Информационная система может быть использована операторами на ежедневной основе в различных сферах потребления электроэнергии (в промышленных процессах, системах освещения и кондиционирования воздуха и т.д.) для достижения целей в области энергоэффективности, установленных руководством компании. Она может также положительно повлиять на выпуск продукции, создание условий для покупателей супермаркета, регулирование температуры в холодильных камерах и т.д.

Системы мониторинга

■ Для быстрых проверок, которые могут быть выполняться на постоянной основе.
Стимулирование регистрации данных и их распространение может помочь содержать все параметры в актуальном состоянии, но электрические сети быстро развиваются, и постоянно возникают вопросы об их способности справляться с новыми разработками. Имея это в виду, система мониторинга передачи и потребления энергии в состоянии предоставить всю информацию, необходимую для проведения полного аудита системы. Помимо электроэнергии, такой аудит будет охватывать воду, воздух, газ и пар. Стандартизированные измерения, сравнительный анализ и данные о потреблении энергии могут быть использованы для определения эффективности процессов и промышленных установок.
■ Для быстрого, обоснованного принятия решений
Соответствующие планы действий могут быть реализованы. К ним относятся системы управления и автоматизации для освещения зданий, ПЧ, автоматизация процесса и т.д. Запись информации об эффективном использовании оборудования позволяет точно определить доступную мощность в сети или мощность трансформатора и установить, как и когда должны быть выполнены работы по техническому обслуживанию (принятие своевременных мер).

Коммуникационные сети

Информационные системы и системы мониторинга являются синонимами, как Интранет и Интернет, в которых обмен происходит в рамках компьютерной архитектуры, разработанной для определенной системы.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Решения по энергосбережению

■ Интранет

По большей части для обмена данными в промышленном секторе используются веб-технологии, постоянно установленные в сетевой связи компании. Как правило, внутренняя сеть используется для работы оператора.

Что касается обмена данными между элементами, подключенными через канал физической передачи, очень широко используется протокол Modbus. Возможно подключение в электрических сетях к измерительным и защитным устройствам. Изначально созданный Schneider Electric, он очень популярен в строительном секторе и рассматривается в качестве стандартного протокола.

Для обработки большого объема данных между электрическими системами распределения используются новейшие технологии с применением протокола Ethernet. Данный протокол имеет неоспоримые преимущества, такие как простота и производительность. Он наиболее приспособлен для данных задач и может выводить данные на локальный дисплей или на удаленные серверы.

На практике, электрические данные записываются на промышленные веб-серверы, установленные в низковольтных устройствах распределения и управления.

Стандартный протокол TCP/IP также является популярным и используется для передачи данных с целью сокращения текущих затрат на обслуживание, связанных с любой компьютерной сетью.

Этот принцип хорошо приспособлен для передачи данных, связанных с энергоэффективностью.

В данном протоколе не требуется дополнительного программного обеспечения. Компьютер с интернет-браузером – это все, что нужно. Таким образом, все данные, касающиеся эффективности использования энергии, записываются и могут быть переданы обычным образом, через внутренние сети, GSM / GPRS, Wi-Fi и т.д.

Для простоты и удобства измерительные устройства и интерфейсы преимущественно встроены в распределительные щиты. См. раздел **4.6 «Умный щит».**

■ Интернет

Удаленный мониторинг и контроль повышенной доступности данных, а также большая гибкость системы, с точки зрения обслуживания. На **рис. K22** показана схема данной системы. Подключение к серверу и стандартный веб-браузер позволяет сильно облегчить использование данных и экспортировать их в электронные таблицы Microsoft Excel ™ с целью отслеживания графиков мощностей в режиме реального времени.

Теперь, технология Ethernet позволяет легко подключать низковольтное устройство распределения и управления к Интернету с хорошей совместимостью с быстро развивающимися объектами умных сетей.

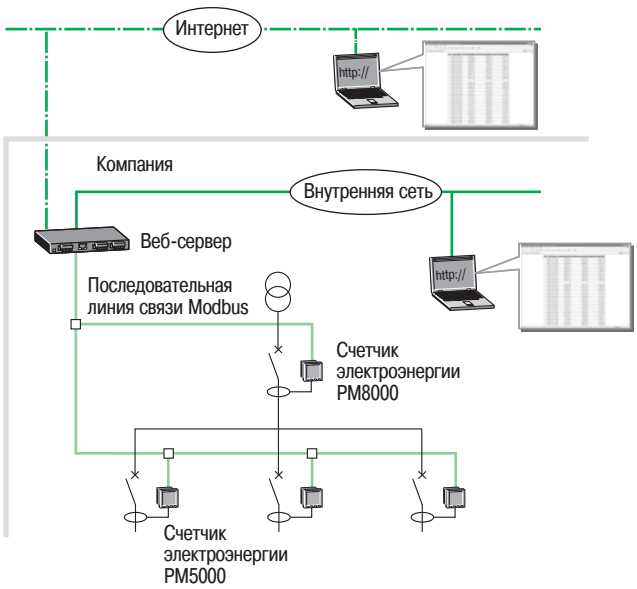


Рис. K22. Пример внутренней информационной сети, защищенной сервером (EGX300 – Schneider Electric) и мониторингом посредством Интернета

■ Структура систем мониторинга

Исторически сложилось, что системы контроля и управления были централизованные и основаны на системах автоматизации SCADA (диспетчерского управления и сбора данных).

Сегодня различают три уровня мониторинга (см. **рис. K23** на следующей странице).

□ Уровень 1

Благодаря новым возможностям, связанным с веб-технологиями, в последнее время широкое распространение получила новая концепция интеллектуального оборудования. Это оборудование может быть использовано на базовом уровне в пределах диапазона систем мониторинга, предлагая доступ к параметрам электрической сети в любой точке организации. При необходимости доступ к параметрам может быть получен через Интернет из любой точки мира.

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Решения по энергосбережению

□ Уровень 2

Система, предназначенная для электротехнического персонала, она представляет централизованный сервер, на котором могут быть отражены все необходимые параметры для каждой конкретной конфигурации электрической сети. Указанная структура информационной системы требует более низкого уровня квалификации персонала по сравнению с приведенной ранее. Все существующие распределительные устройства включены во встроенную библиотеку элементов, поэтому система может быть легко настроена для работы с любой конфигурацией электрической сети. Кроме того, начальная стоимость подобной системы минимальна, т.к. не требует проектирования и внедрения специалистом высокого класса.

□ Уровень 3

Данную систему применяют пользователи с большим количеством потребляемой энергии или использующие оборудование, которое очень чувствительно к изменению качества энергии и имеет высокую категорию по энергоснабжению. Для того чтобы соответствовать данным требованиям, система должна реагировать на изменение и предпринимать меры, которые должны быть приняты для компонентов установки, при возникновении первой ошибки. Это должно быть сделано прозрачным образом (любое воздействие должно быть прозрачным).

Ввиду затрат на существующие интерфейсы необходима экспертиза для правильной реализации системы и анализ затрат на её обновление по мере развития сети. Потенциальные инвесторы могут потребовать высокую степенью детализации анализов сети, которые будут проводиться.

Уровни 2 и 3 могут быть использованы совместно в определенных участках системы.

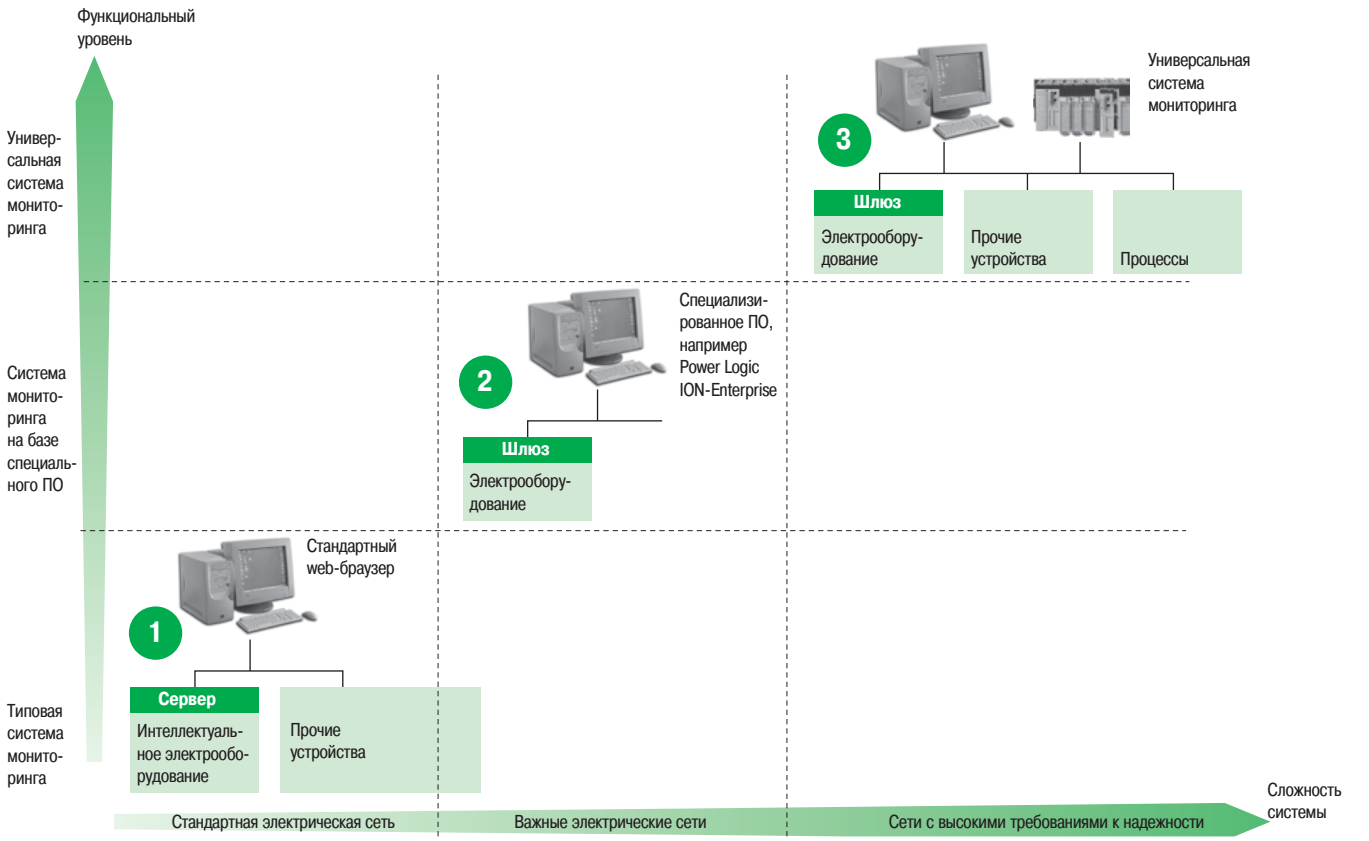


Рис. K23. Классификация систем мониторинга

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4.6 Умный щит (Smart Panel)

Устройства типа "Умный щит" (Smart Panel) представляют собой электрические распределительные щиты с полностью цифровыми соединениями, которые включают в себя 3 основные функции:

- измерение со встроенным автономным учетом и возможностью управления;
- подключение со встроенными интерфейсами связи, готовыми к подключению к системе распределения электроэнергии для платформ управления энергопотреблением;
- сохранение, т.е. обеспечение преимущества энергетической эффективности путем мониторинга в режиме реального времени и контроля, а также доступ к онлайн-сервисам. С помощью встроенных измерительных устройств Умный щит является естественным источником данных в электроустановке. Информация может быть размещена на локальном дисплее или отправлена через сеть связи.

Интерфейсные устройства реализованы так, что передача осуществляется простым и легким способом. Используются самые современные и эффективные технологии:

- Modbus: для передачи информации внутри распределительных щитов, между компонентами;
- Ethernet или Wi-Fi: внутри зданий, соединяя распределительный щит с компьютерами;
- Ethernet на базе DSL / GPRS: подключение электрической распределительной системы к онлайн-сервисам.

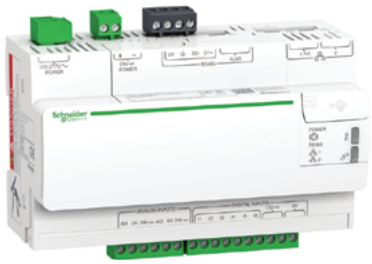


Рис. K24. Устройство связи - сервер учета энергоресурсов Com'X 200, разработанный компанией Schneider Electric для Умного щита (Smart Panel)

Как Умный щит способствуют энергоэффективности?

Умные щиты предназначены для контроля электроэнергии в установке прямо на источнике. Это самый лучший способ для того, чтобы узнать, как используется энергия. Они работают в широком диапазоне мощности: от окончательного распределения вплоть до главного распределительного щита. Они предлагают большие возможности отображения данных, локально и в режиме онлайн, где есть доступ к Интернету.

Они обеспечивают мониторинг и управление системой в реальном времени. Наиболее важная информация может быть отображена на локальном мониторе: мощность, потребление энергии, состояние оборудования, сигнализации.
Также возможно управление распределительным устройством: включение, отключение, сброс устройств защиты.

На локальном экране, на компьютере, в диспетчерской или на облачной платформе предоставляется доступ к основным данным и функциям, таким как:

- обнаружение пиков спроса или аномальное потребление энергии;
- план долгосрочного использования энергии;
- анализ потребления энергии, что делает энергосбережение эффективным;
- предоставление информации для коррекционного, профилактического или диагностического обслуживания.

Информация доступна на ПК для менеджера системы с помощью веб-страниц, доступных при использовании стандартного браузера. Доступ также предоставляется внешним экспертам для анализа и оптимизации.

© Schneider Electric – все права защищены

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Решения по энергосбережению

Примеры архитектур с Умными щитами
Система мониторинга и управления энергией физически очень похожа на электрическую распределительную систему, пересекается с ней и часто копирует.

Схемы, показанные на **рис. K25-K27**, представляют возможные примеры и отражают требования, обычно связанные с элементами распределения (количество фидеров, количество и качество необходимой энергии, цифровые сети, система управления и т.д.). Они помогают визуализировать и объяснить различные методы, которые могут быть использованы для повышения эффективности использования энергии.
Кроме того, эти диаграммы дают понять, что выбор компонентов определяется выбором структуры.

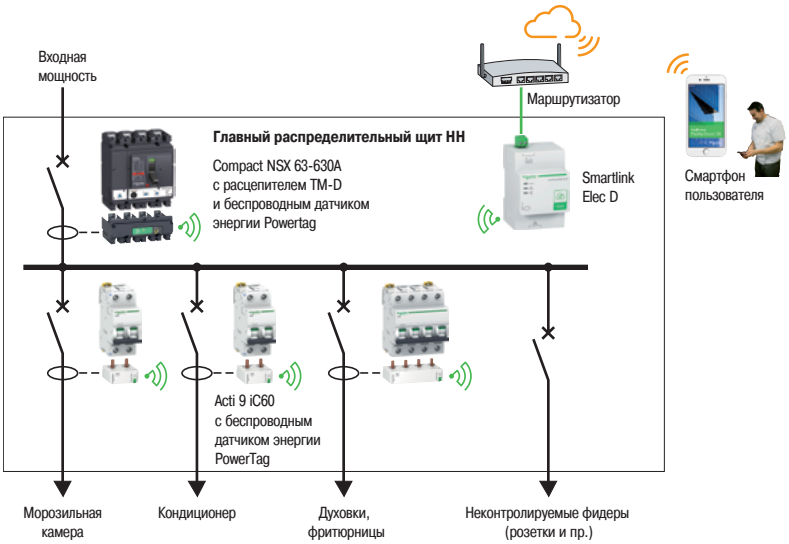


Рис. K25. Пример архитектуры системы мониторинга для небольшого участка с измерением и сигнализацией в выбранных цепях с применением беспроводных датчиков энергии Powertag

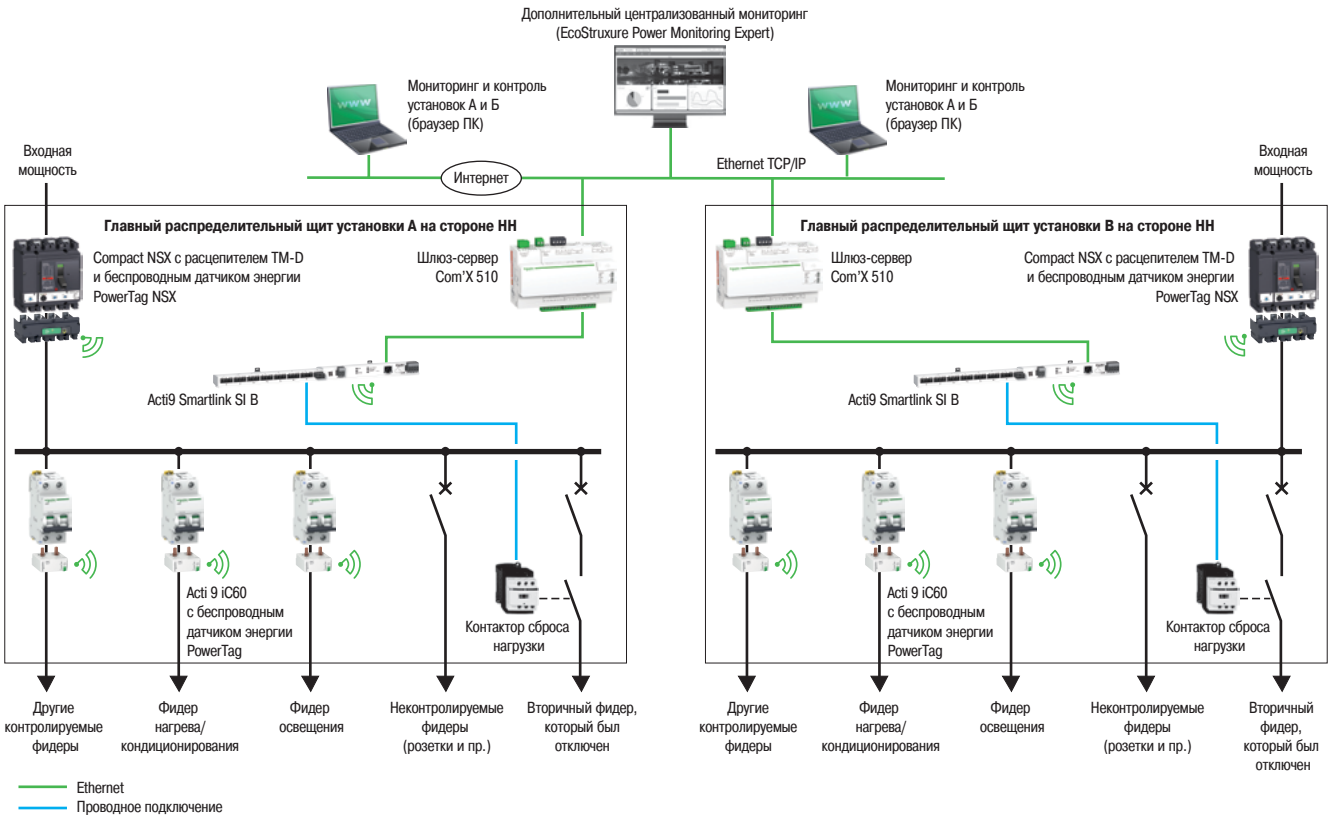


Рис. K26. Архитектура системы управления и мониторинга для компании с несколькими небольшими установками

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Решения по энергосбережению

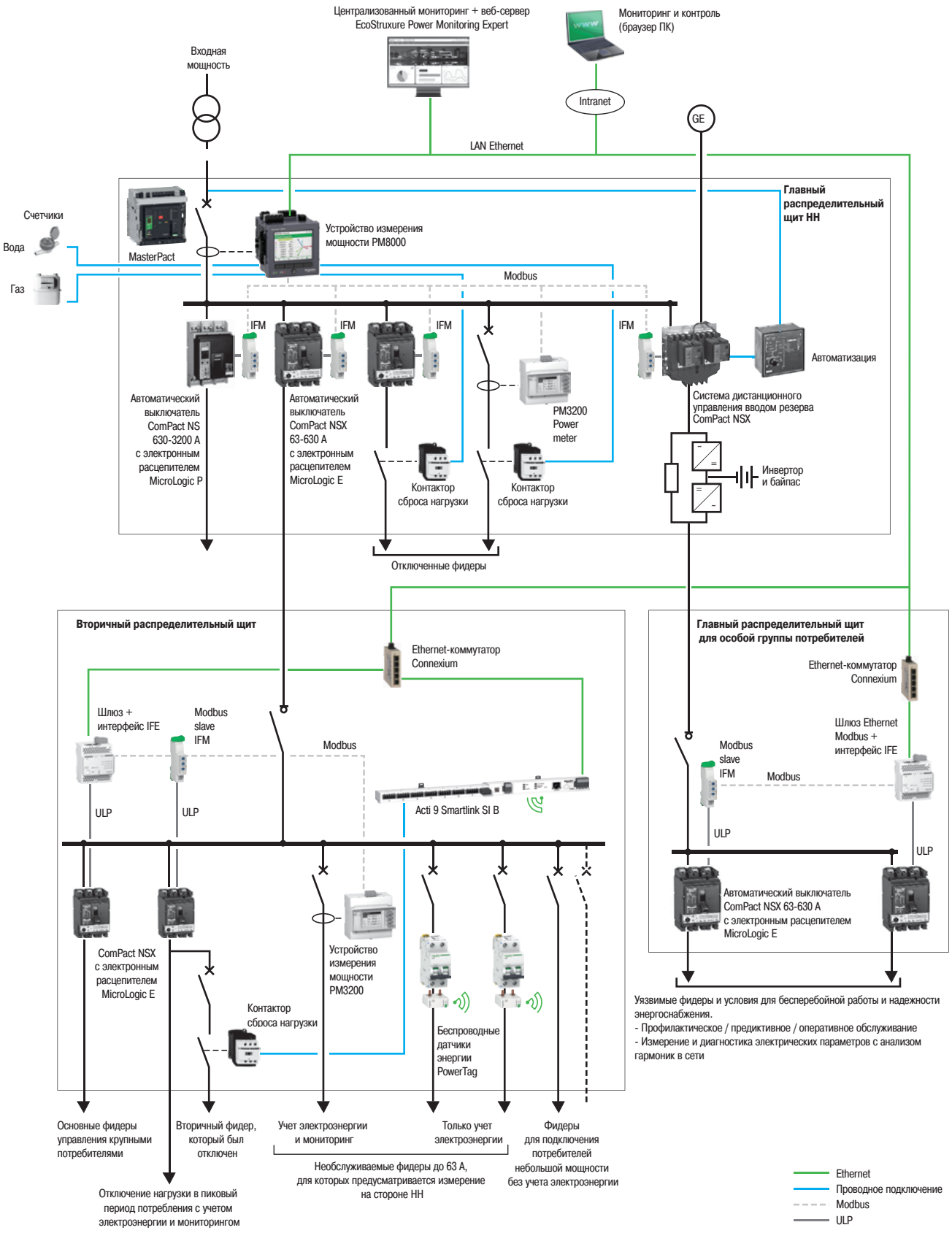


Рис. K27. Архитектура системы управления и мониторинга большой, уязвимой промышленной установки

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Решения по энергосбережению

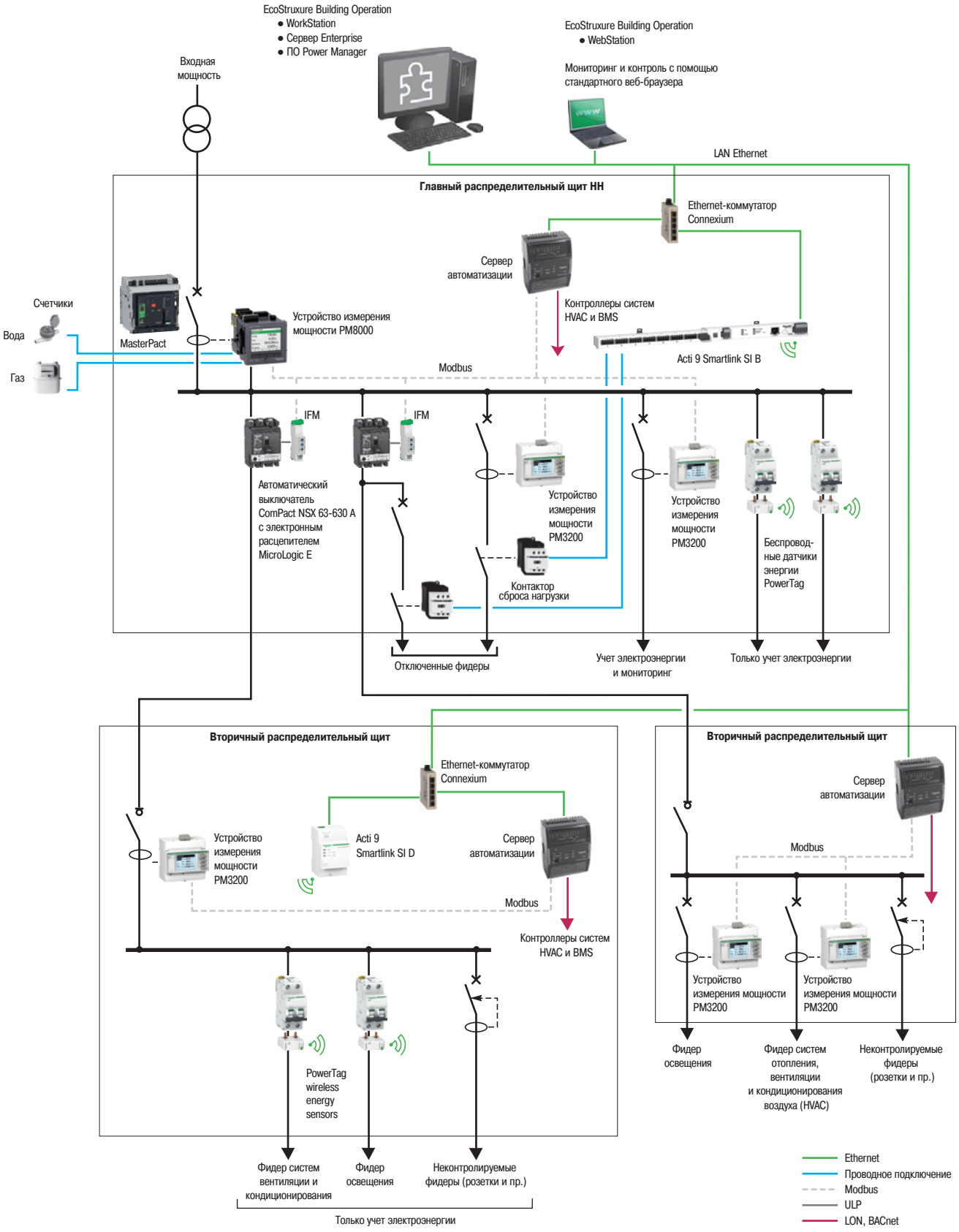


Рис. K28. Архитектура системы управления и мониторинга большой коммерческой установки

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Решения по энергосбережению

(например, датчики должны быть совместимы с цифровой шиной). Обратное также может произойти, если технико-экономическая оценка затрат на установку компонентов и ожидаемых результатов показывает, что другая структура является более экономически эффективной. На самом деле, затраты (с точки зрения приобретения и установки) этих компонентов, которые иногда имеют одно назначение, но разные характеристики, могут варьироваться в широких пределах и дают очень разные результаты:

- измерительные устройства могут измерять один или параметров с использованием расчетов или без них (энергия, мощность, cos φ).
- замена стандартного автоматического выключателя на выключатель с электронным расцепителем может обеспечить большим количеством информации на цифровой шине (дополнительно производятся мгновенные измерения токов, фазных и линейного напряжений, несбалансированности фазных токов и линейных напряжения, частоты, полной, активной и реактивной мощности и т.д.). Поэтому очень важно при проектировании этих систем определить цели в области энергоэффективности и ознакомить персонал со всеми технологическими решениями, в том числе с преимуществами, недостатками и какими-либо ограничениями, влияющими на их применение (см. **рис. K29**).

Для того чтобы охватить различные сценарии, необходимо поискать их в различных технических каталогах или проконсультироваться с производителем, который предлагает широкий спектр распределительных устройств и информационных систем. Некоторые производители, в том числе Schneider Electric, оказывают консультационные и исследовательские услуги тем, кто затрудняется в выборе компонентов и реализации систем.

	Энергосбережение	Оптимизация затрат	Повышение надежности и срока службы
Преобразователи частоты	●●●	●	●
Высокоэффективные двигатели и трансформаторы	●●●		
Источники питания двигателей	●●●		
Коррекция коэффициента мощности	●	●●●	
Подавление высокочастотных помех	●	●●	●
Конфигурация цепей			●●●
Резервные генераторы		●●	●●●
Источники бесперебойного питания (см. стр. N11)			●●●
Пусковые устройства	●	●	●●●
Координация защиты		●●	●●
Щиты управления двигателями	●●	●	
Интеллектуальная система телеметрии и телемеханики (уровень 1)	●●●	●●	●
Специализированная система телеметрии и телемеханики (уровень 2)	●	●●	●●●
Универсальная система телеметрии и телемеханики (уровень 3)			

Рис. K29. Таблица решений по энергосбережению

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Оценка энергосбережения

Одним из главных препятствий, стоящих перед теми, кто заинтересован в разработке и реализации проектов в области энергоэффективности, является отсутствие надежной финансовой информации для убедительного экономического обоснования. Чем больше инвестиции, тем выше потребность в заслуживающих доверия доказательствах предлагаемых преимуществ. Таким образом, очень важно иметь надежные методы количественной оценки результатов при инвестировании в энергоэффективность.

Информация этой главы взята из первого тома справочника IPMVP, выпущенного EVO (www.evo-world.com). International Performance Measurement & Verification Protocol (IPMVP) – международный протокол по контролю и верификации экономии финансовых средств – это методика оценки сбережения энергии.

5.1 Введение в IPMVP и EVO

Чтобы удовлетворить эту потребность, организация по оценки эффективности (EVO) опубликовала IPMVP (Международный протокол по контролю и верификации). В данном руководстве описываются процедуры, используемые при измерении, расчете и документированию результатов энергосбережения, достигнутого в результате различных проектов в области энергоэффективности. До настоящего времени EVO опубликовала три тома IPMVP, первый из которых «Концепции и возможные варианты определения энергии и экономии воды». Этот справочник предлагает различные методы стоимости и точности для расчета экономического эффекта при внедрении энергосберегающих технологий. Компания Schneider Electric использует этот документ при составлении проектов в области энергоэффективности.

Принципы и особенности IPMVP

Перед внедрением решения в области энергоэффективности следует проводить исследование, основанное на принципах IPMVP, в течение определенного периода, чтобы определить взаимосвязь, которая существует между использованием энергии и условиями эксплуатации. В течение этого периода контрольные величины определяются путем прямых измерений или простого анализа счетов за энергоснабжение.

После анализа эти данные используются для оценки количества энергии, называемого «уточненная-исходная энергии», которая была бы потреблена, если решение не было реализовано. Разница между сэкономленной энергии и «уточненной-исходной энергией» и есть сэкономленная энергия, которая фактически измеряется.
Если план проверки и измерения, выполняется вместе в рамках программы IPMVP, она должна быть:

- точной

Проверка и оценка отчетов должны быть как можно более точным для данного бюджета. Расходы, связанные с проверкой и измерениями, должны быть, как правило, сравнительно невелики по сравнению с ожидаемой экономией.

- полной

Изучение экономии энергии должно отражать полное влияние проекта.

- осторожной

Там, где существуют сомнения с точки зрения результатов, проверки и процедур измерения, не следует полагаться на рассматриваемые сбережения.

- последовательной

Отчет по энергоэффективности должен последовательно охватывать следующие факторы:

- различные виды проектов по энергоэффективности;
- эксперты различных сфер, участвующие в каждом проекте;
- различные периоды времени участия в каждом проекте;
- проекты в области энергоэффективности и новые проекты энергоснабжения.

- сответствующей

Определение экономии должно включать в себя измерения производительных параметров, которые имеют отношение к энергосбережению или менее хорошо известные, а оценка делается по менее критическим или более предсказуемым параметрам.

- прозрачной

Все измерения, задействованные в проверке и плане, должны быть представлены в ясной и подробной форме.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Оценка энергосбережения

Варианты IPMVP

Четыре уровня исследования или «вариантов», были определены в соответствии с целями, присвоенными этому подходу энергетической эффективности:

- Переоборудование системы изоляции с измерением всех ключевых параметров = Вариант A.
- Переоборудование системы изоляции с измерением всех параметров = Вариант B.
- Весь объект = Вариант C.
- Калиброванное моделирование = Вариант D.

Рис. K30 устанавливает эти параметры в таблице. Алгоритм на **рис. K31** показывает процесс выбора вариантов проекта.

	Вариант A	Вариант B	Вариант C	Вариант D
Применение	Объект модернизации: измерение ключевых параметров	Объект модернизации: измерение всех параметров	Здание целиком	Расчетные данные
Описание	Экономия определяется за счет полевых измерений ключевого параметра (-ов) расхода непосредственно на объекте, где проводились мероприятия по энергосбережению. Параметры, которые не попали в программу измерений, оцениваются примерно	Экономия определяется за счет измерения расхода энергии объектом, на котором проводились мероприятия по энергосбережению	Экономия определяется путем измерения потребления энергии зданием или его частью. Применяется непрерывное измерение потребления энергии в течение всего отчетного периода	Экономия определяется расчетным путем для здания или его части. Проверяется адекватность расчетных показателей путем сравнения их с реальными данными
Расчет сбережения	Инженерный расчет потребления энергии в исходный и отчетный периоды времени исходя из следующих данных: ■ кратковременные или постоянные замеры ключевых параметров расхода ■ оценочные параметры	Кратковременные или постоянные измерения расхода энергии в исходный и отчетный периоды времени	Анализ данных расхода энергии в исходный и отчетный периоды времени. Требуются дополнительные расчеты с использованием интерполяции или регрессионного анализа	Расчет потребления энергии, проверенный по часовому или месячному счету за электроэнергию
Когда использовать этот вариант	С одной стороны, данный вариант дает результат с погрешностью, связанной с приблизительной оценкой некоторых параметров. С другой стороны, этот вариант значительно дешевле варианта B	Вариант B дороже варианта A, т.к. измеряются все параметры, но, при необходимости получения точного результата, требуется применение именно этого варианта	Если на предприятии внедряются сразу несколько программ энергосбережения для разного оборудования, применение данного варианта расчета позволяет сократить затраты и объем работ	Вариант D применяется только в том случае, если отсутствуют данные расхода энергии за исходный период. Пример: производство, где до проведения энергосберегающих мероприятий отсутствовал счетчик электрической энергии, а проведение измерений исходного потребления требует чрезмерных дополнительных материальных затрат и времени

Рис. K30. Краткое описание вариантов IPMVP

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Оценка энергосбережения

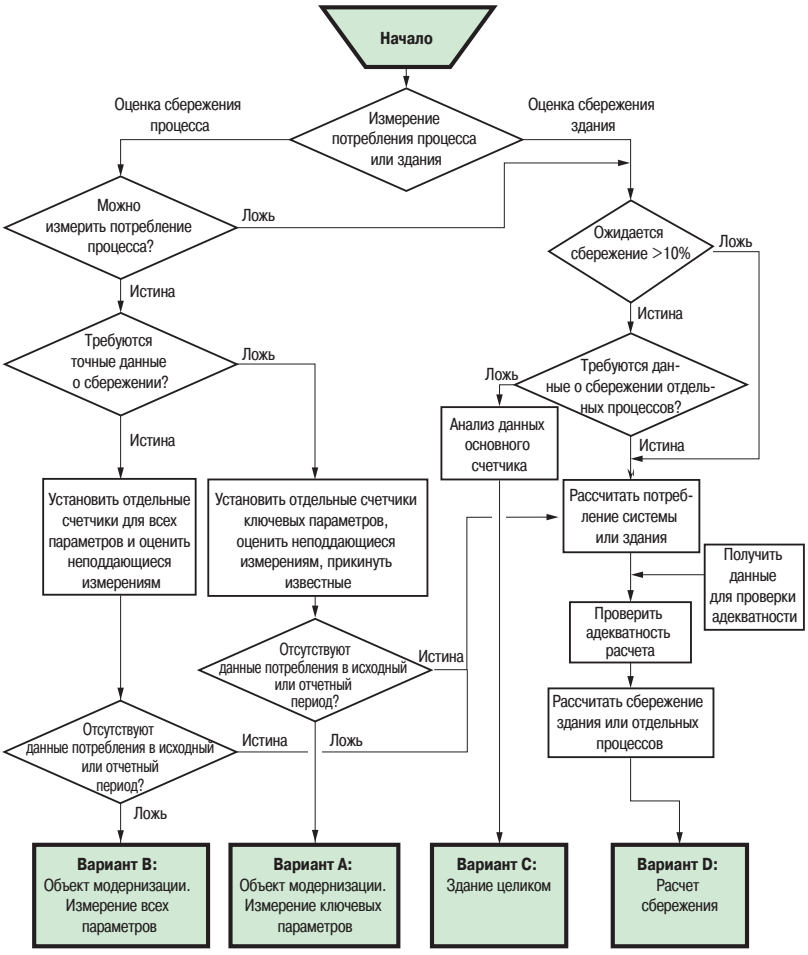


Рис. K31. Алгоритм выбора параметров IPMVP для проекта

5.2. Достижение устойчивого режима

После того как проведен энергетический аудит, и внедрены энергосберегающие технологии с известным сроком окупаемости, важно не останавливаться, а продолжать обслуживание оборудования для дальнейшей экономии. Если не продолжать работы, энергоэффективность имеет тенденцию к ухудшению. Если не существует непрерывного улучшения цикла, то производительность со временем может упасть до показателей, незначительно отличающихся от начальных (см. **рис. K32**).

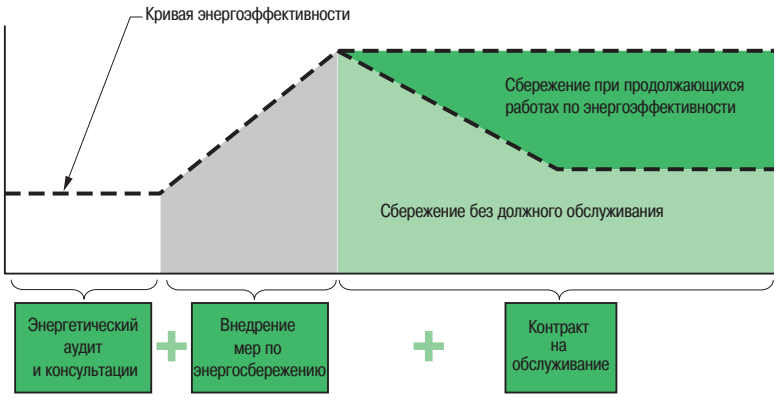


Рис. K32. Обеспечение устойчивого режима работы в течение долгого времени

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Оценка энергосбережения

Непрерывное улучшение цикла будет происходить только тогда, когда существует система мониторинга энергии на месте, и эта система эффективно используется и поддерживается. Система поддерживает непрерывный и активный анализ использования энергии на объекте, а также предоставляет рекомендации по улучшению электрической распределительной системы.

Служба поддержки имеет доступ на месте или удаленным способом (по телефону, электронной почте, через виртуальную сеть передачи данных частного пользователя или любой другой тип дальней связи) потому, что часто требуется обеспечение оптимальной производительности для данного типа системы и наиболее эффективного использования собранных данных. Благодаря их вкладу с точки зрения опыта и доступности эти услуги также дополняют работу, выполняемую оператором установки. Доступные услуги могут включать в себя:

- мониторинг производительности измерительных приборов;
- обновление и адаптацию программного обеспечения;
- управление базами данных (например, архивами);
- постоянную адаптацию системы мониторинга в соответствии с измененииями требований к управлению.

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

Глава L

Компенсация реактивной мощности

1 Коэффициент мощности и реактивная мощность L2
1.1 Определение коэффициента мощности L2
1.2 Определение реактивной мощности L2
1.3 Характер реактивной мощности L4
1.4 Реактивная мощность конденсаторов L4
1.5 Оборудование и установки, требующие реактивной энергии L4
1.6 Практические значения коэффициента мощности L5

2 Зачем повышать коэффициент мощности? L6
2.1 Снижение стоимости электроэнергии L6
2.2 Техническая/экономическая оптимизация L6

3 Как повысить коэффициент мощности? L8
3.1 Теоретические принципы L8
3.2 Какое оборудование использовать? L8
3.3 Выбор между нерегулируемой или автоматически регулируемой КБ L10

4 Где установить конденсаторы для компенсации реактивной мощности? L11
4.1 Централизованная компенсация L11
4.2 Групповая компенсация L11
4.3 Индивидуальная компенсация L12

5 Как достигнуть оптимального уровня компенсации? L13
5.1 Общий метод L13
5.2 Упрощенный метод L13
5.3 Метод, основанный на учете штрафных тарифов L15
5.4 Метод, основанный на снижении заявленного (договорного) максимума мощности (кВА) L15

6 Компенсация на зажимах трансформатора L16
6.1 Компенсация для повышения пропускной способности L16
6.2 Компенсация реактивной мощности, поглощаемой трансформатором L17

7 Повышение коэффициента мощности асинхронных двигателей L19
7.1 Соединение КБ и настройки защиты L19
7.2 Как предотвратить самовозбуждение асинхронного двигателя? L20

8 Пример установки до и после компенсации реактивной мощности L21

9 Влияние гармоник L22
9.1 Проблемы в энергосистемах, возникающие из-за гармоник L22
9.2 Риск резонанса L23
9.3 Возможные решения L24

10 Применение КБ L26
10.1 Емкостные элементы L26
10.2 Выбор устройств защиты и управления и соединительных кабелей L27

© Schneider Electric – все права защищены

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Коэффициент мощности и реактивная мощность

1.1 Определение коэффициента мощности

Коэффициент мощности является показателем качества проектирования и управления электроустановкой. Он опирается на два самых основных понятия: активная и реактивная мощность.

Активная мощность P (кВт) – это реальная мощность, которая используется потребителями, такими как двигатели, лампы, обогреватели, и компьютеры. Электрическая активная мощность преобразуется в механическую энергию, тепла или света.

В цепи, где применяется действующее напряжение V_{rms} и циркулирует действующий ток I_{rms}, **полная мощность S (кВА)** является произведением V_{rms} x I_{rms}.

Полная мощность является основой для выбора номинальных параметров электрооборудования.

Коэффициент мощности λ является отношением активной мощности P (кВт) к полной мощности S (кВА):

$$\lambda = \frac{P(\text{кВт})}{S(\text{кВА})}$$

Нагрузкой может быть одиночный энергоемкий элемент или несколько элементов (например, целая установка).

Значение коэффициента мощности будет колебаться от 0 до 1.

1.2 Определение реактивной мощности

Для большинства электрических нагрузок, таких как двигательная, ток I отстает от напряжения V на угол φ.

Если токи и напряжения являются идеально синусоидальными, то векторная диаграмма может использоваться для наглядного пособия. В этой векторной диаграмме вектор тока можно разделить на две составные части: одна в фазе с вектором напряжения (компонент Ia), один перпендикулярно (отстающие на 90 градусов) вектору напряжения (компонент Ir). См. **рис. L1**.

I_a называется **«активной»** составляющей тока.

I_r называют **«реактивной»** составляющей тока.

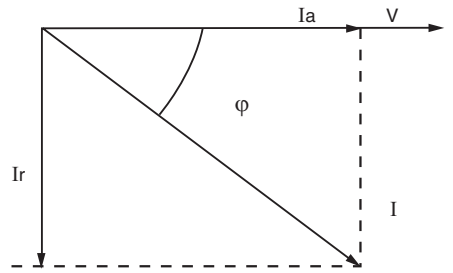


Рис. L1. Векторная диаграмма тока

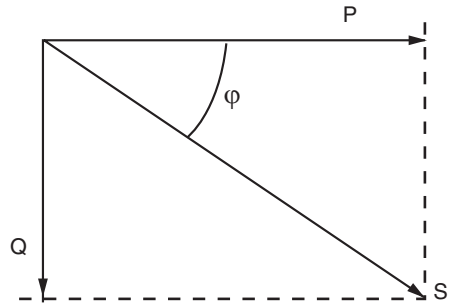


Рис. L2. Векторная диаграмма мощности

Предыдущая векторная диаграмма для токов также верна и получается путем умножения каждого тока на общее напряжение V.

Таким образом:

Полная мощность:	S = V x I	(кВА)
Активная мощность:	P = V x Ia	(кВт)
Реактивная мощность:	Q = V x Ir	(квар)

Из этой диаграммы мы видим, что:

- Коэффициент мощности: P/S = cos φ

Эта формула применима для синусоидальных токов и напряжений. Поэтому коэффициент мощности называют «коэффициент реактивной мощности».

- Q/S = sin φ
- Q/P = tan φ

Откуда получается простая формула, связывающая активную и реактивную мощности: $S^2 = P^2 + Q^2$

Коэффициент мощности, близкий к единице, означает, что полная мощность S минимальна. Это означает, что применяется электрическое оборудование с минимальными номинальными характеристиками для передачи заданной активной мощности P на нагрузку. Реактивная мощность мала по сравнению с активной мощностью.

Низкое значение коэффициента мощности указывает на противоположное состояние системы.

Полезные формулы (для сбалансированных и почти сбалансированных нагрузок для 4-проводных систем):

- **Активная мощность P** (кВт)
  - ☐ однофазная (1 фаза и нейтраль): P = V.I.cos φ
  - ☐ однофазная (фаза-фаза): P = U.I.cos φ
  - ☐ трехфазная (3 провода или 3 провода + нейтраль): P = √3.U.I.cos φ
- **Реактивная мощность Q** (квар)
  - ☐ однофазная (1 фаза и нейтраль): Q = V.I.sin φ
  - ☐ однофазная (фаза-фаза): Q = U.I.sin φ
  - ☐ трехфазная (3 провода или 3 провода + нейтраль): Q = √3.U.I.sin φ

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Коэффициент мощности и реактивная мощность

■ **Полная мощность S** (кВА)
□ однофазная (1 фаза и нейтраль): $S = V.I$
□ однофазная (фаза-фаза): $S = U.I$
□ трехфазная (3 провода или 3 провода + нейтраль): $S = \sqrt{3}.U.I$,

где:

V – линейное напряжение;

U – фазное напряжение;
I – ток;
φ – угол между векторами напряжения и тока.

Пример расчета мощности (см. **рис. L3**)

Тип цепи		Полная мощность S (кВА)	Актив. мощность P (кВт)	Реакт. мощность Q (квар)
Однофазная (фаза и нейтраль)		$S = VI$	$P = VI \cos \varphi$	$Q = VI \sin \varphi$
Однофазная (фаза-фаза)		$S = UI$	$P = UI \cos \varphi$	$Q = UI \sin \varphi$
Пример:	нагрузка 5 кВт $\cos \varphi = 0,5$	10 кВА	5 кВт	8,7 квар
Трехфазная (3 провода или 3 провода + нейтраль)		$S = \sqrt{3}\,UI$	$P = \sqrt{3}\,UI \cos \varphi$	$Q = \sqrt{3}\,UI \sin \varphi$
Пример:	Двигатель Pn = 51 кВт $\cos \varphi = 0,86$ $\rho = 0,91$ (КПД двигателя)	65 кВА	56 кВт	33 квар

Рис. L3. Пример расчета активной и реактивной мощности

Расчет для трехфазной нагрузки, рассмотренной ранее:
Pn = мощность на валу = 51 кВт
P = потребляемая активная мощность

$$P = \frac{Pn}{\rho} = \frac{51}{0,91} = 56 \text{ кВт}$$

S = полная мощность

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{56}{0,86} = 65 \text{ кВА}$$

Таким образом, используя диаграмму на **рис. L16** или карманный калькулятор вычисляем, что, значение tg φ, соответствующее cos φ = 0,86, равно 0,59
Q = P tg φ = 56 x 0,59 = 33 квар (см. **рис. L4**).

или

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{65^2 - 56^2} = 33 \text{ квар}$$

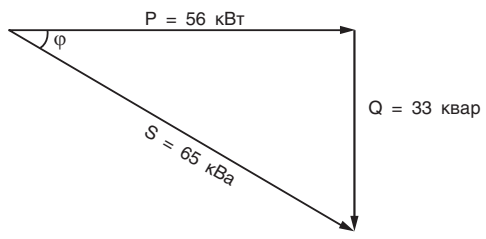


Рис. L4. Треугольник мощностей

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Коэффициент мощности и реактивная мощность

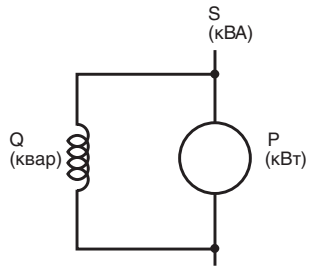


Рис. L5. Необходимая активная P и реактивная Q мощности энергосистемы для работы электродвигателя

1.3 Характер реактивной мощности

Все индукционные (т.е. электромагнитные) машины и устройства, работающие в составе систем переменного тока, преобразуют электрическую энергию от генераторов энергосистемы в механическую работу и тепло. Такая энергия измеряется счетчиками в кВт·ч и называется активной энергией.

Для осуществления такого преобразования необходимо образование магнитных полей в машинах. Магнитное поле создается за счет циркуляции тока в катушках, которые являются индуктивными элементами. По этой причине ток в этих катушках отстает на 90° от напряжения и представляет собой реактивный ток, потребляемый машиной.

Следует отметить, что хотя реактивная мощность не забирает энергию из системы, она вызывает потери энергии в системах передачи и распределения из-за нагрева проводников.

В реальных энергосистемах реактивные составляющие токов нагрузок неизменно индуктивны, а модули полного сопротивления систем передачи и распределения преимущественно индуктивно-реактивны. Индуктивный ток через индуктивное реактивное сопротивление – наихудший возможный режим падения напряжения (т.е. прямая противофаза напряжению системы).

По этим двум причинам (потери мощности и падения напряжения) сетевые компании работают для уменьшения количества реактивного (индуктивного) тока в максимально возможной степени.

1.4 Реактивная мощность конденсаторов

Ток, протекающий через конденсаторы, опережает напряжение на 90 °. Вектор тока тогда находится в противофазе с вектором индуктивной нагрузки. Именно из-за этого принципа конденсаторы используются в электрических системах для того, чтобы компенсировать реактивную мощность, потребляемую индуктивной нагрузкой, например, двигательной.

Индуктивно-реактивная мощность условно-положительная (поглощается индуктивной нагрузкой), в то время как емкостная реактивная мощность является отрицательной (вырабатывается емкостной нагрузкой).

Как и реактивно-индуктивные нагрузки, так и реактивные сопротивления линии вызывают падение напряжения, а реактивные емкостные токи имеют обратное влияние на уровень напряжения, они вызывает повышение напряжения в энергетических системах.

1.5 Оборудование и установки, требующие реактивной энергии

Всем установкам и приборам переменного тока, включающим в себя электромагнитные устройства или зависящим от магнитносвязанных обмоток, требуется, в той или иной степени, реактивный ток для создания магнитного потока.

Общепримеримыми единицами оборудования этого класса являются трансформаторы и реакторы, двигатели и разрядные лампы (т.е. балластные сопротивления) (см. **рис. L6**).

Соотношение реактивной (квар) и активной (кВт) мощности при полностью нагруженной единице оборудования зависит от характеристик этого оборудования:

- 65-75% для асинхронных двигателей (соответствующий cos φ = 0,8 – 0,85);
- 5-10% для трансформаторов (соответствующий cos φ близок к 0,995).

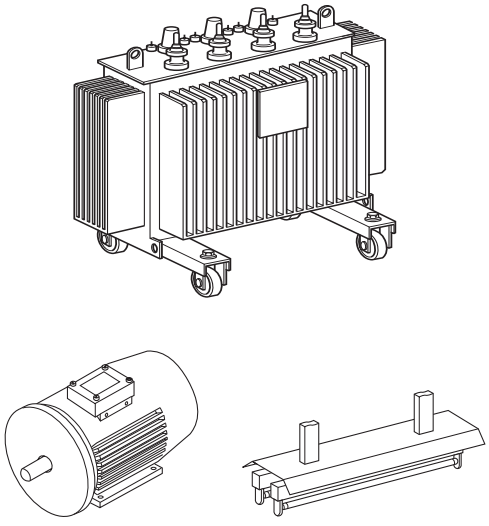


Рис. L6. Потребители реактивной мощности

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Коэффициент мощности и реактивная мощность

1.6 Практические значения коэффициента мощности

Средние значения коэффициента мощности для наиболее распространенного оборудования (см. **рис. L7**)

Оборудование			cos φ	tg φ
■ Стандартный асинхронный двигатель	при нагрузке	0%	0,17	5,80
		25%	0,55	1,52
		50%	0,73	0,94
		75%	0,80	0,75
		100%	0,85	0,62
■ Лампы накаливания			1,0	0
■ Флуоресцентные лампы (без компенсации)			0,5	1,73
■ Флуоресцентные лампы (с компенсацией)			0,93	0,39
■ Газоразрядные лампы			0,4 - 0,6	2,29 - 1,33
■ Печи сопротивления			1,0	0
■ Печи индукционного нагрева (с компенсацией)			0,85	0,62
■ Диэлектрические электропечи			0,85	0,62
■ Резистивные паяльные аппараты			0,8 - 0,9	0,75 - 0,48
■ Стационарные сварочные аппараты для дуговой сварки			0,5	1,73
■ Мотор-генераторная силовая установка дуговой сварки			0,7 - 0,9	1,02 - 0,48
■ Установка «трансформатор-выпрямитель» дуговой сварки			0,7 - 0,9	1,02 - 0,75
■ Электродуговая печь			0,8	0,75

Рис. L7. Значения cos φ и tg φ для наиболее распространенного оборудования

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Зачем повышать коэффициент мощности?

Повышение коэффициента мощности установки обеспечивает несколько технических и экономических преимуществ, в частности, снижение затрат на электроэнергию

2.1 Снижение стоимости электроэнергии

Оптимальное регулирование потребления реактивной мощности дает ниже следующие экономические преимущества.

Приводимая информация основана на фактической структуре тарифных ставок, общепринятой в Европе и направленной на стимулирование потребителей минимизировать потребление реактивной мощности.

Установка конденсаторов для повышения коэффициента мощности позволяет потребителям снижать затраты на электроэнергию за счет поддержания уровня потребления реактивной мощности ниже значения, согласованного (по договору) с поставщиком электроэнергии. В рамках рассматриваемой тарифной структуры счет за потребленную реактивную энергию выставляется по критерию tg φ. Как указано выше:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{Q\ (\text{квар})}{P\ (\text{кВт})}$$

То же соотношение справедливо и для энергии:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{Q\ (\text{квар·ч})}{P\ (\text{кВт·ч})}$$

Электроснабжающая организация поставляет реактивную энергию бесплатно:
■ До точки, в которой ее потребление составляет менее 40% от потребления активной энергии (tg φ = 0,4) в течение максимального периода 16 часов в день (с 06-00 до 22-00 ч) в часы наибольшей нагрузки (часто зимой).
■ Без ограничения в периоды низкой нагрузки зимой, весной и летом.
В течение периодов ограничения счет за реактивную энергию, потребленную свыше 40% активной энергии (tg φ > 0,4), выставляется ежемесячно по текущим тарифам. Таким образом, количество реактивной энергии, оплачиваемой потребителем в такие периоды, составляет:
квар·ч (к оплате) = кВт·ч (tg φ – 0.4), где:
□ кВт·ч – активная энергия, потребленная в периоды ограничения;
□ кВт·ч tg φ – общая реактивная энергия за период ограничения;
□ 0,4 кВт·ч – количество реактивной энергии, поставленной бесплатно за период ограничения.

tg φ = 0,4 соответствует коэффициенту мощности 0,93. Таким образом, если в периоды ограничения коэффициент мощности никогда не упадет ниже 0,93, потребитель ничего не будет платить за потребленную реактивную мощность.

Однако, получая такие преимущества пониженных затрат на электроэнергию, потребитель должен учитывать стоимость приобретения, установки и обслуживания конденсаторов для повышения коэффициента мощности, а также автоматических регуляторов (в случае ступенчатой компенсации) вместе с дополнительными кВт·ч, потребляемыми диэлектриками. Учитывая такие затраты на конденсаторы, может оказаться более экономически выгодным обеспечивать только частичную компенсацию, т.е. оплата некоторой потребляемой реактивной энергии может обходиться дешевле, чем 100% компенсация.

Вопрос повышения коэффициента мощности – это, прежде всего, вопрос оптимизации (за исключением очень простых случаев).

Повышение коэффициента мощности позволяет уменьшить номинальные значения мощности трансформаторов, распределительных устройств, кабелей и т.д., а также сократить потери мощности и ограничить потери напряжения

2.2 Техническая/экономическая оптимизация

Высокий коэффициент мощности позволяет оптимизировать все компоненты системы, то есть избежать завышения номиналов определенного оборудования. Для получения оптимальных результатов необходимо устанавливать компенсирующие устройства как можно ближе к потребителю реактивной (индуктивной) энергии.

Уменьшение сечения кабелей

На **рис. L8** показано необходимое увеличение сечения кабелей при снижении коэффициента мощности с единицы до 0,4, при той же активной мощности.

Снижение потерь (P, кВт) в проводниках

Множитель для площади поперечного сечения жил(ы) кабеля	1	1,25	1,67	2,5
cos φ	1	0,8	0,6	0,4

Рис. L8. Множитель для сечения кабеля в зависимости от cos φ

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Зачем повышать коэффициент мощности?

Потери в кабелях пропорциональны квадрату тока и измеряются счетчиком установки в кВт·ч. Например, снижение общего тока в проводнике на 10% приводит к снижению потерь почти на 20%.

Снижение потерь напряжения

Конденсаторы для повышения коэффициента мощности снижают или даже полностью устраняют реактивный (индуктивный) ток в вышележащих проводниках, тем самым снижая или устраняя потери напряжения.

Примечание: избыточная компенсация приводит к повышению напряжения на конденсаторах.

Повышение пропускной способности

Повышение коэффициента мощности нагрузки, питаемой от трансформатора, приводит к снижению тока через трансформатор, что позволяет добавлять нагрузку. На практике может оказаться дешевле повысить коэффициент мощности (1), чем заменить трансформатор на больший номинал.

Этот вопрос рассматривается в разделе 6.

(1) Как было отмечено ранее, другие преимущества могут быть получены при большом значении коэффициента мощности.

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Как повысить коэффициент мощности?

Повышение коэффициента мощности требует блока конденсаторов, служащего в качестве источника реактивной мощности. Устройство обеспечивает компенсацию реактивной мощности.

3.1 Теоретические принципы

Индуктивная нагрузка, имеющая низкий коэффициент мощности, требует от генераторов и систем передачи/распределения пропускать реактивный ток (с отставанием от напряжения системы на 90 градусов) с сопутствующими потерями активной мощности и повышенными потерями напряжения, как указывается в п.1.1. Если блок шунтирующих конденсаторов добавить к нагрузке, его (емкостный) реактивный ток будет проходить по тому же пути через энергосистему, как и реактивный ток нагрузки. Поскольку (как указывается в п.1.1) такой емкостный ток I_c (который опережает напряжение системы на 90 градусов) находится в противофазе реактивному току нагрузки (I_L), две составляющие, протекающие по одному пути, будут компенсировать друг друга. При этом, если мощность конденсаторной батареи (КБ) значительна, и $I_c = I_L$, то реактивный ток системы будет равен нулю.

На **рис. L9 (a)** и **(b)**, показаны реактивные составляющие тока, где:

R – элементы, потребляющие активную мощность нагрузки;

L – элементы, потребляющие реактивную (индуктивную) мощность нагрузки;

C – элементы, генерирующие реактивную (емкостную) мощность (конденсаторы).

Как видно из диаграммы (**b**) **рис. L9**, блок конденсаторов C подает весь реактивный ток нагрузки. По этой причине конденсаторы иногда называются «генераторами реактивной мощности – VAR». На схеме (**c**) на **рис. L9** приведены реактивные и активные токи при $I_c = I_L$ и показано, что нагрузка (при полной компенсации) представляется энергосистеме как имеющая коэффициент мощности 1.

Как правило, полная компенсация нагрузки не является экономически целесообразной.

На **рис. L10** приведены треугольники мощностей (п. 1.2, **рис. L2**), для демонстрации принципа компенсации путем снижения большой реактивной мощности Q до меньшего значения Q' посредством КБ мощностью Qc. При этом величина полной мощности S снижается до S'.

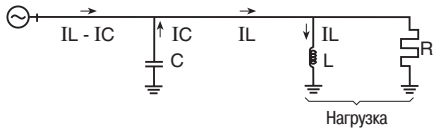
Пример:

Двигатель потребляет 100 кВт при коэффициенте мощности 0,75 (tg φ = 0,88). Для повышения коэффициента мощности до 0,93 (tg φ = 0,4), реактивная мощность конденсаторов должна составлять: Qc = 100 (0,88 – 0,4) = 48 квар.

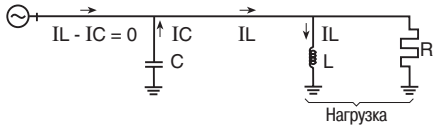
Выбор уровня компенсации и расчет номинальных параметров КБ зависит от конкретной нагрузки. Факторы, подлежащие учету, разъясняются в разделе 5 для общего случая и в разделах 6 и 7 для трансформаторов и двигателей.

Примечание: перед тем, как реализовать проект компенсации, следует принять ряд мер для повышения коэффициента мощности без применения КБ. В частности, следует избегать завышения номинальных значений мощности двигателей, также как и работы двигателей в режиме холостого хода. В последнем случае реактивная мощность, потребляемая двигателем, приводит к крайне низкому коэффициенту мощности (до 0,17). Это вызвано малой активной мощностью кВт, потребляемой двигателем в ненагруженном состоянии.

a) Проходят только реактивные составляющие тока



b) При $I_c = I_L$ вся реактивная мощность подается от блока конденсаторов



c) Показаны все токи, $I_c = I_L$

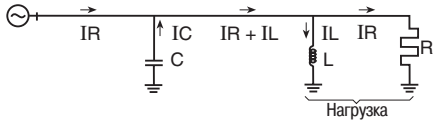


Рис. L9. Особенности компенсации коэффициента мощности

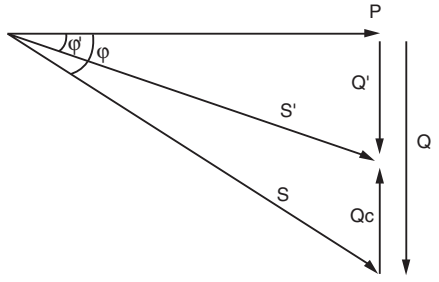


Рис. L10. Диаграмма, показывающая принцип компенсации:
Qc = P (tg φ – tg φ')

3.2 Какое оборудование использовать?

Компенсация на стороне низкого напряжения

При низком напряжении компенсация обеспечивается посредством:

- нерегулируемой КБ;
- многосекционной КБ, позволяющей осуществлять автоматическое регулирование ее мощности при изменении нагрузки.

Примечание: если установленная реактивная мощность компенсации превышает 800 квар, и нагрузка является постоянной и устойчивой, как правило, экономически выгодно устанавливать КБ на стороне высокого напряжения.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Как повысить коэффициент мощности?

При подходящих условиях компенсация может осуществляться с помощью КБ постоянной мощности.

Нерегулируемые КБ (см. рис. L11)

Такая КБ состоит из одного или более конденсаторов и обеспечивает постоянный уровень компенсации. Управление может быть:
- ручным: посредством выключателя или выключателя нагрузки;
- полуавтоматическим: посредством контактора;
- прямым подключением к нагрузке и коммутацией вместе с ней.

Такие конденсаторы применяются:
- на зажимах индуктивных устройств (двигателей и трансформаторов);
- на сборных шинах, питающих ряд небольших двигателей и индуктивное оборудование, для которого индивидуальная компенсация стоит слишком дорого;
- в тех случаях, когда уровень нагрузки является достаточно постоянным.

Рис. L11. Пример нерегулируемых КБ

Как правило, компенсация осуществляется с помощью автоматически регулируемой КБ.

Автоматические регулируемые КБ (см. рис. L12)

Этот тип оборудования обеспечивает автоматическое управление компенсацией реактивной мощности и поддержание выбранного уровня коэффициента мощности в узких пределах. Такое оборудование применяется на нагрузках с относительно большими изменениями активной и/или реактивной мощности, например:
- на сборных шинах главного распределительного щита;
- на зажимах высоконагруженного кабеля.

Рис. L12. Пример автоматически регулируемой КБ

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Как повысить коэффициент мощности?

Автоматическое регулирование мощности КБ дает возможность быстрой адаптации уровня компенсации к уровню нагрузки.

Принципы и причины применения автоматической компенсации

Блок конденсаторов разделяется на ряд секций, каждая из которых управляется контактором. Контактор подключает его секцию параллельно с другими уже работающими секциями. Поэтому емкость батареи может увеличиваться или уменьшаться ступенчато путем включения и отключения контакторов управления.

Управляющее реле контролирует коэффициент мощности силовой цепи и служит для включения или отключения соответствующих контакторов для поддержания постоянного коэффициента мощности системы (в пределах зоны нечувствительности, зависящей от мощности одной ступени). Трансформатор тока для управляющего реле должен располагаться в фазе входного кабеля, питающего подконтрольные цепи (см. **рис. L13**).

Оборудование для компенсации реактивной мощности, включающее в себя статические контакторы (тиристоры) вместо стандартных контакторов, особенно подходит для определенных нагрузок, включающих в себя оборудование с быстрым циклом и/или высокой чувствительностью к возмущениям, возникающим при переходных процессах.

Преимущества статических контакторов:
- мгновенная реакция на любое изменение коэффициента мощности (время реакции – 2 с или 40 мс в зависимости от регулятора);
- неограниченное число операций (срабатываний);
- устранение переходных процессов в сети при включении конденсаторов;
- бесшумная работа.

Тщательная подгонка компенсации под уровень, требуемый нагрузкой, позволяет предотвращать перенапряжения при низкой нагрузке, т.е. предотвращать режим перенапряжения и возможность повреждения оборудования. Перенапряжения из-за чрезмерной реактивной компенсации зависят, отчасти, от значения полного сопротивления источника.

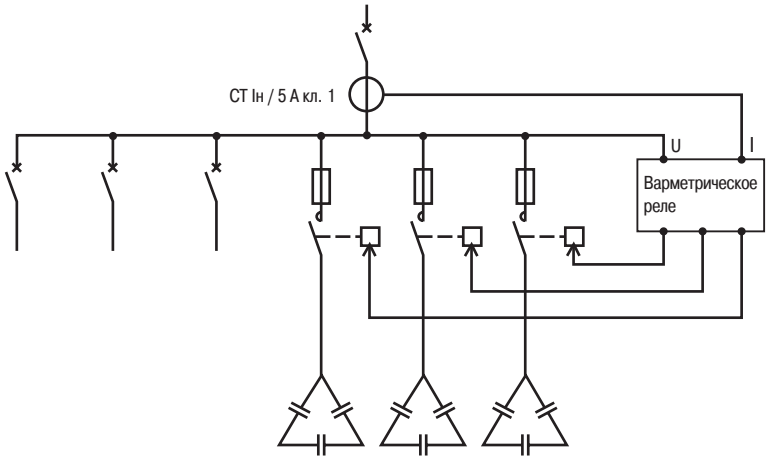


Рис. L13. Принцип управления автоматической компенсацией

3.3 Выбор между нерегулируемой или автоматически регулируемой КБ

Общепринятые правила

Если номинальная реактивная мощность (квар) не превышает 15% номинальной мощности силового трансформатора, может применяться постоянная компенсация. Свыше 15% рекомендуется устанавливать автоматически управляемый блок (батарею) конденсаторов. Местоположение конденсаторов низкого напряжения в установке определяет режим компенсации, который может быть централизованным (одно устройство для всей нагрузки), групповым, индивидуальным (на каждой нагрузке – отдельное устройство) или некоторой комбинацией последних двух. В принципе, оптимальная компенсация обеспечивается в точке потребления на уровне, требуемом в данный момент.

На практике, выбор определяется техническими и экономическими факторами.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Где установить конденсаторы для компенсации реактивной мощности?

Там, где нагрузка является постоянной и стабильной, может применяется централизованная компенсация.

4.1 Централизованная компенсация (см. рис. L14)

Принцип

Блок (батарея) конденсаторов подсоединяется к сборным шинам главного низковольтного распределительного щита.

Преимущества

Централизованная компенсация обеспечивает:

- экономию средств за избыточное потребление реактивной мощности;
- снижение требуемой полной мощности (кВА), на которой, как правило, основан счет за электроэнергию;
- снижение нагрузки силового трансформатора, который становится способным принять дополнительную нагрузку при необходимости.

Недостатки

- Реактивный ток продолжает протекать по всем проводникам кабелей от главного низковольтного распределительного щита.
- По этой причине централизованный режим компенсации не обеспечивает возможность уменьшения сечения таких кабелей и снижения потерь в них.

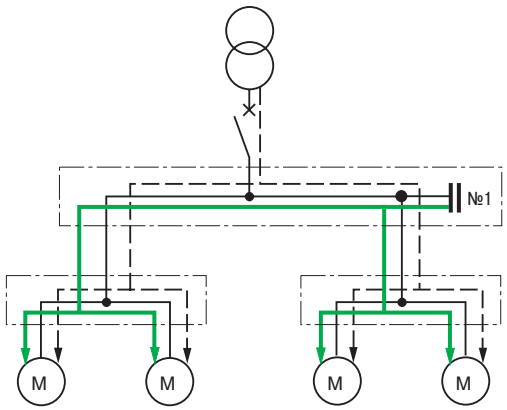


Рис. L14. Централизованная компенсация

Посекционная компенсация рекомендуется в случае большой системы и в том случае, когда графики нагрузки (P = f(t)) различны для разных частей установки.

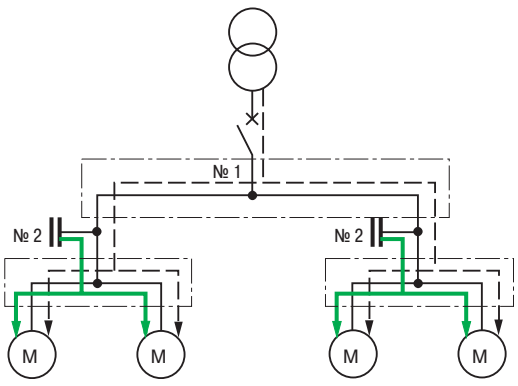


Рис. L15. Посекционная компенсация

4.2 Групповая компенсация

Принцип

Блоки конденсаторов подсоединяются к сборным шинам каждого локального распределительного щита, как показано на рис. L15.

Значительная часть системы выигрывает от такой схемы, в частности, разгружаются питающие кабели, от главного распределительного щита к каждому локальному распределительному щиту, на котором осуществляется компенсация.

Преимущества

Групповая компенсация обеспечивает:

- снижение платы за избыточное потребление реактивной мощности;
- снижение требуемой полной мощности (кВА), на которой, как правило, основана постоянная плата за электроэнергию;
- снижение нагрузки силового трансформатора, который становится способным принять дополнительную нагрузку при необходимости;
- возможность уменьшения сечений кабелей, питающих локальные распределительные щиты, или использования таких кабелей без уменьшения сечений для обеспечения дополнительной пропускной способности на случай повышения нагрузки;
- снижение потерь в кабелях.

Недостатки

- Реактивный ток продолжает протекать по всем проводникам кабелей от местных низковольтных распределительных щитов.
- По этой причине посекционная компенсация не обеспечивает возможность уменьшения сечений этих кабелей и снижения потерь в них.
- При больших изменениях нагрузки.

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Где установить конденсаторы для компенсации реактивной мощности?

Применение индивидуальной компенсации следует рассматривать при значительной мощности ЭП в сравнении с мощностью системы.

4.3 Индивидуальная компенсация

Принцип

Конденсаторы подсоединяются непосредственно к зажимам индуктивной цепи (например, к двигателям, см. раздел 7). Индивидуальную компенсацию следует применять, когда мощность двигателя имеет большое значение по отношению к заявленной мощности (кВА) установки. Номинальная реактивная мощность (квар) КБ составляет порядка 25% номинальной мощности (кВт) двигателя. Дополнительная компенсация непосредственно на вводе трансформатора обеспечивает дополнительные преимущества.

Преимущества

Индивидуальная компенсация обеспечивает:

- снижение платы за избыточное потребление реактивной мощности;
- снижение требуемой полной мощности (кВА);
- уменьшение сечения всех кабелей, снижение потерь в кабелях.

Комментарии

- Значительные реактивные токи больше не существуют в установке.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Как достигнуть оптимального уровня компенсации?

5.1 Общий метод

Составление ведомости потребления реактивной мощности на стадии проектирования

Такая ведомость составляется аналогично (и одновременно) с ведомостью потребляемой активной мощности, как описывается в разделе A. После составления таких ведомостей определяются величины потребляемой активной и реактивной мощности на каждом уровне установки (как правило, в точках основных и промежуточных распределительных цепей).

Технико-экономическая оптимизация для существующей установки

Оптимальная мощность конденсаторов для компенсации коэффициента мощности существующей установки может определяться на основе следующих основных факторов:

- счетов за электроэнергию до установки конденсаторов;
- счетов за электроэнергию, ожидаемые после установки конденсаторов;
- затрат:
  - на приобретение конденсаторов и устройств управления (контакторы, реле, распределительные щиты и т.д.);
  - на установку и техобслуживание;
  - связанные с потерями из-за нагрева конденсаторов, в сравнении с пониженными потерями в кабелях, трансформаторе и т.д. после установки конденсаторов.

Несколько упрощенных методов, применяемых в отношении стандартных тарифов (общепринятых в Европе), приводятся в подразделах 5.3 и 5.4.

5.2 Упрощенный метод

Общий принцип

Ориентировочный расчет применим, как правило, для большинства практических случаев и может быть основан на предположении о коэффициенте мощности 0,8 (отстающем) до компенсации. Метод повышения коэффициента мощности до значения, достаточного для предотвращения штрафных тарифов (они зависят от местных структур тарифов, но здесь он полагается равным 0,93) и снижения потерь мощности и напряжения в установке, рассматривается на основе данных, приводимых на **рис. L16** на следующей странице.

Как видно из приводимой таблицы, повышение коэффициента мощности с 0,8 до 0,93 потребует 0,355 квар на кВт нагрузки. Мощность блока конденсаторов на сборных шинах главного распределительного щита системы составляет:

Q (квар) = 0,355 x P (кВт).

Данный упрощенный метод позволяет быстро определить требуемый тип конденсаторов для компенсации реактивной мощности (централизованные, групповые или индивидуальные).

Пример

Требуется повысить коэффициент мощности установки 666 кВА с 0,75 до 0,928. Требуемая активная мощность составляет 666 x 0,75 = 500 кВт.
На **рис. L16**, на пересечении строки cos φ = 0,75 (до компенсации) и столбца cos φ = 0,93 (после компенсации) находим значение 0,487 квар компенсации на 1 кВт нагрузки.
Следовательно, для нагрузки 500 кВт требуемая мощность емкостей компенсации составляет 500 x 0,487 = 244 квар.
Примечание: данный метод применим при любом уровне напряжения, т.е. не зависит от напряжения.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Как достигнуть оптимального уровня компенсации?

До компенсации		Номинальное значение (квар) блока конденсаторов, устанавливаемого на кВт нагрузки для повышения cos φ (коэффициент мощности) или tg φ до заданного значения													
		tg φ	0,75	0,59	0,48	0,46	0,43	0,40	0,36	0,33	0,29	0,25	0,20	0,14	0,0
tg φ	cos φ	cos φ	0,80	0,86	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1
2,29	0,40		1,557	1,691	1,805	1,832	1,861	1,895	1,924	1,959	1,998	2,037	2,085	2,146	2,288
2,22	0,41		1,474	1,625	1,742	1,769	1,798	1,831	1,840	1,896	1,935	1,973	2,021	2,082	2,225
2,16	0,42		1,413	1,561	1,681	1,709	1,738	1,771	1,800	1,836	1,874	1,913	1,961	2,022	2,164
2,10	0,43		1,356	1,499	1,624	1,651	1,680	1,713	1,742	1,778	1,816	1,855	1,903	1,964	2,107
2,04	0,44		1,290	1,441	1,558	1,585	1,614	1,647	1,677	1,712	1,751	1,790	1,837	1,899	2,041
1,98	0,45		1,230	1,384	1,501	1,532	1,561	1,592	1,628	1,659	1,695	1,737	1,784	1,846	1,988
1,93	0,46		1,179	1,330	1,446	1,473	1,502	1,533	1,567	1,600	1,636	1,677	1,725	1,786	1,929
1,88	0,47		1,130	1,278	1,397	1,425	1,454	1,485	1,519	1,532	1,588	1,629	1,677	1,758	1,881
1,83	0,48		1,076	1,228	1,343	1,370	1,400	1,430	1,464	1,497	1,534	1,575	1,623	1,684	1,826
1,78	0,49		1,030	1,179	1,297	1,326	1,355	1,386	1,420	1,453	1,489	1,530	1,578	1,639	1,782
1,73	0,50		0,982	1,232	1,248	1,276	1,303	1,337	1,369	1,403	1,441	1,481	1,529	1,590	1,732
1,69	0,51		0,936	1,087	1,202	1,230	1,257	1,291	1,323	1,357	1,395	1,435	1,483	1,544	1,686
1,64	0,52		0,894	1,043	1,160	1,188	1,215	1,249	1,281	1,315	1,353	1,393	1,441	1,502	1,644
1,60	0,53		0,850	1,000	1,116	1,144	1,171	1,205	1,237	1,271	1,309	1,349	1,397	1,458	1,600
1,56	0,54		0,809	0,959	1,075	1,103	1,130	1,164	1,196	1,230	1,268	1,308	1,356	1,417	1,559
1,52	0,55		0,769	0,918	1,035	1,063	1,090	1,124	1,156	1,190	1,228	1,268	1,316	1,377	1,519
1,48	0,56		0,730	0,879	0,996	1,024	1,051	1,085	1,117	1,151	1,189	1,229	1,277	1,338	1,480
1,44	0,57		0,692	0,841	0,958	0,986	1,013	1,047	1,079	1,113	1,151	1,191	1,239	1,300	1,442
1,40	0,58		0,665	0,805	0,921	0,949	0,976	1,010	1,042	1,076	1,114	1,154	1,202	1,263	1,405
1,37	0,59		0,618	0,768	0,884	0,912	0,939	0,973	1,005	1,039	1,077	1,117	1,165	1,226	1,368
1,33	0,60		0,584	0,733	0,849	0,878	0,905	0,939	0,971	1,005	1,043	1,083	1,131	1,192	1,334
1,30	0,61		0,549	0,699	0,815	0,843	0,870	0,904	0,936	0,970	1,008	1,048	1,096	1,157	1,299
1,27	0,62		0,515	0,665	0,781	0,809	0,836	0,870	0,902	0,936	0,974	1,014	1,062	1,123	1,265
1,23	0,63		0,483	0,633	0,749	0,777	0,804	0,838	0,870	0,904	0,942	0,982	1,030	1,091	1,233
1,20	0,64		0,450	0,601	0,716	0,744	0,771	0,805	0,837	0,871	0,909	0,949	0,997	1,058	1,200
1,17	0,65		0,419	0,569	0,685	0,713	0,740	0,774	0,806	0,840	0,878	0,918	0,966	1,007	1,169
1,14	0,66		0,388	0,538	0,654	0,682	0,709	0,743	0,775	0,809	0,847	0,887	0,935	0,996	1,138
1,11	0,67		0,358	0,508	0,624	0,652	0,679	0,713	0,745	0,779	0,817	0,857	0,905	0,966	1,108
1,08	0,68		0,329	0,478	0,595	0,623	0,650	0,684	0,716	0,750	0,788	0,828	0,876	0,937	1,079
1,05	0,69		0,299	0,449	0,565	0,593	0,620	0,654	0,686	0,720	0,758	0,798	0,840	0,907	1,049
1,02	0,70		0,270	0,420	0,536	0,564	0,591	0,625	0,657	0,691	0,729	0,769	0,811	0,878	1,020
0,99	0,71		0,242	0,392	0,508	0,536	0,563	0,597	0,629	0,663	0,701	0,741	0,783	0,850	0,992
0,96	0,72		0,213	0,364	0,479	0,507	0,534	0,568	0,600	0,634	0,672	0,712	0,754	0,821	0,963
0,94	0,73		0,186	0,336	0,452	0,480	0,507	0,541	0,573	0,607	0,645	0,685	0,727	0,794	0,936
0,91	0,74		0,159	0,309	0,425	0,453	0,480	0,514	0,546	0,580	0,618	0,658	0,700	0,767	0,909
0,88	0,75		0,132	0,82	0,398	0,426	0,453	0,487	0,519	0,553	0,591	0,631	0,673	0,740	0,882
0,86	0,76		0,105	0,255	0,371	0,399	0,426	0,460	0,492	0,526	0,564	0,604	0,652	0,713	0,855
0,83	0,77		0,079	0,229	0,345	0,373	0,400	0,434	0,466	0,500	0,538	0,578	0,620	0,687	0,829
0,80	0,78		0,053	0,202	0,319	0,347	0,374	0,408	0,440	0,474	0,512	0,552	0,594	0,661	0,803
0,78	0,79		0,026	0,176	0,292	0,320	0,347	0,381	0,413	0,447	0,485	0,525	0,567	0,634	0,776
0,75	0,80			0,150	0,266	0,294	0,321	0,355	0,387	0,421	0,459	0,499	0,541	0,608	0,750
0,72	0,81			0,124	0,240	0,268	0,295	0,329	0,361	0,395	0,433	0,473	0,515	0,582	0,724
0,70	0,82			0,098	0,214	0,242	0,269	0,303	0,335	0,369	0,407	0,447	0,489	0,556	0,698
0,67	0,83			0,072	0,188	0,216	0,243	0,277	0,309	0,343	0,381	0,421	0,463	0,530	0,672
0,65	0,84			0,046	0,162	0,190	0,217	0,251	0,283	0,317	0,355	0,395	0,437	0,504	0,645
0,62	0,85			0,020	0,136	0,164	0,191	0,225	0,257	0,291	0,329	0,369	0,417	0,478	0,620
0,59	0,86				0,109	0,140	0,167	0,198	0,230	0,264	0,301	0,343	0,390	0,450	0,593
0,57	0,87				0,083	0,114	0,141	0,172	0,204	0,238	0,275	0,317	0,364	0,424	0,567
0,54	0,88				0,054	0,085	0,112	0,143	0,175	0,209	0,246	0,288	0,335	0,395	0,538
0,51	0,89				0,028	0,059	0,086	0,117	0,149	0,183	0,230	0,262	0,309	0,369	0,512
0,48	0,90					0,031	0,058	0,089	0,121	0,155	0,192	0,234	0,281	0,341	0,484

Значение, выбранное для примера в подразделе 5,2

Значение, выбранное для примера в подразделе 5,4

Рис. L16. Реактивная мощность конденсаторов (квар), устанавливаемая на кВт нагрузки для повышения коэффициента мощности

© Schneider Electric – все права защищены

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Как достигнуть оптимального уровня компенсации?

При определенных (общепринятых) структурах тарифных ставок изучение счетов за период года с наибольшей нагрузкой позволяет определить количество квар компенсации, требуемый для предотвращения излишней платы за реактивную энергию (квар·ч).
Период окупаемости конденсаторов для повышения коэффициента мощности и сопутствующего оборудования составляет, как правило, 18 месяцев.

5.3 Метод, основанный на учете штрафных тарифов

Следующий метод позволяет рассчитать мощность предлагаемого блока (батареи) конденсаторов на основе данных по счетам за электроэнергию в тех случаях, когда структура тарифных ставок соответствует (или аналогична) описываемой в п.2.1 данного раздела.

Метод определяет минимальную компенсацию, требуемую для предотвращения штрафов за потребление избыточной реактивной энергии (квар·ч).

Метод заключается в следующем:

■ Подборка счетов за электроэнергию за 5 холодных месяцев (во Франции это период с ноября по март, включительно).

Примечание: в странах с тропическим климатом на летние месяцы могут приходиться наибольшая нагрузка и максимальное потребление (из-за использования кондиционеров воздуха), и это необходимо учитывать при определении периодов повышенных расходов. В данном примере рассматривается холодный период года во Франции.

■ Просмотр в счетах строк «потребленная реактивная энергия» и «квар·ч к оплате». Выбор счета с максимальной платой за реактивную энергию (квар·ч) (после проверки того, что это не было вызвано какой-либо исключительной ситуацией).
Пример: 15966 квар·ч в январе.

■ Оценка общего времени рабочей нагрузки установки в течение этого месяца. Например, 220 часов (22 дня x 10 ч). Должны учитываться часы в течение наибольшей нагрузки и максимальных (пиковых) нагрузок энергосистемы. Такие данные содержатся в тарифной документации. Как правило, продолжительность периода максимальной нагрузки энергосистемы составляет 16 часов каждого дня (06.00 – 22.00 или 07.00 – 23.00 в зависимости от региона). Вне этих периодов плата за реактивную энергию невелика.

■ Необходимое значение компенсации в квар = квар·ч к оплате/число часов работы [1] = Qc

Как правило, мощность устанавливаемой КБ выбирается немного больше расчетного значения.

Некоторые изготовители прилагают к конденсаторам инструкции, предназначенные специально для такого рода расчетов согласно конкретным тарифам. Сопроводительная документация содержит рекомендации по оборудованию и схемам управления, а также информацию по ограничениям, налагаемым гармоническими напряжениями энергосистемы. Такие напряжения требуют установки конденсаторов с повышенными номинальными данными (теплоотдача, напряжение и ток) или фильтров для подавления гармоник.

Для двухставочных тарифов, основанных, отчасти, на заявленном (договорном) максимуме потребляемой мощности кВА, см. **рис. L17**, позволяет определить значение компенсирующей мощности в квар, требуемое для снижения заявленного максимума кВА и предотвращения его превышения.

5.4 Метод, основанный на снижении заявленного (договорного) максимума мощности (кВА)

Очевидна выгода от снижения заявленной максимальной мощности (кВА) для потребителей, тарифы для которых основаны на постоянной плате за заявленные кВА, плюс доплата за потребленные кВт·ч. Диаграмма на **рис. L17** показывает, что по мере повышения коэффициента мощности уменьшается значение кВА при заданном значении кВт (P). Повышение коэффициента мощности нацелено (кроме других ранее указанных преимуществ) на снижение заявленного максимума и предотвращение его превышения (предотвращение платы по повышенной ставке за кВА в периоды максимального потребления и/или отключения электроснабжения, если имеется ограничитель). На **рис. L16** (см. предыдущую страницу) показано значение квар компенсации на кВт нагрузки, требуемое для повышения значения коэффициента мощности.

Пример:

Супермаркет имеет максимальную нагрузку 122 кВА при коэффициенте мощности 0,7 (отставание), активная мощность составляет 85,4 кВт. Договор с таким потребителем основан на пошаговых увеличениях гарантированной мощности (шаг от 6 до 108 кВА и шаг 12 кВА выше этого значения, как это принято для многих типов двухставочных тарифов). В данном случае счет потребителю выставляется на основе 132 кВА. Согласно **рис. L16**, установка КБ 60 квар позволит повысить коэффициент мощности с 0,7 до 0,95 (0,691 x 85,4 = 59 квар).

Заявленный (договорной) максимум кВА составит: $\frac{85,4}{0,95} = 90$ кВА, т.е., улучшение на 30%.

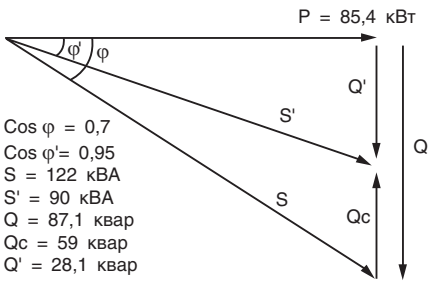


Рис. L17. Снижение заявленного (договорного) максимума кВА за счет повышения коэффициента мощности

L15

(1) В оплачиваемый период в течение часов оплачиваемой реактивной мощности в рассматриваемом выше случае:

$$Qc = \frac{15,996 \text{ квар·ч}}{220 \text{ ч}} = 73 \text{ квар}$$

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

6 Компенсация на зажимах трансформатора

Установка КБ может устранять необходимость замены трансформатора в случае увеличения нагрузки

6.1 Компенсация для повышения пропускной способности

Шаги, аналогичные принимаемым для снижения заявленного (договорного) максимума кВА путем повышения коэффициента мощности, как обсуждается в п. 5.4, позволяют значительно увеличить пропускную способность трансформатора по активной мощности.

В некоторых случаях данный метод позволяет избежать замены трансформатора на трансформатор большей мощности для обслуживания возросшей нагрузки. На **рис. L18** приведена мощность (кВт) полностью нагруженных трансформаторов при различных коэффициентах мощности нагрузки, увеличение которых приводит к увеличению пропускаемой активной мощности.

tg φ	cos φ	Номинальное значение мощности трансформаторов (кВА)											
		100	160	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000
0,00	1	100	160	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000
0,20	0,98	98	157	245	309	392	490	617	784	980	1225	1568	1960
0,29	0,96	96	154	240	302	384	480	605	768	960	1200	1536	1920
0,36	0,94	94	150	235	296	376	470	592	752	940	1175	1504	1880
0,43	0,92	92	147	230	290	368	460	580	736	920	1150	1472	1840
0,48	0,90	90	144	225	284	360	450	567	720	900	1125	1440	1800
0,54	0,88	88	141	220	277	352	440	554	704	880	1100	1408	1760
0,59	0,86	86	138	215	271	344	430	541	688	860	1075	1376	1720
0,65	0,84	84	134	210	265	336	420	529	672	840	1050	1344	1680
0,70	0,82	82	131	205	258	328	410	517	656	820	1025	1312	1640
0,75	0,80	80	128	200	252	320	400	504	640	800	1000	1280	1600
0,80	0,78	78	125	195	246	312	390	491	624	780	975	1248	1560
0,86	0,76	76	122	190	239	304	380	479	608	760	950	1216	1520
0,91	0,74	74	118	185	233	296	370	466	592	740	925	1184	1480
0,96	0,72	72	115	180	227	288	360	454	576	720	900	1152	1440
1,02	0,70	70	112	175	220	280	350	441	560	700	875	1120	1400

Рис. L18. Активная мощность (кВт) полностью нагруженных трансформаторов при питании нагрузок с различными значениями коэффициента мощности

Пример: (см. **рис. L19**)

Установка питается от трансформатора 630 кВА при нагрузке 450 кВт (P1) и средним коэффициентом мощности 0,8 (отстающим). Полная мощность $S1 = \frac{450}{0,8} = 562$ кВА

Соответствующая реактивная мощность

$Q1 = \sqrt{S1^2 - P1^2} = 337$ квар

Расчетное увеличение нагрузки P2 = 100 кВт при коэффициенте мощности 0,7 (отставание).

Полная мощность $S2 = \frac{100}{0.7} = 143$ кВА

Соответствующая реактивная мощность

$Q2 = \sqrt{S2^2 - P2^2} = 102$ квар

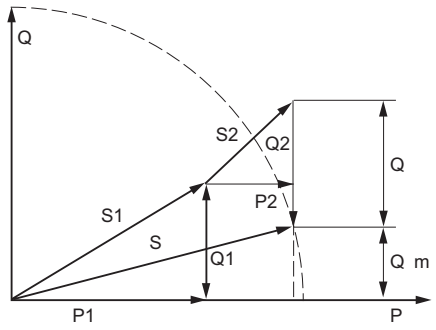


Рис. L19. Компенсация Q позволяет дополнительно питать нагрузку S2 без замены существующего трансформатора, мощность которого ограничивается значением S

Каково минимальное значение емкостной мощности квар, подлежащей установке для предотвращения замены трансформатора?

Теперь общая активная мощность составляет:

P = P1 + P2 = 550 кВт

Максимальная реактивная мощность трансформатора 630 кВА при подаче 550 кВт составляет:

$Qm = \sqrt{S^2 - P^2}$ $\quad Qm = \sqrt{630^2 - 550^2} = 307$ квар

Общая требуемая реактивная мощность до компенсации:

Q1 + Q2 = 337 + 102 = 439 квар

Таким образом, минимальное значение устанавливаемой КБ:

Qквар = 439 – 307 = 132 квар

Следует отметить, что данный расчет не учитывает пиковые нагрузки и их продолжительность.

Если обеспечить компенсацию до коэффициента мощности 1, то пропускную способность можно увеличить еще на 630 – 550 = 80 кВт.

КБ должны быть мощностью 439 квар.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

6 Компенсация на зажимах трансформатора

При измерении на стороне высокого напряжения трансформатора потери реактивной мощности в трансформаторе могут (в зависимости от тарифа) требовать компенсации.

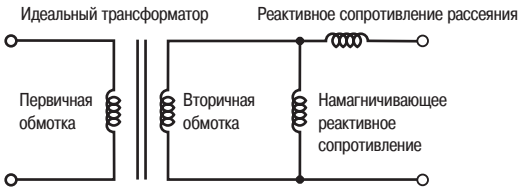


Рис. L20. Реактивное сопротивление трансформатора на каждой фазе

Реактивная мощность, поглощаемая трансформатором, не может не приниматься во внимание и достигает 5% от номинальной мощности трансформатора при его номинальной нагрузке. В трансформаторах реактивная мощность поглощается обоими реактивными сопротивлениями с параллельным (намагничивающие) и последовательным соединением (магнитный поток рассеивания). Полная компенсация может обеспечиваться параллельно подключенной КБ низкого напряжения.

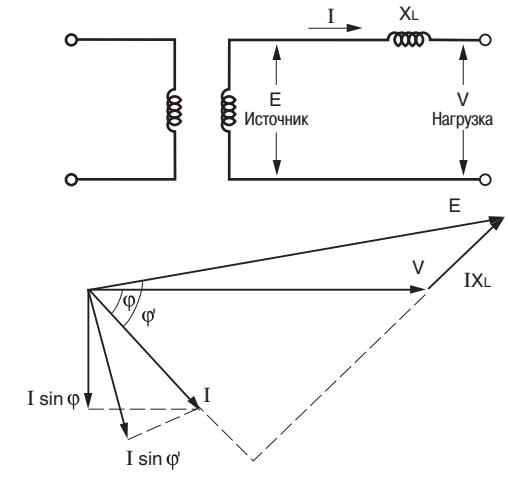


Рис. L21. Поглощение реактивной энергии последовательным индуктивным сопротивлением

6.2 Компенсация реактивной мощности, поглощаемой трансформатором

Индуктивные реактивные сопротивления трансформатора

До сих пор в роли потребителей реактивной мощности рассматривались устройства с параллельным подключением к сети. Они потребляют наибольшее количество реактивной мощности. Однако, реактивные сопротивления с последовательным соединением, такие как индуктивные реактивные сопротивления силовых линий и реактивные сопротивления рассеяния обмоток трансформатора, также поглощают реактивную мощность.

При учете на стороне высокого напряжения трансформатора потери реактивной энергии в трансформаторе могут (в зависимости от тарифа) требовать компенсации. Поскольку рассматриваются только потери реактивной мощности, трансформатор может быть представлен с помощью элементарной схемы (**рис. L20**). Все значения реактивных сопротивлений приведены к вторичной обмотке трансформатора, на которой параллельное ответвление представляет путь намагничивающего тока. Намагничивающий ток остается практически постоянным (около 1,8% номинального тока) при изменении нагрузки от нуля до номинальной в нормальном режиме, т.е. при постоянном напряжении на первичной обмотке. Поэтому на стороне высокого или низкого напряжения может устанавливаться постоянный (нерегулируемый) шунтирующий конденсатор для компенсации потерь реактивной мощности намагничивания.

Потери реактивной мощности в последовательно включенном реактивном сопротивлении X_L (магнитный поток рассеяния)

Простая иллюстрация этого явления приводится на векторной диаграмме (**рис. L21**).

Реактивная составляющая тока через нагрузку = I sin φ, так что, QL = VI sin φ.

Реактивная составляющая тока от источника = I sin φ' так что, QE = EI sin φ',

Следовательно E > V и sin φ' > sin φ.

Разница между EI sin φ' и VI sin φ из-за XL дает свое значение квар для каждой фазы.

Можно показать, что такое значение квар равно I^2XL (аналог потерь активной мощности (кВт) I^2R – потери в последовательно соединенных элементах).

Из формулы I^2XL легко вывести поглощаемое значение квар при любом значении нагрузки для заданного трансформатора.

Если используются значения в относительных единицах (вместо значений в процентах), можно выполнить прямое умножение I на XL.

Пример:

Трансформатор 630 кВА с реактивной составляющей напряжения короткого замыкания 4% работает при полной нагрузке.

Каковы его нагрузочные потери реактивной мощности (квар)?

XL =4% = 0,04 о.е., Iо.е. = 1 о.е.

Потери = $I^2XL = 1^2 \times 0,04 = 0,04$ о.е.,

где 1 о.е. = 630 кВА

Трехфазные нагрузочные потери реактивной мощности (квар) = 630 x 0,04 = 25,2 квар

(или 4% от 630 кВА).

При половине нагрузки, т.е. I = 0,5 о.е. потери составят:

0,52 x 0,04 = 0,01 о.е. или в квар: 630 x 0,01 = 6,3 квар

Данный пример и векторная диаграмма (**рис. L21**) показывают, что:

- Коэффициент мощности на стороне первичной обмотки нагруженного трансформатора отличается (нормально ниже) от коэффициента на вторичной обмотке (из-за потерь реактивной мощности (квар).
- Нагрузочные потери реактивной мощности (квар) при полной нагрузке равны реактивному сопротивлению трансформатора в о.е. умноженному на Sном. (нагрузочные потери реактивной мощности (квар), равные 4% номинальной мощности кВА трансформатора).
- Нагрузочные потери реактивной мощности (квар) изменяются согласно квадрату тока (или мощности кВА).

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

6 Компенсация на зажимах трансформатора

Для определения общих потерь реактивной мощности (квар) трансформатора необходимо добавить постоянные потери в цепи намагничивающего тока (приблизительно 1,8% номинального значения кВА трансформатора) к указанным нагрузочным потерям. **Рис. L22** показывает потери реактивной мощности (квар) при холостом ходе и при полной нагрузке для типового распределительного трансформатора. В принципе, последовательно включенные индуктивные сопротивления могут компенсироваться последовательно включенными нерегулируемыми конденсаторами (как в общем случае протяженных высоковольтных линий передачи). Однако, такая схема сложна для выполнения, тем более, что при уровнях напряжения, рассматриваемых в данном руководстве, всегда применима параллельная компенсация.

В случае учета на стороне высокого напряжения достаточно повысить коэффициент мощности до значения, при котором потери реактивной мощности в трансформаторе плюс потребление реактивной мощности нагрузки ниже уровня, при котором взимается дополнительная плата за электроэнергию. Этот уровень зависит от тарифа, но часто соответствует значению tg φ = 0,31 (cos φ = 0,955).

Номинальная мощность (кВА)	Реактивная мощность (квар), подлежащая компенсации	
	Без нагрузки	Полная нагрузка
100	2,5	6,1
160	3,7	9,6
250	5,3	14,7
315	6,3	18,4
400	7,6	22,9
500	9,5	28,7
630	11,3	35,7
800	20	54,5
1000	23,9	72,4
1250	27,4	94,5
1600	31,9	126
2000	37,8	176

Рис. L22. Потери реактивной мощности для распределительных трансформаторов с первичными обмотками 20 кВ

Теоретически, потери реактивной мощности (квар) в трансформаторе могут быть полностью компенсированы путем регулирования блока конденсаторов таким образом, чтобы создать небольшой избыток реактивной мощности конденсаторов (QC) по сравнению с реактивной мощностью нагрузки (QL) (QC – QL > 0). При этом коэффициент мощности на стороне НН (cos φ) увеличится и будет опережающим. В таком случае вся реактивная мощность потерь трансформатора поступает от КБ, а на стороне высокого напряжения трансформатора коэффициент мощности 1, как показано на **рис. L23**.

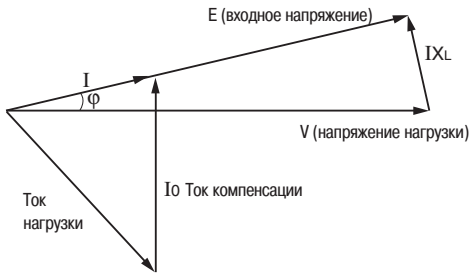


Рис. L23. Перекомпенсация нагрузки до полной компенсации потерь реактивной мощности в трансформаторе

С практической точки зрения компенсация реактивной энергии в трансформаторе осуществляется конденсаторами, главным образом предназначенными для повышения коэффициента мощности нагрузки (централизовано, по группам или индивидуально). В отличие от большинства других элементов, потребляющих реактивную мощность, потребление трансформатором (из-за реактивного сопротивления рассеяния) значительно изменяется при изменении уровня нагрузки, так что если для трансформатора применяется индивидуальная компенсация, то средний уровень нагрузки должен приниматься в качестве гарантированного.

Однако, такое потребление реактивной мощности составляет, как правило, относительно небольшую часть общей реактивной мощности установки, и поэтому рассогласование компенсации с временным изменением нагрузки не представляет проблемы.

На **рис. L22** показаны типовые значения потерь реактивной энергии для намагничивающей цепи (строка «Без нагрузки»), а также общие потери при полной нагрузке для стандартных распределительных трансформаторов с первичным напряжением 20 кВ (с учетом нагрузочных потерь).

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

7 Повышение коэффициента мощности асинхронных двигателей

Индивидуальная компенсация рекомендуется для двигателей большой мощности (кВА) по отношению к заявленной мощности установки.

7.1 Соединение КБ и настройки защиты

Общие замечания

Из-за малого потребления активной мощности коэффициент мощности двигателя крайне низкий при холостом ходе или при малой нагрузке. Реактивный ток двигателя остается практически постоянным при всех нагрузках, так что на ряд ненагруженных двигателей приходится потребление реактивной мощности, которое лишь негативно сказывается на работе установки по причинам, описанным в предыдущих разделах.

Поэтому существуют два правила, которые состоят в том, что ненагруженные двигатели следует отключать, а номинальные мощности двигателей не должны завышаться (поскольку это снизит их загрузку).

Соединение

КБ должна подключаться непосредственно к зажимам двигателя.

Специальные двигатели

Не рекомендуется применять компенсацию для специальных двигателей (шаговых, реверсивных и т.д.).

Влияние на уставки защиты

После применения компенсации для двигателя ток блока «двигатель-конденсатор» станет меньше, чем до компенсации при том же значении нагрузки двигателя. Это вызвано тем, что значительная часть реактивной составляющей тока двигателя подается от конденсатора, как показано на **рис. L24**.

Если максимальная токовая защита двигателя расположена до соединения двигателя и конденсатора (это всегда так в случае подсоединения конденсаторов к зажимам), уставки реле защиты должны уменьшаться на отношение:

cos φ до компенсации/cos φ после компенсации

Для двигателей с компенсацией в соответствии со значениями квар, показанными на **рис. L25** (максимальные значения, рекомендуемые для предотвращения самовозбуждения стандартных асинхронных двигателей, как обсуждается в п.7.2), величины указанного выше отношения приведены для различных скоростей на **рис. L26**.

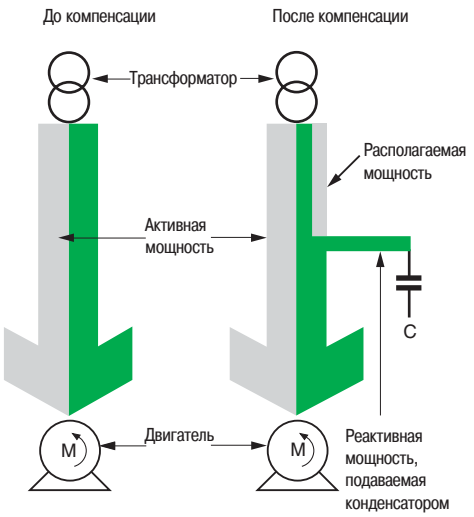


Рис. L24. До компенсации трансформатор пропускает всю реактивную мощность, после компенсации конденсатор подает большую часть реактивной мощности

Трехфазные двигатели, 230/400 В					
Номинальная мощность		Устанавливаемая мощность (квар)			
		Скорость вращения (об/мин)			
кВт	л.с.	3000	1500	1000	750
22	30	6	8	9	10
30	40	7,5	10	11	12,5
37	50	9	11	12,5	16
45	60	11	13	14	17
55	75	13	17	18	21
75	100	17	22	25	28
90	125	20	25	27	30
110	150	24	29	33	37
132	180	31	36	38	43
160	218	35	41	44	52
200	274	43	47	53	61
250	340	52	57	63	71
280	380	57	63	70	79
355	482	67	76	86	98
400	544	78	82	97	106
450	610	87	93	107	117

Рис. L25. Максимальное значение квар индивидуальной компенсации реактивной мощности без риска самовозбуждения двигателя

Скорость вращения (об./мин)	Коэффициент уменьшения
750	0,88
1000	0,90
1500	0,91
3000	0,93

Рис. L26. Коэффициент уменьшения для максимальной токовой защиты после компенсации

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

7 Повышение коэффициента мощности асинхронных двигателей

Если КБ подсоединяется к зажимам асинхронного двигателя, важно проверить, что его номинальное значение меньше значения, при котором возможно самовозбуждение.

7.2 Как предотвратить самовозбуждение асинхронного двигателя?

Двигатель с высокоинерционной нагрузкой будет продолжать вращаться (если специально не затормаживается) после отключения его питания.

«Магнитная инерция» цепи ротора означает создание ЭДС в обмотке статора на короткий период времени после отключения, которая уменьшиться до нуля через 1 или 2 периода в случае работы двигателя без компенсации.

Однако, подключенные конденсаторы создают трехфазную реактивную нагрузку для такой затухающей ЭДС, которая вызывает емкостные токи в обмотке статора. Такие токи в статоре создают вращающееся магнитное поле, которое действует точно по той же оси и в том же направлении, что и затухающее электромагнитное поле.

Как следствие, поток ротора увеличивается, токи статора увеличиваются, и напряжение на зажимах двигателя повышается иногда до опасно высокого уровня. Это явление известно как самовозбуждение и является одной из причин того, почему генераторы переменного тока, как правило, не работают при опережающих коэффициентах мощности, т.е. имеется тенденция к спонтанному (и неконтролируемому) самовозбуждению.

Примечания:

1. Характеристики двигателя, приводимого в движение инерцией нагрузки, не являются строго идентичными его характеристикам холостого хода. Однако, данное предположение является достаточно точным с практической точки зрения.

2. В двигателе, действующем в качестве генератора, циркулирующие токи являются в основном реактивными, так что эффект торможения (замедления) двигателя вызван главным образом только нагрузкой, представленной его охлаждающим вентилятором.

3. Ток (угол отставания почти 90 °), потребляемый от источника питания ненагруженным двигателем в нормальных условиях, и ток (угол опережения почти 90 °), подаваемый на конденсаторы двигателем, выступающим в качестве генератора, имеют одинаковое фазовое соотношение с напряжением на зажимах. Именно поэтому две характеристики могут налагаться на один график.

Для предотвращения самовозбуждения, как описывается выше, номинальная мощность (квар) блока конденсаторов должна ограничиваться следующим максимальным значением:

$Qc \leqslant 0{,}9 \times I_o \times U_n \times \sqrt{3}$, где I_o – ток холостого хода двигателя и U_n – межфазное номинальное напряжение двигателя (кВ). На **рис. L25** приводятся значения Q_c соответствующие данному критерию.

Пример

Трехфазный двигатель, 75 кВт, 3000 об./мин, 400 В, может иметь блок конденсаторов не выше 17 квар согласно **рис. L25**. Табличные значения, как правило, слишком малы для соответствующей компенсации двигателя до нормально требуемого уровня cos φ. Однако, дополнительная компенсация может осуществляться, например, с помощью КБ централизованной компенсации, установленной на шинах ТП.

Высокоинерционные двигатели и/или нагрузки

В любой установке с высокоинерционными нагрузками, приводимыми в действие двигателями, выключатели или контакторы, управляющие такими двигателями, должны быстро отключаться в случае полной потери электропитания.

Если не принять такой меры предосторожности, велика вероятность возникновения крайне высоких напряжений (из-за самовозбуждения), поскольку все другие КБ работают в сети параллельно с конденсаторами высокоинерционных двигателей.

Поэтому схема защиты таких двигателей должна содержать реле отключения по максимальному напряжению вместе с реле контроля обратной мощности (двигатель подает питание на остальное оборудование до рассеяния полученной инерциальной энергии).

Если мощность конденсаторов индивидуальной компенсации высокоинерционного двигателя, больше, чем рекомендованная на **рис. L25**, они должны управляться отдельно с помощью выключателя или контактора, который осуществляет отключение вместе с главным выключателем или контактором двигателя, как показано на **рис. L27**.

Включение главного контактора осуществляется после включения конденсаторов.

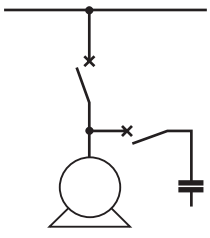
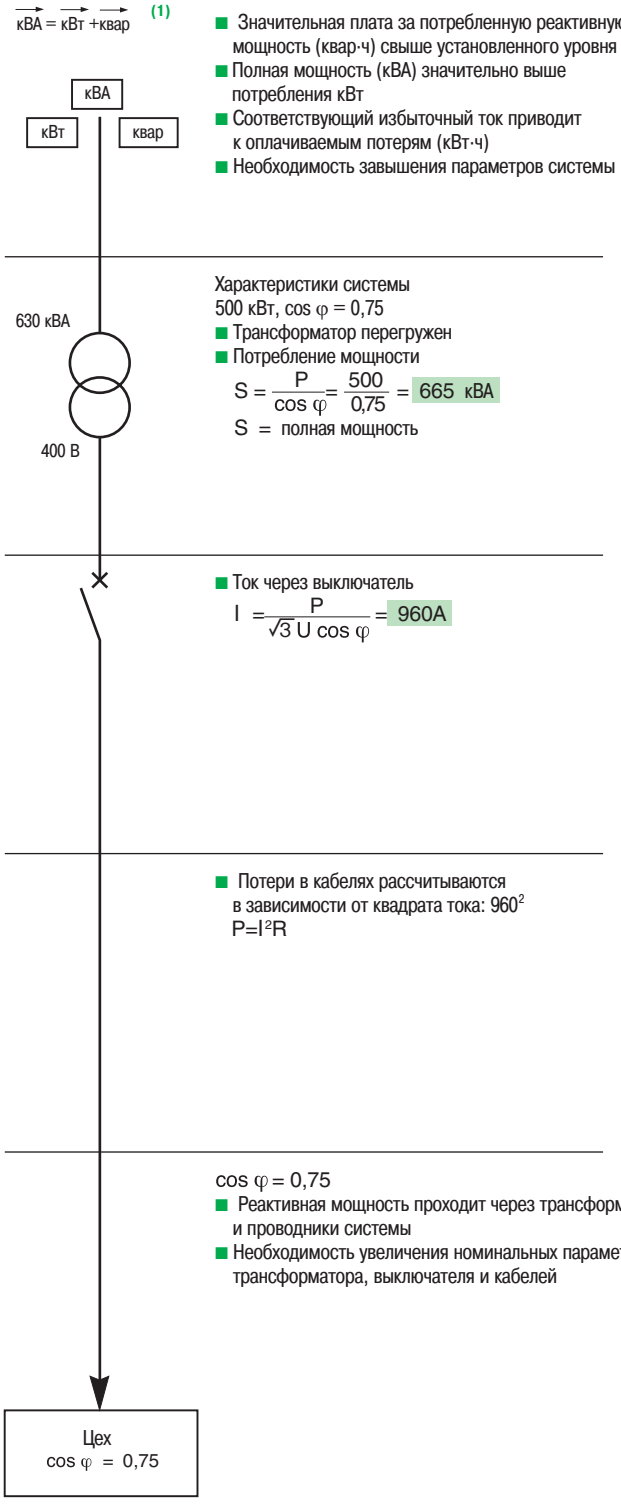


Рис. L27. Подсоединение блока конденсаторов к двигателю

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

8 Пример установки до и после компенсации реактивной мощности

Установка до компенсации реактивной мощности



- Значительная плата за потребленную реактивную мощность (квар·ч) свыше установленного уровня
- Полная мощность (кВА) значительно выше потребления кВт
- Соответствующий избыточный ток приводит к оплачиваемым потерям (кВт·ч)
- Необходимость завышения параметров системы

Характеристики системы
500 кВт, cos φ = 0,75

- Трансформатор перегружен
- Потребление мощности

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{500}{0,75} = 665 \text{ кВА}$$

S = полная мощность

- Ток через выключатель

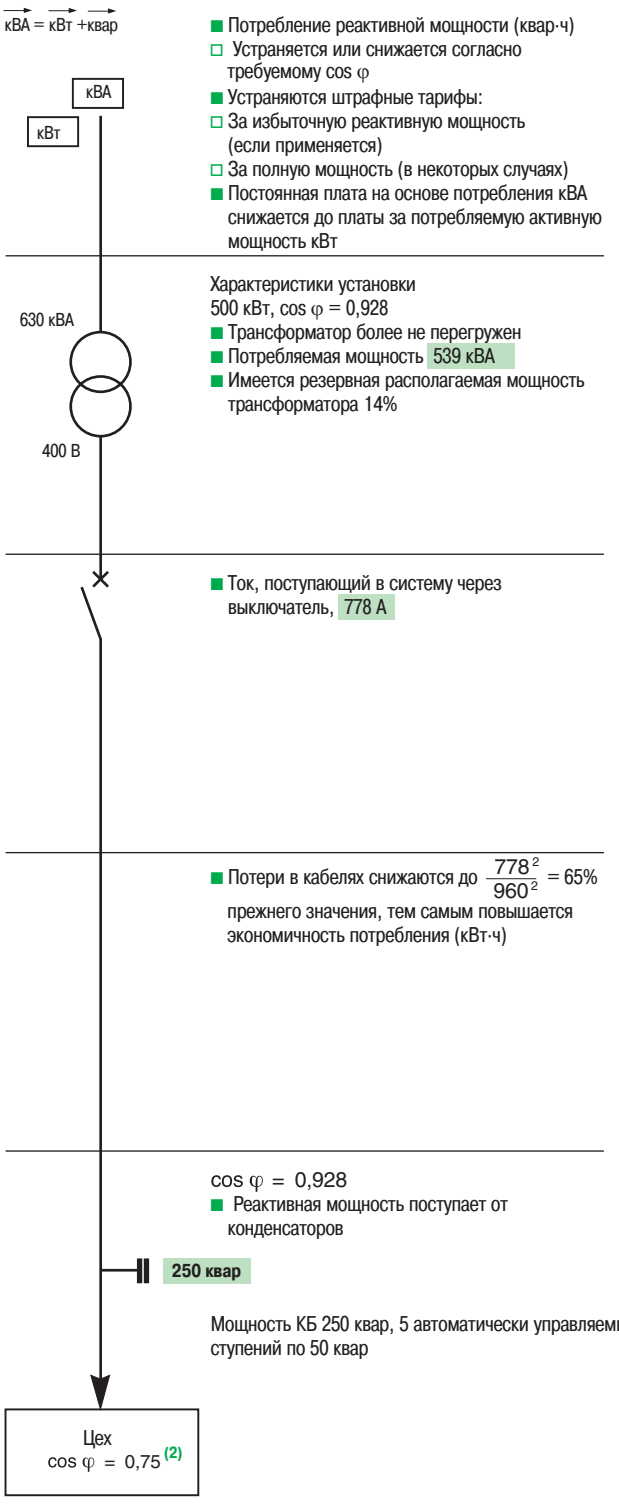
$$I = \frac{P}{\sqrt{3}\, U \cos \varphi} = 960\text{A}$$

- Потери в кабелях рассчитываются в зависимости от квадрата тока: 960^2
  $P=I^2R$

cos φ = 0,75

- Реактивная мощность проходит через трансформатор и проводники системы
- Необходимость увеличения номинальных параметров трансформатора, выключателя и кабелей

Установка после компенсации реактивной мощности



- Потребление реактивной мощности (квар·ч)
- ☐ Устраняется или снижается согласно требуемому cos φ
- Устраняются штрафные тарифы:
- ☐ За избыточную реактивную мощность (если применяется)
- ☐ За полную мощность (в некоторых случаях)
- Постоянная плата на основе потребления кВА снижается до платы за потребляемую активную мощность кВт

Характеристики установки
500 кВт, cos φ = 0,928

- Трансформатор более не перегружен
- Потребляемая мощность 539 кВА
- Имеется резервная располагаемая мощность трансформатора 14%

- Ток, поступающий в систему через выключатель, 778 А

- Потери в кабелях снижаются до $\frac{778^2}{960^2} = 65\%$ прежнего значения, тем самым повышается экономичность потребления (кВт·ч)

cos φ = 0,928

- Реактивная мощность поступает от конденсаторов

Мощность КБ 250 квар, 5 автоматически управляемых ступений по 50 квар

Примечание: фактически, cos φ цеха остается равным 0,75, но cos φ всей установки до блока конденсаторов на низковольтных терминалах трансформатора - 0,928.
Как указывается в п.6.2, cos φ на стороне высокого напряжения трансформатора немного ниже (2) из-за потерь реактивной мощности в трансформаторе.

(1) Стрелки обозначают векторные величины.
(2) Тем более в случае до компенсации.

Рис. L28. Технико-экономическое сравнение установки до и после компенсации реактивной мощности

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

9 Влияние гармоник

9.1 Проблемы в энергосистемах, возникающие из-за гармоник

Наличие гармоник в электрических системах означает, что ток и напряжение искажены и отклоняются от синусоидальных сигналов.

Проектировщики уделяют все больше внимания к экономии энергии и повышению доступности электроэнергии. Именно поэтому гармоники вызывает растущее беспокойство в управлении электрическими системами сегодня.

Гармоники существовали с момента зарождения промышленности и были (и до сих пор) вызваны нелинейными намагничивающими сопротивлениями трансформаторов, реакторов, балластными сопротивлениями люминесцентных ламп и т.д. Кроме того, сегодня существует множество электронных устройств питания, из-за своих возможностей для точного управления технологическим процессом и экономии энергии. Тем не менее, они также оказывают негативное влияние на электрические распределительные системы, посредствам гармоник.

Гармонические токи, вызванные нелинейными нагрузками, подключенными к системе распределения, протекают через полное сопротивление системы, что, в свою очередь, искажает напряжение питания.

Такие нагрузки становятся подавляющими во всех промышленных, коммерческих и жилых объектах, и их процент от общей нагрузки неуклонно растет.

Примеры таких нагрузок:
- Промышленное оборудование (сварочные аппараты, индукционные печи, зарядные устройства, источники питания постоянного тока).
- Преобразователи частоты для двигателей переменного и постоянного тока.
- Источники бесперебойного питания (ИБП).
- Офисное оборудование (компьютеры, принтеры, серверы, мониторы и т.д.).
- Бытовая техника (телевизоры, микроволновые печи, флуоресцентное и светодиодное освещение, стиральные машины и сушилки, диммеры).

Гармонические токи увеличивают среднеквадратичный ток в электрических системах, и ухудшается качество напряжения питания. Они оказывают негативное влияние на электрическую сеть и потенциально могут привести к поломке оборудования. Они также могут нарушить нормальную работу устройств и увеличить эксплуатационные расходы.

Симптомы проблемных уровней гармоник включают в себя перегрев трансформаторов, электродвигателей и кабелей, термическое отключение защитных устройств и логических неисправных цифровых устройств. Кроме того, срок эксплуатации многих устройств снижается при повышенной рабочей температуре.

Конденсаторы особенно чувствительны к гармоническим составляющим питающего напряжения в связи с тем, что емкостное сопротивление уменьшается с увеличением частоты. На практике это означает, что относительно небольшой процент гармоник напряжения может привести к значительному повышению тока, протекающего в цепи конденсатора.

Ряд функций может быть использован различными способами для уменьшения последствий гармоник. В этом разделе даются практические средства снижения влияния гармоник, с конкретным описанием их влияния на конденсаторные батареи. Более подробный обзор представлен в **главе M** Гармоники.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

9 Влияние гармоник

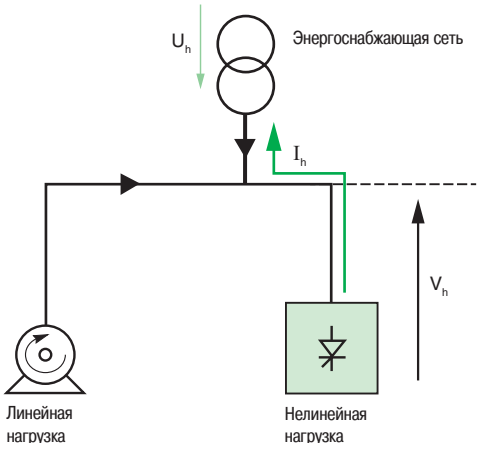


Рис. L29. Упрощенная схема сети

9.2 Риск резонанса

Учитывая упрощенную схему, представленную на **рис. L29** (не подключены конденсаторы для компенсации реактивной мощности):

Искажение напряжения V_h на уровне сборных шин от двух различных факторов:

- соединение нелинейных нагрузок, генерирующих гармонические токи I_h;
- искажение напряжения U_h присутствует в сети питания вследствие нелинейных нагрузок вне рассматриваемой схемы (входящей в гармоники напряжения).

Важным показателем гармонического значения имеет процент нелинейных нагрузок N_{LL}, который рассчитывается по следующей формуле:

$$N_{LL(\%)} = \frac{\text{Мощность нелинейной нагрузки}}{\text{Мощность от силового трансформатора}}$$

Подключение конденсаторов для компенсации реактивной мощности (без дросселей) приводит к усилению гармонических токов на уровне сборных шин, а также к увеличению искажения напряжения.

Конденсаторы являются линейными реактивными устройствами, и, следовательно, не генерируют гармоники. Установка конденсаторов в энергосистеме (в которой полное сопротивление является преимущественно индуктивным), однако, может привести к полному или частичному резонансу, расположенному на одной из гармонических частот.

Из-за гармоник ток I_C, циркулирующий через конденсаторы для компенсации реактивной мощности, выше по сравнению с ситуацией, когда присутствует только фундаментальный ток I_1.

Если собственная частота комбинации конденсаторной батареи/комбинаций реактивных сопротивлений в энергосистеме близки к определенной гармонике, то будет происходить частотный резонанс с возрастающими значениями напряжения и тока на частоте данной гармоники. В данном конкретном случае повышенный ток вызовет перегрев конденсатора, с ухудшением состояния диэлектрика, что может привести к его возможному отказу.

Значение h_0 на собственной резонансной частоте между системой индуктивности и батареи конденсаторов определяется по формуле:

$$h_0 = \sqrt{\frac{S_{SC}}{Q}},$$

где:

S_{SC} = мощность КЗ системы (кВА) в точке присоединения КБ;

Q = номинальная мощность КБ в квар;

h_0 = порядок гармоники основной частоты f_0, т.е. $f_0/50$ для системы 50 Гц или $f_0/60$ для системы 60 Гц

Например:

Номинальная мощность трансформатора:	S = 630 кВА
Напряжение короткого замыкания:	USC = 6%
Мощность при коротком замыкании на уровне сборных шин:	SSC ~ 10 МВА
Реактивная мощность КБ:	Q = 350 квар

$$h_0 = \sqrt{\frac{S_{SC}}{Q}} = \sqrt{\frac{10,10^3}{350}} = 5,5$$

Собственная частота КБ / системы индуктивного характера близка к частоте 5-й гармоники в системе.

Для системы 50 Гц собственная частота f_0 тогда равна $f_0 = 50 \times h_0 = 50 \times 5,5 = 275$ Гц

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

9 Влияние гармоник

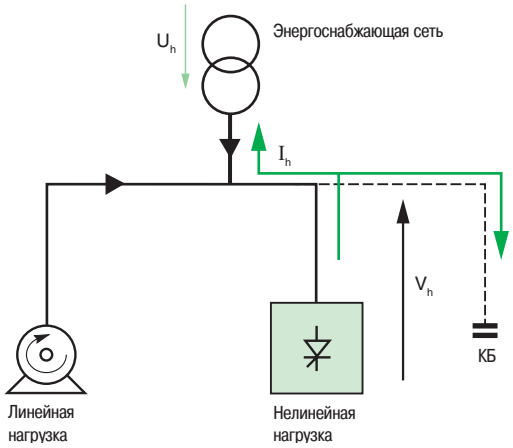


Рис. L30. Упрощенная схема сети

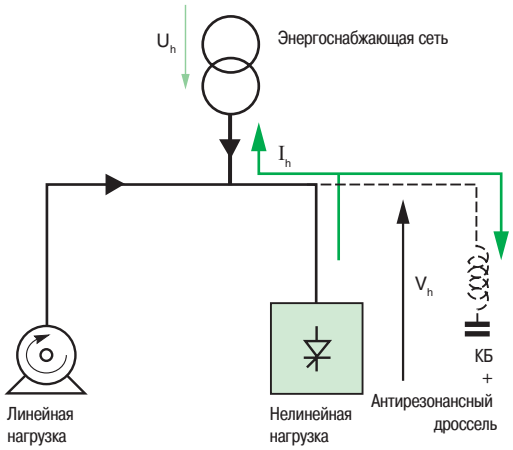


Рис. L31. Упрощенная схема сети

9.3 Возможные решения

Пассивный фильтр

Присутствие гармоник в питающем напряжении приводит к ненормально высоким уровням тока в конденсаторах. Поправка на это делается при расчете с учетом среднеквадратичного значения тока, которое в 1,3 раза больше номинального тока. Все последовательные элементы, такие как соединения, плавкие предохранители, переключатели, связанные с конденсаторами, рассчитываются с аналогичным увеличением, в 1,3-1,5 раза больше номинального значения.

Пассивные фильтры могу быть использованы, если процент нелинейных нагрузок ≤ 10%.

Конденсаторы с увеличенным номинальным током

Конденсаторы с увеличенным номинальным током («сверхмощные») могут быть использованы для того, чтобы увеличить запас прочности. Технология этих конденсаторов позволяет выдержать более высокие перегрузки по току, по сравнению с теми требованиями, что строго прописаны в стандартах.

Другой способ состоит в том, чтобы использовать конденсаторы с увеличенным номинальным током и напряжением.

Чтобы сгенерировать такую же реактивную мощность, конденсаторы должны иметь одинаковую емкость.

При номинальном напряжении U_N (выше, чем напряжение системы U), номинальный ток I_N и номинальная мощность QN будут вычисляться по формулам:

$$\frac{I_N}{I} = \frac{U_N}{U} \quad \text{и} \quad \frac{Q_N}{Q} = \left(\frac{U_N}{U}\right)^2$$

Конденсаторы с увеличенным номинальным током могу быть использованы, если процент нелинейных нагрузок ≤ 20%.

Подключение конденсатора для компенсации реактивной мощности с антирезонансным дросселем

Для того чтобы ослабить влияние гармоник (значительное увеличение тока конденсатора, а также высокого искажения тока и напряжения), реакторы должны быть связаны с конденсаторами. Реакторы и конденсаторы настроены в последовательный резонансный контур, настроенный таким образом, что резонансная частота находится ниже самой низкой частоты гармоники, присутствующей в системе.

Использование антирезонансных реакторов, таким образом, предотвращает проблему возникновения гармонического резонанса, позволяет избежать риска перегрузки конденсаторов и помогает снизить уровень гармонических искажений напряжения в сети.

Частота настройки может быть выражена относительным сопротивлением реактора (в% по отношению к полному сопротивлению конденсатора) или порядком настройки, или непосредственно в Гц.

Наиболее распространенные значения относительного полного сопротивления 5,7; 7 и 14% (14% используется с высоким уровнем 3-й гармоники напряжения).

Относительное сопротивление в%	Порядок настройки	Частота настройки при 50 Гц (Гц)	Частота настройки при 60 Гц (Гц)
5,7	4,2	210	250
7	3,8	190	230
14	2,7	135	160

Рис. L32. Взаимосвязь между относительным сопротивлением, порядка настройки и частоты настройки

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

9 Влияние гармоник

При таком расположении присутствие реактора увеличивает основную гармонику напряжения (50 или 60 Гц) через конденсатор.

Эта функция учитывается с помощью конденсаторов, которые выбраны с номинальным напряжением U_n выше, чем напряжение сети U_s, как это показано в следующей таблице.

Номинальное напряжение конденсатора U_n		**Напряжение сети при**				
		50 Гц		**60 Гц**		
		400	**690**	**400**	**480**	**600**
Относительное сопротивление (%)	5,7 7	480	830	480	575	690
	14	480		480		

Рис. L33. Типовые значения номинального напряжения конденсатора

Заключение

Практические правила, приведенные в следующей таблице, для выбора подходящей конфигурации, в зависимости от параметров системы:

- S_{SC} – мощность трехфазного короткого замыкания в кВА на уровне сборных шин;
- S_n – сумма номинальных мощностей всех трансформаторов, снабжающих (т.е. непосредственно связан с) шинопровод;
- G_h – сумма номинальных мощностей всех устройств генерирующих гармоники (статические преобразователи, инверторы, ПЧ и т.д.), подключенных к шине. Если номинальные значения некоторых из этих устройств приведены в кВт, предположим, что средний коэффициент мощности равен 0,7.

Общее правило (для трансформатора любой номинальной мощности):			
$G_h \leq S_{SC}/120$	$S_{SC}/120 < G_h \leq S_{SC}/70$	$S_{SC}/70 < G_h \leq S_{SC}/30$	$G_h > S_{SC}/30$
Стандартные конденсаторы	Конденсатор при тяжелом режиме работы или конденсаторы с увеличением номинальных значений на 10%	Конденсатор при тяжелом режиме работы или конденсаторы с увеличением номинальных значений на 20% + реактор для подавления гармоник	Необходим фильтр гармоник. Смотри главу M «Управление гармониками»

Упрощенное правило при номинальном значении трансформатора(ов) $\leq$ 2 MBA:			
$G_h \leq 0,1 \times S_n$	$0,1 \times S_n < G_h \leq 0,2 \times S_n$	$0,2 \times S_n < G_h \leq 0,5 \times S_n$	$G_h > 0,5 \times S_n$
Стандартные конденсаторы	Конденсатор при тяжелом режиме работы или конденсаторы с увеличением номинальных значений на 10%	Конденсатор при тяжелом режиме работы или конденсаторы с увеличением номинальных значений на 20% + реактор для подавления гармоник	Необходим фильтр гармоник. Смотри главу M «Управление гармониками»

Рис. L34. Упрощенные правила

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

10 Применение КБ

10.1 Емкостные элементы

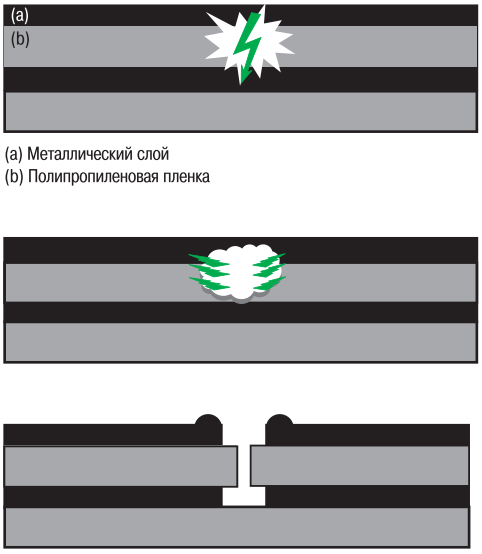
Технология

Конденсаторы являются сухими элементами (т.е. не пропитаны жидким диэлектриком), представляющими собой катушку двухслойной ленты из металлизированной самовостанавливающейся полипропиленовой пленки.

Самовосстановление представляет собой процесс, посредством которого конденсатор восстанавливает себя в случае неисправности в диэлектрике, которая может произойти во время сильных перегрузок, перепадов напряжения и т.д.

Когда происходит пробой изоляции, формируется дуга короткой длительности (**рис. L35** – вверху). Интенсивное тепло, вырабатываемое этой дугой, приводит к металлизации и испарению в непосредственной близости от дуги (**рис. L35** – средний).

Одновременно он вновь изолирует электроды и поддерживает целостность и рабочее состояние конденсатора (**рис. L35** – нижний).



(a) Металлический слой
(b) Полипропиленовая пленка

Рис. L35. Иллюстрация явления самовосстановления

Схема защиты

Конденсаторы должны быть связаны с устройствами защиты от перегрузки (предохранители или автоматический выключатель или реле перегрузки + контактор) для того, чтобы ограничить последствия сверхтоков. Это может произойти в случае перенапряжения или высоких гармонических искажений.

В дополнение к внешним устройствам защиты конденсаторы защищены системой высокого качества (чувствительный к давлению разъединитель, также называемый «отрывной предохранитель»), которая отключает конденсаторы при возникновении внутренней неисправности. Это обеспечивает безопасное отключение и электрическую изоляцию до конца срока службы конденсатора.

Система защиты работает следующим образом:

- иногда возникают уровни тока выше нормального, но недостаточные для перегорания предохранителя, например, из-за микроскопических пробоев в диэлектрической пленке. Такие повреждения часто ликвидируются самовосстановлением;
- если ток утечки сохраняется (и самовосстановления повторы), деффект может произвести газ испарением из металлизации на неисправном месте. Это процесс приведет к постепенному возрастанию давления внутри контейнера. Давление может привести только к выгибанию крышки наружу. Соединительные провода разомкнутся в предназначенных местах. Конденсатор будет необратимо отсоединен.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

10 Применение КБ

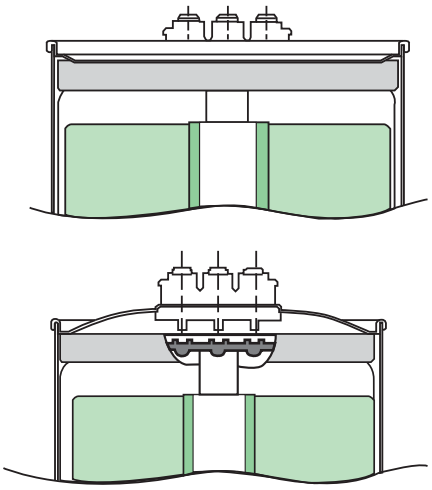


Рис. L36. Вид поперечного сечения трехфазного конденсатора после того, как сработало чувствительное к давлению управляемое устройство: крышка помята и провода разомкнуты

Основные электрические характеристики в соответствии со стандартом МЭК 60831-1/2: «Конденсаторы шунтирующие силовые самовосстанавливающегося типа для систем переменного тока на номинальное напряжение до 1000 В включительно».

Электрические характеристики	
Допустимое отклонение емкости	От -5 до +10% для устройства и конденсатор батареи мощностью до 100 квар От -5 до +5% для устройства и конденсатор батареи мощностью свыше 100 квар
Диапазон температуры	Минимальная температура: от -50 до +5 °C Максимальная температура: от +40 до +55 °C
Допустимая перегрузка по току	1,3 x I_N
Допустимая перегрузка по напряжению	1,1 x U_N, 8 ч каждые 24 ч 1,15 x U_N, 30 мин каждые 24 ч 1,2 x U_N, 5 мин 1,3 x U_N, 1 мин 2,15 x U_N, в течение 10 секунд (тестовый режим)
Разгрузочная возможность	75 В каждые 3 минуты или менее

Рис. L37. Основные характеристики конденсаторов в соответствии со стандартом МЭК 60831-1/2

10.2 Выбор устройств защиты и управления и соединительных кабелей

Выбор соединительных кабелей и устройств защиты зависит от токовой нагрузки.

Для конденсаторов ток зависит от следующих параметров:

- приложенное напряжение и его гармоники;
- величина емкости.

Номинальный ток I_N в 3-фазной БСК равен:

$$I_N = \frac{Q}{\sqrt{3}.U}$$, где

- Q: реактивная мощность (квар);
- U: линейное напряжение (кВ)

Устройства защиты от перегрузки должны быть реализованы и установлены в соответствии с ожидаемыми гармоническими искажениями. В следующей таблице приведены напряжения гармоник, которые будут рассмотрены в различных конфигурациях, а соответствующий максимальный коэффициент перегрузки I_{MP} / I_N (I_{MP} = максимально допустимый ток).

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

10 Применение КБ

Конфигурация	Номер гармоники					THDu max (%)	I_{MP}/I_N
	3	5	7	11	13		
Конденсатор в номинальном режиме работы						5	1.5
Конденсатор в тяжелом режиме работы						7	1.8
Конденсатор + 5,7% антирезонансный дроссель	0.5	5	4	3.5	3	10	1.31
Конденсатор + 7% антирезонансный дроссель	0.5	6	4	3.5	3	8	1.19
Конденсатор + 14% антирезонансный дроссель	3	8	7	3.5	3	6	1.12

Рис. L38. Допустимые токи перегрузки

Настройка электромагнитного срабатывания автоматических выключателей (защита от короткого замыкания) должна быть установлена на уровне 10 x I_N, чтобы быть нечувствительной к пусковым токам.

Пример 1:

50 квар – 400 В – 50 Гц – стандартные КБ

$$I_N = \frac{50}{\sqrt{3} \times 0{,}4} = 72 \text{ A}$$

При большой выдержке времени: 1,5x72=108 А

При малой выдержке времени: 10x72=720 А

Пример 2:

50 квар – 400 В – 50 Гц – стандартные КБ + 5,7% антирезонансный дроссель

$I_N = 72$ A

При большой выдержке времени: 1,31x72=94 А

При малой выдержке времени: 10x72=720 А

Соединительные кабели

На **рис. L39** на следующей странице приводятся минимальные значения площади поперечного сечения соединительного кабеля для БСК.

Кабели управления

Минимальная площадь поперечного сечения таких кабелей должна быть 1,5 мм^2 для 230 В. Для стороны вторичной обмотки трансформатора рекомендуемая площадь поперечного сечения ≥ 2,5 мм^2.

Мощность блока (квар) 230 В	400 В	Сечение медного кабеля (мм^2)	Сечение алюмин. кабеля (мм^2)
5	10	2.5	16
10	20	4	16
15	30	6	16
20	40	10	16
25	50	16	25
30	60	25	35
40	80	35	50
50	100	50	70
60	120	70	95
70	140	95	120
90-100	180	120	185
	200	150	240
120	240	185	2 x 95
150	250	240	2 x 120
	300	2 x 95	2 x 150
180-210	360	2 x 120	2 x 185
245	420	2 x 150	2 x 240
280	480	2 x 185	2 x 300
315	540	2 x 240	3 x 185
350	600	2 x 300	3 x 240
385	660	3 x 150	3 x 240
420	720	3 x 185	3 x 300

(1) Минимальное сечение без учета поправочных коэффициентов (режим установки, температура и т. д.). Расчеты выполнены для однофазных кабелей, проложенных на открытом воздухе при температуре 30° C.

Рис. L39. Сечение кабелей, соединяющих блоки конденсаторов средней и большой мощности (1)

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

10 Применение КБ

Переходные напряжения

Переходные напряжения высокой частоты сопровождают переходные токи высокой частоты.

Максимальный пик переходного напряжения никогда (при отсутствии гармоник установившегося режима) не превышает удвоенное максимальное значение номинального напряжения при включении незаряженного конденсатора в работу.

Однако, если конденсатор уже заряжен в момент включения выключателя, переходное напряжение может достигать максимального значения, приблизительно в 3 раза превышающего номинальное амплитудное значение.

Этот максимальный режим возникает при следующих условиях:
- существующее напряжение на конденсаторе равно амплитудному значению номинального напряжения;
- контакты переключателя замыкаются в момент амплитудного питающего напряжения;
- полярность питающего напряжения противоположна полярности заряженного конденсатора.

В такой ситуации переходный ток принимает свое максимальное возможное значение, а именно, вдвое больше своего максимума при включении предварительно незаряженного конденсатора, как указывается выше.

Для любых других значений напряжения и полярности на предварительно заряженном конденсаторе переходные пики напряжения и тока будут меньше, чем указанные выше. В случае пикового номинального напряжения на конденсаторе, имеющего ту же полярность, что и питающее напряжение, и включении переключателя в момент пика питающего напряжения не будет переходного напряжения или тока.

В случае автоматического переключения секций КБ, необходимо обеспечить, чтобы включаемая секция конденсаторов была полностью разряжена.

Время разрядки может уменьшаться, при необходимости, с помощью разрядных резисторов с пониженным значением сопротивления.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

Глава M

Управление гармониками

1 Зачем нужно управлять гармониками? M2

2 Определение и происхождение гармоник M3
2.1 Определение M3
2.2 Происхождение гармоник M5

3 Основные показатели гармонического искажения и принципы измерения M7
3.1 Коэффициент мощности M7
3.2 Крест-фактор M8
3.3 Гармонический спектр M9
3.4 Среднеквадратичное значение M9
3.5 Использование различных показателей M9

4 Измерение гармоник в электрических сетях M10
4.1 Процедура измерения гармоник M10
4.2 Приборы для измерения гармоник M11
4.3 Гармоники какого порядка должны быть проверены и уменьшены? M12

5 Основные эффекты гармоник в электроустановках M13
5.1 Резонанс M13
5.2 Увеличение потерь M13
5.3 Перегрузка оборудования M15
5.4 Возмущения, влияющие на чувствительные нагрузки M18
5.5 Экономические последствия M19

6 Стандарты M20

7 Способы ослабления гармоник M21
7.1 Основные решения M21
7.2 Фильтрация гармоник M22
7.3 Метод M24

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Зачем нужно управлять гармониками?

Возмущения, вызываемые гармониками

Гармоники, протекающие в распределительных сетях могут иметь ряд негативных последствий. Качество электрической энергии ухудшается, а эффективность системы снижается.

Вот основные риски, связанные с гармониками:

- перегрузки в распределительных сетях из-за увеличения действующего значения тока;
- перегрузки в нулевых (нейтральных) проводниках, которые превышают значения фазных токов;
- перегрузки, вибрация и преждевременное старение генераторов, трансформаторов и электродвигателей, а также повышенный шум трансформаторов;
- перегрузки и преждевременное старение конденсаторов и коррекция коэффициента мощности;
- искажение формы питающего напряжения, которое может повлиять на «чувствительные» нагрузки;
- помехи в сетях связи и телефонных линиях.

Экономические последствия гармонических возмущений

Все эти нарушения имеют экономические последствия:

- преждевременное старение оборудования означает, что оно должно быть заменено раньше запланированного срока, если в нем с самого начала не был предусмотрен запас мощности;
- перегрузки в распределительной сети могут привести к более высоким уровням потребления энергии и увеличению потерь;
- искажение формы кривой тока, способное вызывать ложное срабатывание автоматических выключателей, что может приводить к остановке производственного процесса.

Необходимые требования к проектированию и управлению электроустановками

Гармоники являются результатом растущего числа устройств силовой электроники. Они стали появляться из-за их возможностей точного управления технологическими процессами и преимущества энергосбережения. Типичными примерами являются приводы с регулируемой частотой вращения в промышленности и компактные люминесцентные лампы в коммерческих и жилых сферах.

Международные стандарты были опубликованы для того, чтобы помочь проектировщикам оборудования и установок. Предельные значения гармоник были установлены таким образом, чтобы никакие неожиданные и негативные влияния гармоник не должны встречаться. Параллельно с улучшением понимания эффекта, были разработаны решения для промышленности. Рассмотрение гармоник в настоящее время является полноценной частью проектирования электрооборудования.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Определение и происхождение гармоник

2.1 Определение

Наличие гармоник в электрических системах означает, что ток и напряжение искажены и отклоняются от синусоидальных сигналов.
Токи гаромник вызываются нелинейными нагрузками, подключенными к системе распределения. Нагрузка называется нелинейной, когда кривая тока не имеет такую же форму сигнала, как напряжение питания. Поток токов гармоник через систему сопротивлений в свою очередь, создает гармоники напряжения, которые искажают напряжение питания.

На **рис. M1** представлены типичные осциллограммы тока для однофазной (сверху) и трехфазных нелинейных нагрузок (внизу).

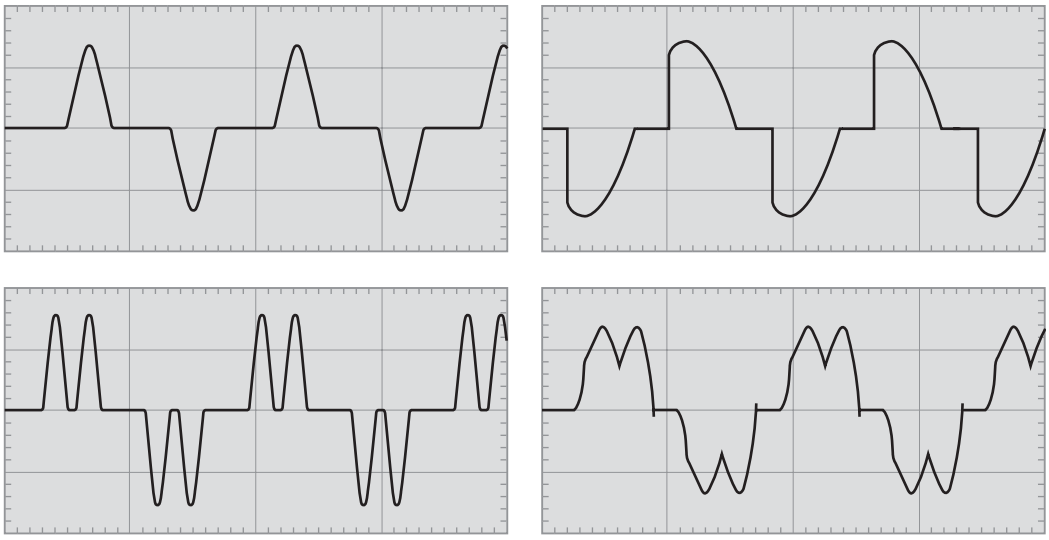


Рис. M1. Примеры искаженных токовых сигналов

Теорема Фурье утверждает, что все не синусоидальные периодические функции могут быть представлены в виде суммы слагаемых (то есть ряд) состоящих из:

- синусоидальный срок на основной частоте;
- синусоид (гармоник), частоты которых являются целыми кратными основной частоты;
- компонента постоянного тока, где это применимо.

Гармоническая составляющая порядка h (обычно называемый просто h-го гармоника) в сигнале является синусоидальной составляющей с частотой, которая представляет собой h раз основной частоты.

Уравнение для гармонического разложения периодической функции y (t) представлено ниже:

$$y(t) = Y_0 + \sum_{h=1}^{h=\infty} Y_h \sqrt{2} \sin(h\omega t - \varphi_h),$$

где:

- Y_0: значение составляющей постоянного тока, как правило, от нуля и рассматривается как таковое в дальнейшем;
- Y_h: действующее значение гармоники порядка h;
- ω: угловая частота основной частоты;
- φ_h: угол сдвига гармонической составляющей при t = 0.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Определение и происхождение гармоник

На **рис. M2** показан пример токовой волны, измененной от гармонических искажений в системе распределения электрической энергии 50 Гц. Искаженный сигнал является суммой ряда наложенных гармоник:

- Значение основной частоты (или гармоники 1-го порядка) составляет 50 Гц,
- Гармоники 3-го порядка имеют частоту 150 Гц,
- Гармоники 5-го порядка имеют частоту 250 Гц.
- и т.д...

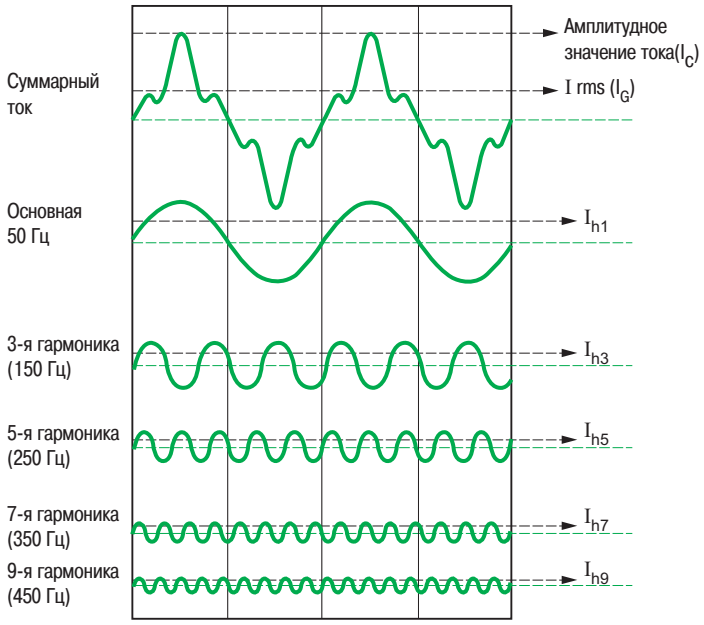


Рис. M2. Пример кривой тока, содержащего гармоники, и его составляющие: 1 (основная), 3, 5, 7 и 9 гармоники

Индивидуальная гармоническая составляющая (или гармоническая составляющая h порядка)

Индивидуальная гармоническая составляющая определяется как процент от гармоник для h-порядка относительно основной. В частности:

$$u_h(\%) = 100\frac{U_h}{U_1}$$ для гармоник напряжения

$$i_h(\%) = 100\frac{I_h}{I_1}$$ для гармоник тока

Коэффициент нелинейных искажений (THD)

Суммарный коэффициент гармонических искажений (THD) является показателем искажения сигнала. Он широко используется в электротехнике и в управлении гармониками в частности.

Для сигнала y, THD определяется следующим образом:

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{h=H}\left(\frac{Y_h}{Y_1}\right)^2} = \frac{\sqrt{Y_2^2 + Y_3^2 + \ldots + Y_H^2}}{Y_1}$$

THD – это отношение действующего значения всех гармонических составляющих сигнала y, к основному Y_1.

Количество значимых гармоник, как правило, принимается равным 50, но может быть ограничено и в большинстве случаев до 25.

Обратите внимание, что коэффициент нелинейных искажений может быть равен 1 и, как правило, выражается в процентах.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Определение и происхождение гармоник

Ток или напряжение THD

Уравнение для гармоник тока:

$$THD_i = \sqrt{\sum_{h=2}^{h=H}\left(\frac{I_h}{I_1}\right)^2}$$

Путем введения общего действующего значения тока: $I_{rms} = \sqrt{\sum_{h=1}^{h=H} I_h^2}$ получаем:

$$THD_i = \sqrt{\left(\frac{I_{rms}}{I_1}\right)^2 - 1} \qquad \text{эквивалентно:} \qquad I_{rms} = I_1\sqrt{1+THD_i^{\,2}}$$

Пример: для значения THD_i = 40%, мы получаем

$$I_{rms} = I_1\sqrt{1+(0{,}4)^2} = I_1\sqrt{1+0{,}16} \approx I_1 \times 1{,}08$$

Уравнение для гармоник напряжения:

$$THD_u = \sqrt{\sum_{h=2}^{h=H}\left(\frac{U_h}{U_1}\right)^2}$$

2.2 Происхождение гармоник

Гармоники тока

Схемы оборудования, включающие силовую электронику, представляют собой типичные нелинейные нагрузки и генерируют гармоники тока. Такие нагрузки встречаются все чаще во всех промышленных, коммерческих и жилых объектах, и их доля в общем потреблении электроэнергии неуклонно растет.

Примеры нелинейных нагрузок:

- промышленное оборудование (сварочные аппараты, дуговые и индукционные печи, аккумуляторные батареи зарядных устройств);
- преобразователи частоты для асинхронных двигателей или двигателей постоянного тока;
- источники бесперебойного питания;
- офисное оборудование (компьютеры, принтеры, серверы и т.д.);
- бытовая техника (телевизоры, микроволновые печи, люминесцентное освещение, диммеры для регулирования силы света лампы).

Гармоники напряжения

Для того чтобы понять происхождение гармонических напряжений, давайте рассмотрим упрощенную схему на **рис. M3**.

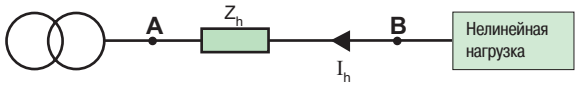


Рис. M3. Однолинейная схема, показывающая сопротивление питающей цепи для нелинейной нагрузки

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Определение и происхождение гармоник

Реактивное сопротивление проводника возрастает с увеличением частоты тока, протекающего по этому проводнику. Поэтому для каждой гармоники тока (h-го порядка) в питающей цепи существует некоторое полное сопротивление Z_h.
Вся эта система может быть разделена на различные контуры:

- Одна схема, представляющая собой поток тока на основной частоте.
- Одна схема, представляющая собой протекание гармоник тока.

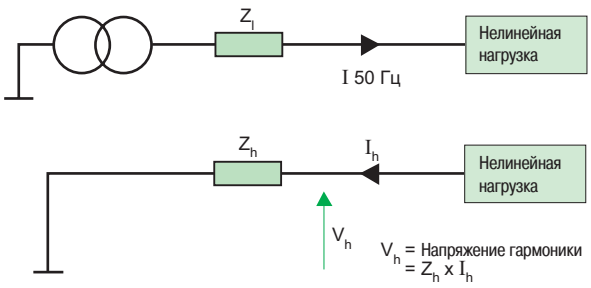


Рис. M4. Разделение схемы на основную и гармоническую составляющую

Когда гармоники тока h-го порядка протекают через полное сопротивление Z_h, он создает напряжение гармоники U_h, где $U_h = Z_h \times I_h$ (по закону Ома).
Напряжение в точке B, следовательно, искажается. Все устройства, питающиеся через точку B, получают напряжение искаженной формы.
Для тока данной гармоники искажение напряжения пропорционально полному сопротивлению распределительной сети.

Поток гармонических токов в распределительных сетях

Можно считать, что нелинейные нагрузки генерируют токи высших гармоник в распределительную сеть в направлении источника питания. Гармонические токи, генерируемые различными нагрузками, суммируются на уровне сборных шин, создавая гармонические искажения. Из-за различных типов нагрузок, гармоники тока одного и того же порядка, как правило, отличаются по фазе. Это эффект многообразия приводит к частичному суммированию.

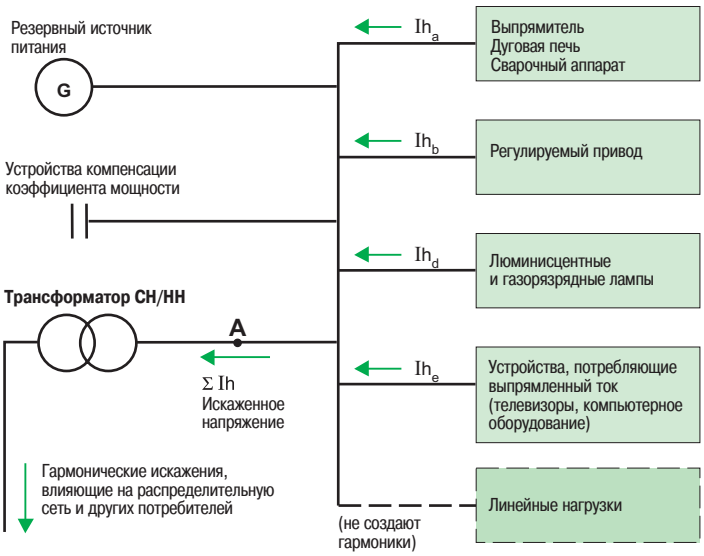


Рис. M5. Протекание гармоник тока в распределительной сети

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Основные показатели гармонического искажения и принципы измерения

Для количественного измерения и оценки гармонических искажений форм токов и напряжений используются несколько показателей, в частности:

- коэффициент мощности;
- крест-фактор;
- гармонический спектр;
- действующее значение.

Эти показатели следует использовать при определении любого необходимого корректирующего действия.

3.1 Коэффициент мощности

Коэффициент мощности λ является отношением активной мощности P (кВт) к полной мощности S (кВА). Смотрите главу L.

$$\lambda = \frac{P(\text{кВт})}{S(\text{кВА})}$$

Коэффициент мощности не должен быть зависим от смещения коэффициента мощности (cosφ), относительно только основных сигналов.
Поскольку полная мощность рассчитывается из действующего значения, то коэффициент мощности интегрирует искажение напряжения и тока.

Когда напряжение синусоидальной или практически синусоидальной (THD_U ~ 0), то можно сказать, что активная мощность является функцией только основного тока. Затем:

$$P \approx P_1 = U_1 I_1 \cos\varphi$$

Вследствие этого: $\lambda = \frac{P}{S} = \frac{U_1 I_1 \cos\varphi}{U_1 I_{rms}}$

В виде: $\frac{I_1}{I_{rms}} = \frac{1}{\sqrt{1+THD_i^2}}$ (см. 2.1), следовательно: $\lambda \approx \frac{\cos\varphi}{\sqrt{1+THD_i^2}}$

На **рис. M6** показан график λ/cosφ как функция THD_i, для THD_u ~ 0.

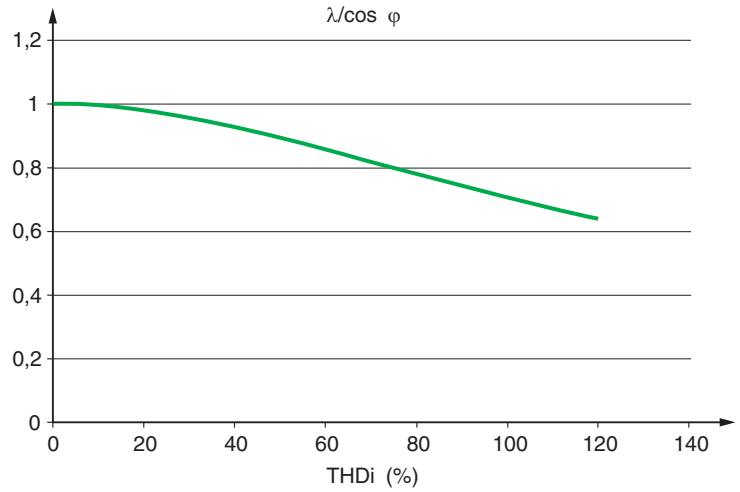


Рис. M6. Изменение λ/cosφ как функция THD_i, для THD_u ~ 0

M7

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Основные показатели гармонического искажения и принципы измерения

3.2 Крест-фактор

Крест-фактор представляет собой отношение между величиной амплитуды тока или напряжения (I_M или U_M) и его действующее значение.

- Для синусоидального сигнала крест-фактор, следовательно, равен $\sqrt{2}$.
- Для несинусоидального сигнала крест-фактор может быть больше или меньше $\sqrt{2}$.

Крест-фактор для тока, потребляемого нелинейными нагрузками, обычно намного выше, чем $\sqrt{2}$. Это, как правило, от 1,5 до 2, но в критических случаях может даже достигать 5.
Большая величина крест-фактора свидетельствует о наличии больших гармонических токов, способных вызывать ложные срабатывания защитных устройств.

Примеры:

Рис. M7 представляет ток, потребляемый компактной люминесцентной лампой.

$I_{r.m.s.}$:	0,16 A
I_M :	0,6 A
THD_i :	145%
Крест-фактор:	3,75

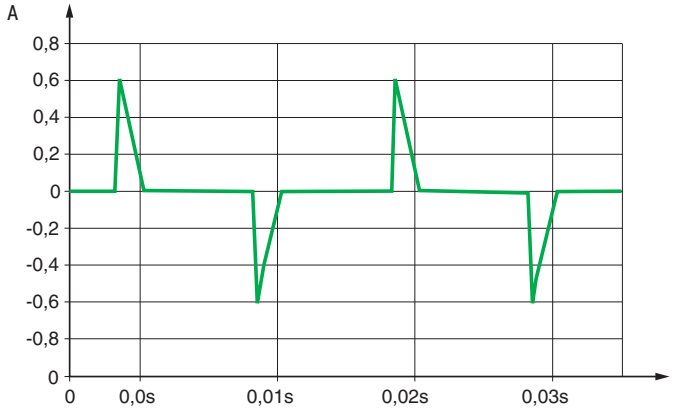


Рис. M7. Типовая форма кривой тока компактной люминесцентной лампы

Рис. M8 представляет напряжение с нелинейными нагрузками через высокое полное сопротивление линии, с типичной «плоской вершиной» искаженной формы волны.

$V_{r.m.s.}$:	500 В
V_M :	670 В
THD_u :	6,2%
Крест-фактор:	1,34

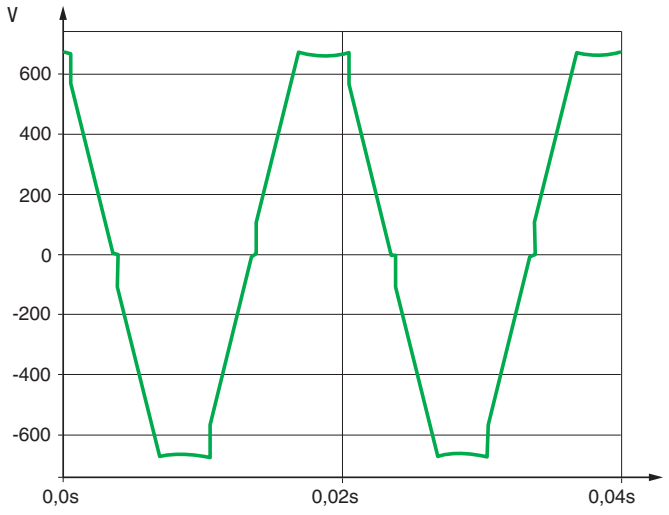


Рис. M8. Типовая форма кривой напряжения в случае высокого полного сопротивления линии питания с нелинейными нагрузками

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Основные показатели гармонического искажения и принципы измерения

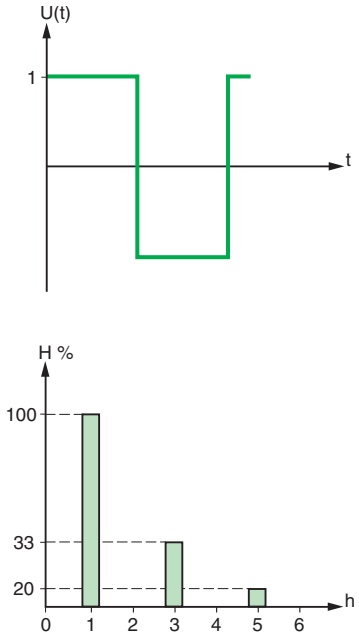


Рис. M9. Гармонический спектр для прямоугольного сигнала U(т)

3.3 Гармонический спектр

Гармонический спектр является представления амплитуды каждой гармоники по отношению к её частоте.

На **рис. M9** показан пример гармонического спектра для прямоугольного сигнала.

Каждый тип устройств, вызывающих гармоники, имеет определенную форму тока, с определенным содержанием гармоник. Эта характеристика может быть отображена с помощью гармонического спектра.

3.4 Среднеквадратичное значение

Действующее значение напряжения и тока может быть вычислено как функция от действующего значения различных гармонических составляющих:

$$I_{rms} = \sqrt{\sum_{h=1}^{H} I_h^2} = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + \ldots + I_H^2}$$

$$V_{rms} = \sqrt{\sum_{h=1}^{H} V_h^2} = \sqrt{V_1^2 + V_2^2 + \ldots + V_H^2}$$

3.5 Использование различных показателей

Показатель $\mathbf{THD_U}$ характеризует искажение формы кривой напряжения.
Ниже приведены несколько значений THD_U и соответствующие им явления, происходящие в электроустановке:

- ≤ 5%: нормальная ситуация, полное отсутствие риска неисправностей;
- от 5 до 8%: значительное загрязнение сети гармониками, возможны некоторые сбои в работе;
- ≥ 8%: большая степень загрязнения сети гармониками, возможны сбои в работе оборудования. Требуются проведение тщательного анализа и установка компенсирующих устройств.

Показатель $\mathbf{THD_I}$ характеризует искажение формы кривой тока. Искажение формы кривой тока может быть различным в разных частях установки. Происхождение возможных возмущений могут быть обнаружено путем измерения THD_I различных схем.
Ниже приведены ориентировочные значения THD_I и соответствующие явления для целой установки:

- ≤ 10%: нормальная ситуация, полное отсутствие риска неисправностей;
- от 10 до 50%: значительное загрязнение сети гармониками с опасностью повышения температуры и обусловленной этим необходимостью перехода на кабели большего сечения и более мощные источники питания;
- ≥ 50%: большая степень загрязнения сети гармониками, возможны сбои в работе оборудования. Требуются проведение тщательного анализа и установка компенсирующих устройств.

Коэффициент мощности
Используется для того, чтобы оценить насколько необходимо повысить мощность источника питания рассматриваемой электроустановки.

Крест-фактор
Используется для оценки способности генератора (или источника бесперебойного питания) обеспечивать мгновенные токи большой величины. Например, компьютерная техника потребляет ток с сильно искаженной формой волны, для которого крест-фактор может достигать значений 3-5.

Спектр (разложение сигнала на отдельные гармоники)
Дает другое представление электрических сигналов и может использоваться для оценки степени их искажения.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Измерение гармоник в электрических сетях

4.1 Процедура измерения гармоник

Измерения гармоник проводятся на промышленных или коммерческих объектах:

■ в профилактических целях, чтобы получить общее представление о состоянии распределительной сети (составления карты сети);

■ в связи с принятием корректирующих мер, чтобы определить причину, источник возмущения и выбрать технические решения, необходимые для их устранения;

■ для проверки правильности выбранного решения (после введения изменений в распределительную сеть и проверки снижения доли гармоник).

Показатели гармоник могут быть измерены:

■ экспертами на установках в течение ограниченного периода времени (один день); дают точную, но ограниченную оценку ситуации;

■ специальным устройством, установленным и действующим в течение определенного периода времени (по крайней мере одну неделю) дает надежную оценку ситуации;

■ или устройством, постоянно установленным в распределительной сети, что позволяет целостно оценить качество электроэнергии.

Одноразовые или корректирующие действия

Такого рода действия выполняются в случае наблюдаемых нарушений, причиной которых могут являться гармоники. Для того чтобы определить причину и источник, выполняются измерения тока и напряжения:

■ на уровне источника питания;

■ на сборных шинах главного распределительного щита (или на сборных шинах среднего напряжения);

■ на каждой отходящей линии в главном распределительном щите НН.

Для получения точных результатов необходимо знать условия эксплуатации электроустановки и, в частности, состояние батарей конденсаторов (включены, не включены, количество отключенных ступеней).

Анализ результатов измерений поможет:

■ определить необходимость снижения номинальных значений параметров установленного оборудования;

■ количественно определить параметры необходимых систем фильтрации и защиты от гармоник, которые должны быть установлены в исследуемой распределительной сети;

■ обеспечить возможность сравнения измеренных и допустимых значений параметров распределительной сети (максимальные значения гармонических искажений, допустимые значения, номинальные значения).

Долгосрочные или профилактические мероприятия

В силу ряда причин предпочтительнее устанавливать в распределительной сети стационарные измерительные устройства:

■ Присутствие эксперта ограничено по времени. Только несколько измерений в разных точках электроустановки и на протяжении достаточно длительного периода (от недели до месяца) позволяют получить общее представление о работе электроустановки и учесть все ситуации, которые могут возникнуть, в частности:

□ колебания напряжения источника питания;

□ изменения в работе электроустановки;

□ добавление нового оборудования к электроустановке.

■ Измерительные устройства, установленные в распределительной сети, обеспечивают получение необходимых данных и облегчают проведение диагностики экспертами, сокращая тем самым количество и продолжительность их посещений.

■ Стационарные измерительные устройства выявляют любые новые возмущения, возникающие после установки нового оборудования, внедрения новых режимов работы или колебаний параметров питающей сети.

■ Для общей оценки (предварительного анализа) состояния сети, избавляют от необходимости:

□ брать измерительное оборудование в аренду;

□ вызывать экспертов;

□ присоединять и отсоединять измерительное оборудование. Для общей оценки состояния сети анализ главных низковольтных распределительных щитов (ГРЩ) может быть часто выполнен вводным устройством и/или измерительными устройствами, установленными в каждой из отходящих цепей.

■ для корректирующих мер имеются средства, позволяющие:

□ определить рабочие условия в момент аварийной ситуации;

□ составить карту распределительной сети и оценить внедренное техническое решение.

Использование специального оборудования для решения изучаемой проблемы повышает качество диагностики.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Измерение гармоник в электрических сетях

4.2 Приборы для измерения гармоник

Измерительные устройства обеспечивают мгновенную и усредненную информацию о гармониках. Мгновенные значения используются для анализа возмущений, связанных с гармониками. Средние значения используются для оценки качества электроэнергии.

Самые последние измерительные приборы разработаны с требованиями стандарта МЭК 61000-4-7 (ГОСТ 30804.4.7-2013) «Электромагнитная совместимость. Часть 4-7. Методики испытаний и измерений. Общее руководство по измерениям и приборам для измерения гармоник и промежуточных гармоник для систем энергоснабжения и связанного с ним оборудования».

Предоставляемые значения включают в себя:

- спектр гармоник токов и напряжений (амплитуд и процент основной кривой);
- коэффициент искажения для тока и напряжения;

Для конкретного анализа: фазовый угол между гармониками напряжения и тока одного и того же порядка и фазы гармоник относительно общей кривой (например, основное напряжение).
Средние значения показателей долгосрочного качества электроэнергии. Типичные и соответствующие статистические данные являются, например, меры усредненные по 10 минутным периодам, в течение недельного периода наблюдения.
Для достижения качества электроэнергии, 95% измеренных значений должно быть меньше указанных значений.

Рис. M10 дает максимальное напряжение гармоник для того, чтобы соответствовать требованиям стандарта EN50160 «Характеристики напряжения электричества, поставляемого общественными распределительными сетями», для НН и СН.

Нечетные гармоники, не кратные трем		Нечетные гармоники, кратные трем		Четные гармоники	
Порядок гармоники h	Относительно амплитуды, U_h,%	Порядок гармоники h	Относительно амплитуды, U_h,%	Порядок гармоники h	Относительно амплитуды, U_h,%
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1.5	4	1
11	3,5	15	0.5	6...24	0,5
13	3	21	0.5		
17	2				
19	1.5				
23	1.5				
25	1.5				

Рис. M10. Значения отдельных гармоник напряжения на клеммах подключения питания проводится до 25 порядка гармоник заданных в процентах от основного напряжения U_1

Портативные приборы

Традиционные методы контроля и измерений предусматривают использование:

- Осциллографов

Первые признаки искажений сигнала можно получить, просматривая сигналы тока или напряжения на осциллографе.
Отклонение формы волны от синусоидальной отчетливо указывает на наличие гармоник. На осциллограммах тока и напряжения появляются пики.
Заметим, однако, что данный метод не позволяет точно измерить гармонические составляющие.

- Цифровой анализатор

Только в последнее время цифровые анализаторы могут определить значения всех указанных показателей с достаточной точностью.
Они используют цифровые технологии, в частности, высоко производительный алгоритм, который называется быстрое преобразование Фурье (FFT). Сигналы тока или напряжения преобразуются в цифровую форму, и алгоритм применяется на данные временные окна (10 периодов для системы с частотой 50 Гц или 12 периодов для системы с частотой 60 Гц).
Амплитуда и фаза гармоники, вплоть до 40-го или 50-го порядка вычисляются в зависимости от класса точности измерений.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Измерение гармоник в электрических сетях

Рис. M11. Установка цифрового записывающего устройства качества электроэнергии в шкафу

Обработка последовательных значений, вычисленных с использованием быстрого преобразования Фурье (сглаживание, классификация, статистика), может осуществляться с помощью измерительного устройства или с помощью внешнего программного обеспечения.

Функции цифровых анализаторов

- Вычисляют значения гармонических показателей (коэффициент мощности, крест-фактор, индивидуальная амплитуда гармоник h-порядка, коэффициент искажения).
- В многоканальных анализаторах обеспечивают разложение в реальном времени в спектр тока и напряжений.
- Выполняют различные дополнительные функции (коррекцию, статистическое обнаружение, управление процессом измерений, отображение, обмен данными и др.);
- Обеспечивают хранение данных.

Фиксированные приборы

Приборная панель обеспечивает поступление непрерывной информации менеджеру электрической установки. Данные могут быть доступны с помощью специальных устройств мониторинга питания или с помощью цифровых расцепителей автоматических выключателей.

Рис. M12. Устройство измерния мощности и энергии

Рис. M13. Пример электронного расцепителя в автоматическом выключателе, обеспечивающего информацию о гармониках

4.3 Гармоники какого порядка должны быть проверены и уменьшены?

Наиболее значительные гармоники в трехфазных распределительных сетях являются нечетные порядки (3, 5, 7, 9, 11, 13).

Гармоники, кратные трем, присутствуют только в трехфазных, четырёхпроводниковых системах, когда однофазные нагрузки соединены между фазой и нейтралью.

Электроснабжающие организации, в основном, обращают внимание на гармоники низкого порядка (5, 7, 11 и 13).

Вообще говоря, достаточна гармоническая обработка низших порядков (до 13).
Более полная обработка учитывает гармонические порядки до 25.

Амплитуды гармоник обычно уменьшаются с увеличением частоты. С достаточной степенью точности измерений получаются путем измерения гармоник до порядка 30.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Основные эффекты гармоник в электроустановках

5.1 Резонанс

Одновременное использование емкостных и индуктивных устройств в распределительных сетях может привести к параллельному или последовательному резонансу.
Появляется резонанс в очень больших или в очень малых значениях полного сопротивления на уровне сборных шин, на разных частотах. Изменения сопротивления вызывают изменения тока и напряжения в распределительной сети.

В данном разделе будет рассматриваться только параллельный резонанс, как наиболее распространенный.

Рассмотрим следующую упрощенную электрическую схему (см. **рис. M14**), представляющую установку, состоящую из:

- питающего трансформатора;
- линейных нагрузок;
- нелинейных нагрузок, потребляющих токи высших гармоник;
- конденсаторов для повышения коэффициента мощности.

На **рис. M15** представлена эквивалентная схема для гармонического анализа, где:

L_S = индуктивность питающей сети (вышерасположенный участок сети + трансформатор + линия)
C = емкость конденсаторов для повышения коэффициента мощности
R = активное сопротивление линейных нагрузок
I_h = ток гармоники

Пренебрегая R, полное сопротивление Z вычисляется по упрощенной формуле:

$$Z = \frac{jLs\omega}{1-LsC\omega^2}$$

с: ω = пульсация гармонических токов

Резонанс происходит, когда знаменатель $(1-L_SC\omega^2)$ стремится к нулю. Соответствующая частота называется резонансной частотой цепи. При этой частоте полное сопротивление достигает максимума, и возникают напряжения гармоник большой величины, приводящие к значительным искажениям формы питающего напряжения. Искажение формы напряжения сопровождается протеканием в цепи L_s+C токов гармоник, превышающих токи, потребляемые нагрузками, как показано на **рис. M16**.

Распределительная сеть и конденсаторы для повышения коэффициента мощности подвергаются воздействию больших токов гармоник и перегрузкам. Для того чтобы избежать резонанса, катушки индуктивности для компенсации несинусоидальности могут быть установлены последовательно с конденсаторами.

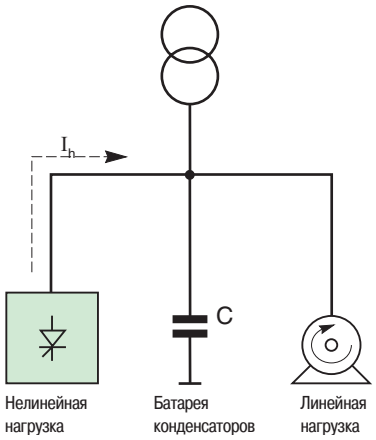


Рис. M14. Схема электроустановки

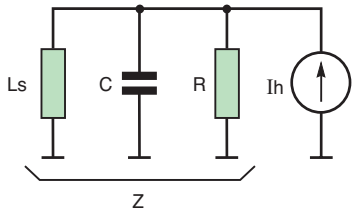


Рис. M15. Схема электроустановки, эквивалентная приведенной на рис. M14

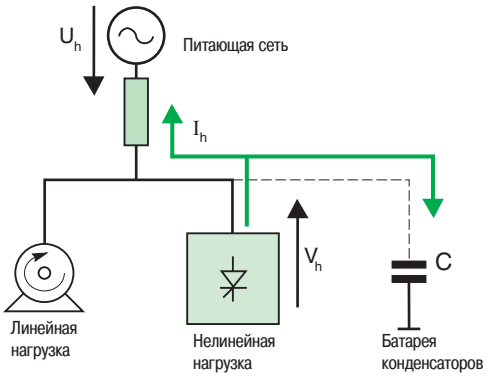


Рис. M16. Иллюстрация параллельного резонанса

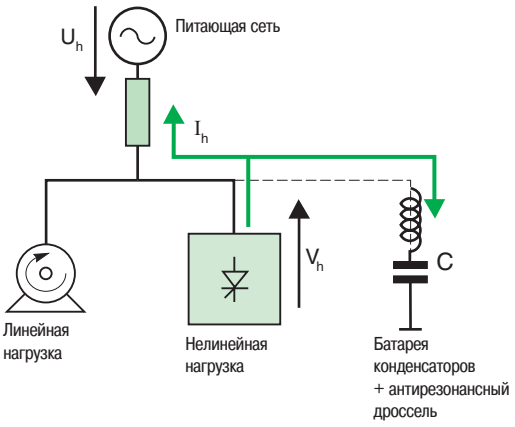


Рис. M17. Уменьшенная циркуляция гармонических токов в цепи с антирезонансным дросселем

5.2 Увеличение потерь

Потери в проводниках

Активная мощность, передаваемая нагрузке, зависит от составляющей I_1тока основной сетевой частоты.
Когда ток, потребляемый нагрузкой, содержит гармоники, то действующее значение тока $I_{r.m.s.}$ превышает ток основной гармоники I_1.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Основные эффекты гармоник в электроустановках

Суммарный коэффициент гармонических искажений тока THD_i определяется выражением:

$$THD_i = \sqrt{\left(\frac{I_{r.m.s.}}{I_1}\right)^2 - 1},$$

отсюда: $I_{r.m.s.} = I_1 \cdot \sqrt{1 + THD_i^2}$

На **рис. M18** показаны графики изменения следующих двух параметров в зависимости от суммарного коэффициента гармонических искажений:

- действующего значения тока I_{rms} для нагрузки, потребляющей некоторый основной ток;
- потери на нагрев без учета поверхностного эффекта (точкой отсчета для обоих параметров является 1, соответствующая случаю отсутствия гармоник).

Токи гармоник вызывают увеличение тепловых потерь (на нагрев) во всех проводниках, в которых они протекают, и дополнительное повышение температуры в трансформаторах, распределительных устройствах, кабелях и т.д.

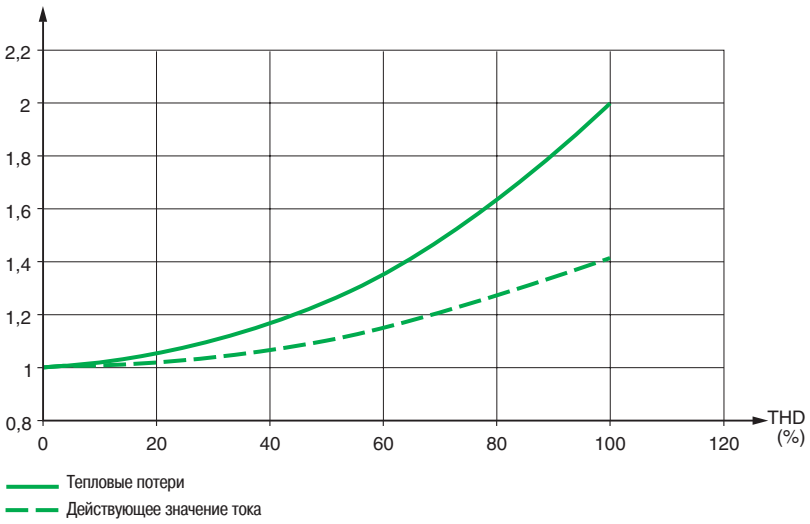


Рис. M18. Увеличение действующего значения тока и тепловых потерь в зависимости от суммарного коэффициента искажений

Потери в асинхронных двигателях

Напряжения гармоники h-го порядка, поступающие к асинхронным двигателям, генерируют в роторе токи с частотой выше 50 Гц, являющиеся причиной дополнительных потерь.

Порядки величин

- Питающее напряжение прямоугольной формы вызывает рост потерь на 20%.
- Питающее напряжение, содержащее гармоники u_5 = 8% (от основного напряжения U_1), u_7 = 5%, u_{11} = 3%, u_{13} = 1%, т.е. с суммарным коэффициентом искажений THD_u = 10% или, в соответствии с ГОСТ 13109-97, K_U = 10%, что приводит к дополнительным потерям в 6%.

Потери в трансформаторах

Токи гармоник, протекающие в трансформаторах, вызывают увеличение потерь в «меди» вследствие эффекта Джоуля и в «железе» из-за вихревых токов. Напряжения гармоник являются причиной потерь в «железе» вследствие гистерезиса.
Обычно считается, что потери в обмотках возрастают пропорционально квадрату THD_i, а потери в сердечнике – пропорционально THD_U.
В распределительных трансформаторах коммунального хозяйства, в которых уровни искажений ограничены, рост потерь составляет от 10 до 15%.

Потери в конденсаторах

Напряжения гармоник, приложенные к конденсаторам, приводят к появлению токов, пропорциональных частотам этих гармоник. Эти токи вызывают дополнительные потери.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Основные эффекты гармоник в электроустановках

Пример
Питающее напряжение содержит следующие гармоники:
- основное напряжение U_1;
- гармонические напряжения u_5 = 8% (от U_1);
- u_7 = 5%;
- u_{11} = 3%;
- u_{13} = 1%,

т.е. суммарный коэффициент искажений THD_U = 10%. Ток увеличивается в 1,19 раза, а тепловые потери – в $(1,19)^2$, т.е. в 1,4 раза.

5.3 Перегрузка оборудования

Генераторы

Номинальные характеристики (параметры) генераторов, питающих нелинейные нагрузки, должны быть снижены из-за дополнительных потерь, обусловленных протеканием токов высших гармоник. Уровень снижения рабочих параметров генератора, 30% общей нагрузки которого приходится на нелинейные нагрузки, составляет около 10%. В связи с этим необходимо использовать генератор повышенной мощности.

Источники бесперебойного питания (ИБП)

Ток, потребляемый компьютерными системами, имеет очень большой крест-фактор. Поэтому источник бесперебойного питания, параметры которого выбирались с учетом только действующего значения тока, может не обеспечивать необходимую амплитуду тока и оказаться перегруженным.

Трансформаторы

- Кривая, показанная ниже (см. **рис. M19**), отображает типичное требуемое снижение нагрузки трансформатора, питающего электронные приборы.

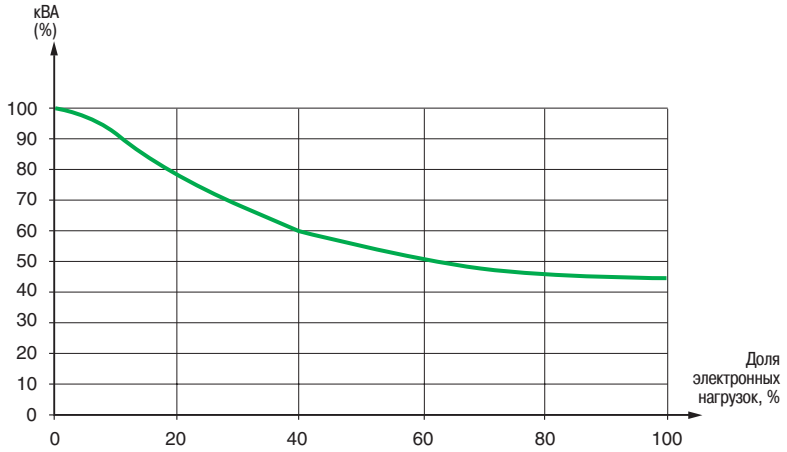


Рис. M19. Допустимая нагрузка трансформатора, питающего электронные приборы

Пример: Если 40% мощности нагрузки трансформатора приходится на электронные приборы, то его нельзя нагружать более 60% от номинала.

- Стандарт UTE C15-112 устанавливает зависимость коэффициента снижения мощности трансформаторов от токов гармоник.

$$k = \frac{1}{\sqrt{1 + 0.1\left(\sum_{h=2}^{40} h^{1.6}\ T_h^2\right)}}$$

$$T_h = \frac{I_h}{I_1}$$

Типовые значения:
- Ток прямоугольной формы (амплитуда гармоник – $1/h^1$): k = 0,86.
- Ток преобразователя частоты (THD ≈ 50%): k = 0,80.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Основные эффекты гармоник в электроустановках

Асинхронные машины

Стандарт МЭК 60034-1 (ГОСТ IEC 60034-1-2014) («Машины электрические вращающиеся. Часть 1. Номинальные значения параметров и эксплуатационные характеристики») определяет понятие взвешенного коэффициента гармоник (коэффициента гармоник напряжения), формула и максимальное значение которого приведены ниже.

$$HVF = \sqrt{\sum_{h=2}^{13} \frac{U_h}{h^2}} \leqslant 0.02$$

Пример

Питающее напряжение имеет основное напряжение U_1 и гармонические напряжения U_3 = 2% (от I_1), U_5 = 3%, U_7 = 1%. Суммарный коэффициент искажений THD_U = 3,7%, а HVF = 0,018. Это значение HVF очень близко к максимальному значению, при превышении которого необходимо проводить занижение номинальных характеристик рассматриваемого двигателя. В практическом смысле, при питании асинхронного двигателя THD_U не должен превышать 10%.

Конденсаторы

В соответствии со стандартом МЭК 60831-1 («Конденсаторы шунтирующие силовые самовосстанавливающегося типа для систем переменного тока на номинальное напряжение до 1000 В включительно. Часть 1. Общие положения. Рабочие характеристики, испытания и номинальные параметры. Требования безопасности. Руководство по установке и эксплуатации»), действующее значение тока, протекающего через конденсаторы, не должно превышать номинальный ток более чем в 1,3 раза.

Возвращаясь к приведенному выше примеру, напряжения гармоник составляют: U5 = 8% (от основного напряжения U_1), U_7 = 5%, U_{11} = 3% и U_{13} = 1%, т.е. суммарный коэффициент искажений THD_U равен 10%, и при номинальном напряжении I_{rms}/I_1 = 1,19. При напряжении, превышающем номинальное напряжение на 10%, достигается предельное значение тока I_{rms}/I_1=1,3, и необходимо использовать конденсаторы с повышенными характеристиками.

Нейтральные проводники

Рассмотрим систему, состоящую из симметричного трехфазного источника питания и трех одинаковых однофазных нагрузок, подключенных между каждой из фаз и нейтралью (см. **рис. M20**).

На **рис. M21** показаны примерные формы токов, протекающих в этих фазах, и результирующий ток в нулевом проводнике.

В этом примере ток в нулевом проводнике имеет действующее значение, которое превышает действующее значение тока в фазном проводнике в 3 раза.

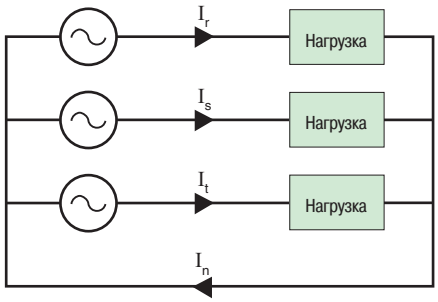


Рис. M20. Протекание токов в фазных и нулевом проводниках

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Основные эффекты гармоник в электроустановках

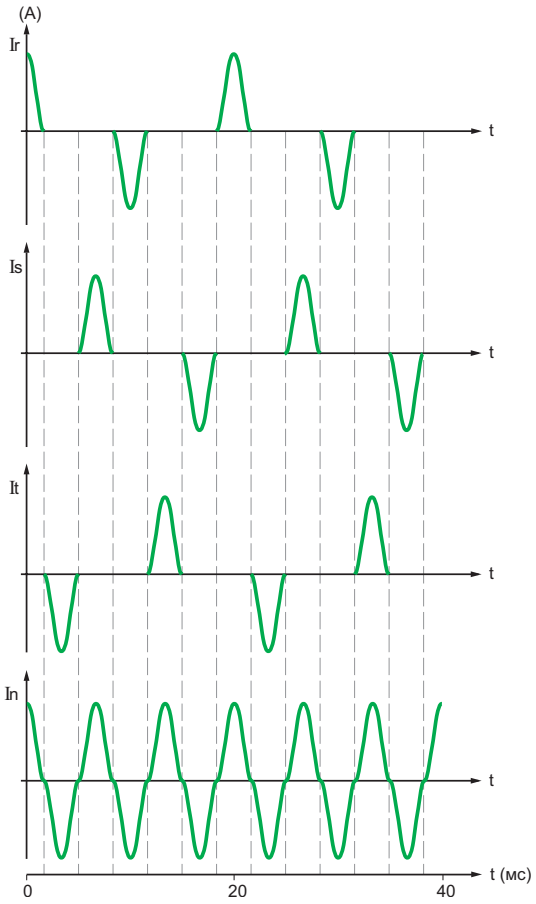


Рис. M21. Примеры токов, протекающих в фазных и нулевом проводниках в трехфазной электросети (нелинейная нагрузка) (In = Ir + Is + It)

Поэтому нейтральный проводник должен иметь соответствующий размер.

Таким образом, ток в нейтрали может превышать фазный ток в установке с большим количеством однофазных устройств (оборудование – IT, лампы дневного света). Такое явление часто встречается в офисных зданиях, компьютерных центрах, центрах обработки данных, интернет-центрах обработки вызовов, банках, торговых центрах, освещения зон розничной торговли и т.д.

Данное явление не всегда встречается, в связи с тем, что питание подается одновременно на линейные и / или трехфазные нагрузки (отопление, вентиляция, освещение лампами накаливания и т.д.), которые не генерируют гармонические токи третьего порядка. Тем не менее, особое внимание необходимо уделить определению размеров поперечного сечения нейтральных проводников при проектировании новых установок или в случае изменения нагрузок.

Для оценки нагрузки в нейтральном проводнике может быть использован упрощенный подход. Для сбалансированных нагрузок ток в нейтрали IN очень близок к 3-кратному фазному току 3-й гармоники тока (I_3), где: $I_N \approx 3.I_3$

Это может быть выражено следующим образом: $I_N \approx 3.\ i_3\ .\ I_1$

При малых значениях коэффициентов искажения среднеквадратичная величина тока подобна среднеквадратичному значению фундаментального тока, поэтому: $I_N \approx 3\ .\ i_3\ \ I_L$

и: $I_N / I_L \approx 3\ .\ i_3\ (\%)$

Это уравнение просто связывает перегрузку нейтрали (I_N/I_L) с величиной третьей гармоники тока. В частности, это показывает, что, когда это соотношение достигает 33%, то ток в нейтральном проводе равен току в фазах. Вне зависимости от значения искажения было использовано имитационное моделирование, чтобы получить более точный закон, который показан на **рис. M22** на следующей странице.

Отношение третьей гармоники оказывает влияние на ток в нейтрали и, следовательно, на производительность всех компонентов установки, в частности на:

- распределительные щиты;
- защитные распределительные устройства;
- кабели и системы кабельных каналов.

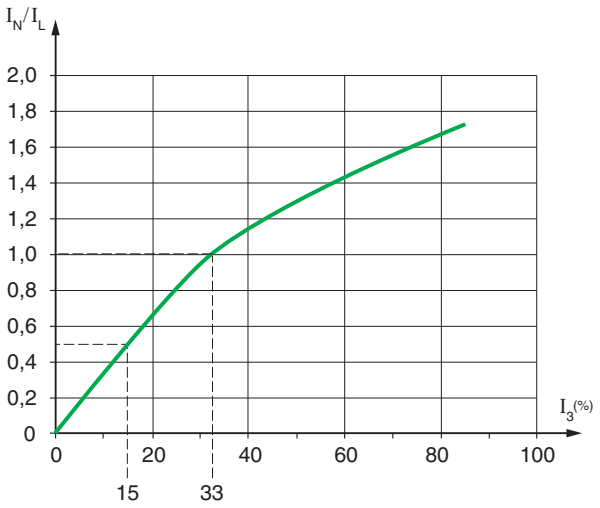


Рис. M22. Нагрузка нейтрального проводника на основе соотношения с третьей гармоникой

Согласно оценкам соотношения с третьими гармониками, есть три возможных сценария: соотношение ниже 15%, от 15 до 33% или выше 33%.

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Основные эффекты гармоник в электроустановках

Соотношение с третьей гармоникой ниже 15% ($i_3 \leq 15\%$):

Нейтральный проводник считается не несущим ток. Площадь поперечного сечения фазных проводников определяется только относительно тока в фазах.
Площадь поперечного сечения нейтрального проводника может быть меньше площади поперечного сечения фазного проводника, если площадь нейтрального проводника больше, чем 16 мм^2 (медь) или 25 мм^2 (алюминий).
Защита нейтрали не является обязательным условием, если площадь его поперечного сечения не меньше, чем в фазных проводниках.

Соотношение с третьей гармоникой находится в диапазоне между 15 и 33% ($15 < i_3 \leq 33\%$), или отсутствуют какие-либо сведения о гармонических соотношениях:

Нейтральный проводник считается несущим ток.
Рабочий ток многополюсного шинопровода должен быть уменьшен на коэффициент 0,84 (или, наоборот, рабочий ток шинопровода равен расчетному току, деленному на 0,84).
Площадь поперечного сечения нейтрали должна быть равна площади поперечного сечения фазного проводника.
Защита нейтрали не является необходимым условием.

Соотношение с третьей гармоникой больше, чем 33% ($i_3 > 33\%$)

Этот редкий случай представляет особенно высокий коэффициент гармоник, порождающий циркуляцию тока в нейтрали, значение которой больше, чем значение тока в фазах.
Поэтому меры предосторожности должны быть приняты при расчете параметров нейтрального проводника.
Как правило, рабочий ток фазных проводников должен быть уменьшен на коэффициент 0,84 (или, наоборот, рабочий ток шинопровода равен расчетному току, деленному на 0,84). Кроме того, рабочий ток нейтрального проводника должен быть равен 1,45 рабочего тока фазных проводников (т.е. 1,45 / 0,84 соотношение фазного тока с расчетным, поэтому фазный ток примерно в 1,73 раз превышает расчетный).

Рекомендуемый способ заключается в использовании многополюсный шинопровода, в котором площадь поперечного сечения нейтрали равна площади поперечного сечения фаз. Поэтому нейтральный проводник является ключевым фактором в определении площади поперечного сечения проводников. Защита нейтрали не является необходимым условием, хотя она и должна быть защищена, если есть какие-либо сомнения с точки зрения нагрузки нейтрального проводника.

Этот подход является общим в окончательном распределении, где многополюсные кабели имеют одинаковые площади поперечного сечения для фаз и для нейтрали.
В системе сборных шин (шинопроводах), точное знание о возрастающей температуре, вызывающей гармонические токи, позволяет использовать менее консервативный подход. Сечение системы шинопроводов может быть вычислено непосредственно по площади сечения нейтрального проводника.
Более подробную информацию можно найти в главе E, пункт 2.3 «Влияние гармонических токов при выборе шинопроводов» и «Cahier Technique ECT212: Нейтраль: Одножильный проводник под напряжением».

5.4 Возмущения, влияющие на чувствительные нагрузки

Влияние искажения формы питающего напряжения

Искажение формы питающего напряжения может нарушить работу измерительных устройств:
- устройств регулирования (температура);
- компьютерного оборудования;
- устройств контроля и мониторинга (реле защиты).

Искажение телефонных сигналов

Гармоники вызывают помехи в цепях управления (низкие уровни тока). Уровень искажений зависит от длины параллельно идущих силовых цепей и кабелей управления, расстояния между этими кабелями и частоты гармоник.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Основные эффекты гармоник в электроустановках

5.5 Экономические последствия

Потери энергии

Гармоники вызывают дополнительные потери энергии в проводниках и оборудовании (эффект Джоуля).

Повышенные затрат на электроэнергию

Наличие токов гармоник может потребовать увеличения потребляемой мощности и, следовательно, более высоких затрат.
Кроме того, энергоснабжающие компании намерены взимать повышенные тарифы с потребителей, которые выдают большое количество гармоник.

Необходимость использования оборудования с повышенными номинальными характеристиками

- Снижение мощности источников питания (генераторов, трансформаторов и источников бесперебойного питания) вследствие наличия гармонических искажений означает необходимость использования устройств с более высокими номинальными характеристиками.
- Сечение проводников должно выбираться с учетом протекания токов гармоник. Кроме того, из-за поверхностного эффекта сопротивление этих проводников возрастает с частотой. Чтобы избежать чрезмерных тепловых потерь, необходимо использовать проводники большего сечения.
- Протекание гармоник в нулевом проводнике означает, что его сечение тоже должно быть увеличено.

Уменьшение срока службы оборудования

Когда коэффициент искажений питающего напряжения приближается к 10%, срок службы оборудования значительно снижается. Это снижение было оценено на уровне:
- 32,5% для однофазных машин;
- 18% для трехфазных машин;
- 5% для трансформаторов.

Для того чтобы сроки службы оборудования соответствовали номинальной нагрузке, должно использоваться оборудование с завышенными параметрами (номинальная мощность, сечение проводников и т.д.).

Ложное срабатывание автоматических выключателей и отключение электроустановки

Автоматические выключатели, используемые в электроустановке, подвергаются воздействию пиковых токов, создаваемых гармониками.
Эти пиковые значения токов вызывают их ложное срабатывание, что приводит к производственным потерям и затратам времени на повторный запуск электроустановки.

Примеры

Учитывая экономические последствия для перечисленных ниже электроустановок, оказалось необходимым установить фильтры подавления гармоник.

Вычислительный центр страховой компании
Было подсчитано, что стоимость часа простоя, вызванного ложным срабатыванием автоматического выключателя в этом центре, составляет 100000 евро.

Фармацевтическая лаборатория
Гармоники привели к выходу из строя генераторной установки и прерыванию продолжительных испытаний нового лекарственного средства. Соответствующие убытки были оценены в 17 млн евро.

Металлургический завод
Комплекс индукционных печей вызвал перегрузку и разрушение в течение одного года трех трансформаторов мощностью от 1500 до 2500 кВА. Стоимость нарушений производственного процесса была оценена в 20000 евро в час.

Фабрика, производящая садовую мебель
Выход из строя регулируемых приводов приводил к остановкам производства, ущерб оценен в 10000 евро в час.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

6 Стандарты

Допустимые параметры гармоник регламентируются различными стандартами и правилами:
- Стандарты совместимости для распределительных сетей
- Применение стандартов к оборудованию, вызывающему гармоники
- Рекомендации, выдаваемые энергоснабжающей компанией и применяемые к установкам

В настоящее время действует тройная система стандартов и правил на основании документов, перечисленных ниже, с учетом которых резко ослабевает влияние гармоник на энергосистему.

Стандарты, регулирующие совместимость между распределительными сетями и продуктами

Эти стандарты определяют необходимую совместимость между распределительными сетями и продуктами:
- Гармоники, вызванные устройствами, не должны оказывать сильного влияния на распределительные сети.
- Каждое устройство должно быть способно работать в номинальных диапазонах при наличии возмущений до конкретных уровней.
- Стандарт МЭК 61000-2-2 применим для общественных низковольтных систем электроснабжения.
- Стандарт МЭК 61000-2-4 (ГОСТ Р 51317.2.4-2000) применим для низкого и среднего напряжения промышленных установок.

Стандарты, регулирующие качество распределительных сетей
- Стандарт EN 50160 предусматривает характеристики электроэнергии, поставляемой распределительными сетями общего пользования.
- Стандарт IEEE 519 представляет собой совместный подход между энергоснабжающей организацией и клиентами, чтобы ограничить влияние нелинейных нагрузок. Более того, энергоснабжающие организации поощряют профилактические действия, направленные на улучшение качества электрической энергии, повышение температуры и уменьшение коэффициента мощности. Также с ростом числа потребителей с нелинейным характером нагрузки появляются новые тарифы, которые предусматривают дополнительную плату за ухудшение качества электрической энергии.

Стандарты, регулирующие оборудование
- Стандарт МЭК 61000-3-2 (ГОСТ 30804.3.2-2013) для низковольтного оборудования с номинальным током до 16 А
- Стандарт МЭК 61000-3-12 (ГОСТ 30804.3.12-2013) для низковольтного оборудования с номинальным током, от 16 до 75 А

Максимально допустимые уровни гармоник

Международные исследования собрали данные, полученные при оценке типичных электрических распределительных сетей с содержанием часто встречающихся гармоник. **Рис. M23** представляет уровни, которые, по мнению многих энергоснабжающих организаций, не должны быть превышены.

		BH	CH	HH
Нечетные гармоники, не являющиеся кратными 3	**5**	6	5	2
	7	5	4	2
	11	3,5	3	1,5
	13	3	2,5	1,5
	17≤ h ≤ 49	$2{,}27\frac{17}{h}-0{,}27$	$1{,}9\frac{17}{h}-0{,}2$	$1.2\frac{17}{h}$
Нечетные гармоники, кратные 3	**3**	5	4	2
	9	1,5	1,2	1
	15	0,4	0,3	0,3
	21	0,3	0,2	0,2
	21< h ≤ 45	0,2	0,2	0,2
Остальные гармоники	**2**	2	1,8	1,4
	4	1	1	0,8
	6	0,5	0,5	0,4
	8	0,5	0,5	0,4
	10 ≤ h ≤ 50	$0{,}25\frac{10}{h}+0{,}25$	$0{,}25\frac{10}{h}+0{,}22$	$0{,}19\frac{10}{h}+0{,}16$
THD_u		8	6,5	3

Рис. M23. Максимально допустимые напряжения гармоник и искажения (%)

© Schneider Electric – все права защищены

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

7 Способы ослабления гармоник

Существует три различных способа ослабления гармоник:
- модификация электроустановки;
- применение специальных устройств в системе электропитания;
- фильтрация.

7.1 Основные решения

Чтобы ограничить распространение гармоник в распределительной сети, существуют различные решения, которые должны учитываться особенно при проектировании новой электроустановки.

Размещайте нелинейные нагрузки ближе к источнику питания

Гармонические искажения напряжения увеличиваются с уменьшением мощности короткого замыкания. Не учитывая всех экономических соображений, предпочтительно подсоединять нелинейные нагрузки как можно ближе к источнику питания (см. **рис. M24**).

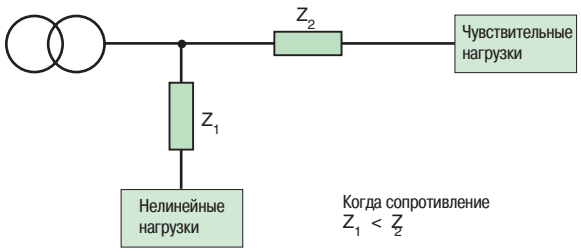


Рис. M24. Нелинейные нагрузки, подключенные как можно ближе к источнику питания (рекомендуемая схема)

Группируйте нелинейные нагрузки

При разработке однолинейной схемы нелинейные устройства должны быть отделены от других (см. **рис. M25**). Эти две группы устройств должны питаться от отдельных систем шин.

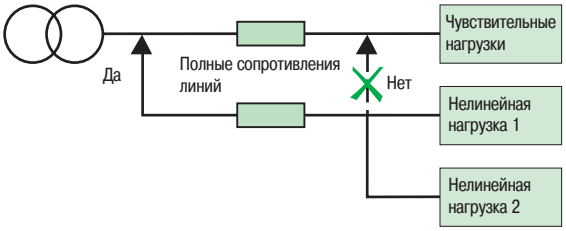


Рис. M25. Объединение в группу нелинейных нагрузок и их подсоединение как можно ближе к источнику питания (рекомендуемая схема)

Используйте отдельные источники питания

Для ограничения содержания гармоник в сети можно также использовать источник питания с отдельным трансформатором, как показано на **рис. M26**.
Недостаток этого способа заключается в повышении стоимости электроустановки.

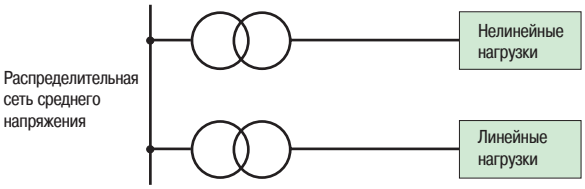


Рис. M26. Питание нелинейных нагрузок от отдельного трансформатора

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

7 Способы ослабления гармоник

Трансформаторы со специальными соединениями обмоток

Различные соединения обмоток трансформатора позволяют устранить определенные гармоники, например:

- применение трехфазного трансформатора с двумя вторичными обмотками, одна из которых соединена в звезду, а другая в треугольник (Dyd), позволяет уменьшить пятую и седьмую гармоники в первичной обмотке (см. **рис. M27**);
- соединение типа треугольник-звезда (Dy) подавляет третью гармонику;
- соединение типа треугольник-зиг-заг (Dz) подавляет пятую гармонику.

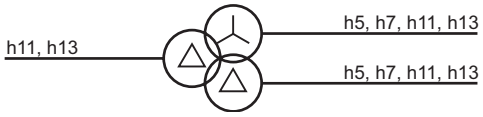


Рис. M27. Трансформатор с двумя вторичными обмотками подавляет распространение пятой и седьмой гармоник вверх по сети

Установка реакторов

При питании регулируемых приводов установка линейных реакторов позволяет сгладить форму тока. Увеличение полного сопротивления питающей сети ограничивает содержание гармоник тока. Установка на батареях конденсаторов реакторов для подавления гармоник увеличивает полное сопротивление комбинации реактор-конденсатор для высших гармоник.
Это устраняет резонанс и защищает конденсаторы.

Выбирайте подходящую систему заземления установки

Система TN-C

В системе TN-C по проводнику PEN протекают токи, вызванные неравномерной нагрузкой по фазам. В установившемся режиме по проводнику PEN протекают токи гармоник. Поскольку он имеет определенное сопротивление, то незначительные изменения потенциала (несколько вольт) между устройствами могут привести к сбоям в работе электронного оборудования.
Поэтому система TN-C должна использоваться только для питания силовых цепей в головной части сети и не должна применяться для питания «чувствительных» электроприемников.

Система TN-S

Данную систему рекомендуется применять при наличии в питающей сети гармоник. Нулевой проводник (N) и защитный проводник (PE) полностью отделены друг от друга, и поэтому распределение потенциалов по сети является более равномерным.

С практической точки зрения, THDu в сети питания асинхронных электрических машин не должно превышать 10%.

7.2 Фильтрация гармоник

В случаях, когда описанные выше превентивные меры оказываются недостаточными, необходимо оборудовать электроустановку системами фильтрации.
Существуют три типа фильтров:

- пассивные;
- активные;
- гибридные.

Пассивные фильтры

Типовые применения

- Промышленные электроустановки с комплектом нелинейных нагрузок мощностью более 500 кВА (регулируемые приводы, источники бесперебойного питания, выпрямители и др.).
- Электроустановки, в которых необходима компенсация реактивной мощности.
- Электроустановки, в которых нужно снизить искажения напряжения с тем, чтобы не создавать возмущений для чувствительных нагрузок.
- Электроустановки, в которых нужно снизить искажения тока с тем, чтобы избежать перегрузок.

Принцип действия

Параллельно нелинейной нагрузке устанавливается LC-контур, настроенный на частоту гармоники, которую необходимо подавить (см. **рис. M28**). Этот контур поглощает гармоники, предотвращая их попадание в распределительную сеть.
Обычно пассивный фильтр настраивается на частоту, близкую к частоте гармоники, которую необходимо подавить. Если требуется подавление нескольких гармоник, могут использоваться несколько параллельно соединенных фильтров.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

7 Способы ослабления гармоник

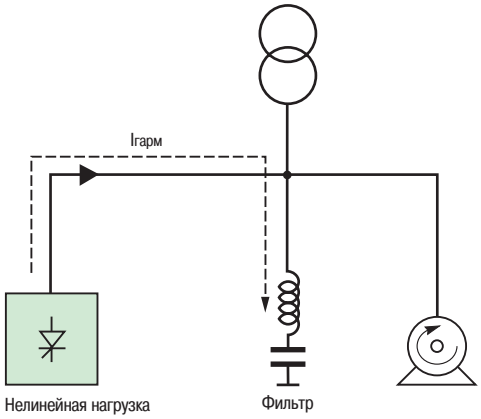


Рис. M28. Принцип действия пассивного фильтра

Активные фильтры (активные компенсаторы гармоник)

Типовые применения

- Коммерческие электроустановки с комплектом нелинейных нагрузок мощностью менее 500 кВА (регулируемые приводы, источники бесперебойного питания, офисное оборудование и др.).
- Электроустановки, в которых нужно снизить искажения тока с тем, чтобы избежать перегрузок.

Принцип действия

Эти системы силовой электроники устанавливаются последовательно или параллельно нелинейной нагрузке и компенсируют гармоники тока или напряжения, потребляемые этой нагрузкой.
На **рис. M29** показан параллельно включенный активный компенсатор гармоник (АНС), компенсирующий гармонику тока ($I_{гарм} = -I_{акт}$).
Активный компенсатор гармоник (АНС) генерирует в распределительную сеть гармоники, потребляемые соответствующей нелинейной нагрузкой, но с противоположной фазой. В результате этого ток в сети Is остается синусоидальным.

Гибридные фильтры

Типовые применения

- Промышленные электроустановки с комплектом нелинейных нагрузок мощностью более 500 кВА (преобразователи частоты, источники бесперебойного питания, выпрямители и др.).
- Электроустановки, требующие компенсации реактивной мощности.
- Электроустановки, в которых необходимо снизить искажения напряжения с тем, чтобы не создавать возмущений для чувствительных электроприемников.
- Электроустановки, в которых необходимо снизить искажения тока с тем, чтобы избежать перегрузок.
- Электроустановки, в которых должны соблюдаться жесткие ограничения на «выброс» гармоник в сеть.

Принцип действия

Гибридный фильтр состоит из комбинации пассивных и активных фильтров (см. **рис. M30**). Он обладает преимуществами обоих типов фильтров и пригоден для применения в широком диапазоне мощности и режимов работы электроустановки.

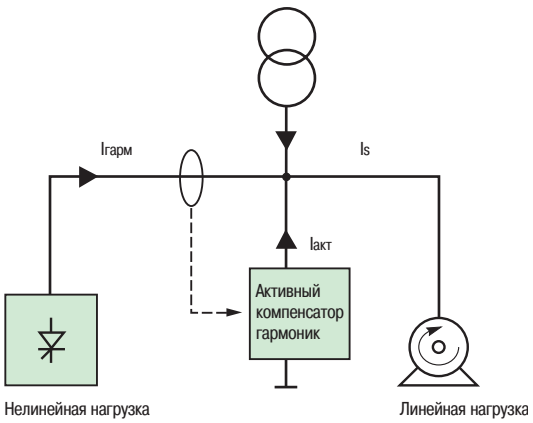


Рис. M29. Принцип действия активного фильтра

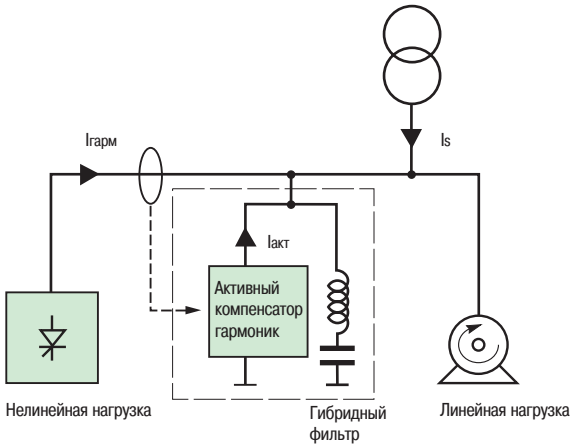


Рис. M30. Принцип действия гибридного фильтра

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

7 Способы ослабления гармоник

Рис. M31. Пример пассивного фильтра на СН

Критерии выбора

Пассивный фильтр

Обеспечивает компенсацию реактивной мощности и эффективную фильтрацию гармоник тока. Такие фильтры также снижают уровень гармоник напряжения в электроустановках, в которых форма напряжения питания отличается от синусоидальной. Если генерируемая фильтром реактивная мощность велика, то рекомендуется отключать установленный пассивный фильтр в те периоды времени, когда коэффициент загрузки установки является низким.
Предварительные исследования возможности применения фильтра должны учитывать возможное наличие батареи конденсаторов для коррекции коэффициента мощности, которую, возможно, придется исключить.

Активные фильтры гармоник

Обеспечивают подавление гармоник в широком диапазоне частот и могут работать с любым типом нагрузки. С другой стороны, мощности данных устройств являются низкими.

Гибридные фильтры

Объединяют в себе преимущества активных и пассивных фильтров.

Рис. M32. Активный фильтр гармоник (AccuSine)

7.3 Метод

Наилучшее решение с учетом технических и экономических факторов основывается на результатах тщательного анализа.

Аудит систем энергоснабжения среднего и низкого напряжения на наличие гармоник

Если вы воспользуетесь услугами эксперта, вам гарантируется, что предложенное им решение даст эффективные результаты (т.е. достоверное значение максимального суммарного коэффициента гармонических искажений THD_U).
Аудит распределительной электросети проводится инженером-специалистом, имеющим необходимую аппаратуру и программное обеспечение для анализа и моделирования.
Аудит включает в себя следующие этапы:

- ■ измерение искажений кривых тока, линейного и фазного напряжения, возникающих из-за наличия в сети нелинейных нагрузок;
- ■ компьютерное моделирование явлений в сети для выяснения причин и выбора наилучшего решения;
- ■ полный отчет о результатах аудита, отражающий:
  - □ текущие уровни возмущений;
  - □ максимально допустимые уровни возмущений в соответствии со стандартом МЭК 61000, IEEE 519 и т.д.;
- ■ предложение, содержащее решения с гарантированными уровнями функционирования электроустановки;
- ■ реализацию выбранного решения с использованием необходимых средств и ресурсов.

Вся процедура аудита описана в международном стандарте ISO 9002.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

Глава N

Источники питания и нагрузки

1 Защита низковольтной генераторной установки и отходящих цепей N2

1.1 Защита генератора ... N2
1.2 Защита отходящих низковольтных сетей ... N5
1.3 Функции контроля ... N5
1.4 Параллельное подключение генераторной установки ... N10

2 Источники бесперебойного питания (ИБП) N11

2.1 Доступность и качество электроэнергии ... N11
2.2 Типы статических ИБП ... N12
2.3 Аккумуляторные батареи ... N15
2.4 Схемы заземления для объектов с ИБП ... N16
2.5 Выбор схем защиты ... N18
2.6 Установка, подсоединение и выбор кабелей ... N20
2.7 Дистанционное управление и мониторинг ИБП ... N22
2.8 Дополнительное оборудование ... N22

3 Защита трансформаторов низкого/низкого напряжения N24

3.1 Ток намагничивания трансформатора при включении ... N24
3.2 Защита цепей питания трансформатора низкого/низкого напряжения ... N24
3.3 Типовые электротехнические характеристики трансформаторов низкого/низкого напряжения, 50 Гц ... N25
3.4 Защита трансформаторов низкого/низкого напряжения с помощью выключателей Schneider Electric ... N25

4 Осветительные сети N26

4.1 Различные технологии изготовления ламп ... N26
4.2 Электротехнические характеристики ламп ... N29
4.3 Ограничения, связанные с осветительными установками, и рекомендации ... N37
4.4 Особые ограничения для светодиодной технологии освещения ... N40
4.5 Выбор реле в зависимости от типа лампы ... N42
4.6 Выбор автоматического выключателя в зависимости от типа лампы ... N46
4.7 Светодиодные лампы - выбор контакторов ... N49
4.8 Наружное светодиодное освещение ... N49
4.9 Освещение общественных мест ... N51

5 Асинхронные двигатели N54

5.1 Системы управления двигателя ... N54
5.2 Функции защиты двигателя ... N55
5.3 Контроль состояния двигателя ... N58
5.4 Конфигурации стартера двигателя ... N59
5.5 Взаимодействие защиты ... N61
5.6 Базовая схема защиты: автоматический выключатель + контактор + тепловое реле ... N61
5.7 Пускатель-контроллер ... N62
5.8 Интеллектуальная система управления двигателем ... N64
5.9 Связь ... N66

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Защита низковольтной генераторной установки и отходящих цепей

Большинство промышленных и крупных коммерческих электроустановок включают в себя некоторое количество важных электроприемников, питание которых должно обеспечиваться даже в случае потери питания от электросети:

■ так как они связаны с системами безопасности (аварийное освещение, автоматическая система противопожарной защиты, дымоудаление, устройства сигнализации и т.д.);

■ потому что они имеют отношение к приоритетным цепям, например, определенное оборудование, остановка которого приводит к производственным потерям или выходу из строя станков и т.д.

Одним из способов обеспечения питания так называемых «приоритетных» электроприемников в случае отказа других источников питания состоит в применении дизель-генераторной установки, подсоединяемой через перекидной выключатель к резервному распределительному щиту аварийного питания, от которого запитываются приоритетные электроприемники (см. **рис. N1**).

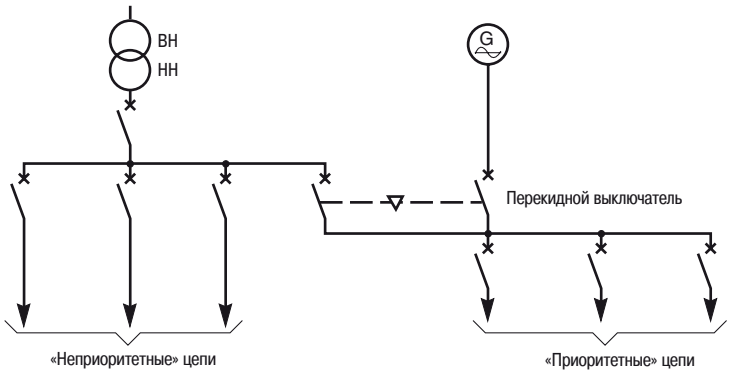


Рис. N1. Пример цепи, питаемой от трансформатора или генератора

1.1 Защита генератора

Рис. N2 показывает электротехнические параметры генераторной установки. Pn, Un и In – мощность двигателя генератора, номинальное напряжение и номинальный ток генератора, соответственно.

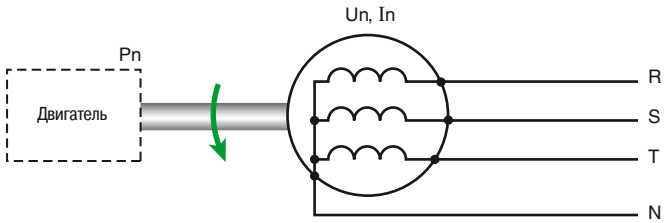


Рис. N2. Блок-схема генераторной установки

Защита от перегрузки

Должна анализироваться кривая допустимой перегрузки генератора (см. **рис. N3**).
Нормы и требования области применения могут также обуславливать конкретный режим перегрузки. Например:

I/In	t
1.1	> 1 h
1.5	30 s

Уставки устройств защиты от перегрузки (или длительной выдержки времени) должны соответствовать этим требованиям.

Примечание по перегрузкам

■ По экономическим соображениям двигатель резервной установки должен быть точно рассчитан на номинальную мощность. При перегрузке по активной мощности дизельный двигатель будет глохнуть. Необходимо учитывать баланс по активной мощности.

■ Установка должна быть рассчитана на следующие режимы перегрузки:

□ одночасовая перегрузка;

□ одночасовая перегрузка 10 % каждые 12 часов (рабочий режим).

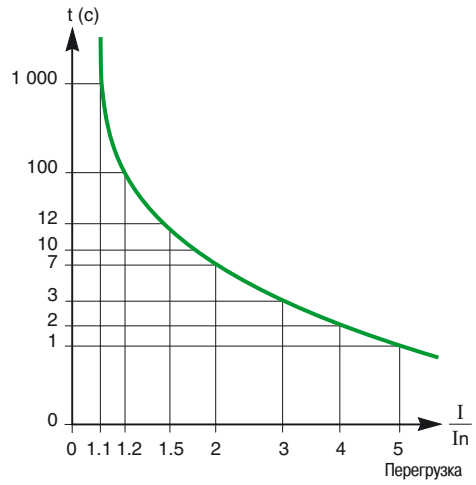


Рис. N3. Пример кривой допустимой перегрузки t = f(I/In)

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Защита низковольтной генераторной установки и отходящих цепей

Защита от тока короткого замыкания

Расчет тока короткого замыкания

Ток короткого замыкания есть сумма:

- апериодической составляющей тока;
- затухающего синусоидального тока.

Уравнение тока короткого замыкания показывает, что он рассчитывается в соответствии с тремя стадиями (см. **рис. N4**).

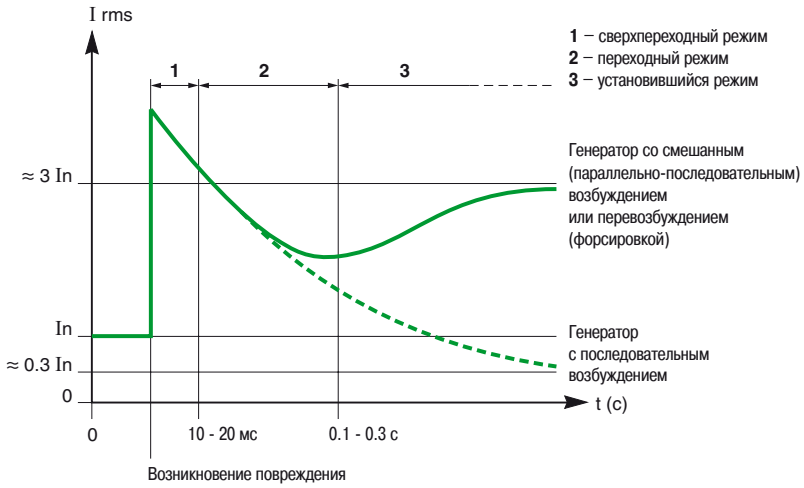


Рис. N4. Уровень тока короткого замыкания в течение 3 стадий

■ Сверхпереходная стадия

При возникновении короткого замыкания на зажимах генератора ток сначала имеет относительно высокий уровень около 6 – 12 In в течение первого цикла (0 – 20 мс).

Амплитуда тока короткого замыкания определяется тремя параметрами:

□ сверхпереходное реактивное сопротивление генератора;

□ уровень возбуждения перед повреждением;

□ полное сопротивление поврежденной цепи.

Учитываемое полное сопротивление короткого замыкания генератора является сверхпереходным реактивным сопротивлением x"d, выражаемым как % от Uo (напряжение между фазой и нейтралью) (по x"d изготовителя).

Типовое значение – 10 – 15 %.

Мы определяем сверхпереходное полное сопротивление короткого замыкания генератора следующим образом:

$$X''d\ \text{Ом} = \frac{U_n^2 x''d}{100\ S}, \text{ где } S = \sqrt{3}\ Un\ In$$

■ Переходная стадия

Переходная стадия происходит через 100 – 500 мс после короткого замыкания. Начиная со значения тока короткого замыкания сверхпереходного периода, ток уменьшается до значения 1,5-2 In.

Учитываемое полное сопротивление короткого замыкания для этого периода является переходным реактивным сопротивлением, выражаемым как % от Uo (по x'd изготовителя). Типовое значение – 20 – 30 %.

■ Установившаяся стадия

Она возникает через 500 мс.

При устойчивом повреждении выходное напряжение установки падает, и система регулирования возбуждения пытается повысить выходное напряжение. Результатом является стабилизированный установившийся ток короткого замыкания:

□ Если возбуждение генератора не повышается в течение короткого замыкания (нет перевозбуждения), но поддерживается на уровне перед коротким замыканием, ток стабилизируется на значении, определяемом синхронным реактивным сопротивлением Xd генератора. Типовое значение xd выше 200 %. Как следствие, конечный ток меньше номинального тока генератора (как правило, около 0,5 In).

□ Если в системе регулирования возбуждения предусмотрена форсировка поля возбуждения, или если система выполнена по, так называемой, параллельно последовательной схеме, то подъем напряжения возбуждения приводит к увеличению длительности переходного процесса (10 с).

Ток КЗ, как правило, в 2 – 3 раза превышает номинальный ток генератора.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Защита низковольтной генераторной установки и отходящих цепей

Расчет тока короткого замыкания

Как правило, изготовители указывают значения полного сопротивления и постоянные времени затухания, требуемые для анализа работы в переходном или установившемся режиме (см. **рис. N5**).

(кВА)	75	200	400	800	1,600	2,500
x"d	10.5	10.4	12.9	10.5	18.8	19.1
x'd	21	15.6	19.4	18	33.8	30.2
xd	280	291	358	280	404	292

Рис. N5. Пример таблицы полного сопротивления (в %)

Активные сопротивления всегда пренебрежимо малы в сравнении с реактивными сопротивлениями. Параметры анализа тока короткого замыкания:

■ Значение тока короткого замыкания на зажимах генератора

Величина тока короткого замыкания в переходном режиме:

$$Isc3 = \frac{Un}{X'd}\frac{1}{\sqrt{3}}$$ (X'd, Ом)

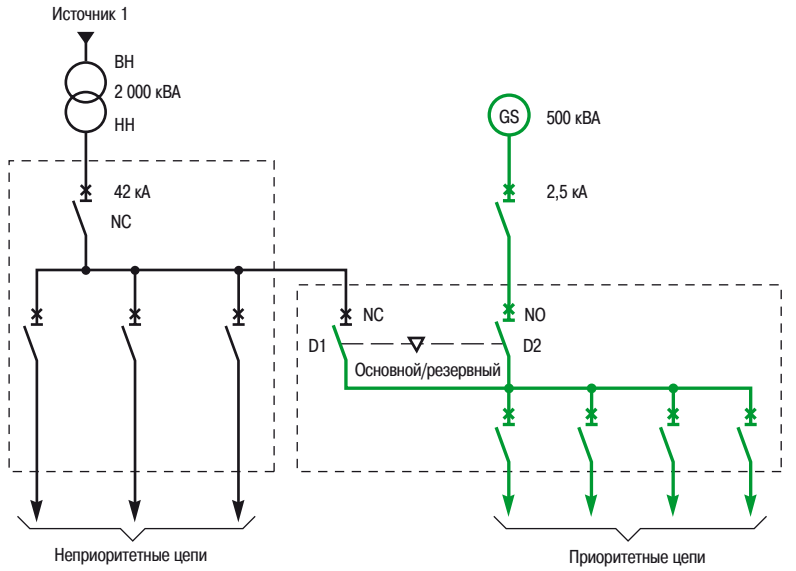
или

$$Isc3 = \frac{In}{x'd}\ 100$$ (x'd in%)

Un – линейное напряжение генератора

Примечание: данное значение может быть сопоставлено с током короткого замыкания на зажимах трансформатора. Таким образом, при одной и той же мощности ток при коротком замыкании вблизи от генератора в 5 – 6 раз меньше, чем токи, которые могут возникать при питании от трансформатора.

Значимость такой разницы увеличивается, учитывая тот факт, что мощность генераторной установки, как правило, меньше мощности трансформатора (см. **рис. N6**).



NC: норм. замкнутый
NO: норм. разомкнутый

Рис. N6. Пример распределительного щита приоритетных нагрузок с питанием (при аварии) от резервной генераторной установки

При питании низковольтной цепи от основного источника 1 (2000 кВА) ток короткого замыкания составляет 42 кА на главной шине низковольтного щита. При питании низковольтной сети от резервного источника 2 (500 кВА) с переходным реактивным сопротивлением 30 %, ток короткого замыкания составляет ≈ 2,5 кА (т.е. в 16 раз слабее, чем при основном источнике).

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Защита низковольтной генераторной установки и отходящих цепей

1.2 Защита отходящих низковольтных сетей

Защита приоритетных цепей

Выбор аппаратуры по отключающей способности

Отключающая способность должна соответствовать характеристикам основного источника питания (понижающий трансформатор).

Выбор и настройка расцепителей с кратковременной выдержкой времени (селективная отсечка – STD)

■ Промежуточные распределительные щиты

Номинальные значения устройств защиты промежуточных и конечных распределительных цепей всегда ниже номинального тока генераторной установки. Как следствие, за исключением специальных случаев, режим аналогичен питанию через трансформатор.

■ Главный низковольтный распределительный щит

□ Как правило, параметры устройств защиты основной питающей линии аналогичны параметрам генераторной установки. Уставка STD должна соответствовать параметрам короткого замыкания генераторной установки (см. «Защита от токов короткого замыкания» ранее).

□ Селективность устройств защиты на приоритетных питающих линиях должна обеспечиваться для работы генераторной установки (она может быть обязательной для линий, питающих системы безопасности). Необходимо сверить уставку STD устройств защиты основных питающих линий с уставкой устройств защиты промежуточных распределительных цепей (нормальная уставка для распределительных цепей - 10 In).

Примечание: при работе с питанием от генераторной установки использование низкочувствительных УЗО позволяет отключать токи однофазных КЗ и обеспечивает требуемую селективность.

Безопасность людей

При системах заземления IT (второе замыкание) и TN защита людей от косвенного прикосновения обеспечивается выключателями с расцепителями с короткой выдержкой времени (STD). Их работа при повреждении должна гарантироваться при питании от основного источника (трансформатор) или от резервного источника (генераторная установка).

Расчет тока однофазного КЗ

Реактивное сопротивление нулевой последовательности выражается как % от Uo (по х'о изготовителя).

Типовое значение – 8%.

Однофазный (фаза-нейтраль) ток короткого замыкания задается формулой:

$$If = \frac{Un\sqrt{3}}{2\,X'd + X'o}$$

Ток однофазного замыкания на корпус при системе заземления TN немного выше тока трехфазного короткого замыкания. Например, в предыдущем примере он равен 3 кА.

1.3 Функции контроля

Рабочие параметры генераторной установки должны контролироваться при подсоединенных специальных нагрузках.

Рабочие характеристики генератора отличаются от рабочих характеристик трансформатора:

■ Номинальная активная мощность генератора выдается при коэффициенте мощности не менее 0,8.

■ При меньшем значении коэффициента мощности нагрузки максимальная активная мощность, выдаваемая генератором, снижается.

Блок конденсаторов

Подключение конденсаторов к ненагруженному генератору может вызывать его самовозбуждение и, следовательно, увеличение напряжения.

Поэтому, конденсаторы, используемые для регулирования коэффициента мощности, должны отсоединяться. Такая операция может обеспечиваться путем подачи команды остановки на регулятор, управляющий переключением секций КБ, или посредством отключения питания конденсаторов.

Повторный запуск двигателя

Генератор может кратковременно быть нагружен на ток, который в 3-5 раз больше своего номинального значения.

Двигатель потребляет около 6 In в течение 2-20 с пуска.

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Защита низковольтной генераторной установки и отходящих цепей

Если суммарная мощность двигателей, питающихся от генератора, велика, то их одновременный запуск с высокими пусковыми токами может вызывать нарушения нормального режима работы: большие колебания напряжения из-за больших значений переходного и сверхпереходного реактивных сопротивлений генераторной установки (20-30%) с риском:

- незапуска двигателей;
- повышения температуры: пониженное напряжение приведет к увеличению времени пуска;
- отключения тепловой защитой.

Кроме того, нарушается работа сети и приводов из-за падения напряжения.

Пример (см. **рис. N7**):

Генератор питает ряд двигателей.
Характеристики КЗ генератора: Sn = 130 кВА при коэффициенте мощности 0,8, Un = 500 В x'd = 20% (например), следовательно, Isc = 750 А.

- ΣP двигателей равна 45 кВт (45% мощности генератора).

Расчет падения напряжения при запуске:
Σ двигателей = 45 кВт, Im = 81 А, следовательно, пусковой ток Id = 480 А в течение 2-20 с.
Падение напряжения на сборных шинах при одновременном запуске двигателей:

$$\frac{\Delta U}{U} = \left(\frac{Id - In}{Isc - In}\right) \cdot 100 \text{ in } \%$$

ΔU = 55%,
что неприемлемо для двигателей (отказ при пуске).

- ΣP двигателей равна 20 кВт (20% мощности генератора).

Расчет падения напряжения при пуске:
Σ двигателей = 20 кВт, Im = 35 А, следовательно, пусковой ток Id = 210 А в течение 2-20 с.
Падение напряжения на сборных шинах:

$$\frac{\Delta U}{U} = \left(\frac{Id - In}{Isc - In}\right) \cdot 100 \text{ in } \%$$

ΔU = 10%,
что приемлемо (в зависимости от типа нагрузок), хотя это и высокое значение.

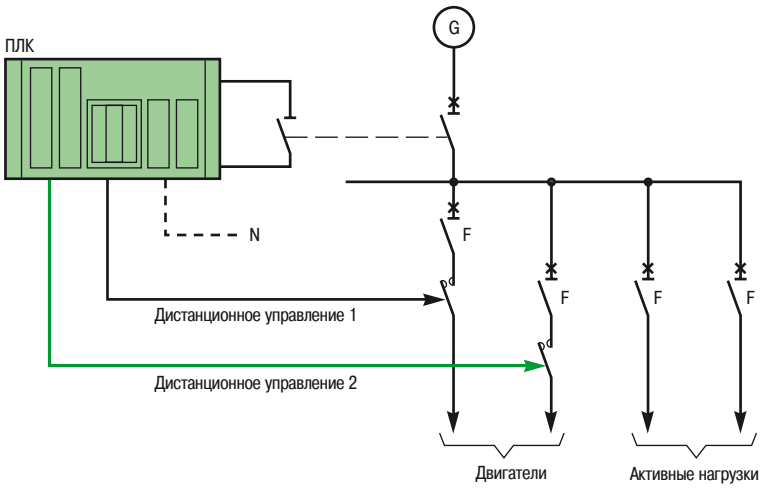


Рис. N7. Повторный запуск приоритетных двигателей (ΣP > 1/3 Pn)

Рекомендации по повторному запуску

- Если Pmax наибольшего двигателя > $\frac{1}{3}$Pn, на двигателе должно устанавливаться устройство плавного пуска.
- Если ΣP двигателей > $\frac{1}{3}$Pn, групповой повторный запуск двигателей должен управляться с помощью ПЛК.
- Если ΣP двигателей < $\frac{1}{3}$Pn, нет проблем с повторным запуском.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Защита низковольтной генераторной установки и отходящих цепей

Нелинейные нагрузки

Нелинейные нагрузки:

- Насыщенные магнитные цепи.
- Разрядные лампы, флуоресцентные лампы.
- Электронные преобразователи.
- Системы компьютерной обработки: ПК, компьютеры и т.д.

Такие нагрузки генерируют гармонические токи: при питании от генераторной установки это может приводить к большим искажениям напряжения из-за низкой мощности КЗ генератора.

Источник бесперебойного питания (ИБП) (см. **рис. N8**)

Сочетание ИБП и генераторной установки – оптимальное решение для обеспечения качественного питания с длительным автономным питанием чувствительных нагрузок.

ИБП является нелинейной нагрузкой из-за наличия входного выпрямителя. При переключении источника питания автономная работа ИБП на батарее должна обеспечивать питание нагрузки на время пуска генераторной установки.

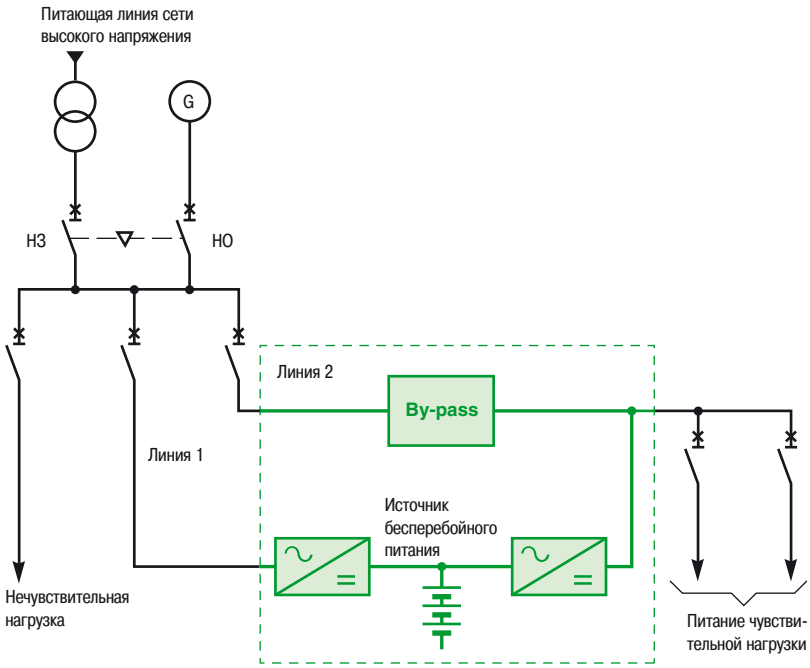


Рис. N8. Комбинация «генераторная установка – ИБП» для обеспечения качественным электроснабжением

N7

Мощность ИБП

Максимальная мощность ИБП должна обеспечивать:

- Номинальную мощность питаемых нагрузок. Это сумма полных мощностей Sa, потребляемых каждой нагрузкой. Кроме того, чтобы не завысить мощность ИБП, необходимо учитывать перегрузочную способность ИБП (например, 1,5 In в течение 1 минуты и 1,25 In в течение 10 минут).
- Мощность, необходимую для перезарядки батареи: ток пропорционален времени автономной работы, требуемому при заданной мощности. Параметр Sr ИБП рассчитывается по формуле:

$Sr = 1,17 \times Pn$

Таблица на **рис. N9** определяет пиковые токи и устройства защиты в линии выпрямителя (линия 1) и резервной сети (линия 2).

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Защита низковольтной генераторной установки и отходящих цепей

Номинальная мощность Pn (кВА)	Значение тока (А)	
	Линия 1 с трехфазным выпрямителем, 400 В- I1	Линия 2 с трехфазным питанием 400 В - Iu
40	86	60,5
60	123	91
80	158	121
100	198	151
120	240	182
160	317	243
200	395	304
250	493	360
300	590	456
400	793	608
500	990	760
600	1,180	912
800	1,648	1,215

Рис. N9. Пиковый ток в линии выпрямителя (линия 1) и резервной сети (линия 2)

Комбинация «генераторная установка – ИБП»

■ Переключение выпрямителя ИБП на питание от генераторной установки

Выпрямитель ИБП может иметь систему плавного пуска зарядного устройства для предотвращения больших пусковых токов, когда питание нагрузки переключается на генераторную установку (см. **рис. N10**).

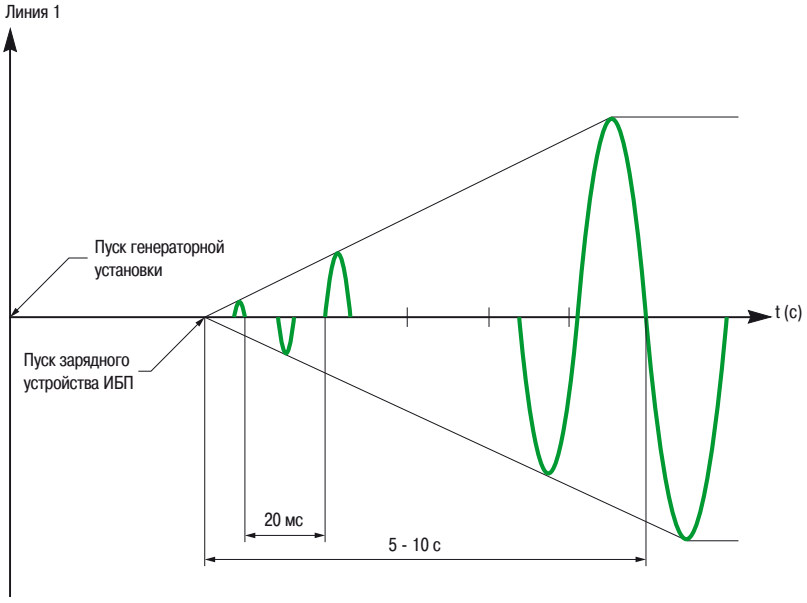


Рис. N10. Плавный пуск выпрямителя ИБП, тип 2

■ Гармоники и искажение напряжения

Коэффициент искажения синусоидальной кривой напряжения:

$$Ku = \frac{\sqrt{\Sigma U_{hn}^2}}{U_1} \cdot 100\%,$$

где Uhn – гармоническая составляющая напряжения n-го порядка.

Это значение зависит от следующих параметров:

- гармонические токи, генерируемые выпрямителем (пропорциональны мощности Sr выпрямителя);
- продольное сверхпереходное реактивное сопротивление генератора X"d;
- мощность генератора Sg.

Мы определяем $U'Rcc(\%) = X''d\frac{Sr}{Sg}$ напряжение КЗ генератора , приведенное к мощности выпрямителя, т.е. t = f(U'Rcc).

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Защита низковольтной генераторной установки и отходящих цепей

Примечание 1: поскольку сверхпереходное реактивное сопротивление высокое, гармонические искажения, как правило, слишком велики в сравнении с допустимым значением (7-8%) для экономически обоснованных параметров генератора. Рекомендуемым решением является использование специального фильтра.
Примечание 2: гармонические искажения не представляют вреда для выпрямителя, но могут быть вредными для других нагрузок, питаемых параллельно с выпрямителем.

Применение:

Для определения искажения Ku (THDu) как функции U'Rcc используется график (см. **рис. N11**).

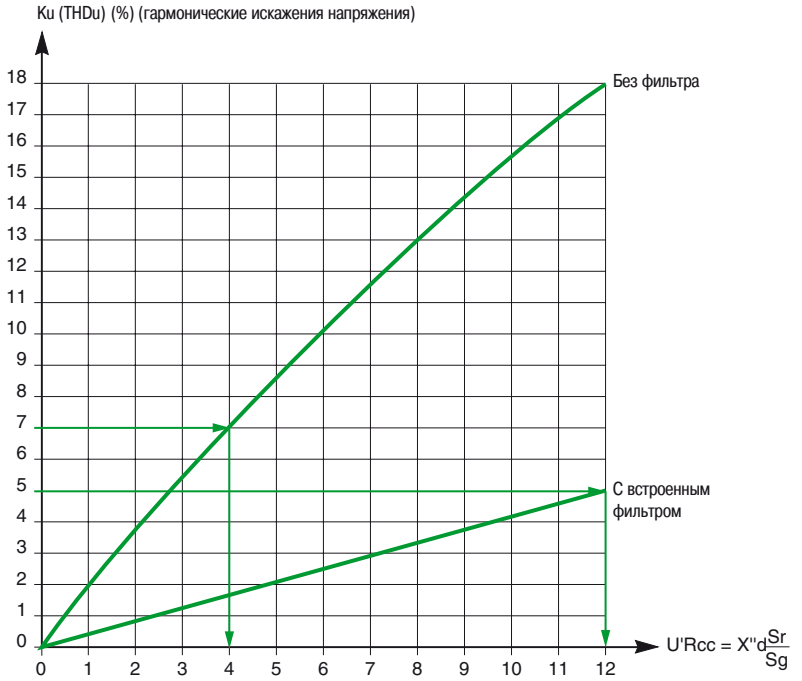


Рис. N11. График для коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения Ku (THDu) (%)

График дает:

- значение Ku как функции U'Rcc;
- значение U'Rcc как функции Ku.

На основе этого определяется мощность генератора Sg.

Пример: мощность генератора

- ИБП 300 кВА без фильтра, сверхпереходное реактивное сопротивление 15%

Мощность выпрямителя (Sr) Sr = 1,17 x 300 кВА = 351 кВА
Для Ku < 7% график дает U'Rcc = 4%, мощность Sg:

$$Sg = 351 \times \frac{15}{4} \approx 1,400 \text{ кВА}$$

- ИБП 300 кВА с фильтром, сверхпереходное реактивное сопротивление 15%

Для Ku = 5% расчет дает U'Rcc = 12%, мощность Sg:

$$Sg = 351 \times \frac{15}{12} \approx 500 \text{ кВА}$$

Примечание: с питающим трансформатором 630 кВА на ИБП 300 кВА без фильтра получаемое значение равно 5%.

Это означает, что работа генераторной установки должна постоянно контролироваться на гармонические токи.

Если напряжение гармонических искажений очень большое, то использование фильтра в сети – наиболее эффективное решение для снижения гармонических искажений до значений, допустимых для чувствительных нагрузок.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Защита низковольтной генераторной установки и отходящих цепей

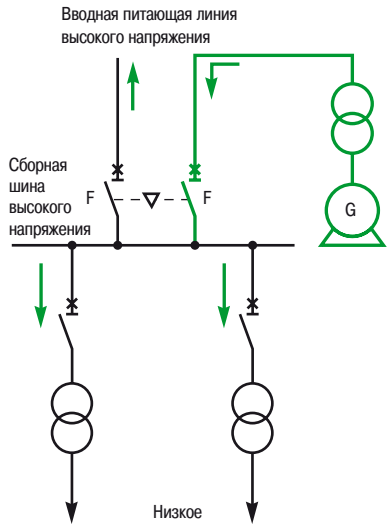


Рис. N13. Направление передачи энергии – генераторная установка, работающая в режиме генератора

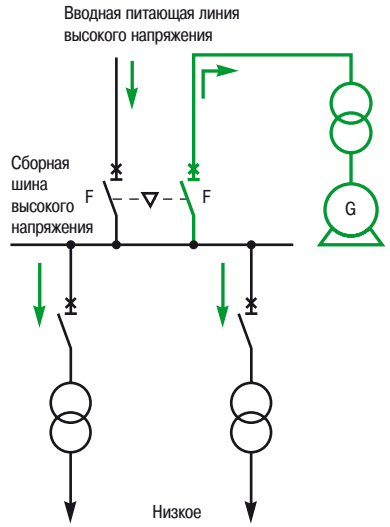


Рис. N14. Направление передачи энергии – генераторная установка, работающая в режиме нагрузки

(1) Схема заземления TN-C для установок, работающих в качестве генератора, и схема заземления TN-S для установок, работающих в качестве нагрузки.

1.4 Параллельное подключение генераторной установки

Параллельное соединение генераторных установок (независимо от типа источника – основной или резервный) требует тщательного контроля и мониторинга.

Работа в параллельном режиме

Поскольку генераторные установки при параллельном подключении генерируют энергию для одной нагрузки, они должны быть синхронизированы (напряжение, частота), и распределение нагрузок между ними должно быть сбалансировано. Эта функция выполняется регулятором каждой генераторной установки (регулирование приводного двигателя и регулирование возбуждения). Параметры (частота, напряжение) контролируются до соединения: при совпадающих значениях этих параметров происходит подключение.

Повреждения изоляции (см. **рис. N12**)

Повреждение изоляции внутри металлического корпуса генераторной установки может серьезно повредить генератор, если повреждение носит характер фазного КЗ. Повреждение должно оперативно выявляться и устраняться, иначе другие генераторы будут подавать энергию на поврежденный участок и будут отключены по перегрузке (при этом бесперебойность питания не может быть гарантирована). Защита от замыкания на землю (GFP), встроенная в цепь генератора, используется в следующих целях:

- быстрое отсоединение поврежденного генератора и обеспечение бесперебойного питания;
- действие на цепь управления поврежденного генератора для его остановки и снижениея риска повреждения.

Защита GFP является «чувствительной к току нулевой последовательности» и должна устанавливаться как можно ближе к устройству защиты на каждой генераторной установке с заземлением корпуса отдельным защитным заземлением (PE) (согласно схеме заземления TN-C/TN-S(1)). Такой тип защиты обычно называется «ограниченным замыканием на землю».

Работа генераторных установок в качестве нагрузок (см. **рис. N13** и **N14**)

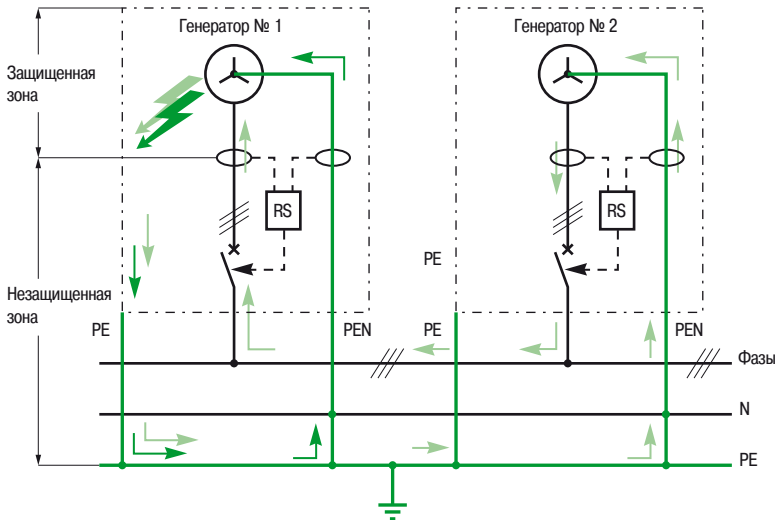


Рис. N12. Замыкание на корпус внутри генератора

Одна из параллельно соединенных генераторных установок может перестать работать в режиме генератора и начать работать в качестве, например, двигателя (например, из-за потери возбуждения). Это может приводить к перегрузке других генераторных установок и, как следствие, выводить энергосистему из строя.

Для проверки того, что генераторная установка действительно подает питание на нагрузку (работа в качестве генератора), необходимо проверить направление потока энергии на сборные шины (контроль на обратную мощность). При возникновении повреждения, когда установка работает в режиме двигателя, такой контроль позволяет устранить повреждение.

Заземление параллельно-соединенных генераторных установок

Заземление параллельно-соединенных генераторных установок (подсоединение нейтралей к общему заземлению (схема заземления TN или TT)) может приводить к токам замыкания на землю (гармоники 3-го порядка и гармоники порядка, кратного 3). Для предотвращения протекания таких токов между генераторными установками рекомендуется установить развязывающее сопротивление в заземляющей цепи.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Источники бесперебойного питания (ИБП)

2.1 Доступность и качество электроэнергии

Помехи в электросети отрицательно влияют на:
- безопасность людей;
- безопасность имущества;
- рентабельность компании или технологического процесса.

Поэтому помехи должны устраняться.

Ряд технических решений вносит вклад в достижение этой цели с различной степенью эффективности. Такие решения могут сопоставляться на основе двух критериев:
- доступность системы электроснабжения;
- качество поставляемой электроэнергии.

Доступность может определяться как количество времени в году, в течение которого напряжение присутствует на клеммах нагрузки. Доступность снижается главным образом из-за перерывов в электроснабжении в результате выхода источников питания из строя или повреждений в электрических цепях.

Существует ряд решений по ограничению риска:
- обеспечение возможности питания от нескольких различных источников, а не от одного источника питания;
- подразделения цепей на приоритетные и неприоритетные с обеспечением питания (при необходимости) приоритетных цепей от другого имеющегося источника;
- сброс нагрузки при необходимости, чтобы пониженная мощность нагрузки могла быть обеспечена питанием от резервного источника;
- выбор системы заземления в соответствии с целями бесперебойного питания, например, система IT;
- селективность устройств защиты (селективное отключение) для ограничения последствий повреждения части системы.

Следует отметить, что единственный способ обеспечить доступность системы с учетом выхода источников из строя (в дополнение к вышеуказанным мерам) – это предусмотреть автономный альтернативный источник питания, по крайней мере, для приоритетных нагрузок (см. **рис. N15**).

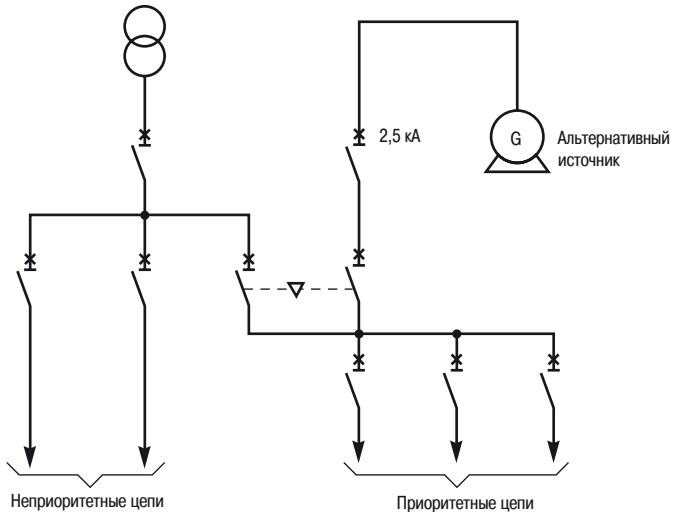


Рис. N15. Повышение надежности электроснабжения

Такой источник принимает нагрузку в случае повреждения в системе. При этом необходимо учитывать два фактора:
- время переключения (время, требуемое для переключения с системы на источник), которое должно быть приемлемо для нагрузки;
- время работы, в течение которого такой источник может питать нагрузку.

Качество электроэнергии определяется устранением помех на клеммах нагрузки.

Альтернативный источник является средством обеспечения бесперебойного электроснабжения нагрузки. Однако, во многих случаях он не гарантирует качество подаваемой электроэнергии с учетом имеющихся помех.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Источники бесперебойного питания (ИБП)

Сегодня многие чувствительные электронные нагрузки требуют электропитания с низким уровнем помех, не говоря уже о возможности перерыва в электроснабжении.

Например, вычислительные центры, АТС и многие системы управления и контроля производственного процесса.

Такие области требуют решений, которые обеспечивают бесперебойность электроснабжения и качество электроэнергии.

Решение на основе ИБП

Решение для чувствительных нагрузок состоит в выборе специальных источников питания с повышенными требованиями к выходному напряжению. Выходное напряжение должно отвечать следующим требованиям:
- Отсутствие каких-либо помех в энергоснабжении и соблюдение строгих допусков, требуемых нагрузкой.
- Бесперебойность электроснабжения в случае выхода из строя одного из источников питания.

Источники бесперебойного питания (ИБП) отвечают таким требованиям по бесперебойности электроснабжения и качеству электроэнергии в силу следующих своих характеристик:
- Подвод напряжения к нагрузке требоемого качества благодаря использованию инвертера.
- Обеспечение автономной работы посредством использования аккумуляторных батарей.
- Переключение с энергосистемы на ИБП без прерывания электропитания нагрузки, с использованием бесконтактного переключателя (без подвижных частей).

Такие характеристики делают ИБП идеальным источником питания для всех чувствительных нагрузок, поскольку они обеспечивают качество и бесперебойность электроснабжения независимо от состояния энергосистемы.

ИБП включает в себя следующие основные компоненты:
- Выпрямитель/зарядное устройство, которое вырабатывает постоянный ток для зарядки батареи и питания инвертера
- Инвертер, который обеспечивает качественную электроэнергию:
  - без помех (возмущений имеющихся в системе электроснабжения), в частности, кратковременных перерывов в электроснабжении;
  - в пределах допусков, отвечающих требованиям чувствительных электронных устройств (например, для Galaxy допуски на амплитуду - ± 0,5% и частоту - ± 1%, в сравнении с ± 10% и ± 5% в энергосистеме, что в 20 и 5 раз лучше, соответственно).
- Аккумуляторная батарея с достаточным временем резервного питания (от 8 минут до 1 часа и более) для обеспечения безопасности людей и имущества.
- Бесконтактный переключатель (без подвижных частей) – полупроводниковое устройство, которое переключает нагрузку с инвертера на энергосистему и обратно без перерыва в электроснабжении.

2.2 Типы статических ИБП

Типы статических ИБП определяются стандартом МЭК 62040 (ГОСТ IEC 62040-1-2018).

Стандарт различает три рабочих режима:
- режим резервирования (также называемый режимом «офф-лайн»);
- линейно-интерактивный режим;
- режим двойного преобразования (также называемый режимом «он-лайн»).

Эти определения касаются работы ИБП совместно с основным источником питания, включая распределительную систему до ИБП.

Стандарт МЭК 62040 (ГОСТ IEC 62040-1-2018) определяет следующие термины:
- Первичное электропитание: нормально стабильное электропитание, обеспечиваемое обычно электроэнергетической компанией, но иногда за счет генерирующей установки пользователя.
- Резервное электропитание: электропитание, предназначенное для замены первичного электропитания в случае его нарушения.
- Байпасное электропитание: электропитание через байпас.

Как правило, ИБП обеспечен двумя вводами переменного тока (в настоящем руководстве это нормальный ввод переменного тока и байпасный ввод переменного тока).
- Нормальный ввод переменного тока, указанный как сетевой ввод 1 (линия 1), получает первичное электропитание, т.е. по кабелю, соединенному с питающей линией от энергосистемы или частной распределительной системы.
- Байпасный ввод переменного тока, указанный как сетевой ввод 2 (линия 2), как правило, получает резервное электропитание, т.е. по кабелю, соединенному с питающей линией, отличной от питающей нормальный ввод переменного тока с резервированием посредством альтернативного источника (например, двигатель-генератор или другой ИБП).

При отсутствии резервного электропитания байпасный ввод переменного тока получает первичное электропитание (второй кабель, идущий параллельно кабелю, подсоединенному к нормальному вводу переменного тока).

Байпасный ввод переменного тока используется для питаний байпасных линий ИБП (при наличии). Поэтому, байпасные линии получают первичное или резервное питание в зависимости от наличия резервного источника питания.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Источники бесперебойного питания (ИБП)

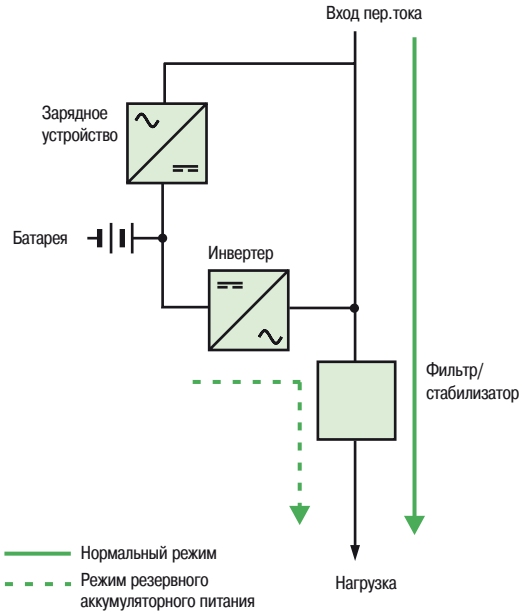


Рис. N16. ИБП, работающий в режиме резервирования

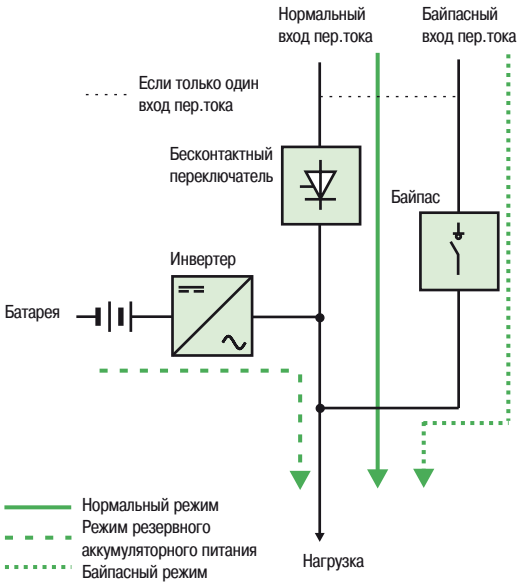


Рис. N17. ИБП, работающий в линейно-интерактивном режиме

ИБП, работающий в режиме резервирования (режим «офф-лайн»)

Принцип работы

Инвертор подсоединен параллельно с вводами переменного тока в источнике резервного питания (см. **рис. N16**).

■ Нормальный режим

Нагрузка питается энергосистемой через фильтр, который устраняет определенные помехи и обеспечивает некоторую степень регулирования напряжения («дополнительные устройства... для обеспечения кондиционирования параметров электропитания», как говорится в стандарте). Инвертер работает в режиме резервирования.

■ Режим резервного аккумуляторного питания

При выходе напряжения на вводе переменного тока за допуски, указанные для ИБП, или исчезновении электропитания от энергосистемы, включаются инвертер и батарея для обеспечения бесперебойного электропитания нагрузки с очень коротким временем переключения (< 10 мс).

ИБП продолжает работать от батареи до завершения времени автономной работы или возврата энергосистемы в нормальный режим, при этом нагрузка переключается обратно на вход переменного тока.

Применение

Фактически, эта конфигурация является компромиссом между приемлемым уровнем защиты от помех и стоимостью. Может использоваться только при низкой номинальной мощности (< 2 кВА). Отсутствует бесконтактный переключатель, поэтому требуется определенное время для переключения нагрузки на инвертер. Это время приемлемо для определенных нагрузок, но неприемлемо для более сложных чувствительных систем (крупные вычислительные центры, АТС и т.д.).

Более того, частота не регулируется, и отсутствует байпас.

Примечание: в нормальном режиме питание нагрузки не поступает через инвертер, что объясняет, почему этот тип ИБП иногда называется «офф-лайн». Это неправильный термин, поскольку он подразумевает «не питаемый от энергосистемы», в то время, как фактически, нагрузка питается от энергосистемы через вход переменного тока в нормальном режиме работы.

ИБП, работающий в линейно-интерактивном режиме

Принцип работы

Инвертор подсоединен параллельно с вводами переменного тока в резервной конфигурации, но одновременно он заряжает батарею (см. **рис. N17**).

■ Нормальный режим

Нагрузка получает стабилизированное электропитание через параллельное соединение ввода переменного тока и инвертера. Инвертер обеспечивает стабилизацию выходного напряжения и/или зарядку батареи. Выходная частота зависит от частоты на вводе переменного тока.

■ Режим резервного питания от аккумуляторов

При выходе питающего напряжения за допуски, указанные для ИБП, или исчезновении электропитания от энергосистемы, включаются инвертер и батарея для обеспечения бесперебойного питания нагрузки после мгновенного переключения с помощью бесконтактного выключателя, который отсоединяет ввод переменного тока для предотвращения поступления питания от инвертера в энергосистему.

ИБП продолжает работать на батарее до завершения времени автономной работы или возврата энергосистемы в нормальный режим, при этом нагрузка переключается обратно на ввод переменного тока.

■ Байпасный режим

Этот тип ИБП может обеспечиваться байпасом. При отказе одной из функций ИБП нагрузка может переключаться на байпасный ввод переменного тока (от энергосистемы или резервного источника в зависимости от объекта).

Применение

Эта конфигурация не совсем подходит для резервирования чувствительных нагрузок в диапазоне мощности от средней до высокой из-за невозможности регулирования частоты. По этой причине она редко применяется, кроме случаев низкой номинальной мощности.

ИБП, работающий в режиме двойного преобразования (режим «он-лайн»)

Принцип работы

Инвертор подсоединен последовательно между вводом переменного тока и нагрузкой.

■ Нормальный режим

При нормальном режиме все питание, подаваемое на нагрузку, проходит через выпрямитель/ зарядное устройство и инвертер, которые совместно выполняют двойное преобразование (пер. ток - пост. ток - пер. ток). Отсюда и название режима.

■ Режим резервного аккумуляторного питания

При выходе напряжения на вводе переменного тока за допуски, указанные для ИБП, или исчезновении электропитания от энергосистемы, включаются инвертер и батарея для обеспечения бесперебойного питания нагрузки после мгновенного переключения с помощью бесконтактного выключателя.

ИБП продолжает работать на батарее до завершения времени автономной работы или возврата энергосистемы в нормальный режим, при этом нагрузка переключается обратно на вход переменного тока.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Источники бесперебойного питания (ИБП)

■ Байпасный режим

Как правило, этот тип ИБП обеспечивается статическим байпасом, иногда называемым статическим (бесконтактным) переключателем (см. **рис. N18**).

Нагрузка может переключаться без прерывания питания на байпасный ввод переменного тока (с питанием от энергосистемы или резервного источника в зависимости от объекта) в следующем случае:

- □ отказ ИБП;
- □ большие переходные токи нагрузки (броски тока при включении или при повреждении).
- □ пики нагрузки.

Однако, присутствие байпаса подразумевает одинаковую входную и выходную частоту, а при разных значениях напряжения требуется байпасный трансформатор.

В большенстве случаев ИБП должен быть синхронизирован с байпасным электропитанием для обеспечения бесперебойного питания нагрузки. Более того, когда ИБП работает в байпасном режиме, помехи от входного источника пер. тока могут передаваться непосредственно на нагрузку, поскольку инвертер в этом режиме не подключен.

Примечание: также может быть предусмотрена другая байпасная линия, часто называемая сервисным байпасом, для проведения техобслуживания. Она включается ручным выключателем.

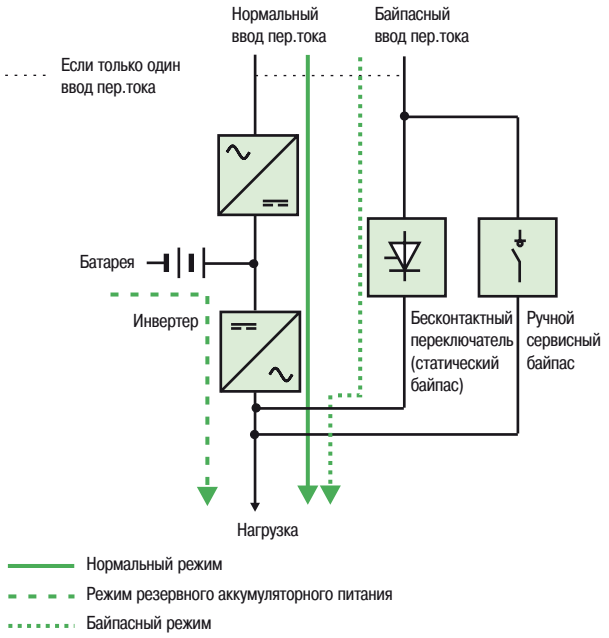


Рис. N18. ИБП, работающий в режиме двойного преобразования (режим «он-лайн»)

Применение

При такой конфигурации время, требуемое для переключения нагрузки на инвертер, пренебрежимо мало благодаря бесконтактному выключателю.

Кроме того, выходное напряжение и частота не зависят от входного напряжения и частоты. Это означает, что ИБП, разработанный для такой цели, может работать в качестве преобразователя частоты.

Практически, это основная конфигурация, используемая при средней и высокой номинальной мощности (10 кВА и выше). Далее в данном разделе будет рассматриваться только эта конфигурация.

Примечание: этот тип ИБП часто называется «он-лайн», подразумевая, что нагрузка постоянно питается через инвертер независимо от режима работы входного источника пер. тока. Однако, этот термин неверен, поскольку он подразумевает «питаемый энергосистемой», в то время, как, фактически, нагрузка получает питание, преобразованное системой двойного преобразования. Вот почему стандарт МЭК 62040 (ГОСТ IEC 62040-1-2018) рекомендует термин “двойное преобразование”.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2.3 Аккумуляторные батареи

Выбор типа батареи

Батарея состоит из взаимосвязанных элементов либо с вентиляцией либо с рекомбинацией газов.

Существуют два основных типа батарей:

- Никель-кадмиевые батареи
- Свинцово-кислотные батареи
- Элементы с вентиляцией (свинец-сурьма), которые обеспечены отверстиями для следующих целей:
  - Выпуск в атмосферу кислорода и водорода, образующихся в результате различных химических реакций.
  - Доливка дистиллированной или деминерализованной воды.
- Элементы с рекомбинацией газов (свинцовые, чистосвинцовые и свинцово-оловянные батареи). Уровень рекомбинации газов составляет не менее 95%, поэтому они не требуют добавления воды в течение срока службы.

Далее в тексте эти батареи называются батареями с вентиляцией или с рекомбинацией газов (батареи с рекомбинацией газов часто называются «герметичными»).

Основные типы батарей, используемых вместе с источниками ИБП:

- Герметичные свинцово-кислотные батареи, используемые в 95% случаев, поскольку они просты в обслуживании и не требуют специального помещения.
- Свинцово-кислотные батареи с вентиляцией.
- Никель-кадмиевые батареи с вентиляцией.

Вышеуказанные три типа батарей могут поставляться в зависимости от экономических факторов и эксплуатационных требований объекта, с различными возможными сроками службы.

Емкость и время резервного питания могут обеспечиваться по требованию пользователя. Предлагаемые батареи идеально подходят для ИБП, поскольку они разрабатываются совместно с ведущими изготовителями аккумуляторных батарей.

Выбор времени резервного питания

Выбор зависит от следующих факторов:

- Средняя продолжительность перерывов в энергоснабжении.
- Имеющиеся резервные источники питания (дизель-генератор и т.д.).
- Тип объекта.

Типовой диапазон:

- Стандартное время резервного питания – 10, 15 или 30 минут.
- Время резервного питания по спецзаказу.

Применяются следующие общие правила:

- Объекты с компьютерами

Время резервного аккумуляторного питания должно быть достаточным для завершения процедур сохранения файлов и закрытия системы, требуемых для обеспечения контролируемого завершения работы системы. В целом, вычислительные отделы определяют необходимое время резервного питания в зависимости от конкретных требований.

- Производственные процессы

Время резервного питания должно рассчитываться с учетом экономических затрат в результате прерывания процесса и времени, требуемого для перезапуска.

Таблица выбора

Рис. N19 представляет сводные характеристики различных типов аккумуляторных батарей. Батареи с рекомбинацией газов пользуются все большим спросом в силу следующих причин:

- не требуется техобслуживание;
- простота монтажа;
- монтаж в помещениях любого типа (компьютерные помещения, технические помещения, без специальных требований по вентиляции и т.д.).

Однако, в определенных случаях рекомендуются батареи с вентиляцией, ввиду их следующих характеристик:

- длительный срок службы;
- длительное резервное питание;
- высокая номинальная мощность.

Батареи с вентиляцией должны устанавливаться в специальных помещениях в соответствии с установленными правилами и требуют соответствующего техобслуживания.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Источники бесперебойного питания (ИБП)

	Срок службы	Компактность	Допуски на рабочую температуру	Интервал техобслуживания	Спец-помещение	Стоимость
Герметичные свинцово-кислотные	5 или 10 лет	+	+	Малый	Не требуется	Низкая-средняя
Свинцово-кислотные с вентиляцией	5 или 10 лет	+	++	Средний	Требуется	Низкая
Никель-кадмиевые	5 или 10 лет	++	+++	Большой	Не требуется	Высокая

Рис. N19. Основные характеристики различных типов батарей

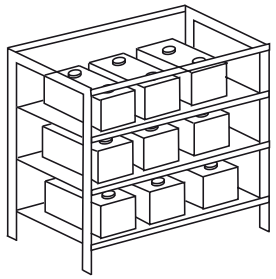


Рис. N20. Монтаж на полках

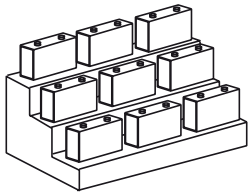


Рис. N21. Монтаж ярусами

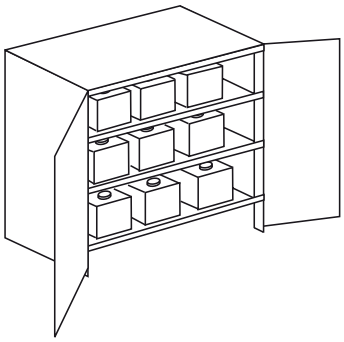


Рис. N22. Монтаж в шкафу

Методы монтажа

В зависимости от типа ИБП, емкости батареи и времени резервного питания, батарея может быть:

- ■ герметичной и размещаться в шкафу ИБП;
- ■ герметичной и размещаться в 1-3 шкафах;
- ■ с вентиляцией или герметичной и монтироваться на стойке. В этом случае метод монтажа может быть:
  - □ на полках (см. **рис. N20**);

Этот метод монтажа возможен для герметичных батарей или батарей с вентиляцией, для которых не требуется техобслуживание и пополнение электролита.

- □ монтаж ярусами (см. **рис. N21**);

Этот метод монтажа пригоден для всех типов батарей и, в частности, батарей с вентиляцией в силу простоты проверки уровня и пополнения электролита.

- □ в шкафах (см. **рис. N22**);

Этот метод монтажа пригоден для герметичных батарей. Он легко реализуем и обеспечивает максимальную безопасность.

2.4 Схемы заземления для объектов с ИБП

Применение систем защиты, предусматриваемых стандартами, на объектах с источниками ИБП требует ряда мер предосторожности в силу следующих причин:

- ■ ИБП выполняет двойную функцию:
  - □ нагрузка для питающей системы;
  - □ источник питания для нижерасположенной системы.
- ■ Если батарея не устанавливается в шкафу, повреждение изоляции в системе постоянного тока может привести к появлению тока замыкания на землю.

Такой ток может нарушать работу ряда устройств защиты, особенно УЗО, используемых для защиты людей.

Защита от прямого контакта (см. **рис. N23**)

Все установки удовлетворяют применяемым требованиям, поскольку оборудование размещается в шкафах, обеспечивающих степень защиты IP 20. Это верно даже для батареи, устанавливаемой в шкафу.

Если батареи не устанавливаются в шкафу, т.е. в специальном помещении, необходимо принимать меры, указываемые в конце данного раздела.

Примечание: схема TN (вариант TN-S или TN-C) наиболее часто рекомендуется для электропитания компьютерных систем.

Тип схемы	Схема IT	Схема TT	Схема TN
Принцип работы	■ Сигнализация первого повреждения изоляции ■ Обнаружение и устранение первого повреждения ■ Отключение при втором повреждении изоляции	■ Отключение при первом повреждении изоляции	■ Отключение при первом повреждении изоляции
Метод защиты людей	■ Соединение и заземление проводящих частей ■ Контроль первого повреждения с помощью устройства контроля изоляции (УКИ) ■ Отключение при втором повреждении (выключатель или плавкий предохранитель)	■ Заземление проводящих частей и использование УЗО ■ Первое повреждение изоляции приводит к отключению при обнаружении токов утечки	■ Обязательное соединение и заземление проводящих частей и нейтрали ■ Первое повреждение изоляции приводит к отключению при обнаружении тока повреждения (выключатель или плавкий предохранитель)
Преимущества и недостатки	■ Решение, обеспечивающее максимальную бесперебойность электроснабжения (сигнализация первого замыкания) ■ Требуется квалифицированный персонал (обнаружение первого замыкания)	■ Простейшее решение по разработке и монтажу ■ Не требуется устройство контроля изоляции (УКИ) ■ Однако, каждое повреждение приводит к отключению цепи	■ Решение с низкой стоимостью монтажа ■ Трудоемкий расчет (расчет полного сопротивления петли фаза-ноль) ■ Требуется квалифицированный технический персонал ■ Высокие токи повреждения

Рис. N23. Основные характеристики схем заземления

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Источники бесперебойного питания (ИБП)

Основные точки контроля для источников ИБП

Рис. N24 показывает все основные точки, которые должны быть соединены, а также устройства (трансформаторы, УЗО и т.д.), которые должны быть установлены, чтобы обеспечить соответствие установки стандартам по безопасности.

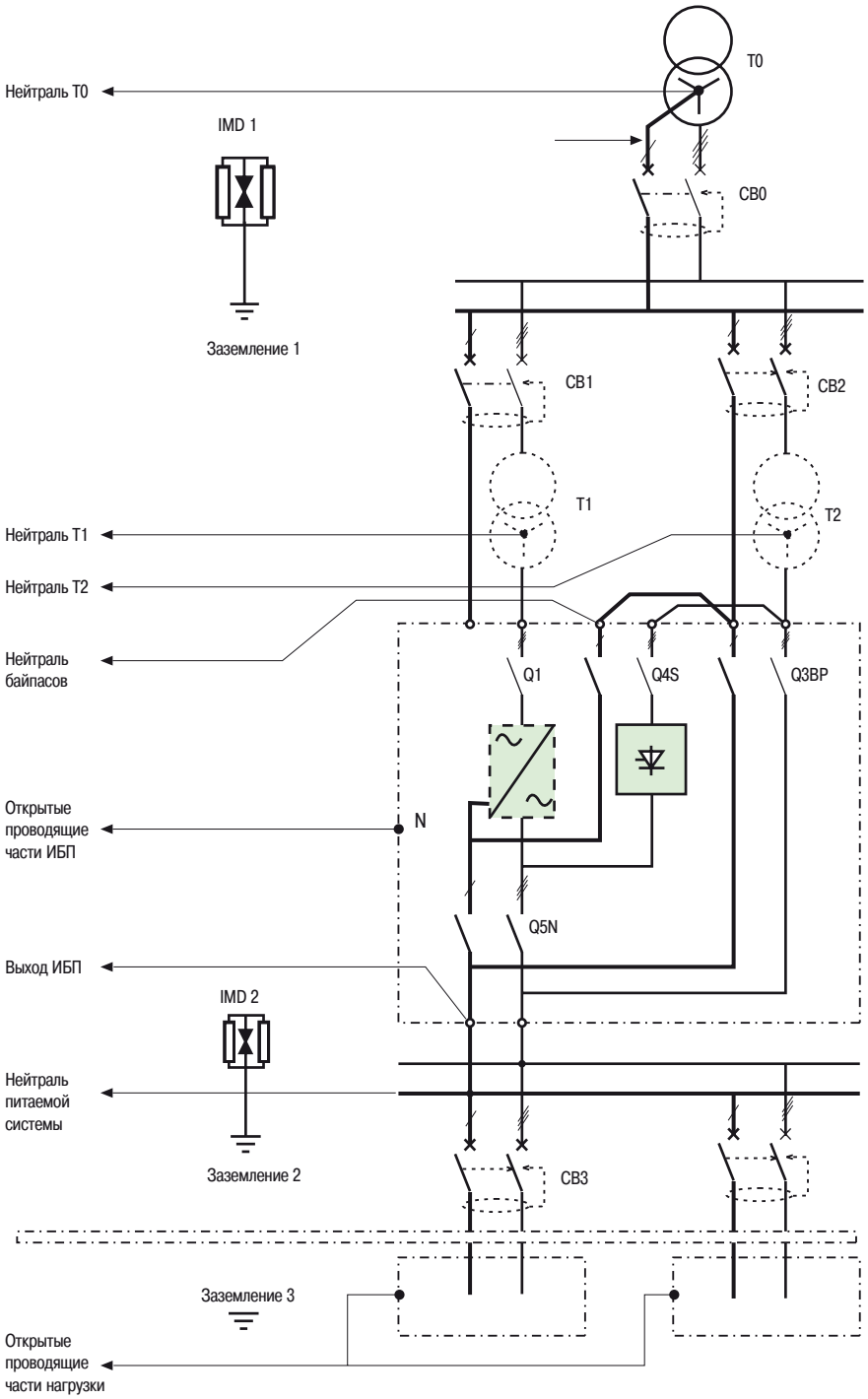


Рис. N24. Основные точки, которые должны быть соединены в схемах заземления

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Источники бесперебойного питания (ИБП)

2.5 Выбор схем защиты

Автоматические выключатели играют основную роль в установке, но их значение часто оценивается только при авариях, которые случаются достаточно редко. Самый оптимальный выбор параметров ИБП и конфигурации системы может быть поставлен под угрозу неверным выбором всего лишь одного выключателя.

Выбор выключателей

Рис. N25 показывает, как нужно выбирать выключатели.

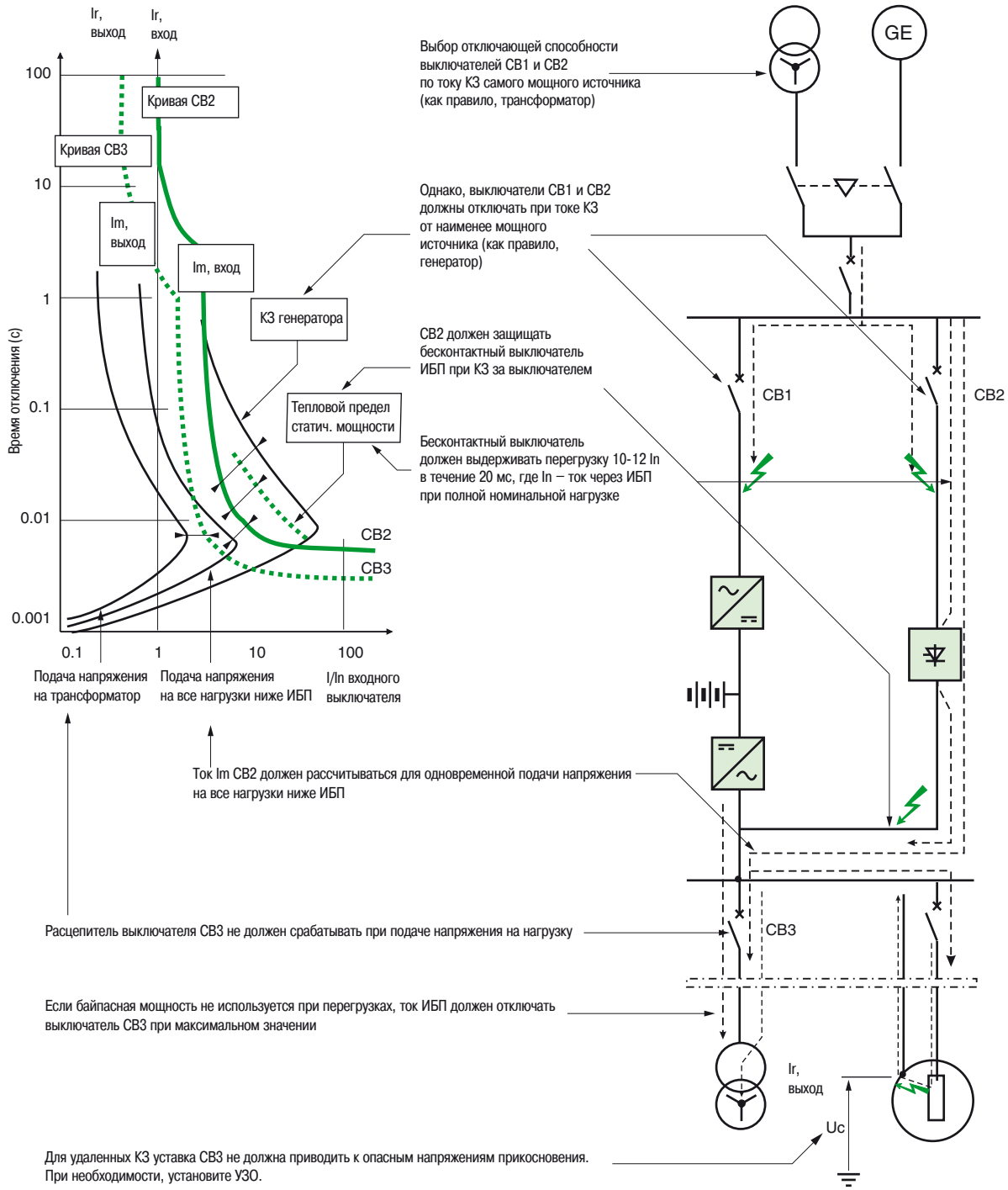


Рис. N25. Выключатели выбираются для различных ситуаций

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Источники бесперебойного питания (ИБП)

Номинальные значения

Номинальный ток выбранного выключателя должен быть выше номинального тока нагрузки.

Отключающая способность

Отключающая способность должна выбираться немного больше тока КЗ, возможного в точке установки.

Пороговые значения (уставки) Ir и Im

Таблица ниже показывает, как нужно выбирать пороговые значения (уставки) Ir (тепловая перегрузка) и Im (мгновенное срабатывание при КЗ) для обеспечения селективности между вышестоящими и нижестоящими устройствами защиты.

Примечание (см. **рис. N26**)

- Временная селективность должна обеспечиваться квалифицированным персоналом, поскольку выдержки времени перед отключением повышают термическое напряжение (I^2t) на выходе (кабели, полупроводники и т.д.). Требуется осторожность, если выключатель CB2 отключается с использованием селективной токовой отсечки.
- Энергетическая селективность зависит не от расцепителей, а от выключателя.

Тип отходящей цепи	Отношение Ir, Ir на входе / Ir на выходе	Отношение Im, Im вход / Im выход	Отношение Im, Im вход / Im выход
Нижестоящий расцепитель	Все типы	Магнитный	Электронный
Распределенная нагрузка	> 1.6	>2	>1.5
Асинхронный двигатель	>3	>2	>1.5

Рис. N26. Пороговые значения (уставки) Ir и Im в зависимости от расцепителей на входе и выходе

Особый случай КЗ генератора

Рис. N27 показывает реакцию генератора на КЗ.

Во избежание какой-либо неопределенности в отношении типа возбуждения отключение происходит при первом пике (3-5 In в соответствии со значением X"d) на основе уставки защиты Im без выдержки времени.

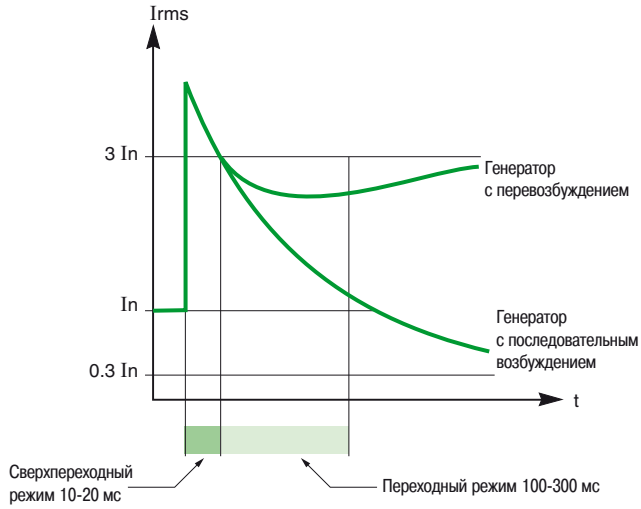


Рис. N27. Процессы в генераторе при КЗ

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Источники бесперебойного питания (ИБП)

2.6 Установка, подсоединение и выбор кабелей

Готовые к применению (комплектные) блоки ИБП

Источники ИБП малой мощности, предназначенные, например, для защиты компьютеров, являются компактными готовыми к применению устройствами. Внутренняя проводка выполняется на заводе с учетом характеристик устройств.

Другие исполнения ИБП

Для других исполнений ИБП проводные соединения с системой электропитания, аккумуляторной батареей и нагрузкой не включаются в объем поставки.
Выбор кабелей определяется величиной тока в цепи, как показано на **рис. N28** ниже.

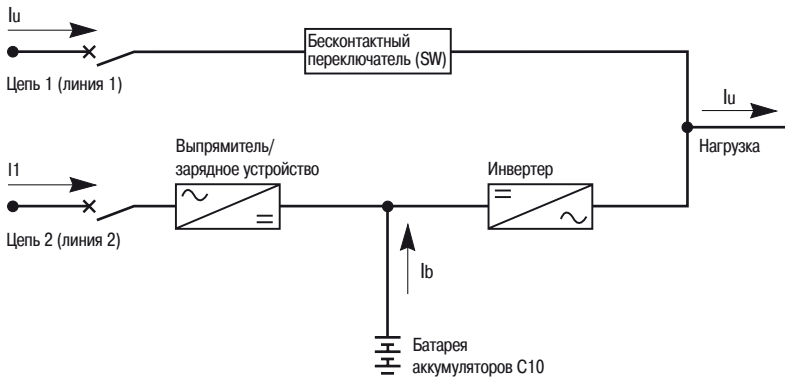


Рис. N28. Ток, учитываемый при выборе соединительных кабелей

Расчет токов I1, Iu

- Входной ток Iu от электросети является током нагрузки.
- Входной ток I1 зарядного устройство/выпрямителя зависит от следующих параметров:
  - емкости батареи (C10) и режима зарядки (Ib);
  - характеристик зарядного устройства;
  - КПД инвертера.
- Ток Ib является током в точке подсоединения батареи.

Эти токи указываются изготовителями.

Повышение температуры кабеля и потери напряжения

Сечение кабеля зависит от следующих параметров:

- допустимого повышения температуры;
- допустимой потери напряжения.

Для заданной нагрузки каждый из этих параметров приводит к минимально допустимому сечению, должно использоваться большее из двух значений.

При прокладке кабелей необходимо выдержать требуемые расстояния между контрольными и силовыми цепями для предотвращения помех из-за высокочастотных токов.

Повышение температуры

Допустимое повышение температуры в кабелях зависит от типа изоляции кабеля.

Повышение температуры в кабелях зависит от следующих факторов:

- материала жилы кабеля (медь или аллюминий);
- метода монтажа;
- числа проложенных рядом (по одной трассе) кабелей.

Стандарты предусматривают максимальный допустимый ток для каждого типа кабеля.

Потери напряжения

Максимальные допустимые потери напряжения:

- 3% для цепей переменного тока (50 или 60 Гц);
- 1% для цепей постоянного тока.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Источники бесперебойного питания (ИБП)

Таблицы выбора

Рис. N29 показывает потерю напряжения (в %) для цепи с длиной кабеля 100 м. Для расчета падения напряжения в цепи с длиной кабеля L необходимо умножить значение L на 100.

- Sph: сечение проводников.
- In: номинальный ток устройств защиты цепи.

Трехфазная цепь

Если потеря напряжения превышает 3% (50-60 Гц), необходимо увеличить сечение проводников.

Цепь постоянного тока

Если потеря напряжения превышает 1%, необходимо увеличить сечение проводников.

a – Трехфазные цепи (медные проводники)
50/60 Гц, три фазы 380/400/415 В, cos φ = 0.8, симметричная система, три фазы + N

In	Sph (мм²)											
(A)	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300
10	0.9											
15	1.2											
20	1.6	1.1										
25	2.0	1.3	0.9									
32	2.6	1.7	1.1									
40	3.3	2.1	1.4	1.0								
50	4.1	2.6	1.7	1.3	1.0							
63	5.1	3.3	2.2	1.6	1.2	0.9						
70	5.7	3.7	2.4	1.7	1.3	1.0	0.8					
80	6.5	4.2	2.7	2.1	1.5	1.2	0.9	0.7				
100	8.2	5.3	3.4	2.6	2.0	2.0	1.1	0.9	0.8			
125		6.6	4.3	3.2	2.4	2.4	1.4	1.1	1.0	0.8		
160			5.5	4.3	3.2	3.2	1.8	1.5	1.2	1.1	0.9	
200				5.3	3.9	3.9	2.2	1.8	1.6	1.3	1.2	0.9
250					4.9	4.9	2.8	2.3	1.9	1.7	1.4	1.2
320							3.5	2.9	2.5	2.1	1.9	1.5
400							4.4	3.6	3.1	2.7	2.3	1.9
500								4.5	3.9	3.4	2.9	2.4
600									4.9	4.2	3.6	3.0
800										5.3	4.4	3.8
1000											6.5	4.7

Для трехфазной цепи 230 В необходимо умножить результат на $\sqrt{3}$.
Для однофазной цепи 208/230 В необходимо умножить результат на 2.

b – Цепи постоянного тока (медные проводники)

In	Sph (мм²)											
(A)	-	-	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300
100			5.1	3.6	2.6	1.9	1.3	1.0	0.8	0.7	0.5	0.4
125				4.5	3.2	2.3	1.6	1.3	1.0	0.8	0.6	0.5
160					4.0	2.9	2.2	1.6	1.2	1.1	0.6	0.7
200						3.6	2.7	2.2	1.6	1.3	1.0	0.8
250							3.3	2.7	2.2	1.7	1.3	1.0
320								3.4	2.7	2.1	1.6	1.3
400									3.4	2.8	2.1	1.6
500										3.4	2.6	2.1
600										4.3	3.3	2.7
800											4.2	3.4
1000											5.3	4.2
1250												5.3

Рис. N29. Потери напряжения в % для трехфазных цепей (a) и цепей постоянного тока (b)

Особый случай нейтральных проводников

В трехфазных системах гармоники третьего порядка (и кратные им) однофазных нагрузок складываются в нейтральном проводнике (сумма токов в трех фазах).
По этой причине применяется следующее правило:
сечение нейтрали = 1,5 x сечение фазы.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Источники бесперебойного питания (ИБП)

Пример:

Рассмотрим трехфазную цепь 400 В, 70 м, с медными проводниками и номинальным током 600 А. Стандарт МЭК 364 указывает минимальное поперечное сечение в зависимости от метода монтажа и нагрузки.

Примем минимальное сечение равным 95 мм^2.

Необходимо проверить, что потеря напряжения не превышает 3%.

Согласно таблице для трехфазных цепей, для тока 600 А в кабеле 300 мм^2 потеря напряжения составляет 3% для 100 м кабеля, т.е. для 70 м:

$$3 \times \frac{70}{100} = 2{,}1\ \%$$

Аналогичный расчет может быть сделан для постоянного тока 1000 А.

Падение напряжения на 100 м кабеля 240 мм^2 составляет 5,3%, т.е. для 10-метрового кабеля:

$$5{,}3 \times \frac{10}{100} = 0{,}53\ \%$$

То есть, меньше 3%.

2.7 Дистанционное управление и мониторинг ИБП

Источники ИБП могут быть связаны с электрическими и компьютерными устройствами. Они могут получать определенные данные и поставлять информацию о своей работе для следующих целей:

■ Оптимизация защиты

Например, ИБП поставляют важную информацию о рабочих параметрах для компьютерной системы (нагрузка на инвертере, нагрузка на статическом байпасе, нагрузка на батарею, предупреждающая сигнализация о разрядке батареи)

■ Дистанционное управление

ИБП поставляет данные измерений и информацию о рабочем состоянии для принятия операторами соответствующих мер.

■ Управление системой

Оператор имеет автоматизированную систему диспетчерского управления, которая позволяет получать и сохранять информацию от источников ИБП для обеспечения сигнализации о неисправностях и принятия мер.

Развитие в направлении интеграции компьютерного оборудования и ИБП привело к появлению новых встроенных функций дистанционного управления и мониторинга ИБП.

2.8 Дополнительное оборудование

Трансформаторы

Двухобмоточный трансформатор, установленный в цепи 2, обеспечивает:

■ изменение уровня напряжения, если сетевое напряжение отличается от допустимого диапазона изменений напряжения на входе нагрузки;

■ возможность изменения системы заземления между сетями.

■ снижение уровня тока КЗ на вторичной обмотке (т.е. на стороне нагрузки) в сравнении с сетевой стороной;

■ предотвращение поступления токовых гармонических составляющих третьего порядка, которые возможны на вторичной обмотке, в электросеть при соединенной треугольником первичной обмотке.

Фильтр подавления гармоник

Блок ИБП включает в себя зарядное устройство батареи с тиристорным или транзисторным управлением. Данное устройство генерирует гармонические составляющие тока в электросеть.

Такие нежелательные гормоники отфильтровываются на входе выпрямителя, и, в большинстве случаев, такое снижение уровня гармоник достаточно для всех практических целей. Однако, в особых случаях, особенно на крупных объектах, могут потребоваться дополнительные фильтры.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Источники бесперебойного питания (ИБП)

Например, в следующих случаях:

- Номинальная мощность ИБП велика по отношению к мощности трансформатора питающей сети.
- Низковольтные сборные шины питают нагрузки, особо чувствительные к гармоникам.
- Генератор с дизельным (или газотурбинным приводом) установлен в качестве резервного источника питания.

В таких случаях следует обращаться к изготовителю ИБП за консультацией.

Коммуникационное оборудование

Необходимость коммуникации с оборудованием компьютерных систем приводит к использованию соответствующих технических средств в ИБП. Такие средства могут встраиваться в исходную конструкцию (см. **рис. N30a**) или добавляться к существующим системам по запросу (см. **рис. N30b**).

Рис. N30a. Готовый к использованию блок ИБП с дополнительным модулем связи

Рис. N30b. Блок ИБП, повышающий надежность, доступность и качество электропитания компьютерной системы

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Защита трансформаторов низкого/низкого напряжения

Как правило, такие трансформаторы имеют мощность в диапазоне от нескольких сот ВА до нескольких сот кВА и часто используются в следующих целях:

- Изменение уровня низкого напряжения для следующих цепей:
  - вспомогательное питание цепей управления и сигнализации;
  - осветительные цепи (подача 230 В при первичной трехфазной трехпроводной системе питания 400 В).
- Изменение системы заземления (уход от IT) для определенных нагрузок с относительно высоким емкостным током на землю (компьютерное оборудование) или активного тока утечки (электропечи, оборудования индукционного или диэлектрического нагрева, точки общепита и т.д.).

Как правило, трансформаторы низкого/низкого напряжения имеют встроенные системы защиты, и необходимо обращаться к изготовителям за подробной информацией. В любом случае, защита по максимальному току должна обеспечиваться на первичной обмотке. Эксплуатация таких трансформаторов требует знания их конкретных функций, а также информации, приводимой ниже.
Примечание: в случае изолирующих трансформаторов безопасности низкого/низкого напряжения при сверхнизком напряжении часто требуется заземленный металлический экран между первичной и вторичной обмотками в соответствии с местными условиями, как рекомендуется в Европейском стандарте EN 60742.

3.1 Ток намагничивания трансформатора при включении

В момент подачи напряжения на трансформатор отмечаются высокие значения переходного тока, включающего в себя значительную составляющую постоянного тока, которые должны учитываться при рассмотрении схем защиты (см. **рис. N31**).

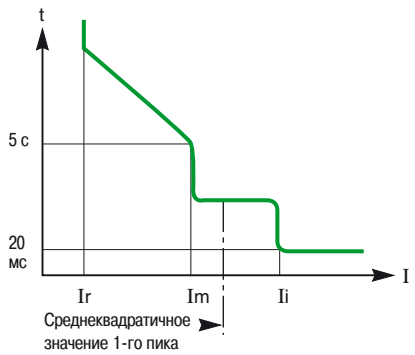


Рис. N32. Характеристика отключения выключателя ComPact NS с электронным расцепителем STR

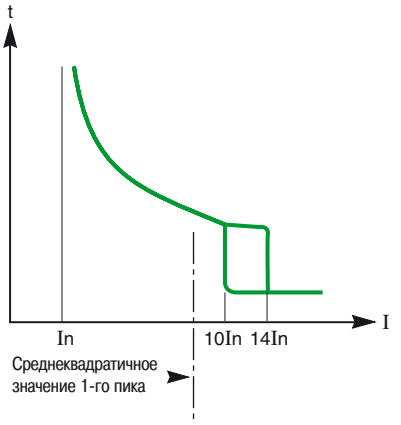


Рис. N33. Характеристика отключения выключателя Acti 9, кривая D

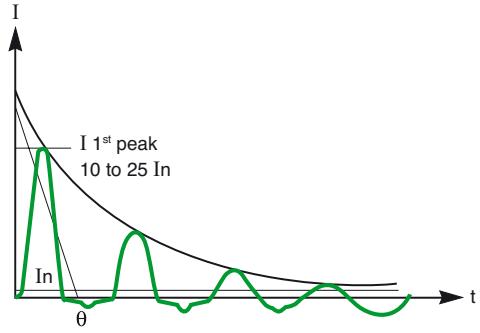


Рис. N31. Ток намагничивания трансформатора при включении

Величина пика тока зависит от следующих параметров:

- величины напряжения в момент подачи напряжения;
- величины и полярности остаточного потока в сердечнике трансформатора;
- характеристики нагрузки, подключенной к трансформатору.

Первый пик тока может достигать значения в 10-15 раз больше номинального тока, а для трансформаторов малой мощности (< 50 кВА) – в 20-25 раз больше номинального тока. Такой переходный ток быстро уменьшается с постоянной времени затухания θ, примерно от нескольких мс до нескольких десятков мс.

3.2 Защита цепей питания трансформатора низкого/низкого напряжения

Устройства защиты цепей питания трансформатора низкого/низкого напряжения должны предотвращать возможность ложного срабатывания из-за броска тока намагничивания, указанного выше. Поэтому необходимо использовать:

- селективные (т.е. с небольшой выдержкой времени) выключатели типа ComPact NSX с электронным расцепителем STR (см. **рис. N32**) или
- выключатели с крайне высокой уставкой магнитного расцепителя типа ComPact NSX или Acti 9, кривая D (см. **рис. N33**)

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Защита трансформаторов низкого/низкого напряжения

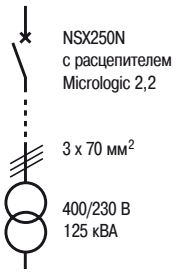


Рис. N34. Пример

Пример

Трехфазная цепь 400 В питает трансформатор 125 кВА 400/230 В (In = 180 А), для которого первый бросок тока намагничивания может достигать 12 In, т.е. 12 x 180 = 2160 А.
Компактный выключатель NSX 250N с уставкой Ir 200 А и Im=8 x Ir подходит в качестве устройства защиты.

Отдельный случай: защита от перегрузки, установленная на вторичной обмотке трансформатора (см. **рис. N34**)

Преимущество установки защиты от перегрузки на вторичной обмотке состоит в том, что защита от КЗ на первичной обмотке может иметь большую уставку срабатывания, или, как альтернативный вариант, может использоваться выключатель типа MA. В то же время, уставка защиты от КЗ на первичной обмотке должна иметь достаточную чувствительность для обеспечения ее срабатывания в случае КЗ на вторичной обмотке трансформатора.

Примечание: защита первичной обмотки иногда обеспечивается посредством плавких предохранителей типа aM. Это решение имеет два недостатка:

- плавкие предохранители должны быть рассчитаны на значительный ток (как минимум в 4 раза больше номинального тока трансформатора);
- для обеспечения отключения трансформатора от источника питания на стороне первичной обмотки вместе с предохранителями должен использоваться выключатель нагрузки или контактор.

3.3 Типовые электротехнические характеристики трансформаторов низкого/низкого напряжения, 50 Гц

Трехфазные трансформаторы																								
Ном. мощность (кВА)	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800
Потери холостого хода (Вт)	100	110	130	150	160	170	270	310	350	350	410	460	520	570	680	680	790	950	1160	1240	1485	1855	2160
Потери при полной нагрузке (Вт)	250	320	390	500	600	840	800	1180	1240	1530	1650	2150	2540	3700	3700	5900	5900	6500	7400	9300	9400	11400	13400
Напряжение КЗ (%)	4.5	4.5	4.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5	5	4.5	5	5	5.5	4.5	5.5	5	5	4.5	6	6	5.5	5.5

Однофазные трансформаторы															
Ном. мощность (кВА)	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160
Потери холостого хода (Вт)	105	115	120	140	150	175	200	215	265	305	450	450	525	635
Потери при полной нагрузке (Вт)	400	530	635	730	865	1065	1200	1400	1900	2000	2450	3950	3950	4335
Напряжение КЗ (%)	5	5	5	4.5	4.5	4.5	4	4	5	5	4.5	5.5	5	5

3.4 Защита трансформаторов низкого/низкого напряжения с помощью выключателей Schneider Electric

Актуальные таблицы для выбора соответствующего автоматического выключателя для защиты трансформаторов НН/НН приведены в руководстве «Дополнительная техническая информация».

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Осветительные сети

На долю освещения – источника комфорта и производительности – приходится 15 % количества электроэнергии, потребляемой в промышленности, и 40 % – в зданиях. Качество освещения, его устойчивость и непрерывность зависят от качества электроэнергии, потребляемой для этой цели. Поэтому, электроснабжение осветительной сети имеет большое значение.

Для помощи в разработке и для облегчения выбора соответствующих средств защиты ниже приводится анализ различных технологий изготовления ламп. Обсуждаются отличительные характеристики осветительных цепей и их влияние на устройства управления и защиты. Приводятся рекомендации по сложным вариантам реализации осветительных сетей.

4.1 Различные технологии изготовления ламп

Электроэнергия может быть использована для получения искусственного освещения двумя путями: тепловое излучение и электролюминесценция.

Тепловое излучение – излучение света посредством накаливания. Наиболее общим примером является нить, раскаленная до белого свечения посредством прохождения по ней электрического тока. Поступающая энергия преобразуется в тепло и световой поток на основе эффекта Джоуля.

Люминесценция – явление излучения материалом видимого света. Газы или пары под действием электрического разряда излучают свет (электролюминесценция газов).

- Электролюминесценция газов: газы (или пары), подвергнутые электрическому разряду излучают свет (электролюминесценция газов).
- Электролюминесценция в твердом теле: полупроводник обладает способностью излучать видимый свет, при прохождение через него электрического тока.

Поскольку газ не проводит ток при нормальной температуре и давлении, разряд вызывается генерируемыми заряженными частицами, которые ионизируют газ. Состав, давление и температура газа определяют спектр видимого излучения.

Фотолюминесценция представляет собой люминесценцию материала, подвергаемого воздействию излучения видимого или почти видимого спектра – ультрафиолетовое (УФ) и инфракрасное (ИК) излучения.

Явление, когда вещество поглощает УФ-излучение и испускает видимое излучение, называется флуоресценцией.

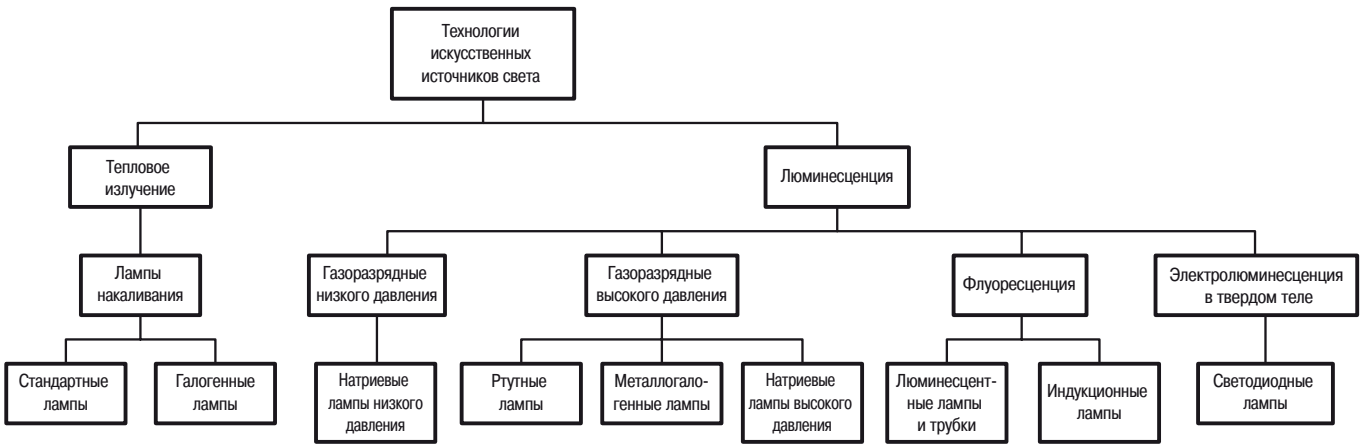


Рис. N35. Технологии искусственных источников света

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Осветительные сети

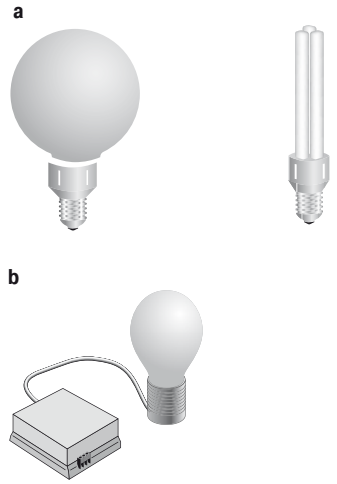


Рис. N36. Компактные лампы дневного света: **(a)** стандартные и **(b)** высокочастотные газоразрядные (индукционные)

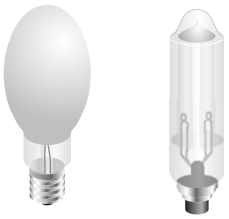


Рис. N37. Газоразрядные лампы

Рис. N38. Светодиодные лампы

Лампы накаливания

Лампы накаливания стали использоваться раньше других средств освещения и нашли самое широкое распространение в наши дни.
Они основаны на принципе накаливания нити в вакууме или нейтральной среде, предотвращающей перегорание нити накаливания.

Различаются два типа ламп:

■ Стандартные лампы
Они содержат вольфрамовую нить и заполнены инертным газом (азот и аргон или криптон).

■ Галогенные лампы
Они также содержат вольфрамовую нить, но заполнены галогенным составом и инертным газом (криптон или ксенон). Галогенный состав обеспечивает восстановление нити, что повышает срок службы ламп и предотвращает их почернение. Кроме того, он обеспечивает повышенную температуру нити и, как следствие, повышенную светимость в лампах малого размера.

Основные недостатки ламп накаливания состоят в значительном тепловыделении, что определяет их низкую световую эффективность.

Флуоресцентные лампы

Сюда включаются флуоресцентные трубки и компактные флуоресцентные лампы. Они известны как «ртутные лампы низкого давления».

Во флуоресцентных трубках электрический разряд вызывает столкновение электронов с ионами паров ртути, приводя к ультрафиолетовому излучению в результате активации атомов ртути. Флуоресцентный материал, которым покрыта внутренняя поверхность трубок, преобразует это излучение в видимый свет.

Флуоресцентные трубки выделяют меньше тепла и служат дольше, чем лампы накаливания, но для них требуется устройство зажигания, называемое «стартером», и устройство ограничения тока в дуге после зажигания. Последнее устройство, называемое «балластным сопротивлением», обычно представляет собой дроссель, расположенный последовательно с дугой.

Компактные флуоресцентные лампы основаны на том же принципе, что и флуоресцентные трубки. Функции стартера и балластного сопротивления обеспечиваются электронной цепью, встроенной в лампу, что позволяет использовать загнутые трубки.

Компактные флуоресцентные лампы (см. **рис. N36**) разработаны для замены ламп накаливания. Они обеспечивают значительную экономию электроэнергии (15 Вт вместо 75 Вт при одинаковом уровне яркости) и имеют повышенный срок службы.

Лампы, известные как «индукционные» или «без электродные», работают по принципу ионизации газа в трубке посредством электромагнитного поля очень высокой частоты (вплоть до 1 ГГц). Их ресурс может составлять 100000 часов.

Газоразрядные лампы (см. **рис. N37**)

Свет излучается посредством электрического разряда между электродами в газовой среде кварцевой колбы лампы. Все такие лампы требуют балластного сопротивления для ограничения тока в дуге. Разработан ряд технологий для различных областей применения.
Натриевые лампы низкого давления имеют наилучшую светоотдачу, но при крайне низкой цветопередаче, поскольку обеспечивают только монохроматическое оранжевое излучение. Натриевые лампы высокого давления излучают белый свет с оранжевым оттенком. В ртутных лампах высокого давления разряд происходит в кварцевой или керамической колбе при высоких давлениях. Такие лампы называются «флуоресцентными ртутными разрядными лампами». Они излучают характерный голубовато-белый свет.
Лампы с галоидными соединениями металлов представляют последнюю технологию. Они обеспечивают широкий спектр цветов. Использование керамических трубок обеспечивает повышенную световую эффективность и лучшую цветостойкость.

Светодиоды (см. **рис. N38**)

Принцип работы светодиодов состоит в излучении света полупроводником при прохождении через него электрического тока.
Несколько лет назад, светодиодная технология была разработана для применения, требующего малой мощности светового потока, таких как сигнализации, светофоры, знаки выхода или аварийного освещения. Теперь, благодаря развитию и доступности светодиодов (мощностью несколько ватт на элемент) производители осветительных приборов предлагают комплексные решения, имеющие возможности для развития в любых сферах (жилые, коммерческие и промышленные здания и др.).
На самом деле, светодиоды являются первой технологией для освещения, имеющей потенциал для развития в любых сферах с подходящим уровнем эффективности и возможностью использования контрольных функций, не доступных для других технологий.
Светодиоды являются низковольтными и слаботочными устройствами, таким образом, подходят для энергопитания от аккумуляторной батареи.
Преобразователь необходим для питания линии и он называется управляющим устройством (драйвером).
Основными преимуществами светодиодов является их низкое энергопотребление, надежность, длительный срок службы, а также широкий диапазон управления (затемнение, переключение, очень низкое напряжение, отсутствие времени задержки до полной светоотдачи) Кроме того, светодиоды легче перерабатывать, чем флуоресцентные технологии.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Осветительные сети

Технология	Применение	Преимущества	Недостатки
Стандартная лампа накаливания	- Бытовое освещение - Локальное декоративноеосвещение (иллюминация)	- Прямое подсоединение без промежуточного распредустройства - Разумная цена - Компактность - Мгновенное освещение - Хорошая цветопередача	- Низкая светоотдача и высокое Энергопотребление - Значительное тепловыделение - Короткий срок службы
Галогенная лампа накаливания	- Подсветка - Интенсивное освещение	- Прямое подсоединение - Эффективность - Превосходная цветопередача	- Средняя светоотдача
Флуоресцентная трубка	- Цеха, офисы, мастерские - Наружное освещение	- Высокая светоотдача - Средняя цветопередача	- Низкая яркость одной единицы - Чувствительность к низким температурам
Компактная флуоресцентная трубка	- Бытовое освещение - Офисы - Замена ламп накаливания	- Хорошая светоотдача - Хорошая цветопередача	Высокая стоимость в сравнении с лампами накаливания
Ртутная высокого давления	- Мастерские, залы, ангары - Заводские цеха	- Хорошая светоотдача - Приемлемая цветопередача - Компактность - Долгий срок службы	- Время включения освещения порядканескольких минут
Натриевая высокого давления	- Наружное освещение - Большие залы	- Очень хорошая светоотдача	- Время включения освещения порядканескольких минут
Натриевая низкого давления	- Наружное освещение - Аварийное освещение	- Хорошая видимость в туман - Экономичность в использовании	- Длительное время включения освещения (5 мин) - Низкая цветопередача
С галоидными соединениями металлов	- Большие участки - Залы с высокими потолками	- Хорошая светоотдача - Хорошая цветопередача - Долгий срок службы	- Низкая цветопередача нескольких минут
Светодиод	- Сигнализация (трехцветные светофоры, указатели выхода и аварийное освещение)	- Низкое энергопотребление - Низкая температура на поверхности устройства - Низкое излучения в ультрафиолетовой и инфракрасной области - Устойчивость к вибрациям - Долгий срок службы - Не зависит от количества операций переключения - Мгновенное время включения	- Стоимость - Голубой оттенок в белом светодиоде - Управление температурой

Технология	Мощность (Вт)	КПД (люмен/Вт)	Ресурс (час)
Стандартная лампа накаливания	3 – 1000	10 – 15	1000 – 2000
Галогенная лампа накаливания	5 – 500	15 – 25	2000 – 4000
Флуоресцентная трубка	4 – 56	50 – 100	7500 – 24000
Компактная флуоресцентная лампа	5 – 40	50 – 80	10000 – 20000
Ртутная высокого давления	40 – 1000	25 – 55	16000 – 24000
Натриевая высокого давления	35 – 1000	40 – 140	16000 – 24000
Натриевая низкого давления	35 – 180	100 – 185	14000 – 18000
С галоидными соединениями металлов	30 – 2000	50 – 115	6000 – 20000
Светодиод	1 – 400	>100 (непрерывно увеличивается)	20000 – 50000

Рис. N39. Сравнительные характеристики осветительных устройств

Различные режимы электропитания (см. **рис. N40**)

Технология	Режим электропитания	Другое устройство
Стандартная лампа накаливания	Непосредственное электропитание	Электронный светорегулятор (диммер)
Галогенная лампа накаливания		Электронный преобразователь
Галогенная лампа накаливания сверхнизкого напряжения	Ферромагнитный трансформатор	Электронный преобразователь
Флуоресцентная трубка	Магнитное балластное сопротивление и стартер	Электронное балластное Сопротивление Электронный светорегулятор (диммер) + балластное сопротивл
Компактная флуоресцентная лампа	Встроенное электронное балластное сопротивление	
Ртутная лампа	Магнитное балластное сопротивление	Электронное балластное сопротивление
Натриевая лампа высокого давления		
Натриевая лампа низкого давления		
Лампа с галоидными соединениями металлов		
Светодиодная лампа и светильник	Управляющее устройство	Управляющее устройство с диммером (1-10 В или DALI управлением)

Рис. N40. Различные режимы электропитания

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4.2 Электротехнические характеристики ламп

4.2.1 Лампы накаливания

Лампы накаливания с прямым электропитанием

В силу крайне высокой рабочей температуры нити (до 2500 °C) ее сопротивление значительно зависит от того, включена лампа или нет. Поскольку сопротивление в холодном состоянии низкое, пик тока приходится на зажигание и может в 10 – 15 раз превышать номинальный ток в течение доли миллисекунды или даже нескольких миллисекунд.

Это ограничение сказывается на применении стандартных и галогенных ламп: оно налагает требование по снижению максимального числа ламп, которые могут питаться через такие устройства, как импульсное реле, модульные контакторы и реле сборных шин.

Галогенные лампы сверхнизкого напряжения (ELV)

■ Некоторые галогенные лампы низкой мощности работают при питании от сверхнизкого напряжения 12 или 24 В через трансформатор или электронный преобразователь. При питании через трансформатор явление намагничивания усиливается изменением сопротивления нити при включении. Ток при включении может в 50 – 75 раз превышать номинальный в течение нескольких миллисекунд. Использование светорегулятора (диммера), установленного перед лампой, позволяет значительно снизить это ограничение.

■ Электронные преобразователи представляют собой значительно более дорогостоящее решение в сравнении с трансформатором при одинаковой номинальной мощности. Такой экономический недостаток может компенсироваться за счет удобства монтажа, поскольку их низкое тепловыделение означает возможность крепления на огнеопасной опоре. Более того, они, как правило, имеют встроенную тепловую защиту.

В настоящее время поставляются галогенные лампы сверхнизкого напряжения с трансформатором, встроенным в их цоколь. Они могут получать питание непосредственно через низковольтную линию и могут заменять стандартные лампы без каких-либо специальных приспособлений.

Регулирование силы света ламп накаливания

Такое регулирование может осуществляться путем изменения напряжения, подаваемого на лампу.

Напряжение обычно изменяется специальным устройством, таким как диммер, путем изменения угла напряжения. Форма напряжения, подаваемого на лампу, показана на **рис. N41, a**. Такой метод, известный как «управление отпиранием», может использоваться для питания цепей с активным сопротивлением или индуктивных цепей. Другой метод, используемый для питания емкостных цепей, разработан с использованием электронных компонентов MOS и IGBT. При этом методе изменяется напряжение путем блокировки тока до завершения полупериода (см. **рис. N41, b**). Этот метод известен как «управление запиранием».

Постепенное включение лампы может также снижать (или даже устранять) пик тока при зажигании.

Поскольку ток искажается электронным светорегулятором, генерируются гармонические токи. Преобладают гармоники третьего порядка. Процент токовых гармонических составляющих третьего порядка относительно максимального основного тока (при максимальной мощности) показан на **рис. N42**.

Следует отметить, что на практике мощность, подаваемая на лампу через электронный светорегулятор, может изменяться только в диапазоне 15 – 85 % максимальной мощности лампы.

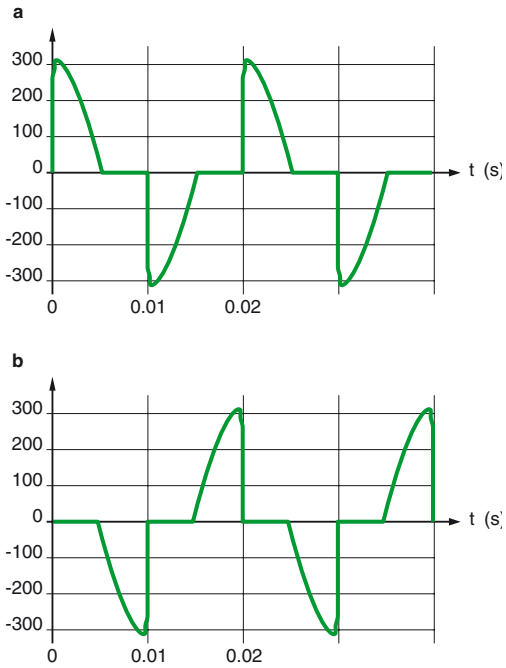


Рис. N41. Форма волны напряжения, подаваемого через электронный светорегулятор, при 50 % максимального напряжения при использовании следующих методов:
a) управление отпиранием;
b) управление запиранием

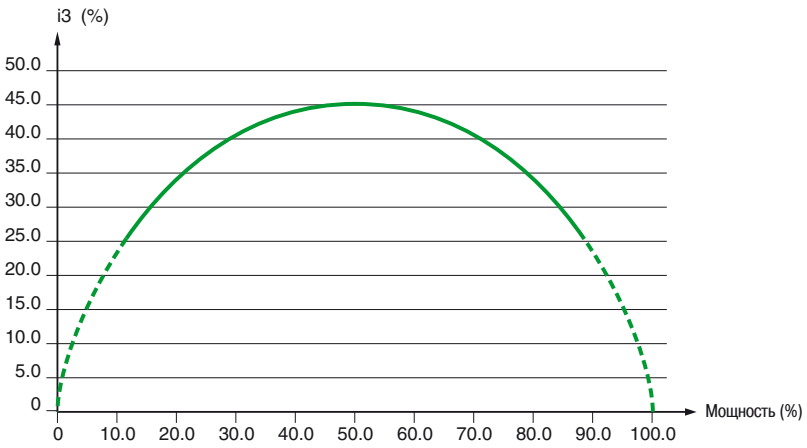


Рис. N42. Процент токовых гармонических составляющих третьего порядка, как функция мощности, подаваемой на лампу накаливания через электронный светорегулятор

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

Согласно стандарту МЭК 61000-3-2 (ГОСТ 30804.3.2-2013), устанавливающему предельное содержание гармоник для электрических или электронных систем при токе ≤ 16 А, применяются следующие правила:

- Автономные электронные светорегуляторы для ламп накаливания с номинальной мощностью не более 1 кВт не ограничиваются по содержанию гармоник.
- Для других случаев и осветительного оборудования с использованием ламп накаливания со встроенным электронным светорегулятором, максимальный допустимый гармонический ток (гармоники третьего порядка) составляет 2,30 А.

4.2.2 Флуоресцентные лампы с магнитным балластным сопротивлением

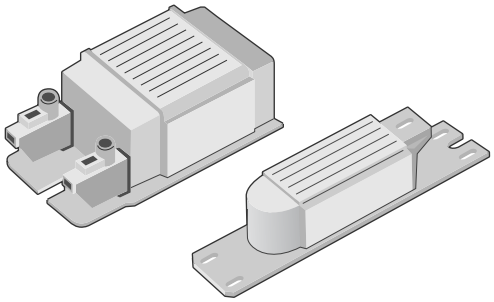


Рис. N43. Балластный дроссель

Флуоресцентные трубки и газоразрядные лампы требуют ограничения интенсивности дуги. Такое ограничение выполняется дросселем (или магнитным балластным сопротивлением), включенным последовательно с лампой (см. **рис. N43**).

Такая схема наиболее часто используется в жилых помещениях с ограниченным числом ламп, не накладывая особые ограничения на выключатели.

Электронные светорегуляторы не совместимы с магнитными балластными сопротивлениями: отсутствие напряжения прерывает разряд и приводит к полному выключению лампы.

Стартер выполняет двойную функцию: предварительный нагрев электродов трубки и последующее генерирование повышенного напряжения для зажигания трубки. Такое повышенное напряжение создается путем размыкания контакта (управляемого тепловым выключателем), что прерывает циркуляцию тока в магнитном балластном сопротивлении.

В течение работы стартера (≈ 1 с) ток, потребляемый светильником, приблизительно в два раза превышает номинальный ток.

Поскольку ток, потребляемый трубкой с балластным сопротивлением, является преимущественно индуктивным, коэффициент мощности низкий (в среднем 0,4 – 0,5). В системах, включающих большое количество ламп, необходимо обеспечивать компенсацию для повышения коэффициента мощности.

Для крупных осветительных электроустановок централизованная компенсация с помощью конденсаторов является возможным решением, но более часто такая компенсация осуществляется на уровне каждого светильника в рамках ряда различных схем (см. **рис. N44**).

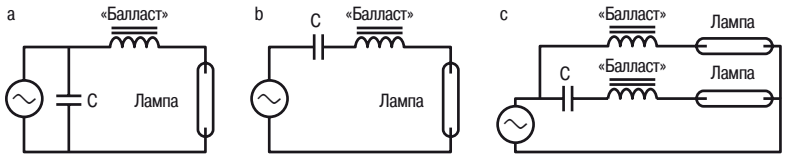


Схема компенсации	Применение	Примечания
Без компенсации	Жилые помещения	Единственное подсоединение
Параллельная (a)	Офисы, мастерские, универсамы	Риск больших токов для устройств управления
Последовательная (b)		Выбор конденсаторов с высоким рабочим напряжением (450-480 В)
Двойная последовательная (c)		Подавление эффекта мерцания

(a) параллельная;
(b) последовательная;
(c) двойная последовательная

Рис. N44. Различные схемы компенсации и сферы их применения

Параметры компенсационных конденсаторов выбираются для обеспечения общего коэффициента мощности не выше 0,85. В большинстве случаев параллельной компенсации их средняя емкость составляет 1 мкФ для активной мощности 10 Вт для ламп любого типа. Однако, такая компенсация не совместима с электронными светорегуляторами.

Ограничения, влияющие на компенсацию

Схема параллельной компенсации налагает ограничения на зажигание лампы. Поскольку конденсатор изначально разряжен, включение приводит к повышенному потреблению тока. Кроме того, возникают перенапряжения из-за колебаний в цепи, включающей конденсатор и индуктивность.

Следующий пример может использоваться для определения порядка величин.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Осветительные сети

Рассмотрим блок из 50 флуоресцентных ламп на 36 Вт каждая:

- общая активная мощность: 1800 Вт;
- полная мощность: 2 кВА;
- общий среднеквадратичный ток: 9 А;
- пиковый ток: 13 А.

Конденсаторная батарея:

- Общая емкость: C = 175 мкФ.
- Входная индуктивность (соответствующая току КЗ 5 кА): L = 150 мкН.

Максимальный пиковый ток при включении:

$$Ic = V_{max}\sqrt{\frac{C}{L}} = 230\sqrt{2}\sqrt{\frac{175 \times 10^{-6}}{150 \times 10^{-6}}} = 350\ A$$

Следовательно, теоретический пиковый ток при включении в **27** раз больше пикового тока при нормальном режиме работы.

Форма волны напряжения и тока при зажигании приводится на **рис. N45** в предположении включения в момент максимума напряжения сетевого питания.

Следовательно, существует риск приваривания контактов в электромеханических устройствах управления (импульсное реле, контактор, выключатель) или выхода из строя полупроводниковых переключателей.

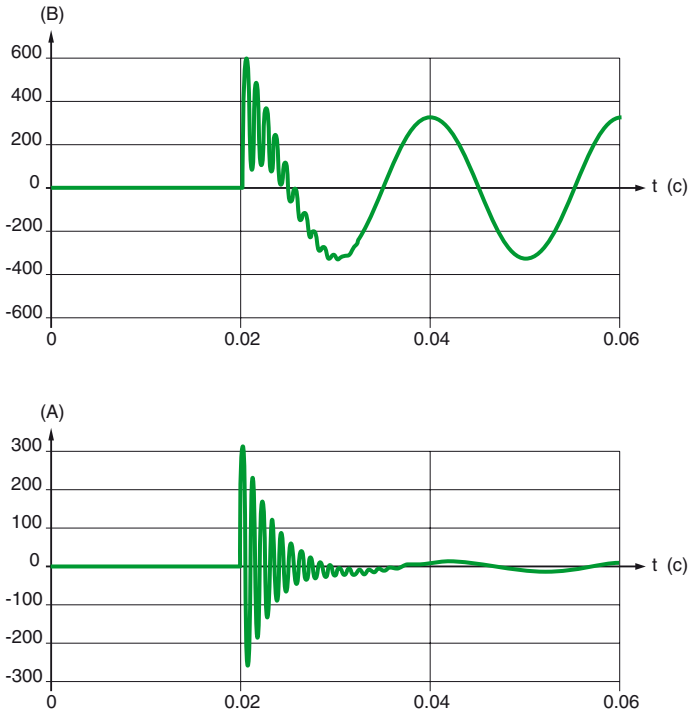


Рис. N45. Напряжение питания и потребляемый ток при включении

На самом деле, ограничения обычно носят менее строгий характер, учитывая полное сопротивление кабелей.

Зажигание флуоресцентных трубок в группах накладывает одно дополнительное ограничение. При уже включенной группе трубок компенсационные конденсаторы, находящиеся в этих трубках под напряжением, участвуют в токе включения в момент зажигания второй группы трубок: они «усиливают» пик тока в выключателе в момент зажигания второй группы трубок.

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Осветительные сети

Таблица на **рис. N46**, основанная на результатах измерений, указывает величину первого пика тока для различных значений ожидаемого тока КЗ Isc. Как видно из таблицы, пик тока может умножаться на 2 или 3 в зависимости от числа ламп, работающих на момент подключения последней группы ламп.

Число используемых ламп	Число подключаемых ламп	Пик тока включения (A)		
		Isc = 1500 A	Isc = 3000 A	Isc = 6000 A
0	14	233	250	320
14	14	558	556	575
28	14	608	607	624
42	14	618	616	632

Рис. N46. Величина пика тока выключателя на момент зажигания второй группы ламп

Рекомендуется последовательное зажигание каждой группы ламп для снижения пикового тока в главном выключателе.

Магнитные балластные сопротивления последней разработки характеризуются низкими потерями. Магнитная цепь оптимизирована, но принцип работы остается прежним. Это новое поколение балластных сопротивлений находит широкое применение под влиянием новых норм (Европейская директива, Закон об энергетической политике США).

В этих условиях, вероятно, увеличится использование электронных балластов, в ущерб магнитным балластам.

4.2.3 Флуоресцентные лампы с электронным балластным сопротивлением

Электронные балластные сопротивления используются в качестве замены магнитных балластных сопротивлений для питания флуоресцентных трубок (включая компактные флуоресцентные лампы) и газоразрядных ламп. Они также обеспечивают функцию стартера и не требуют каких-либо средств компенсации.

Принцип работы электронных балластных сопротивлений (см. **рис. N47**) заключается в питании дуги лампы через электронное устройство, которое генерирует напряжение переменного тока прямоугольной формы при частоте 20 – 60 кГц.

Подвод на дугу высокочастотного напряжения полностью устраняет явление мерцания и стробоскопические эффекты. Электронное балластное сопротивление работает бесшумно.

В течение периода предварительного нагрева газоразрядной лампы балластное сопротивление обеспечивает повышение напряжения на лампе, создавая тем самым неизменный по величине ток. В установившемся режиме оно регулирует напряжение, подаваемое на лампу, независимо от каких-либо колебаний сетевого напряжения.

Оптимальный режим напряжения дуги обеспечивает экономию электроэнергии (5 – 10 %) и повышение срока службы лампы. Более того, КПД электронного балластного сопротивления может превышать 93 %, тогда как средний КПД магнитных устройств – 85 %.

Коэффициент мощности – высокий (> 0,9).

Электронное балластное сопротивление используется также для обеспечения функции регулирования силы света. Изменение частоты фактически изменяет величину тока в дуге и, следовательно, силу света.

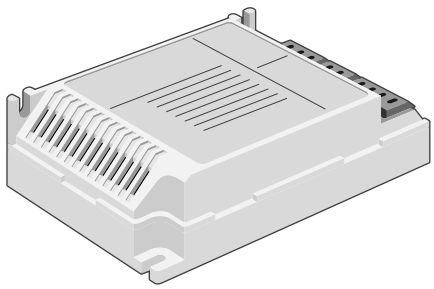


Рис. N47. Электронный «балласт»

Ток включения

Основное ограничение, накладываемое электронными балластными сопротивлениями на сетевое электропитание, заключается в высоком токе включения, связанным с начальной нагрузкой сглаживающих конденсаторов (см. **рис. N48**).

Технология	Макс. ток включения	Длительность
Выпрямитель с конденсатором компенсации реактивной мощности (PFC)	30 - 100 In	≤ 1 мс
Выпрямитель с дросселем	10 - 30 In	≤ 5 мс
Магнитный «балласт»	≤ 13 In	5 - 10 мс

Рис. N48. Порядок величины максимальных значений тока включения в зависимости от используемой технологии

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Осветительные сети

На самом деле, учитывая полное сопротивление кабелей, токи включения для блока ламп намного ниже, чем приведенные значения, порядка 5 – 10 In в течение менее 5 мс. В отличие от магнитных балластных сопротивлений, такой ток включения не сопровождается перенапряжением.

Гармонические токи

Для балластных сопротивлений, разрядных ламп высокой мощности ток, потребляемый из сети, имеет меньшее общее гармоническое искажение (< 20 % в общем случае и < 10 % для самых сложных устройств). И наоборот, устройства, связанные с лампами малой мощности, в частности, компактными флуоресцентными лампами, потребляют ток с высокой степенью искажения (см. **рис. N49**). Общее гармоническое искажение может достигать 150 %. В таких условиях действующее значение тока, потребляемого из сети, в 1,8 раз превышает ток, соответствующий активной мощности лампы, что равнозначно коэффициенту мощности 0,55.

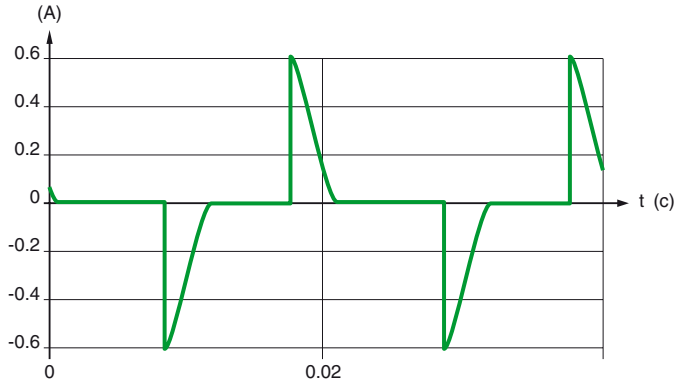


Рис. N49. Форма волны тока, потребляемого компактной флуоресцентной лампой

Для равномерного распределения нагрузки между фазами, осветительные цепи обычно

подключаются между каждой из фаз и нейтралью с обеспечением симметричности. В таких условиях высокий уровень третьей гармоники и гармоник, кратных 3, может приводить к перегрузке нейтрального проводника. В наименее благоприятной ситуации ток нейтрали может в $\sqrt{3}$ раз превышать ток в каждой фазе.

Предельные значения гармоник для электрических и электронных систем устанавливаются стандартом МЭК 61000-3-2 (ГОСТ 30804.3.2-2013). Для упрощения предельные значения для осветительного оборудования приводятся здесь только для гармоник третьего и пятого порядка, наиболее значимых в нашем случае (см. **рис. N50**).

Порядок гармоники	Активная входная мощность > 25 Вт	Активная входная мощность ⩽ 25 Вт применяется одно из 2 предельных значений	
	% от основной (первой) гармоники тока	% от основной (первой) гармоники тока	Гармонический ток относительно активной мощности
3	30	86	3.4 мА/Вт
5	10	61	1.9 мА/Вт

Рис. N50. Максимальный допустимый гармонический ток

Токи утечки

Электронные балластные сопротивления обычно обеспечиваются конденсаторами, установленными между питающими проводниками и землей. Этим обусловлено наличие постоянно циркулирующего тока утечки порядка 0,5 – 1 мА на балластное сопротивление. Как следствие, это ограничивает число балластных сопротивлений, которые могут питаться через устройство дифференциальной защиты нулевой последовательности (УЗО).

При включении таких конденсаторов могут возникнуть пики тока, величина которых может достигать нескольких ампер в течение 10 мкс. Такой пиковый ток может приводить к ошибочному отключению устройств.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

Высокочастотные помехи

Электронные балластные сопротивления являются источниками высокочастотных кондуктивных и электромагнитных помех.
Очень крутой фронт напряжения на выходе электронного балласта вызывает появление импульсов тока в паразитных емкостях на землю. В результате паразитные токи циркулируют в заземляющих и питающих проводниках. В силу высокой частоты таких токов возникает также электромагнитное излучение. Для ограничения таких высокочастотных помех лампа должна устанавливаться в непосредственной близости от балластного сопротивления для уменьшения длины наиболее интенсивно излучающих проводников.

4.2.4 Светодиодные лампы и светильники

Светодиодные технологии освещения представляют собой первую технологию для обеспечения разработки эффективных решений для всех областей применения функционального освещения, в отличие от более ранних технологий.

Чтобы лучше понять, почему использование светодиодного освещения может привести к значительному повышению эффективности, необходимо сначала объяснить основные термины. Ниже приведены определения ключевых терминов:

- **Светодиод** – диод полупроводникового типа, который излучает свет, когда ток проходит через него. Светодиодные полупроводниковые материалы преобразуют электрическую энергию в электромагнитное излучение видимого спектра (т.е. свет).
- **Светодиодный компонент** – Основа и первичный оптический блок световой сборки. Целью светодиодного элемента является защита полупроводника и отвод выделяющегося тепла от светодиода к системам рассеивания.
- **Светодиодный модуль** – сборка из одного или нескольких компонентов светодиодов с оптическими, механическими и тепловыми элементами.
- **Светодиодный светильник** – Полная система, состоящая из светодиодного модуля, корпуса, оптического отражателя, проводка, разъема, соединения, системы отвода тепла (радиатора или вентилятора), и в большинстве случаев, управляющего устройства.
- **Управляющее устройство** – электронное устройство, которое может преобразовывать электрическую мощность низкого напряжения переменного тока электрической сети в электрическую энергию, подходящей для светодиодных светильников (постоянного напряжения и тока). Управляющее устройство может быть внешнего или внутреннего исполнения. Устройство может управлять одним или несколькими светильниками. Функция легкой регулировки яркости может быть встроена в этом устройстве (DALI контролер,1-10 В контролер, ...).

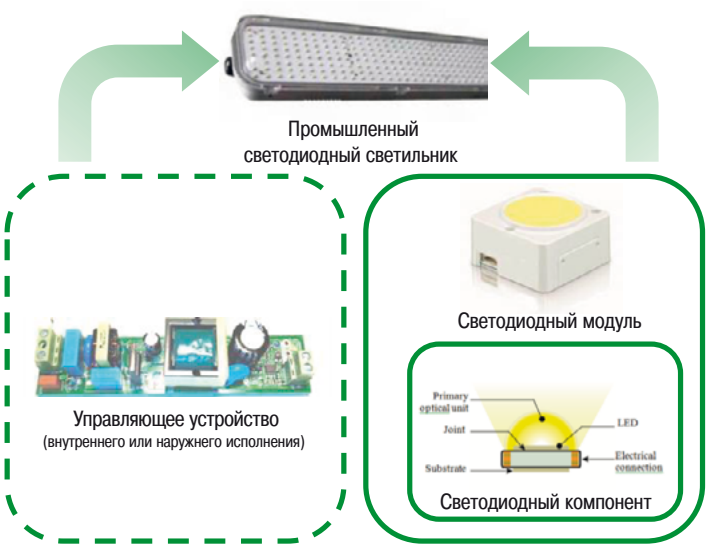


Рис. N51. Светодиод является лишь небольшим элементом конструкции – светодиодной лампы или светильника

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Осветительные сети

Пусковые и стационарные токи

Когда на светодиодный светильник подается напряжения, переменный ток светильника превышает нормируемое значения в течение первого-второго временного интервала, а затем ток стабилизируется и достигается нормированное рабочее значение. При переходном состоянии выделяют три основных события во время начальной фазы: электропитание светильника, начало работы управляющего устройства и подача питания светодиодному модулю (индикатор горит). Тогда светильник переходит в нормальное рабочее состояние.

В начальные моменты после того, как светильник начинает работать под напряжением, появляется значительный переходный ток (может превышать значение номинального тока до 250 раз, в зависимости от характеристик продукции) из-за конденсаторов, используемых для коррекции коэффициента мощности (коэффициент мощности светодиодных светильников как правило, больше, чем 90 %, так как управляющее устройство светильника включает в себя каскад коррекции коэффициента мощности). Длительность этого переходного тока составляет менее 1 миллисекунды (мс). Когда светильник включен, ток будет иметь максимальное значение, когда угол напряжения к току составляет 90 ˚ (в этом случае, напряжение на его пиковом значение 325 В для 230 вольтовой сети переменного тока). Если при включении ток образует нулевой угол с напряжением, то пусковой ток значительно меньше.

После того, как прошел бросок тока, время перехода к номинальным характеристикам варьируется в диапазон от 100 мс до 1,5 секунд. В течение этого времени, управляющее устройство инициализируется (источник питания для электронных схем управления, находятся под напряжением). Ток, потребляемый в течение этой фазы меньше, чем номинальный ток.

После того как управляющее устройство инициализировалось, светодиодный модуль находится под напряжением, и появляется свет. Перегрузка примерно в два раза от номинального тока происходит в течение начального периода питания модуля, содержащего светодиоды. На **рис. N52** показаны различные состояния светодиода при подаче на него напряжения. Следует отметить, что состояние 4 на **рис. N52** представляет собой устойчивое рабочее состояние.

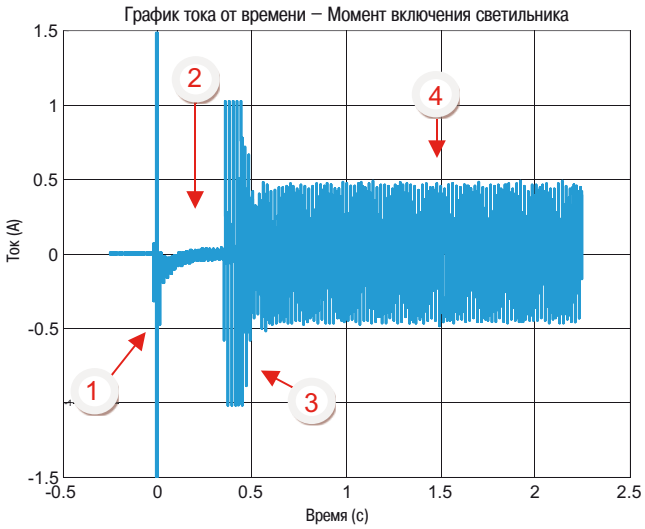


Рис. N52. Иллюстрация четырех состояний светодиода при подаче напряжения:
Состояние 1: Начало электропитания
Состояние 2: Запуск управляющего устройства
Состояние 3: Включение светодиодного модуля
Состояние 4: Установившейся режим

В стационарном состоянии, ток, потребляемый светодиодными светильниками не является идеально синусоидальным. Суммарный коэффициент гармонических искажений тока находится в диапазоне от 10 % до 20 %. Учитывая, что номинальные токи светодиодных светильников являются низкими, влияние этих токов на сетевое напряжение невелико. Измерения в различных промышленных установках, работающих на общественном низковольтной системе питания (на котором полное сопротивление короткого замыкания низко) показывают, что общее напряжение гармонических искажений обычно составляет менее 3%. В соответствии со стандартом МЭК 61000-2-4 (1), относящиеся к уровням совместимости диапазонов напряжения, если напряжение гармонических искажений составляет менее 5 % (1 класс электромагнитной обстановки), то сеть соответствует стандартам.

(1) МЭК 61000-2-4 стандарт: Электромагнитная совместимость (ЭМС) - Часть 2: Окружающая среда – Раздел 4: Уровни совместимости в промышленных установках для низкочастотных наведенных возмущений

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Осветительные сети

Синфазные токи

Определение: когда токи протекают, не встретив сопротивления часть тока обозначается как общий токовый режим. Общие токи режима могут привести к излучению, которые затем могут привести к возникновению помех или искажений.

Как светодиодная технология решает эту проблему? В следующем примере, измерения были выполнены для первых 20 светильников, которые были изолированы от земли. С учетом конфигурации, ток утечки может быть обратным только через защитное заземление (PE) проводника силового кабеля. Ток, протекающий в этом проводнике в начальной стадии представлен ниже (см. **рис. N53**)

Рис. N53. Результат испытания утечки тока замыкания на землю

Для включения при нулевом напряжении, ток утечки практически равен нулю.

Высокая частота переходного тока (около 100 кГц).
На начальной стадии, 20 светильников изолированы от земли, значение тока утечки, измеренное при 50 Гц, составляет около 2 мА.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4.3 Ограничения, связанные с осветительными установками, и рекомендации

4.3.1 Ток, фактически потребляемый осветительными установками

Риск перегрузки

Этот параметр должен определяться, в первую очередь, при разработке установки, иначе высока вероятность того, что будут срабатывать устройства защиты от перегрузки и пользователи будут часто оказываться в темноте.
Очевидно, что такое определение должно проводиться с учетом потребления тока всеми компонентами, особенно системами люминесцентного освещения, поскольку мощность, потребляемая балластными сопротивлениями (дросселями стартеров), должна добавляться к мощности, потребляемой лампами.

Рекомендация

Для освещения лампами накаливания следует учитывать, что напряжение в сети может отличаться более, чем на 10 % от номинального значения, приводя к увеличению потребляемого тока.

Для люминесцентного освещения, если не указывается иное значение, мощность магнитных дросселей может оцениваться в 25 % мощности ламп. Для электронных дросселей стартеров эта мощность меньше на 5-10 %.

Поэтому, уставки устройств защиты от перегрузки должны рассчитываться в зависимости от общей мощности с учетом коэффициента мощности, рассчитанного для каждой цепи.

4.3.2 Сверхтоки при включении

Риск

Устройства, используемые для коммутации, регулирования и защиты осветительных цепей, включают в себя реле, тиристоры, выключатели с дистанционным управлением, контакторы или выключатели.

Основное ограничение, накладываемое на эти устройства, – пиковый ток при включении. Такой пиковый ток зависит от технологии используемых ламп, а также от характеристик установки (мощность силового трансформатора, длина кабелей, число ламп) и времени включения.

Независимо от длительности, высокий пиковый ток может приводить к свариванию контактов на электромеханическом устройстве управления или повреждению полупроводникового устройства.

Два решения

Из-за броска тока при включении большинство традиционных реле не могут нормально работать в цепях питания осветительных приборов. Поэтому следует соблюдать следующие рекомендации:

- Ограничивать число ламп, подсоединяемых к одному устройству, чтобы их мощность не превышала максимальную допустимую мощность устройства.
- Проверять эксплуатационные ограничения, установленные изготовителями для устройств. Такая проверка особо значима при замене ламп накаливания компактными люминесцентными лампами.

В качестве примера в таблице ниже (**рис. N54**) указывается максимальное число скомпенсированных люминесцентных ламп, которые могут коммутироваться разными аппаратами с номинальным током 16 А. Следует отметить, что число коммутируемых ламп намного меньше числа, соответствующего максимальной мощности устройств.

N37

Потребляемая мощность ламп (Вт)	Число ламп с учетом мощности 16 А x 230 В	Максимальное число ламп, которые могут коммутировать		
		Контакторы GC16 A CT16 A	Выключатели с дистанционным управлением TL16 A	Автоматические выключатели C60-16 A
18	204	15	50	112
36	102	15	25	56
58	63	10	16	34

Рис. N54. Число коммутируемых ламп намного меньше числа, соответствующего максимальной мощности устройств

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

Однако, существует метод ограничения пикового тока при включении цепей с емкостными характеристиками (магнитные балластные сопротивления с параллельной компенсацией и электронные балластные сопротивления). Этот метод состоит в обеспечении включения в момент, когда сетевое напряжение проходит через нуль. Только полупроводниковые выключатели обеспечивают такую возможность, но важная тепловая составляющая, за счет постоянного тока, требует использования радиатора не совместимого с обычной электрической распределительной системой (размеры должны быть ограничены).

Недавно разработаны гибридные устройства, которые объединяют полупроводниковый выключатель (включение при прохождении напряжения через нуль) и электромеханический контактор, шунтирующий полупроводниковый выключатель для снижения потерь в полупроводниках (см. **рис. N55**). Кроме того, эта концепция позволяет снизить пиковый ток на включении в соотношении 4 к 5.

a **b** **c** **d**

[a] контактор iCT+, проходящий через ноль
[b] стандартный контактор iCT
[c] импульсное реле iTL
[d] автоматический выключатель с дистанционным управлением Reflex iC60

Рис. N55. Примеры устройств управления (Schneider Electric)

4.3.3 Перегрузка нейтрали

Риск

На установках, где, например, много люминесцентных ламп с электронными балластами, включенных между фазами и нейтралью, высокий процент токов гармоник, кратных трем, может вызвать перегрузку нейтрали. **Рис. N56** ниже дает обзор типовых значений токов гармоник, кратных трем, в таких осветительных сетях.

Тип лампы	Стандартная мощность	Режим регулировки	Ур-нь 3-й гармоники
Лампа накаливания с диммером	100 Вт	Диммер	5 – 45 %
Галогенная лампа ELV	25 Вт	Электронный трансформатор	5 %
Люминесцентная лампа	100 Вт	Магнитное балластовое сопротивление	10 %
	< 25 Вт	Электронное балластовое сопротивление	8 %
	>25 Вт	+ Коррекция коэффициента мощности	30 %
Разрядная лампа	100 Вт	Магнитное балластовое сопротивление	10 %
		Электронное балластовое сопротивление	30 %
Светодиодные лампы	от 10 до 200 Вт	Электронное управляющее устройство	от 10 до 20 %

Рис. N56. Обзор типовых значений гармоник, кратных трем в осветительных сетях

Решение

Во-первых, использование нейтрального провода малого сечения должно быть запрещено, как это предписывается стандартом МЭК 60364, раздел 523-5-3.

Эффекты, касающиеся тепловых воздействий на коммутационные аппараты, кабели и оборудование. Они обусловлены уровнями гармоник, которые воздействуют длительное время (≥ 10 минут).

Что касается устройств защиты максимального тока, необходимо установить 4-полюсные выключатели с защищенной нейтралью (за исключением системы TN-C, в которой защитный нейтральный проводник PEN не должен отключаться). Устройство этого типа также может использоваться для размыкания всех полюсов, необходимых для питания светильников, подключенных на линейное напряжение, в случае КЗ.

Поэтому, выключатель должен одновременно разъединять цепи фаз и нейтрали.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Осветительные сети

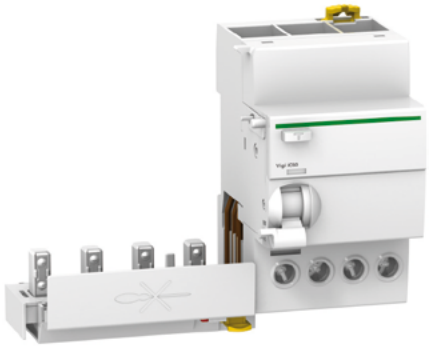


Рис. N57. УЗО с защитой от импульсных токов (тип s.i) (Schneider Electric)

4.3.4 Токи утечки на землю

Риск

При включении питания емкости электронных балластных сопротивлений относительно земли вызывают пиковые токи утечки, которые могут приводить к ложным срабатываниям УЗО.

Два решения

Использование УЗО, отстроенных от этого типа импульсного тока, рекомендуется и даже необходимо при оснащении существующей установки (см. **рис. N57**).

Для новой установки важно обеспечить полупроводниковые или гибридные регуляторы (контакторы или импульсное реле) для снижения таких импульсных токов (включение при прохождении напряжения через нуль).

4.3.5 Перенапряжения

Риск

Как указывается в предыдущих разделах, включение осветительной сети сопровождается переходным процессом со значительным перенапряжением. Такое перенапряжение вызывает значительные колебания напряжения на зажимах, присоединенных к сети электроприемников.
Эти колебания напряжения могут нарушать работу чувствительных электроприемников (микрокомпьютеры, регуляторы температуры и т.д.).

Решение

Рекомендуется отделить питание таких чувствительных электроприемников от питания осветительных цепей.
Установка защитных устройств, таких как «ОПН» рекомендуется для открытых установок, таких как городское освещение, освещение для автостоянок или промышленных объектов.

4.3.6 Чувствительность осветительных приборов к резким отклонениям напряжения в сети

Кратковременные перерывы питания

■ Риск

Разрядным лампам требуется несколько минут для загорания после отключения их питания.

■ Решение

Согласно требованиям техники безопасности частичное освещение должно быть предусмотрено с мгновенным повторным включением (ламп накаливания, светодиодных ламп или люминесцентных ламп, или разрядных ламп «горячего перезапуска»). Схема источника питания, в зависимости от действующих правил, как правило, отличных от основной цепи освещения. Светодиодное освещение также является альтернативным способом решения этой проблемы.

Колебания напряжения

■ Риск

Большинство осветительных устройств (за исключением ламп, запитываемых через электронное балластное сопротивление) чувствительно к резким колебаниям напряжения питания. Такие колебания вызывают мигание ламп, что неприятно для пользователей, и может даже вызывать значительные проблемы. Такие проблемы зависят от частоты колебаний и их величины.

Стандарт МЭК 61000-2-2 («Уровни совместимости для кондуктивных помех низкой частоты») указывает максимальную допустимую величину колебаний напряжения как функцию от числа колебаний в секунду или минуту.

Такие колебания напряжения вызваны, главным образом, переменными нагрузками высокой мощности (электродуговые печи, сварочные аппараты, пуск электродвигателей).

■ Решение

Могут использоваться специальные методы для снижения колебаний напряжения. Тем не менее, рекомендуется, при возможности, запитывать осветительные сети через отдельную линию питания. Использование электронных балластных сопротивлений (дросселей) рекомендуется для специальных объектов (больницы, специальные помещения, участки контроля деталей, компьютерные залы и т.д.).

4.3.7 Развитие устройств управления и защиты

Использование регуляторов освещенности становится нормой. Ограничения уменьшаются, а снижение рабочих характеристик устройств управления и защиты становится менее значимой проблемой. Внедряются новые устройства защиты, приспособленные к ограничениям в осветительных цепях, например, выключатели и модульные дифференциальные выключатели Schneider Electric со специальной защитой, например, ID и Vigi. Новые разработки устройств управления и защиты предлагают такие функции, как дистанционное управление, круглосуточное регулирование, управление освещением, снижение потребления электроэнергии и т.д.

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4.4 Особые ограничения для светодиодной технологии освещения

Для того, чтобы понять какое влияние светодиодные технологии будут иметь на существующие электрические сети, важно проанализировать поведение всех ключевых элементов в сети. Ниже приведен список потенциальных рисков для рассмотрения, а также некоторые рекомендации по смягчению рисков.

4.4.1 Риск, связанный с выбором автоматического выключателя

Выбор характеристик автоматического выключателя зависит от характера нагрузки питанием. Номинал зависит от поперечного сечения кабелей и графиков, и выбираются в зависимости от пускового тока нагрузки.

При включении светодиодных светильников, значительные пусковые токи превосходят номинальные в 250 раз, в соответствии с типом управляющего устройства, на очень короткое время (< 1 мс). Нормативные кривые в соответствии со «стандартными» (кривыми, как это определено в NF EN 60898(1) и NF EN 60947-2(2), используемые для сертификатов автоматических выключателей (которые характеризуют токи короткого замыкания на длительность более 10 мс) дают порог срабатывания выключателей» для токов, которые поддерживаются в течение 10 мс или более. Для переходных токов длительностью менее 10 мс имеется не нормированная кривая. Пиковое значение полного тока при включении зависит от времени подачи напряжения, количество светильников, образующих цепь освещения, мощности короткого замыкания и архитектуры сети.

Рекомендации:

Для предотвращения этого риска, необходимо выбрать подходящий автоматический выключатель (по номиналу, графикам) на этапе проектирования установки, в соответствии с рекомендациями, приведенными изготовителем.

Другой вариант, в случае замены обычного освещения светодиодным на существующей большой установке, является реализация дистанционного управления, включая детектор перехода через нуль на месте стандартного устройства. Это ограничит общий пусковой ток в 4 – 5 раз.

4.4.2. Риск, связанный с устройством защиты от замыкания на землю

ток утечки максимальный при включении в пике напряжения. Частота этого переходного тока высока (около 100 кГц). Для включения при нулевом напряжении, ток утечки практически равен нулю.

Рекомендации:

Для светильников постоянный ток утечки на землю при 50 Гц, как правило, менее 1 мА. Учитывая, что цепи освещения защищены устройствами защиты утечки на землю номиналом 300 мА, то в пределах коммерческого применения, большое количество светильников может быть установлено ниже по току от защитного устройства. Для частоты 100 кГц, ток не обнаруживается с помощью устройств защиты от утечки на землю.

4.4.3 Риск для устройства дистанционного управления

Стандартизованные категории использования (в соответствии с NF EN 60947-4-1(3) и МЭК 61095(4) предусматривают текущие значения и определяют, что контактор должен быть установлен или нет. Это зависит от характера нагрузки контролера и условий, при которых осуществляется замыкание (размыкание и замыкание). Только нагрузки освещения, использующие традиционные технологии подчиняются этим стандартам, и не требуется тестировать контакторы для управления светильниками, которые используются в светодиодных технологиях. Для распределительных устройств и механизмов управления, основные ограничения светодиодной технологии освещения являются высокие переходные токи, которые могут генерировать преждевременный износ контактных поверхностей материалов.

Рекомендации со стандартными реле

Номиналы контакторов и импульсных реле должны быть приняты во внимание на этапе проектирования, чтобы получить нужный уровень совместимости со светодиодным освещением. Это условие будет определять поддержание электрической прочности и долговечности данной производителями.

(1) NF EN 60898 стандарт: Электрические принадлежности – Автоматические выключатели для защиты от сверхтоков бытового и аналогичного назначения
(2) стандарт NF EN 60947-2: распределительное устройство низкого напряжения и аппаратура управления – Часть 2: Автоматические выключатели
(3) NF EN 60947-4-1 (ГОСТ Р 50030.4.1-2012): распределительное устройство низкого напряжения и аппаратура управления – Часть 4-1: Контакторы и пускатели двигателей – электромеханические контакторы и пускатели двигателей
(4) МЭК 61095 (ГОСТ IEC 61095-2015): Электромеханические контакторы для бытового и аналогичного назначения

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Осветительные сети

Решение с использованием интеллектуальных реле – умный контактор с использованием принципа перехода через нуль

Техника существует, чтобы ограничить пиковый ток в период возбуждения цепей с емкостным поведением (магнитных балластов с параллельной компенсацией, электронным балластом, управляющим устройством).
Она состоит из обеспечения электроснабжением освещения в тот момент, когда напряжение линия проходит через нуль (так называемая "нулевая функции пересечения").
Использование устройства дистанционного управления, включая нулевую функцию пропуска резко уменьшить пусковой ток генерации при включении (в 4-5 раза).
До сих пор, только твердотельные выключатели с полупроводниками предлагали эту возможность, но с ограничениями по нагреву мало совместимы с обычной электрической распределительной системой.

Принцип действия статического реле состоит в следующем: когда управляющее напряжение подается на входное реле, внутренний статический компонент выполняет функцию переключения при пересечении волны нулевого напряжения. Точность при переключении (подключение к сети) является превосходной. Затем пусковой ток уменьшается (см. **рис N58**). В результате, можно использовать автоматические выключатели без ухудшения характеристик. Количество светильников, которые могут питаться от одной схемы ограничивается только теплостойкостью интеллектуального реле.

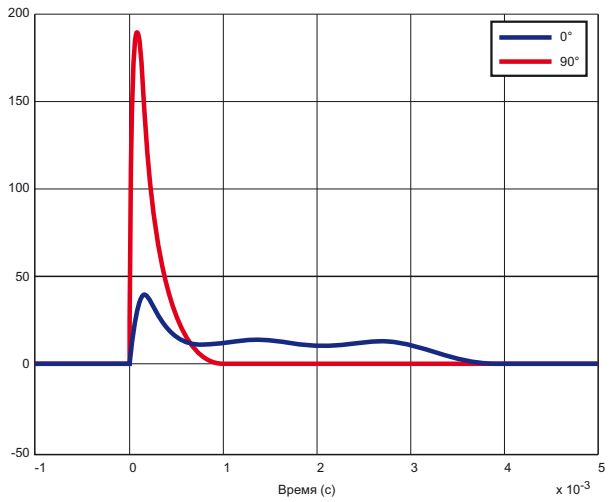


Рис. N58. Ток при включении в соответствии с углом напряжения (пересечения нуля и 90 °)

Совсем недавно, были разработаны устройства гибридных технологий, которые сочетают в себе твердотельный переключатель (включение при прохождении напряжения через нуль) и электромеханического контактора короткого замыкания твердотельного переключателя (уменьшение потерь в полупроводниках) (см. **рис. N55**).

Для трехфазных цепей (питание светильников между фазным проводом и нейтральным проводом), коммутационных аппаратов типа трехполюсному предпочтительнее устройства управления типа четырехполюсника. Не включен нейтральный полюс поможет предотвратить вредное всплеск напряжения на частоте питания от применяются через терминалы светильника, если нейтральный проводник не закрывается.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Осветительные сети

Модульные контакторы и импульсные реле основаны на разных технологиях. Их номинальные параметры определяются по разным стандартам.
Например, при заданной номинальной мощности импульсное реле более эффективно, чем модульный контактор, для коммутации осветительных электроприемников с большим броском тока при включении или с низким коэффициентом мощности (индуктивная цепь без компенсации).

4.5 Выбор реле в зависимости от типа лампы

■ **Рис. N59** ниже показывает максимальное число осветительных приборов для каждого реле в зависимости от типа, мощности и конфигурации осветительного прибора. В справочных целях указывается также допустимая мощность.
■ Эти значения приводятся для цепи 230 В с двумя активными проводниками (однофазная (фаза/нейтраль) или двухфазная (фаза/фаза)). Для цепей 110 В значения в таблице делятся на 2.
■ Чтобы получить эквивалентные значения для всей трехфазной сети 230 В, нужно умножить число ламп и общую допустимую мощность:
□ на $\sqrt{3}$ (1.73) для цепей 230 В между фазами без нейтрали;
□ на $\sqrt{3}$ для цепей 230 В между фазой и нейтралью или 400 В между фазами.

Примечание: наиболее распространенные (часто используемые) номинальные мощности ламп выделены жирным шрифтом.
Для получения промежуточных значений не используется пропорциональное правило с ближайшими значениями.

Таблица выбора

Продукция			**iCT контакторы**								**iCT+ контакторы**
Тип лампы			**Максимальное количество светильников для однофазной цепи и максимальная выходная мощность на контур**								
			16 A		**25 A**		**40 A**		**63 A**		**20 A**
Обычные лампы накаливания, галогенные лампы низкого напряжения, замена ртутных ламп на натриевые (без балластных сопротивлений)											
	40 Вт		38	1550 Вт - 2000 Вт	57	2300 Вт - 2850 Вт	115	4600 Вт - 5250 Вт	172	6900 Вт - 7500 Вт	4660 Вт x Cos φ
	60 Вт		30		45		85		125		
	75 Вт		25		38		70		100		
	100 Вт		19		28		50		73		
Галогеновые лампы сверхнизкого напряжения на 12 или 24 В											
С ферромагнитным трансформатором	**20 Вт**		15	300 Вт - 600 Вт	23	450 Вт - 900 Вт	42	850 Вт - 1950 Вт	63	1250 Вт - 2850 Вт	
	50 Вт		10		15		27		42		
	75 Вт		8		12		23		35		
	100 Вт		6		8		18		27		
С электрическим трансформатором	**20 Вт**		62	1250 Вт - 1600 Вт	90	1850 Вт - 2250 Вт	182	3650 Вт - 4200 Вт	275	5500 Вт - 6000 Вт	
	50 Вт		25		39		76		114		
	75 Вт		20		28		53		78		
	100 Вт		16		22		42		60		
Флуоресцентный лампы с пускателем и феромагнитным балластом											
1 лампа без компенсации (1)	15 Вт		22	330 Вт - 850 Вт	30	450 Вт - 1200 Вт	70	1050 Вт - 2400 Вт	100	1500 Вт - 3850 Вт	
	18 Вт		22		30		70		100		
	20 Вт		22		30		70		100		
	36 Вт		20		28		60		90		
	40 Вт		20		28		60		90		
	58 Вт		13		17		35		56		
	65 Вт		13		17		35		56		
	80 Вт		10		15		30		48		
	115 Вт		7		10		20		32		
1 лампа с параллельной компенсацией (2)	15 Вт	5 кмФ	15	200 Вт - 800 Вт	20	300 Вт - 1200 Вт	40	600 Вт - 2400 Вт	60	900 Вт - 3500 Вт	
	18 Вт	5 кмФ	15		20		40		60		
	20 Вт	5 кмФ	15		20		40		60		
	36 Вт	5 кмФ	15		20		40		60		
	40 Вт	5 кмФ	15		20		40		60		
	58 Вт	7 кмФ	10		15		30		43		
	65 Вт	7 кмФ	10		15		30		43		
	80 Вт	7 кмФ	10		15		30		43		
	115 Вт	16 кмФ	5		7		14		20		
2 или 4 лампы с последовательной компенсацией	2 x **18 Вт**		30	1100 Вт - 1500 Вт	46	1650 Вт - 2400 Вт	80	2900 Вт - 3800 Вт	123	4450 Вт - 5900 Вт	
	4 x **18 Вт**		16		24		44		68		
	2 x **36 Вт**		16		24		44		68		
	2 x **58 Вт**		10		16		27		42		
	2 x 65 Вт		10		16		27		42		
	2 x 80 Вт		9		13		22		34		
	2 x 115 Вт		6		10		16		25		

Рис. N59. Максимальное число светильников для каждого реле в зависимости от типа, мощности и конфигурации лампы

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Осветительные сети

	iTL импульсные реле				iTL+ импульс. реле	Reflex iC60 (кривая C)								
	Максимальное количество светильников для однофазной цепи и максимальная выходная мощность на контур													
	16 A		32 A		16 A	10 A		16 A		25 A		40 A		63 A	
	40	1500 Вт - 1600 Вт	106	4000 Вт - 4200 Вт	3680 Вт x Cos φ	28	1120 Вт - 2175 Вт	46	1840 Вт - 2600 Вт	70	2800 Вт - 3600 Вт	140	5600 Вт - 6800 Вт	207	8280 Вт - 9800 Вт
	25		66			23		36		55		103		152	
	20		53			29		31		46		80		121	
	16		42			15		23		33		60		88	
	70	1350 Вт - 1450 Вт	180	3600 Вт - 3750 Вт		11	220 Вт - 500 Вт	19	380 Вт - 800 Вт	27	540 Вт - 1050 Вт	50	1000 Вт - 2200 Вт	75	1500 Вт - 3300 Вт
	28		74			8		12		19		33		51	
	19		50			7		10		14		27		43	
	14		37			5		8		10		22		33	
	60	1200 Вт - 1400 Вт	160	3200 Вт - 3350 Вт		47	940 Вт - 1200 Вт	74	1480 Вт - 2000 Вт	108	2160 Вт - 2600 Вт	220	4400 Вт - 5100 Вт	333	6660 Вт - 7300 Вт
	25		65			19		31		47		92		137	
	18		44			15		24		34		64		94	
	14		33			12		20		26		51		73	
	83	1250 Вт - 1300 Вт	213	3200 Вт - 3350 Вт		16	244 Вт - 647 Вт	26	390 Вт - 1035 Вт	37	555 Вт - 1520 Вт	85	1275 Вт - 2880 Вт	121	1815 Вт - 4640 Вт
	70		186			16		26		37		85		121	
	62		160			16		26		37		85		121	
	35		93			15		24		34		72		108	
	31		81			15		24		34		72		108	
	21		55			9		15		21		43		68	
	20		50			9		15		21		43		68	
	16		41			8		12		19		36		58	
	11		29			6		9		12		24		38	
	60	900 Вт	160	2400 Вт		11	165 Вт - 640 Вт	19	285 Вт - 960 Вт	24	360 Вт - 1520 Вт	48	720 Вт - 2880 Вт	72	1080 Вт - 4080 Вт
	50		133			11		19		24		48		72	
	45		120			11		19		24		48		72	
	25		66			11		19		24		48		72	
	22		60			11		19		24		48		72	
	16		42			8		12		19		36		51	
	13		37			8		12		19		36		51	
	11		30			8		12		19		36		51	
	7		20			4		7		9		17		24	
	56	2000 Вт	148	5300 Вт		23	828 Вт - 1150 Вт	36	1296 Вт - 1840 Вт	56	2016 Вт - 2760 Вт	96	3456 Вт - 4600 Вт	148	5328 Вт - 7130 Вт
	28		74			12		20		29		52		82	
	28		74			12		20		29		52		82	
	17		45			8		12		20		33		51	
	15		40			8		12		20		33		51	
	12		33			7		11		15		26		41	
	8		23			5		8		12		20		31	

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Осветительные сети

Таблица выбора (продолжение)

Продукция			iCT контакторы								iCT+ контакторы
Тип лампы			Максимальное количество светильников для однофазной цепи и максимальная выходная мощность на контур								
			16 A		25 A		40 A		63 A		20 A
Флуоресцентные лампы с пускателем и электронным балластом											
1 или 2 лампы	**18 Вт**		74	1300 Вт - 1400 Вт	111	2000 Вт - 2200 Вт	222	4000 Вт - 4400 Вт	333	6000 Вт - 6600 Вт	4660 Вт x Cos φ
	36 Вт		38		58		117		176		
	58 Вт		25		37		74		111		
	2 x **18 Вт**		36		55		111		166		
	2 x **36 Вт**		20		30		60		90		
	2 x **58 Вт**		12		19		38		57		
Компактные люминесцентные лампы											
С внешним электронным балластом	**5 Вт**		210	1050 Вт - 1300 Вт	330	1650 Вт - 2000 Вт	670	3350 Вт - 4000 Вт		Non test	
	7 Вт		150		222		478				
	9 Вт		122		194		383				
	11 Вт		104		163		327				
	18 Вт		66		105		216				
	26 Вт		50		76		153				
Со встроенным электронным балластом (замена ламп накаливания)	**5 Вт**		160	800 Вт - 900 Вт	230	1150 Вт - 1300 Вт	470	2350 Вт - 2600 Вт	710	3550 Вт - 3950 Вт	
	7 Вт		114		164		335		514		
	9 Вт		94		133		266		411		
	11 Вт		78		109		222		340		
	18 Вт		48		69		138		213		
	26 Вт		34		50		100		151		
Натриевые лампы низкого давления с ферромагнитным балластом с внешним зажигающим устройством											
Без компенсации (1)	**35 Вт**		5	270 Вт - 360 Вт	9	320 Вт - 720 Вт	14	500 Вт - 1100 Вт	24	850 Вт - 1800 Вт	
	55 Вт		5		9		14		24		
	90 Вт		3		6		9		19		
	135 Вт		2		4		6		10		
	180 Вт		2		4		6		10		
С параллельной компенсацией (2)	**35 Вт**	20 кмФ	3	100 Вт - 180 Вт	5	175 Вт - 360 Вт	10	350 Вт - 720 Вт	15	550 Вт - 1100 Вт	
	55 Вт	20 кмФ	3		5		10		15		
	90 Вт	26 кмФ	2		4		8		11		
	135 Вт	40 кмФ	1		2		5		7		
	180 Вт	45 кмФ	1		2		4		6		
Натриевые лампы высокого давления (лампы с йодидами металлов)											
С ферромагнитным балластом, с внешним устройством зажигания, без компенсации (1)	35 Вт		16	600 Вт	24	850 Вт - 1200 Вт	42	1450 Вт - 2000 Вт	64	2250 Вт - 3200 Вт	
	70 Вт		8		12		20		32		
	150 Вт		4		7		13		18		
	250 Вт		2		4		8		11		
	400 Вт		1		3		5		8		
	1000 Вт		0		1		2		3		
С ферромагнитным балластом, с внешним устройством зажигания, с параллельной компенсацией (2)	35 Вт	6 кмФ	12	450 Вт - 1000 Вт	18	650 Вт - 2000 Вт	31	1100 Вт - 4000 Вт	50	1750 Вт - 6000 Вт	
	70 Вт	12 кмФ	6		9		16		25		
	150 Вт	20 кмФ	4		6		10		15		
	250 Вт	32 кмФ	3		4		7		10		
	400 Вт	45 кмФ	2		3		5		7		
	1000 Вт	60 кмФ	1		2		3		5		
	2000 Вт	85 кмФ	0		1		2		3		
С электронным балластом	35 Вт		24	850 Вт - 1350 Вт	38	1350 Вт - 2200 Вт	68	2400 Вт - 4000 Вт	102	3600 Вт - 600 Вт	
	70 Вт		18		29		51		76		
	150 Вт		9		14		26		40		

(1) Цепи с ферромагнитными балластными сопротивлениями без компенсации потребляют в два раза больший ток при одинаковой полезной мощности лампы. Это объясняет малое число ламп в этой конфигурации.

(2) Общая емкость конденсаторов коррекции коэффициента мощности, подключенных параллельно основной цепи, ограничивает число ламп, которые могут быть подключены к контактору. Общая емкость за модульным контактором на номинальный ток 16, 25, 40 или 63 А не должна превышать 75, 100, 200 или 300 мкФ соответственно. Следует учитывать эти пределы при расчете максимального допустимого числа ламп, если значения емкости отличаются от указанных в таблице.

Рис. N59. Максимальное число светильников для каждого реле в зависимости от типа, мощности и конфигурации лампы

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Осветительные сети

	iTL импульсные реле				iTL + импульс. реле	Reflex iC60 (кривая C)								
	Максимальное количество светильников для однофазной цепи и максимальная выходная мощность на контур													
	16 A		32 A		16 A	10 A		16 A		25 A		40 A		63 A	
	80	1450 Вт - 1550 Вт	212	3800 Вт - 4000 Вт	3680 Вт x Cos φ	56	1008 Вт - 1152 Вт	90	1620 Вт - 1798 Вт	134	2412 Вт - 2668 Вт	268	4824 Вт - 5336 Вт	402	7236 Вт - 8120 Вт
	40		106			28		46		70		142		213	
	26		69			19		31		45		90		134	
	40		106			27		44		67		134		201	
	20		53			16		24		37		72		108	
	13		34			9		15		23		46		70	
	240	1200 Вт - 1450 Вт	630	3150 Вт - 3800 Вт		158	790 Вт - 962 Вт	251	1255 Вт - 1560 Вт	399	1995 Вт - 2392 Вт	810	4050 Вт - 4706 Вт	Usage peu fr quent	
	171		457			113		181		268		578			
	138		366			92		147		234		463			
	118		318			79		125		196		396			
	77		202			49		80		127		261			
	55		146			37		60		92		181			
	170	850 Вт - 1050 Вт	390	1950 Вт - 2400 Вт		121	605 Вт - 650 Вт	193	959 Вт - 1044 Вт	278	1390 Вт - 1560 Вт	568	2840 Вт - 3146 Вт	859	4295 Вт - 4732 Вт
	121		285			85		137		198		405		621	
	100		233			71		113		160		322		497	
	86		200			59		94		132		268		411	
	55		127			36		58		83		167		257	
	40		92			25		40		60		121		182	
	Тесты не проводились					4	153 Вт - 253 Вт	7	245 Вт - 405 Вт	11	385 Вт - 792 Вт	17	595 Вт - 1198 Вт	29	1015 Вт - 2070 Вт
						4		7		11		17		29	
						3		4		8		11		23	
						2		3		5		8		12	
						1		2		4		7		10	
	38	1350 Вт	102	3600 Вт		3	88 Вт - 169 Вт	4	140 Вт - 270 Вт	7	245 Вт - 450 Вт	12	420 Вт - 720 Вт	19	665 Вт - 1440 Вт
	24		63			3		4		7		12		19	
	15		40			2		3		5		8		13	
	10		26			1		2		3		5		9	
	7		18			0		1		2		4		8	
	Тесты не проводились					12	416 Вт - 481 Вт	19	400 Вт - 750 Вт	28	980 Вт - 1350 Вт	50	1750 Вт - 2500 Вт	77	2695 Вт - 4000 Вт
						7		11		15		24		38	
						3		5		9		15		22	
						2		3		5		10		13	
						0		1		3		6		10	
						0		0		1		2		3	
	34	1200 Вт - 1350 Вт	88	3100 Вт - 3400 Вт		14	490 Вт - 800 Вт	17	595 Вт - 1200 Вт	26	910 Вт - 2200 Вт	43	1505 Вт - 4400 Вт	70	2450 Вт - 7000 Вт
	17		45			8		9		13		23		35	
	8		22			5		6		9		14		21	
	5		13			3		4		5		10		14	
	3		8			2		3		4		7		9	
	1		3			0		1		2		4		7	
	0		1			0		0		1		2		3	
	38	1350 Вт - 2200 Вт	87	3100 Вт - 5000 Вт		15	525 Вт - 844 Вт	24	840 Вт - 1350 Вт	38	1330 Вт - 2100 Вт	82	2870 Вт - 4650 Вт	123	4305 Вт - 7200 Вт
	29		77			11		18		29		61		92	
	14		33			6		9		14		31		48	

Примечание: **Reflex iC60**

Натриевая лампа высокого давления с электронным балластом

Для 10 A и 16 A применяется характеристика B, число ламп должно быть снижено на 10 %, чтобы ограничить нежелательные магнитные явления.

Светодиодная лампа

Когда применяется характеристика B, количество ламп должно быть снижено на 50 %.

Когда применяется характеристика D, количество ламп должно быть увеличено на 50 %.

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Осветительные сети

4.6 Выбор автоматического выключателя в зависимости от типа лампы

4.6.1 Выбор автоматического выключателя для всех типов ламп, кроме светодиодных

Выбор автоматического выключателя для светодиодных ламп представлен ниже в пункте 4.6.2.

На **рис. N60** показано максимальное количество ламп в зависимости от номинального тока автоматического выключателя с кривой C.

- Для автоматических выключателей с кривой B число ламп должно быть уменьшено на 50%,
- Для автоматических выключателей с кривой D число ламп должно быть увеличено на 50%.

Оборудование			Автоматический выключатель (кривая C)				
Тип лампы			**10 A**	**16 A**	**25 A**	**40 A**	**63 A**
Стандартные лампы накаливания, галогенные лампы низкого напряжения, сменные ртутные лампы (без балласта)							
	40 Вт		28	46	70	140	207
	60 Вт		23	36	55	103	152
	75 Вт		29	31	46	80	121
	100 Вт		15	23	33	60	88
Галогенные лампы сверхнизкого напряжения 12 или 24 В							
Ферромагнитный трансформатор	20 Вт		11	19	27	50	75
	50 Вт		8	12	19	33	51
	75 Вт		7	10	14	27	43
	100 Вт		5	8	10	22	33
Электронный трансформатор	20 Вт		47	74	108	220	333
	50 Вт		19	31	47	92	137
	75 Вт		15	24	34	64	94
	100 Вт		12	20	26	51	73
Люминесцентные лампы со стартером и ферромагнитным балластом							
1 лампа без компенсации (1)	15 Вт		16	26	37	85	121
	18 Вт		16	26	37	85	121
	20 Вт		16	26	37	85	121
	36 Вт		15	24	34	72	108
	40 Вт		15	24	34	72	108
	58 Вт		9	15	21	43	68
	65 Вт		9	15	21	43	68
	80 Вт		8	12	19	36	58
	115 Вт		6	9	12	24	38
1 лампа с параллельной компенсацией (2)	15 Вт	5 мкФ	11	19	24	48	72
	18 Вт	5 мкФ	11	19	24	48	72
	20 Вт	5 мкФ	11	19	24	48	72
	36 Вт	5 мкФ	11	19	24	48	72
	40 Вт	5 мкФ	11	19	24	48	72
	58 Вт	7 мкФ	8	12	19	36	51
	65 Вт	7 мкФ	8	12	19	36	51
	80 Вт	7 мкФ	8	12	19	36	51
	115 Вт	16 мкФ	4	7	9	17	24
2 или 4 лампы с последовательной компенсацией	2 x 18 Вт		23	36	56	96	148
	4 x 18 Вт		12	20	29	52	82
	2 x 36 Вт		12	20	29	52	82
	2 x 58 Вт		8	12	20	33	51
	2 x 65 Вт		8	12	20	33	51
	2 x 80 Вт		7	11	15	26	41
	2 x 115 Вт		5	8	12	20	31
Флуоресцентные лампы с электронным балластом							
1 или 2 лампы	18 Вт		56	90	134	268	402
	36 Вт		28	46	70	142	213
	58 Вт		19	31	45	90	134
	2 x 18 Вт		27	44	67	134	201
	2 x 36 Вт		16	24	37	72	108
	2 x 58 Вт		9	15	23	46	70

Рис. N60. Максимальное количество ламп в зависимости от номинального тока и кривой автоматического выключателя для всех типов светильников, кроме светодиодных

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Осветительные сети

Оборудование			Автоматический выключатель (кривая C)				
Тип лампы			**10 A**	**16 A**	**25 A**	**40 A**	**63 A**
Компактные люминесцентные лампы							
Внешний электронный балласт	5 Вт		158	251	399	810	Используется редко
	7 Вт		113	181	268	578	
	9 Вт		92	147	234	463	
	11 Вт		79	125	196	396	
	18 Вт		49	80	127	261	
	26 Вт		37	60	92	181	
Интегральный электронный балласт (замена лампам накаливания)	5 Вт		121	193	278	568	859
	7 Вт		85	137	198	405	621
	9 Вт		71	113	160	322	497
	11 Вт		59	94	132	268	411
	18 Вт		36	58	83	167	257
	26 Вт		25	40	60	121	182
Натриевые лампы низкого давления с ферромагнитным балластом и внешним зажигающим устройством							
Без компенсации (1)	35 Вт		4	7	11	17	29
	55 Вт		4	7	11	17	29
	90 Вт		3	4	8	11	23
	135 Вт		2	3	5	8	12
	180 Вт		1	2	4	7	10
С параллельной компенсацией (2)	35 Вт	20 мкФ	3	4	7	12	19
	55 Вт	20 мкФ	3	4	7	12	19
	90 Вт	26 мкФ	2	3	5	8	13
	135 Вт	40 мкФ	1	2	3	5	9
	180 Вт	45 мкФ	0	1	2	4	8
Натриевые лампы высокого давления							
Лампы с йодидами металлов							
Ферромагнитный балласт с внешним зажигающим устройством без компенсации (1)	35 Вт		12	19	28	50	77
	70 Вт		7	11	15	24	38
	150 Вт		3	5	9	15	22
	250 Вт		2	3	5	10	13
	400 Вт		0	1	3	6	10
	1000 Вт		0	0	1	2	3
Ферромагнитный балласт и внешнее зажигающее устройство с параллельной компенсацией (2)	35 Вт	6 мкФ	14	17	26	43	70
	70 Вт	12 мкФ	8	9	13	23	35
	150 Вт	20 мкФ	5	6	9	14	21
	250 Вт	32 мкФ	3	4	5	10	14
	400 Вт	45 мкФ	2	3	4	7	9
	1000 Вт	60 мкФ	0	1	2	4	7
	2000 Вт	85 мкФ	0	0	1	2	3
Электронный балласт	35 Вт		15	24	38	82	123
	70 Вт		11	18	29	61	92
	150 Вт		6	9	14	31	48

(1) Цепи с некомпенсированными ферромагнитными балластами потребляют вдвое больше тока для данной выходной мощности. Этим объясняется небольшое количество ламп в такой конфигурации.

(2) При параллельном соединении конденсаторов их общая емкость ограничивает количество ламп, которыми может управлять контактор.

Общая выходная емкость модульного контактора, рассчитанного на номинальный ток 16, 25, 40 или 63 A не должна превышать 75, 100, 200 или 300 мкФ соответственно. Если значения емкости отличаются от приведенных в таблице, можно руководствоваться данными установленными пределами.

Натриевые лампы высокого давления: для значений автоматических выключателей с кривой B и номинальным током 10 и 16 A количество ламп следует уменьшить на 10%, чтобы избежать нежелательного отключения.

Рис. N60. Максимальное количество ламп в зависимости от номинального тока и кривой автоматического выключателя для всех типов светильников, кроме светодиодных (продолжение)

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Осветительные сети

Устройством, ограничивающим количество светодиодных светильников, является модульный автоматический выключатель, а не контактор, как для других типов светильников.

4.6.2 Выбор автоматического выключателя для светодиодных ламп и светильников

Использование автоматических выключателей

Новые технологии освещения с электронными интерфейсами (балластами, управляющими устройствами) вызывают высокий пусковой ток переходного процесса при включении питания, который может отключить выключатель.
Эти явления особенно часто встречается со светодиодными лампами.

Графики соответствия между числом светодиодных светильников и номинала автоматического выключателя:

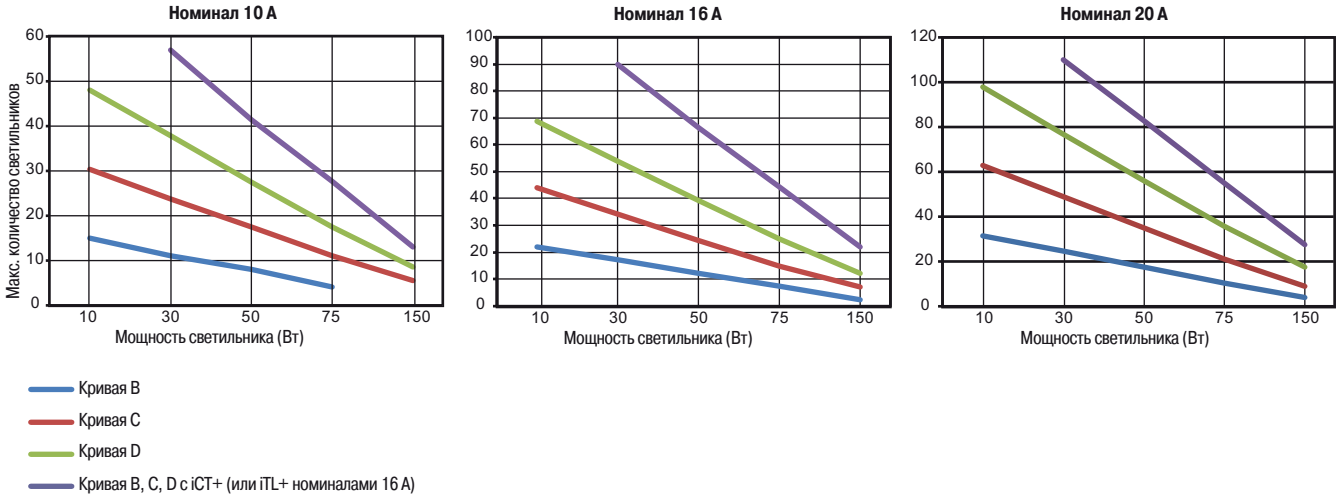


Рис. N61. Соответствие между числом светодиодных светильников и номинала автоматического выключателя

Блок питания светильника (Вт)	Номинальный ток автоматического выключателя и тип кривой											
	10 А				16 А				20 А			
	B	C	D	B, C, D с iCT+ или iTL+	B	C	D	B, C, D с iCT+ или iTL+	B	C	D	B, C, D с iCT+
10	15	30	48	-	22	44	69	-	32	63	98	-
30	11	24	38	57	17	34	54	90	25	49	77	110
50	8	17	27	41	12	25	39	66	18	35	56	83
75	4	11	17	28	7	15	25	44	11	21	36	55
150	-	5	9	13	2	7	12	22	4	9	18	28
250	-	3	5	8	-	4	7	13	-	5	10	16
400	-	1	4	5	-	2	6	8	-	3	9	10

Рис. N62. Максимальное количество светодиодных ламп в зависимости от номинальной мощности и кривой автоматического выключателя

В соответствии с используемым устройством управления, переходный ток может превышать номинальные значения, для не допущения этого:
- требования автоматического выключателя может быть понижены, согласно графикам соответствия между числом светодиодных светильников и номинала автоматического выключателя при использовании стандартных устройств управления: CT, TL (электромеханическое устройство управления),
- ток может быть уменьшен за счет использования следующих технологий:
  - Softstart: использует команду интегрированную в управляющее устройство или диммер,
  - контактор управления (ITL +, + iCT) (закрывается, когда напряжение проходит через «0», снижение номинальных параметров связано с cos φ схемы освещения).

Эти технологии позволяют понижать характеристики автоматических выключателей без ухудшения характеристик, связанных с технологией применяемых ламп.
Пример:
Номинальная мощность цепи = 230 В переменного тока x Номинальный ток выключателя x Cos φ.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Осветительные сети

4.7 Светодиодные лампы - выбор контакторов

На **рис. N63** и **рис. N64** представлены таблицы, определяющие максимальное количество светодиодных ламп для каждого контактора / реле.

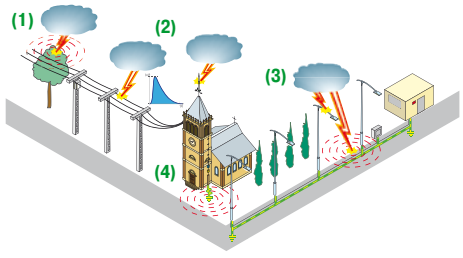
- Эти значения приведены для цепи 230 В с двумя активными проводниками (однофазной фаза / нейтраль или двухфазной фаза / фаза). Для цепей напряжением 110 В значения из таблицы следует разделить на 2.
- Для получения эквивалентных значений для всей трехфазной цепи 230 В количество ламп и общую допустимую мощность следует умножить:
  - на $\sqrt{3}$ (1,73) для цепей с напряжением 230 В между фазами без нейтрали,
  - на 3 для цепей с 230 В между фазой и нейтралью или 400 В между фазами.
- для автоматических выключателей Reflex iC60:
  - с характеристикой срабатывания B количество ламп должно быть уменьшено на 50%.
  - с характеристикой срабатывания D количество ламп должно быть увеличено на 50%.

Оборудование		**Контакторы iCT**								**Контакторы iCT+**
Тип лампы		**Макс. количество осветительных приборов для однофазной цепи и макс. выходная мощность цепи**								
		16 A		**25 A**		**40 A**		**63 A**		**20 A**
Светодиодные лампы										
С драйвером	10 Вт	48	500 - 1400 Вт	69	700 - 1950 Вт	98	1000 - 3000 Вт	200	2000 - 6200 Вт	4660 Вт x Cos
LED	30 Вт	38		54		77		157		
	50 Вт	27		39		56		114		
	75 Вт	17		25		36		73		
	150 Вт	9		12		18		37		
	200 Вт	7		9		15		31		

Рис. N63. Максимальное количество светодиодных ламп для контакторов iCT и iCT+

Оборудование		**Импульсные реле iTL**				**Импульсные реле iTL+**	**Reflex iC60 (кривая C)**									
Тип лампы		**Макс. количество осветительных приборов для однофазной цепи и макс. выходная мощность цепи**														
		16 A		**32 A**		**16 A**	**10 A**		**16 A**		**25 A**		**40 A**		**63 A**	
Светодиодные лампы																
С драйвером	10 Вт	69	700 - 1950 Вт	98	1000 - 3000 Вт	3680 Вт x Cos	30	300 - 850 Вт	44	450 - 1250 Вт	71	700 - 2000 Вт	108	1050 - 3050 Вт	146	1450 - 4150 Вт
LED	30 Вт	54		77			24		34		55		83		113	
	50 Вт	39		56			17		25		40		61		83	
	75 Вт	25		36			11		15		24		37		50	
	150 Вт	12		18			5		7		11		17		23	
	200 Вт	9		15			-		6		10		15		20	

Рис. N64. Максимальное количество светодиодных ламп для импульсных реле iTL и iTL+, а также для Reflex iC60 (кривая срабатывания C)



(1) Излучение
(2) Броски напряжения
(3) Прямой удар
(4) Увеличение потенциала земли

Использование устройств защиты от перенапряжений уменьшает риск отказа.

Рис. N65. Прямое и косвенное воздействия удара молнии

4.8 Наружное светодиодное освещение

4.8.1 Чувствительность к перенапряжениям

Светодиодные лампы, содержащие электронные компоненты, чувствительны к скачкам напряжения, которые воздействуют на драйверы блоков питания и светодиоды, вследствие чего может значительно сократиться предполагаемый срок службы светильников.
Существует два типа воздействия молнии на оборудование: когда молния ударяет непосредственно исследуемое оборудование (случай прямого удара молнии) и когда исследуемое оборудование подвергается влиянию эффектов, возникших вследствие удара (косвенный удар молнии).

4.8.2 Перенапряжения, вызванные молнией

Молния – это атмосферное явление, вызванное внезапным разрядом электрической энергии, накопленной в грозовых облаках.

- Прямой удар молнии: при ударе молнии в конструкцию ток молнии генерирует импульсное перенапряжение.
- Косвенный удар молнии – это отдаленное проявление прямого удара молнии. Его эффекты представлены здесь с трех сторон: перенапряжения, увеличение потенциала земли и излучение.

Примечание: см. также главу J «Защита от перенапряжений».

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Осветительные сети

Рис. N66. Устройство защиты от перенапряжений типа 2

Рис. N67. Ограничитель перенапряжения для информационной цепи

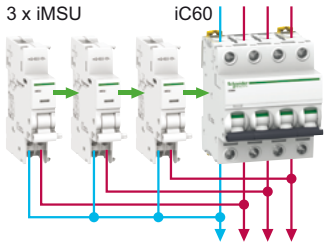


Рис. N68. Расцепитель максимального напряжения

Рис. N69. Модульный автоматический выключатель, устройство защиты от перенапряжений и расцепитель максимального напряжения

4.8.3 Временное перенапряжение

Основной характеристикой таких скачков является их частота, которая совпадает с частотой сети и составляет, как правило, 50 Гц или 60 Гц.
Такие скачки называют временным перенапряжением. Эти перенапряжения могут быть вызваны возникновением неисправности в энергосистеме, например, обрывом нейтрали – хотя распределительные сети обычно являются трехфазными, коммутационная аппаратура часто выполняется однофазной. Может возникнуть дисбаланс напряжения вследствие неодинаковой нагрузки потребителей низкого напряжения. Наиболее опасным случаем является обрыв нейтрали, так как он приводит к увеличению напряжения до уровня, близкого к междуфазному. Такой режим работы оказывает вредное воздействие на устройства, рассчитанные на работу при однофазном напряжении.

4.8.4 Защита светодиодного освещения наружной установки

Защита от перенапряжений

Для защиты светодиодного освещения наружной установки необходимо использовать устройства защиты от перенапряжений (УЗИП).
Для этих целей доступен целый ряд УЗИП: модульные разрядники для монтажа на симметричной рейке, разрядники, которые могут быть установлены на основной плате низкого напряжения или в корпусах светильников. Они имеют различные уровни защиты от перенапряжений и рассчитаны на протекание токов разной величины.
Кроме того, разрядники необходимо использовать для цепей передачи информации. Они должны быть адаптированы для двух слаботочных линий без общего потенциала, используемого для освещения общественных мест.
Входной ток не должен превышать 300 мА.

Защита от временных перенапряжений с помощью расцепителя максимального напряжения

Защитное устройство отключится, когда напряжение на его клеммах превысит номинальное значение.
Модульный автоматический выключатель, устройство защиты от импульсных перенапряжений и расцепитель максимального напряжения, объединенные в один аппарат, представлены на **рис. N69**.

Заключение

Полная защита установки (с контактором перехода через ноль, устройствами защиты от перенапряжения и расцепителем максимального напряжения) представлена на **рис. N70**. Из данного рисунка видно, что устройства защиты от перенапряжений расположены в главном распределительном щите уличного освещения и в распределительной коробке, установленной в нижней части опор освещения. Таким образом обеспечивается легкий доступ для обслуживания данных средств защиты, что позволяет просто и быстро осуществить замену оборудования в случае возникновения неисправности.
Соединение металлических опор освещения с системой заземления позволяет настроить различные части системы освещения на один и тот же потенциал, тем самым значительно уменьшая возникающие в лампах перенапряжения.

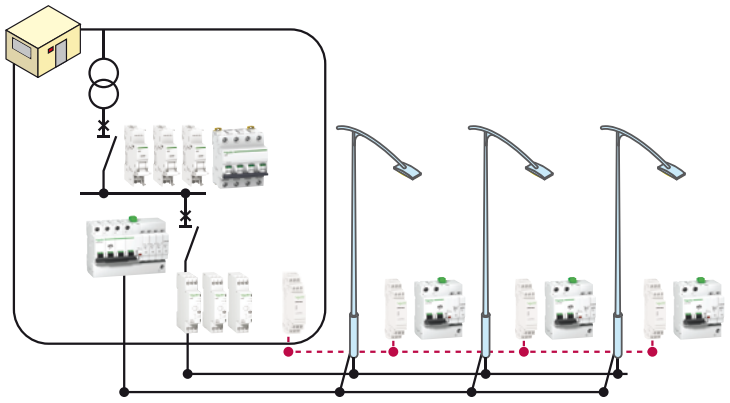


Рис. N70. Защита светодиодного освещения наружной установки

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4.9 Освещение общественных мест

Рабочее освещение

Нормы, определяющие минимальные требования для общественных зданий в большинстве европейских стран:

- Установки, обеспечивающие освещение общественных мест, должны обеспечиваться отдельными устройствами управления и защиты, независимыми от установок, обеспечивающих освещение других объектов.
- Нарушение питания в оконечной осветительной сети (например, перегорание предохранителя или срабатывание выключателя) не должно приводить к полному отключению освещения объекта, на котором может находиться более 50 человек.
- Защита посредством УЗО должна осуществляться несколькими устройствами, а не одним устройством на все цепи.

Аварийное освещение и другие системы

Под аварийным освещением понимается освещение, которое включается при отказе нормального освещения.

Аварийное освещение разделяется на следующие типы (EN-1838):

Аварийное освещение
Служит для обеспечения безопасной эвакуации людей из аварийной зоны или обеспечения завершения опасной работы до эвакуации из такой зоны. Оно предназначено для освещения путей эвакуации и может использоваться в безопасной ситуации в качестве нормального или вспомогательного освещения. Аварийное освещение подразделяется на следующие типы:

Аварийное освещение путей эвакуации
Служит для обозначения путей эвакуации и безопасной эвакуации людей по таким путям.

Аварийное освещение в публичных местах
Служит для предотвращения паники и обеспечения освещения для доступа людей к возможным путям эвакуации.

Аварийное освещение и предупредительные знаки для путей эвакуации

Аварийное освещение и предупредительные знаки для путей эвакуации имеют важное значение при разработке аварийных систем. Оптимальное решение обеспечивает повышение уровней безопасности и эффективность действий в аварийных ситуациях.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Осветительные сети

Стандарт EN 1838, «Назначение освещения. Аварийное освещение» определяет основные принципы аварийного освещения для путей эвакуации:
«Освещение путей эвакуации служит для безопасной эвакуации людей, обеспечивая достаточную видимость и указание направления эвакуации...»
Из этого положения следует простой вывод:
Предупредительные знаки и освещение путей эвакуации должны разделяться.

Функции и работа осветительных устройств

Технические требования на изготовление определяются стандартом EN 60598-2-22, «Специальные требования – Осветительные устройства для аварийного освещения», который должен использоваться вместе со стандартом EN 60598-1, «Осветительные устройства – часть 1: Общие требования и испытания».

Длительность

Основное требование состоит в определении длительности аварийного освещения. Как правило, это 1 час, но в некоторых странах законодательными техническими нормами установлены другие требования к длительности.

Работа

Следует разделять следующие типы аварийных осветительных устройств:

■ Осветительные устройства, не требующие техобслуживания:
□ лампа включается только при отказе рабочего освещения;
□ лампа запитывается от аккумуляторной батареи в течение отказа;
□ батарея автоматически перезаряжается после восстановления сетевого питания.

■ Осветительные устройства, требующие техобслуживания:
□ лампа может включаться для работы в непрерывном режиме;
- требуется отдельный источник питания, особенно для питания лампы, которая может отключаться при отсутствии людей на объекте;
- лампа запитывается от аккумуляторной батареи в течение отказа.

Конструкция

Объединение аварийного и рабочего освещения должно выполняться в строгом соответствии с нормами проектирования здания или объекта. Должны соблюдаться все нормы и законы для обеспечения разработки системы, соответствующей стандарту (см. **рис. N71**).

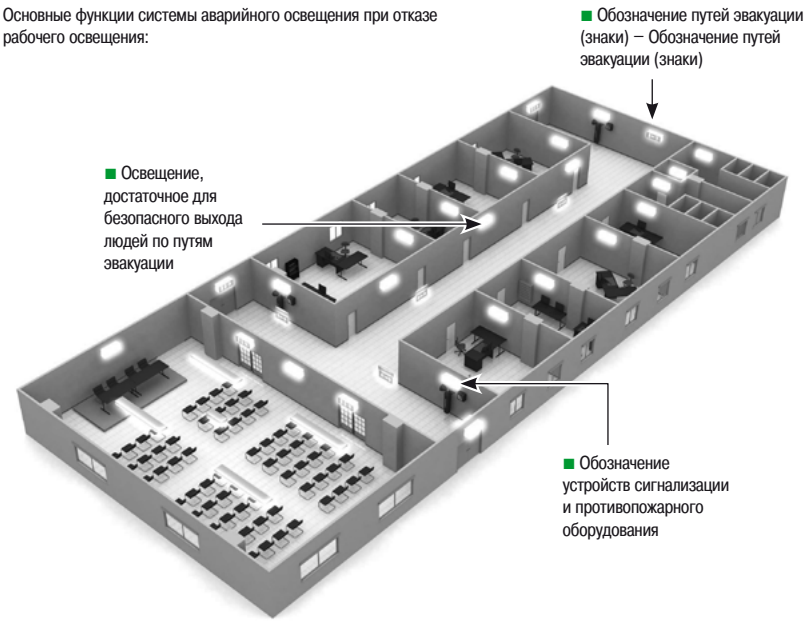


Рис. N71. Основные функции системы аварийного освещения

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Осветительные сети

Европейские нормы

Проектирование систем аварийного освещения регулируется рядом законодательных норм, которые обновляются и вводятся на основе документов, публикуемых по требованию органов, отвечающих за европейские и международные технические нормы и правила. Каждая страна имеет собственные законы и нормы в дополнение к европейским нормам для отдельных секторов. В основном они определяют объекты, которые должны обеспечиваться аварийным освещением, а также соответствующие технические требования. Задача разработчика состоит в обеспечении соответствия проекта таким нормам.

EN 1838

Важным документом на европейском уровне в отношении аварийного освещения является стандарт EN 1838, «Назначение освещения. Аварийное освещение». Этот стандарт устанавливает требования и ограничения в отношении функционирования систем аварийного освещения.

Нормы CEN и CENELEC

Нормы CEN и CENELEC определяют стандартные условия, особо значимые для эксплуатации и проектирования. Ряд норм касается аварийных ситуаций. Разграничиваются нормы для осветительных устройств и нормы для электроустановок.

EN 60598-2-22 и EN-60598-1

Устройства аварийного освещения определяются европейским стандартом EN 60598-2-22, «Специальные требования – Устройства аварийного освещения», который основан на стандарте EN- 60598-1, «Осветительные устройства – часть 1: Общие требования и испытания».

ГОСТ IEC 60598-2-22-2012

Стандарт ГОСТ IEC 60598-2-22-2012 «Светильники. Часть 2-22. Частные требования. Светильники для аварийного освещения» устанавливает требования к светильникам для аварийного освещения с электрическими источниками света в сетях аварийного питания с напряжением, не превышающим 1000 В.
Стандарт также содержит требования и методы испытаний устройств управления в соответствии с IEC 60924, которые включают в себя такие элементы, как схема дистанционного управления, индикаторы, переключающие устройства и т.д.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Асинхронные двигатели

Асинхронный двигатель надежен в эксплуатации и имеет широкое применение. 95% двигателей, установленных во всем мире, являются асинхронными. Поэтому защита таких двигателей является важным вопросом во многих областях применения.

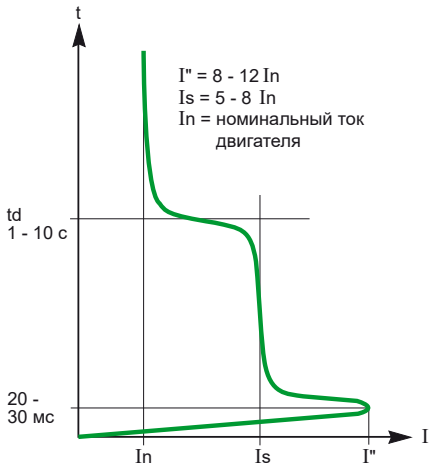


Рис. N72. График зависимости пускового тока асинхронного двигателя от времени

Асинхронные двигатели используются в самых различных областях применения. Вот некоторые примеры управляемых машин:
- □ центробежные насосы,
- □ вентиляторы и воздуходувки,
- □ компрессоры,
- □ измельчители,
- □ конвейеры,
- □ подъемники и краны,
- □ ...

Следствием выхода из строя двигателя из-за неправильного или невозможности защиты цепи управления для работы могут включать в себя следующее:
- ■ Для персонала:
- □ Удушение из-за закупорки вентиляции двигателя
- □ Поражение электрическим током из-за повреждения изоляции в двигателе
- □ Несчастный случай из-за отсутствия остановки двигателя после отказа цепи управления
- ■ Для рабочей машины и процесса производства:
- □ Муфты валов, осей, приводные ремни, ... повреждены из-за застопоривания ротора
- □ Недоотпуск продукции
- □ Задержка производства
- ■ Для самого двигателя:
- □ Обмотки двигателя выгорели из-за застопоривания ротора
- □ Стоимость ремонта
- □ Стоимость замены

Таким образом, безопасность людей и товаров, а также уровни надежности и доступности, в значительной степени зависят от выбора защитного оборудования.
Должа быть рассмотрена ситуация при отказе оборудования с экономической точки зрения. Эта стоимость увеличивается с размером двигателя и с трудностями доступа и замены. Недоотпуск продукции является еще одним и, очевидно, важным фактором.
Особенности двигательной нагрузки влияет на цепь питания, необходимую для обеспечения удовлетворительной работы.
Схема источника питания представляет собой определенные ограничения, как правило, не встречающихся в других (общих) распределительных сетях. Они в силу конкретных характеристик двигателя, непосредственно подключены к линии, такие как:
- ■ высокий пусковой ток (см. **рис. N72**), основная составляющая которого – реактивная мощность, которая может быть причиной падения напряжения
- ■ большое количество и частота пусков
- ■ высокий пусковой ток означает, что защитные устройства двигателя должны иметь такие рабочие характеристики, которые не позволят им отключиться во время пуска двигателя.

5.1 Системы управления двигателя

Различные виды решения управления двигателем сопоставляются в следующих таблицах

	I_s / I_n	T_s / T_n	Контроль скорости	Контроль крутящего момента
Напрямую к линии	5-10	5-10	No	No
Звезда – треугольник	2-3	1-2	No	No
Автотрансформатор	2-3	1-2	No	No
Устройство плавного пуска	3-5	1.5-2.5	No	Yes
Преобразователь скорости	1.5	1.5-2	Yes	Yes

	Плюсы	Минусы
Напрямую к линии	Снижение затрат на высокий пусковой момент	Высокий пусковой ток
Звезда – треугольник	Уменьшить пусковой ток	Уменьшение пускового момента
Автотрансформатор	Уменьшить пусковой ток	Большой вес
Устройство плавного пуска	Уменьшить пусковой ток контролируемое пуск и останов	Уменьшение пускового момента
Преобразователь скорости	Контролируемая скорость Экономия энергии на пониженной скорости	Более высокая стоимость

Рис. N73. Сравнение различных решений управления двигателем

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Асинхронные двигатели

5.2 Функции защиты двигателя

Эти меры, осуществляемые с целью исключения работы двигателя в ненормальных условиях, которые могут привести к негативным событиям, таким как: перегрев, преждевременное старение, разрушение электрических обмоток, повреждение муфты или редуктора, ...

Обычно предложено четыре уровня схем защиты: "общепринятые ", "продвинутые ", "улучшенные", и "высокоэффективные", которые могут быть приняты в зависимости от сложности и мощности рабочей машины.

- " общепринятые " защитные функции применяются для каждого типа двигателя,
- " продвинутые " функции защиты применяются к более сложным машинам, которые требуют особого внимания,
- Функции защиты " высокоэффективные " и " улучшенные " оправданы для высоковольтных двигателей большой мощностью, высокой требовательных приложений, или двигателей, находящихся в критическом состоянии или всякий раз, когда ток заземления необходимо измерять с высокой точностью (~ 0,01A).

Как показано на следующем рисунке: "высокоэффективная" защита не только основана на токе, но и на напряжении.

Защита	Общепринятые	Продвинутые	Улучшенные	Высокоэффективные
Короткое замыкание / перегрузки по току	■	■	■	■
Тепловая перегрузка	■	■	■	■
Небаланс тока	■	■	■	■
Обрыв фазного тока	■	■	■	■
Перегрузка по току (мгновенная и временная)	■	■	■	■
Короткое замыкание на землю / Ток растекания на землю	■	■	■	■
Долгий старт / Незавершенная последовательность запуска		■	■	■
Заклинивание (блокировка ротора)		■	■	■
Пониженный ток		■	■	■
Неправильный порядок чередования фаз тока			■	■
Температура двигателя (обнаруженная датчиками)			■	■
Быстрый цикл блокировки / разблокировки			■	■
Сброс нагрузки			■	■
Ручной пуск или кратковременное многократное включение / Количество запусков			■	■
Небаланс напряжения				■
Обрыв фазного напряжения				■
Неправильный порядок чередования фаз напряжения				■
Пониженное напряжение				■
Перенапряжение				■
Пониженная мощность				■
Перегрузка по мощности				■
Пониженный коэффициент мощности				■
Перегрузка по коэффициенту мощности				■
Повторное включение двигателя				■

Рис. N74. Классификация функций защиты

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Асинхронные двигатели

Ниже представлен список функций защиты двигателя и результат их действия.

Короткое замыкание: отключение в случае короткого замыкания на клеммах двигателя или внутри обмоток двигателя.

Максимальная токовая защита без выдержки времени: мгновенно срабатывает при превышении током заданного значения.

Тепловая перегрузка: отключение двигателя в случае длительной эксплуатации с крутящим моментом, превышающей номинальную стоимость. Перегрузка обнаружена путем измерения избыточного тока статора или с помощью терморезисторы.

Небаланс тока: отключение двигателя в случае большого тока небаланса, ответственного за увеличение потерь мощности и перегрева.

Обрыв фазного тока: отключение двигателя, если ток любой фазы равен нулю, так как это является обрыва жилы кабеля.

Перегрузка по току: сигнализация или отключения двигателя в случае высокого фазного тока, вызванным нагрузкой на валу.

Короткое замыкание на землю: отключение в случае пробоя между токоведущими частями двигателя и землей. Даже если ток короткого замыкания ограничен, быстродействие системы поможет избежать полного разрушения двигателя. Оно может быть измерена суммой 3 фаз, если требуемая точность не высока (~ 30 %). Если требуется высокая точность, то она должна быть измерена с заземлением через трансформатор тока (точность 0,01 А).

Долгий старт: отключение в случае превышения номинального пускового времени (из-за механических проблем или провисания напряжения) для того, чтобы избежать перегрева двигателя.

Заклинивание: отключение во избежание перегрева и механических нагрузок, если двигатель блокируется во время работы.

Пониженный ток: обнаружен аварийный сигнал или отключение двигателя в случае низкого значения тока, переводя в состояние холостого хода (например: дренажный насос, кавитация, сломанный вал, ...)

Неправильный порядок чередования фаз тока: отключение, когда обнаруживается неправильный ток обратной последовательности фаз.

Температура двигателя (обнаруженная датчиками): аварийный сигнал или отключение в случае высокой температуры, обнаруженной датчиками.

Быстрый цикл блокировка: предотвратить подключение и избежать перегрева из-за слишком частого пуска.

Сброс нагрузки: отключение двигателя при обнаружении падения напряжения, для того, чтобы снизить нагрузку и обеспечить возврат к нормальному напряжению.

Кратковременный многократный пуск/количество запусков: указанное число последовательных операций в течение заданного промежутка времени.

Небаланс напряжения: отключение двигателя в случае высокого напряжения небаланса, ответственного за увеличение потерь мощности и перегрева.

Обрыв фазного напряжения: отключение двигателя, если отсутствует одна из фаз напряжения питания. Это необходимо для того, чтобы избежать однофазный ход трехфазного двигателя, что приводит к уменьшению крутящего момента, увеличение тока статора, и невозможности запуска.

Неправильный порядок чередования фаз напряжения: предотвратить подключение и избежать обратного вращения двигателя в случае неправильной кабельной разводки фаз на клеммах двигателя, которые могут произойти во время технического обслуживания.

Пониженное напряжение: предотвратить подключение двигателя или отключения двигателя, так как пониженное напряжение не может обеспечить нормальную работу двигателя.

Перенапряжение: предотвратить подключение двигателя или отсоединения двигателя, так как увеличенное напряжение не может обеспечить правильную работу двигателя.

Пониженная мощность: сигнализация или отключение двигателя в случае недостатка мощности, поскольку эта ситуация является следствием подключенного дренажного насоса (опасность разрушения насоса) или сломанного вала.

Перегрузка по мощности: аварийный сигнал или отключение двигателя при значении мощности выше, чем обычно, так как эта ситуация является следствием перегрузки машины.

Пониженный коэффициент мощности: может быть использован для обнаружения малой мощности двигателей, имеющих высокий ток холостого хода.

Перегрузка по коэффициенту мощности: может быть использована для обнаружения конца пускового момента.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Асинхронные двигатели

Следствием аномального перегрева является недостаточная несущая способность изоляции материалов, что приводит к значительному сокращению срока службы двигателя. Это показано на **рис. N75**, и оправдывает важность защиты от перегрузки и перегрева.

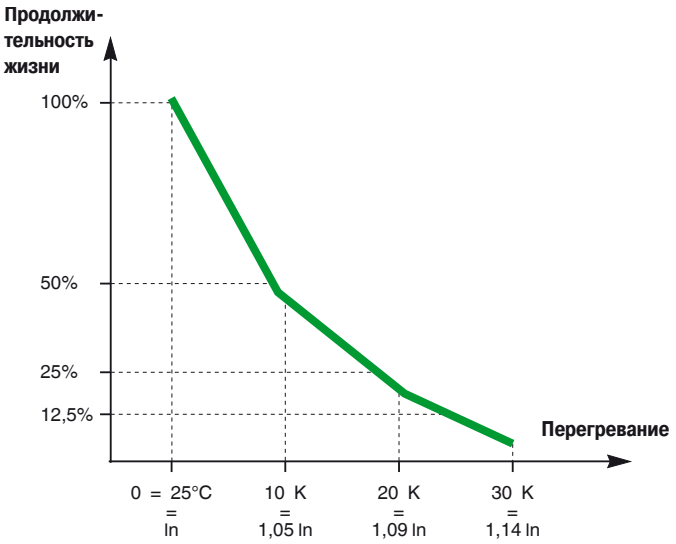


Рис. N75. Сокращение срока службы двигателя вследствие перегрева

Реле перегрузки (тепловые или электронные) предназначены для защиты электродвигателей от перегрузок, но они должны допускать временную перегрузку, вызванную пуском, и не должен сработать, если время пуска двигателя выше номинального.
В зависимости от применения, время пуска двигателя может варьироваться от нескольких секунд (без начальной нагрузки, низкий момент сопротивления и т.д.) до нескольких десятков секунд (для высокого момента сопротивления, высокой инерции приводимой нагрузки и т.д.). Поэтому необходимо, чтобы реле соответствовало времени пуска.
Для выполнения этого требования, Стандарт МЭК 60947-4-1 (ГОСТ Р 50030.4.1-2012) определяет несколько классов реле перегрузки, каждое из которых характеризуется своей кривой расцепления (см. **рис. N76**).
Реле должно быть выбрано в соответствии с номинальным током двигателя и расчетным временем пуска.
Класс расцепления 10 приспособлен для нормальных условий пуска.
Класс расцепления 20 рекомендуется для двигателей с тяжелыми условиями эксплуатации
Класс расцепления 30 необходим для очень долгого пуска двигателя.

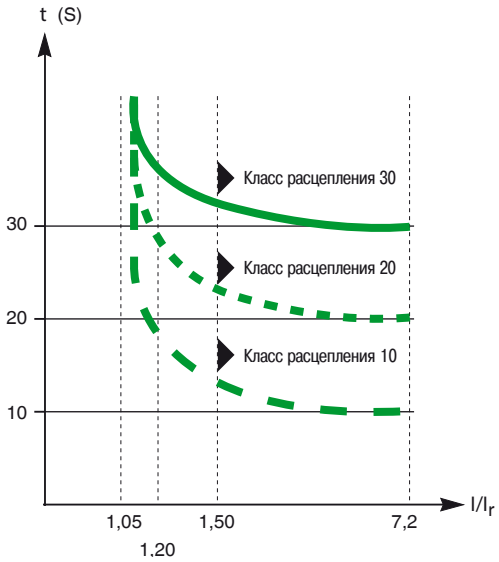


Рис. N76 Кривые класса расцепления реле перегрузки

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Асинхронные двигатели

5.3 Контроль состояния двигателя

Цель внедрения измерительных приборов является обеспечение непрерывного контроля условий эксплуатации двигателей. Собранные данные могут быть использованы с большой пользой для повышения энергоэффективности, продления срока службы двигателей, а также для работ по техническому обслуживанию программирования.

Обычно предложено четыре уровня сложности для схемы мониторинга:
" Общепринятые ", " Продвинутые ", " Улучшенные ", и " Высокоэффективные ", которые могут быть доступны, в зависимости от сложности и мощности подключенной машины и критичности процесса.

Измерение	Общепринятые	Продвинутые	Улучшенные	Высокоэффективные
Линейный ток				
Ток утечки на землю				
Средний ток				
Неправильный порядок чередования фаз тока				
Перегрев				
Температура двигателя (обнаруженная датчиками)				
Частота				
Линейное напряжение				
Неправильный порядок чередования фаз напряжения				
Среднее напряжение				
Активная мощность				
Реактивная мощность				
Коэффициент мощности				
Активная энергия				
Реактивная энергия				

Рис. N77. Классификация функций контроля

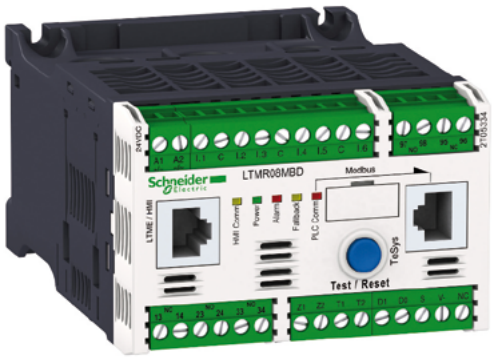


Рис. N78. Пример интеллектуальной системы управления двигателями с " улучшенной " и " высокоэффективной" функцией защиты и мониторинга (TeSys T Schneider Electric)

Ниже приведен список из наиболее полезных параметров, подлежащих измерению.

Токи: они непосредственно отвечают за нагревание проводников и, таким образом, ведут к возможному сокращению срока службы. Это наиболее важный параметр для мониторинга. Измерение тока также является следствием загруженности двигателя и силы приложенной к машине.

Ток утечки на землю: может быть измерен путем суммирования значений тока трех фаз, если требуемая точность не высока (~30%). Если требуется высокая точность, то его следует измерить с заземлением через трансформатор тока (точность 0,01 А).

Средний ток: позволяет узнать среднюю нагрузку на двигателе и помогает понять приспособлен ли двигатель привести в движение данный механизм.

Неправильный порядок чередования фаз тока: поскольку небаланс несет ответственность за дополнительные потери в двигателе, фазовый небаланс тока является важным параметром для контроля.

Перегрев: значение оставшейся перегрузочной способности и границы перегрева.

Температура двигателя (обнаруженная датчиками): знание реальных тепловых условий эксплуатации, с учетом нагрузки двигателя, температуры окружающей среды, эффективности вентиляции.

Частота: измерение тока осуществляется на частоте 47-63 Гц. Значение измеряется на основе измерений линейного напряжения. При нестабильной частоте (с колебаниями +/– 2 Гц) прибор будет выдавать значение «0» до тех пор, пока частота не стабилизируется.

Линейное напряжение: слишком высокое или низкое линейное напряжения является следствием повышенного тока двигателя при заданной нагрузке. Таким образом, контроль напряжения, указывает на то, работает ли двигатель в нормальных условиях или нет.

Неправильный порядок чередования фаз напряжения: поскольку небаланс несет ответственность за дополнительные потери в двигателе, то он является важным параметром для мониторинга.

Активная мощность: позволяет определить уровень нагрузки, приложенной к двигателю.

Реактивная мощность: индикация реактивной мощности, которая может быть необходима для компенсации, за счет реализации конденсаторов.

Коэффициент мощности: индикация уровня нагрузки двигателя. Если коэффициент мощности >1: подайте заявку на Нобелевскую премию по физике.

Активная энергия: возможность связать затраченную энергию к времени работы или количеству товаров, производимых машиной.

Реактивная энергия: возможность определить необходимость внедрения конденсаторов во избежание уплаты штрафных санкций к утилите.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5.4 Конфигурации стартера двигателя

Существуют различные типы и конфигурации контроллеров для управления электродвигателями, их выбор обуславливается факторами использования двигателя. Совместное использование двигателя и контроллера встречается все чаще, в частности, для систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Это позволяет изготовителям повысить ценность оборудования и расширить область контроля, таким образом сводя к минимуму риски, связанные с внешней координацией. Некоторые примеры показаны на **рис. N79**.

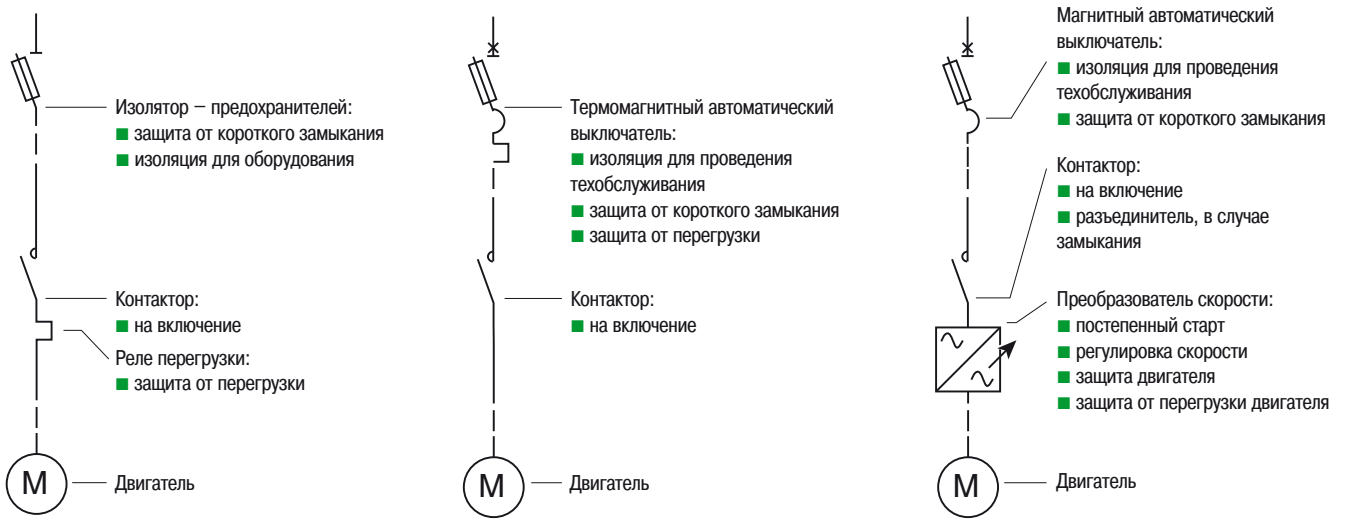


Рис. N79. Различные функции и их сочетания, образующие запуск двигателя

Прямой пуск двигателя

Прямой пуск, или пуск с помощью линейного контактора, – это самый простой тип пуска двигателя, при котором все напряжение сети поступает на клеммы электродвигателя. Такой пуск иногда применяют для небольших водяных насосов, компрессоров, вентиляторов и конвейерных лент. Асинхронный двигатель, например, трехфазный двигатель с короткозамкнутым ротором, будет потреблять большой пусковой ток до тех пор, пока не достигнет полной скорости. Этот пусковой ток обычно в 6-7 раз превышает ток полной нагрузки.
С целью уменьшения пусковых токов для более крупных двигателей устанавливают пускатели с пониженным напряжением или приводы с регулируемой скоростью, чтобы минимизировать падение напряжения в источнике питания.

Устройства плавного пуска (УПП)

Устройство плавного пуска двигателя - это устройство, применяемое с электродвигателями переменного тока для временного снижения нагрузки и крутящего момента в силовой передаче, а также уменьшения скачка электрического тока двигателя во время запуска. Оно позволяет уменьшить механическое напряжение на двигателе и валу, а также электродинамические напряжения на подключенных силовых кабелях и электрической распределительной сети, продлевая срок службы системы. Двигатель настраивается на нагрузку машины, контролируя подачу напряжения трехфазного двигателя во время пуска. Плавное раскручивание двигателя способствует продлению его срока службы, улучшению рабочих характеристик и сглаживанию рабочих процессов. Устройства плавного пуска могут содержать полупроводниковые приборы для контроля тока и, следовательно, подаваемого на двигатель напряжения. Устройства плавного пуска дороже пускателей, но они получили широкое применение благодаря удобству и простоте использования.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Асинхронные двигатели

Частотно-регулируемый привод

Частотно-регулируемый привод (ЧРП; привод с регулируемой скоростью вращения, привод переменного тока) – это тип привода с регулируемой скоростью, используемый в электромеханических системах привода для управления скоростью и крутящим моментом двигателя переменного тока путем изменения входной частоты и напряжения двигателя. ЧРП используют как для небольших аппаратов, так и для крупных компрессоров.
Контроллер ЧРП представляет собой полупроводниковую систему преобразования силовой электроники, состоящую из трех отдельных подсистем: мостового выпрямителя, вставки постоянного тока и инвертора. Большинство приводов являются приводами переменного тока, они преобразуют входное напряжение переменного тока в выходное напряжение инвертора переменного тока. ЧРП чрезвычайно универсален и часто используется в технологических процессах, где необходимо поддерживать постоянное давление или непрерывный поток.
Кроме того, ЧРП способствует значительной экономии электроэнергии, поскольку двигатель может работать на более низкой скорости и, следовательно, потреблять меньше энергии.
Приводы с регулируемой скоростью, как правило, являются самым дорогим методом запуска двигателя, но тем не менее они широко применяются благодаря своей универсальности.

Применимые стандарты

Различные применимые стандарты приведены на **рис. N80**.

Стандарт	Заглавие
МЭК 60947-1 (ГОСТ IEC 60947-1-2014)	Низковольтные комплектные распределительные устройства. Часть 1. Общие правила
МЭК 60947-4-1 (ГОСТ Р 50030.4.1-2012)	Контакторы и пускатели электродвигателей. Электромеханические контакторы и пускатели электродвигателей
МЭК 60947-4-2 (ГОСТ Р 50030.4.2-2012)	Контакторы и пускатели электродвигателей. Полупроводниковые контроллеры и пускатели для электродвигателей переменного тока
МЭК 60947-6-2 (ГОСТ Р 50030.6.2-2011)	Многофункциональная аппаратура. Коммутационные устройства (или аппаратура) управления и защиты (CPS)
МЭК 61800 (ГОСТ Р МЭК 61800-2-2012)	Системы силовых электроприводов с регулируемой скоростью

Рис. N80. Применяемые стандарты

Различные категории применения были определены для контакторов в стандарте МЭК 60947-4-1 (ГОСТ Р 50030.4.1-2012).
Выбор систем управления асинхронными двигателями приведены на **рис. N81.**

Категория	Типичные области применения
AC-1	Неиндуктивные или слабоиндуктивные нагрузки, печи сопротивления
AC-2	Двигатели с контактными кольцами: пуск, отключение
AC-3	Двигатели с короткозамкнутым ротором: пуск, отключение без предварительного останова
AC-4	Двигатели с короткозамкнутым ротором: пуск, торможение противотоком(1), повторно-кратковременные включения(2)

(1) При торможение противотоком или обратном вращении двигателя путем изменения первичных соединений, в момент работы двигателя.
(2) Повторно-кратковременные включения понимается, как включение двигателя один или несколько раз в течение коротких периодов, чтобы получить небольшие движения ведомого механизма

Рис. N81. Различные категории контакторов переменного тока, которые используются для управления асинхронными двигателями

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Асинхронные двигатели

5.5 Взаимодействие защиты

Типы согласования 1 и 2 описаны в стандарте МЭК 60947-4-1 (ГОСТ Р 50030.4.1-2012). Некоторые производители предлагают общее взаимодействие.

Взаимодействие	Последствия КЗ	Область применения
Тип 1	Контрактор или стартер после КЗ не влечет за собой никакой угрозы для людей и установки и не может быть пригоден для дальнейшей эксплуатации без ремонта и замены деталей.	Применение общего назначения. Основные механизмы.
Тип 2	Контакторы или стартеры не влекут за собой никакой угрозы для персонала или установки и должны быть пригодны для дальнейшего использования. Существует риск сплавки контактов, в этом случае изготовитель должен указать меры, которые должны быть приняты в отношении технического обслуживания оборудования.	Процесс с наличием ограничений и т.д .: непрерывный процесс, важных промышленных машин.
Непрерывная работа (общая координация)	Не допускается никаких повреждений или неправильной настройки. Система должна быть в рабочем состоянии сразу после перезагрузки и устранения неисправности, не требуется особых мер предосторожности.	

Рис. N82. Уровень приемлемых нарушений в соответствии с типами взаимодействия

Среди множества возможных способов защиты двигателя, объединение автоматического выключателя + контактор + тепловое реле [(1)] предоставляет множество преимуществ

5.6 Базовая схема защиты: автоматический выключатель + контактор + тепловое реле

Сочетание этих устройств облегчает монтажные работы, а также эксплуатационные и технические обслуживания, путем:

- ■ Сокращение объема техобслуживания: автоматический выключатель исключает необходимость замены перегоревшего предохранителя и необходимость хранить большое количество запасных частей (различных размеров и типов)
- ■ Улучшение непрерывности работы: установка может быть повторно включена сразу же после устранения неисправности и проверки стартера
- ■ Удобное размещение дополнительных устройств на цепи двигателя
- ■ Гарантируется отключение всех трех фаз (избегая тем самым возможность режима "однофазного включения")
- ■ Полный ток нагрузки (возможность переключения с помощью автоматического выключателя) в случае отказа контактора, например контактная сварка
- ■ Перекрытие
- ■ Разнообразные дистанционные признаки
- ■ Улучшенная защита стартера в случае перегрузки по току и, в частности, для сопротивления короткого замыкания [(2)], соответствующие токи уменьшены до значения примерно в 30 раз в двигателе (см. **рис. N83**)
- ■ Возможность добавления УЗО:
- □ Предотвращение риска возникновения пожара (чувствительность 500 мА)
- □ Защита от разрушения двигателя (короткого замыкания пластин) путем раннего обнаружения токов замыкания на землю (чувствительность от 300 мА до 30 А).

(1) Сочетание контактора с тепловым реле обычно называют «коммутационный аппарат».

(2) В большинстве случаев, коротких замыканий происходят на двигателе, так что ток ограничивается кабелем и проводкой стартера и называют полным сопротивлением короткого замыкания.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Асинхронные двигатели

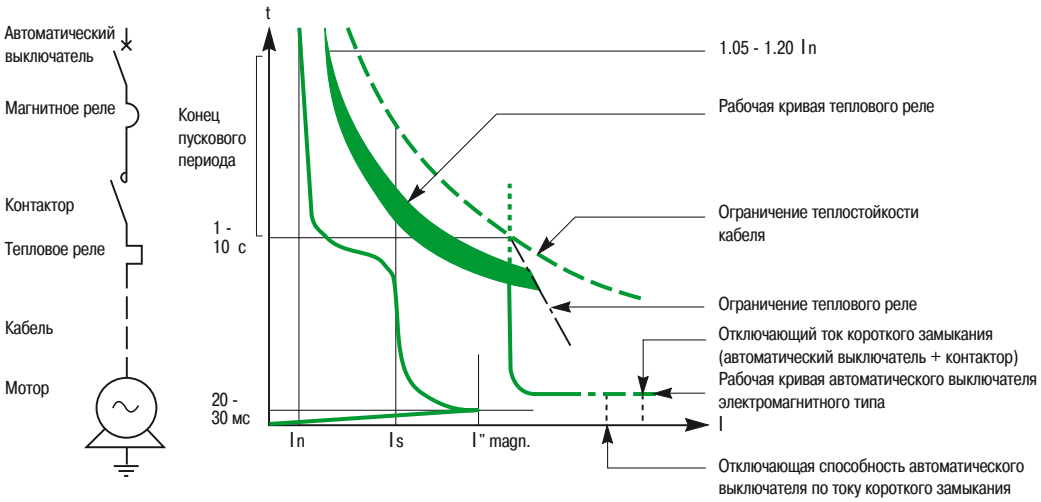


Рис. N83. Характеристики отключения для комбинации «автоматический выключатель + контактор + тепловое реле»

Комбинация «автоматический выключатель + контактор + тепловое реле» для управления и защиты цепей двигателя позволяет обеспечить:

- Снижение объема техобслуживания установки. Как правило, такое снижение требуется для предприятий сферы обслуживания, малых и средних промышленных предприятий.
- Дополнительные функции, предусмотренные техническим заданием.
- Технические требования на отключение нагрузки для проведения техобслуживания.

5.7 Пускатель-контроллер

Пускатели-контроллеры разработаны, чтобы выполнять функции управления и защиты (от перегрузок и коротких замыканий) одновременно. Кроме того, они позволяют выполнять операции управления в случае короткого замыкания.

Они могут также обеспечить дополнительные функции, такие как изоляция, что максимально расширяет возможности пускателя. Данные устройства соответствуют стандарту МЭК 60947-6-2 (ГОСТ Р 50030.6.2-2011), который, в частности, определяет технические характеристики и категории использования пускателей-контроллеров (наряду со стандартами МЭК 60947-1 (ГОСТ IEC 60947-1-2014) и МЭК 60947-4-1 (ГОСТ Р 50030.4.1-2012)).

Защитные функции, выполняемые пускателями-контроллерами, объединены и скоординированы таким способом, что данное устройство может нормально функционировать в диапазоне токов, вплоть до рабочей отключающей способности Ics пускателя-контроллера. Независимо от того, сколько дополнительных модулей входит в состав единого устройства, его технические характеристики не изменяются. Кроме того, гарантируется «полная» селективность всех защитных функций, что обеспечивает пользователю оптимальную защиту, которую легко выбрать и применить. Хотя пускатель-контроллер представляет собой единое устройство, его модульная конструкция обеспечивает большую гибкость, чем традиционный пускатель, состоящий из сборки «выключатель + контактор + тепловое реле». Типичным представителем устройства, описанного выше, является пускатель-контроллер «TeSys U» (см. **рис. N84**).

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Асинхронные двигатели

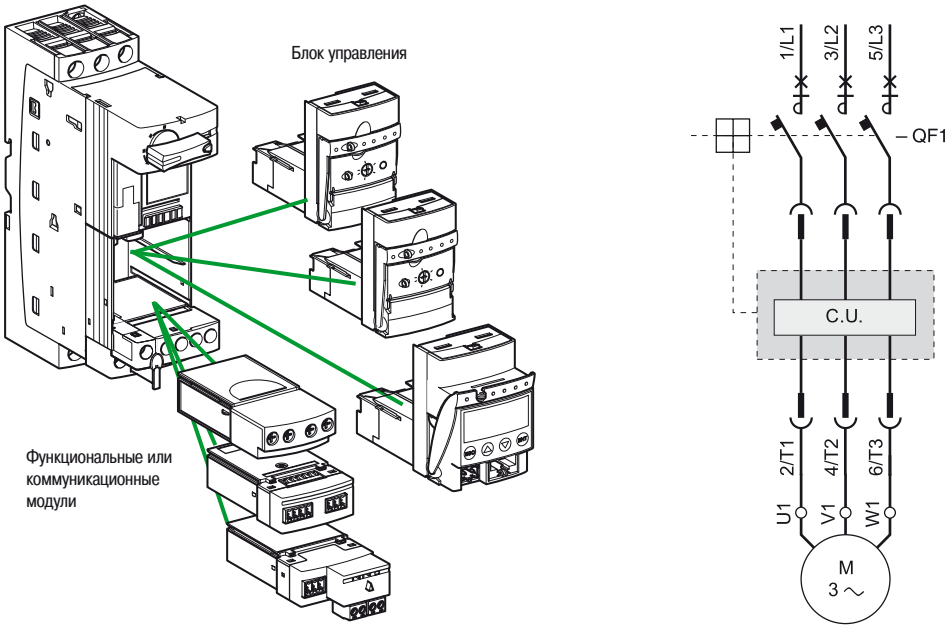


Рис. N84. Пример модульного пускателя-контроллера TeSys U (Schneider Electric)

Кроме того, при установке дополнительных модулей, появляются новые функциональные возможности:

- ■ Силовой блок: блок реверса, ограничитель.
- ■ Управление:
  - □ функциональные модули: аварийно-предупредительная сигнализация, индикация нагрузки двигателя, автоматический возврат в исходное состояние и т.д;
  - □ модули связи: AS-I, Modbus, Profibus, Can-Open, и т.д;
  - □ модули дополнительных контактов.

Возможные функции	Общепринятые	Продвинутые	Многофунцкиональные
Состояние запуска (готов, работа, ошибка)			
Управление запуском/остановкой			
Тепловая сигнализация			
Дистанционный сброс нагрузки			
Определение нагрузки на двигателе			
Изменение номинальных параметров			
Сигнализация (сверхтоки, ...)			
Параметры настройки и функции защиты			
Функция регистрации данных			
Функция мониторинга			

Информация, передаваемая по шине и выполняемых функций

Рис. N85. Функции связи Tesys U

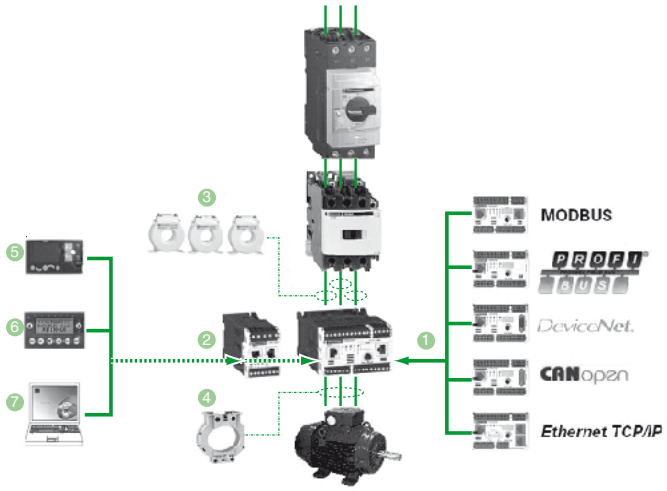
© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Асинхронные двигатели

5.8 Интеллектуальная система управления двигателем

Система, объединяющая интеллектуальные реле защиты, имеющую высшую степень надежности, и центр управления электроприводом. Возможность подключения к системе контроля и управления обеспечивается с помощью сети связи.
Это решение особенно популярно в крупных промышленных инфраструктурах и объектах, с непрерывными или гибридными процессами, и всякий раз, когда одним из приоритетов является непрерывность обслуживания.

Интеллектуальное реле защиты двигателя
Интеллектуальное реле защиты двигателя является ключевым компонентом в интеллектуальной системе управления электроприводом. Это управляемое микропроцессором устройство мониторинга и защиты двигателя, его деятельность осуществляется на основе измерений от датчиков, таких как трансформаторы тока, трансформаторы напряжения (встроенный или внешний), термодатчиком, детектор утечки тока на землю, ... Из этих измерений и настроек, она определяет условия ошибки или потенциальные риски для двигателей и операторов. В соответствии с моделью защиты двигателя, интеллектуальная реле защиты имеет возможность обнаруживать много видов неисправностей. Это большой шаг вперед по сравнению с защитой, в основе которой лежит тепловое реле. Кроме того, многие дополнительные функции могут быть реализованы с помощью интеллектуального реле: мониторинг, предостережение, отчет ошибок, статистика, связи, и т.п ...



1: Tesys T Реле защиты двигателя с возможностью родной связи. Средства защиты основаны на токе и температуре.

2: Tesys T Модуль расширения интеграции измерений и защит от перенапряжений.

4: Tesys T встроенный трансформатор тока может измерять ток утечки на землю на 20 % -500 % от тока полной нагрузки. Внешний трансформатор тока может быть использовано для получения более высокой точности (0,02 10A).

5, 6, 7: Различные виды интерфейсов Человек – Машина (1-1, 1-8 и 1-много).

Рис. N86. Пример управления двигателем и структуры защиты

Центр управления двигателями

Центр управления электродвигателями представляет собой электрический распределительный щит, который группирует все пусковые процессы двигателя, для построения централизованной установки. Централизация управления пусковыми процессами предлагается во многих отраслях промышленности и инфраструктуры, в целях облегчения эксплуатации и технического обслуживания. Выдвижные блоки управления двигателем, используются в критически важных узлах, так как они более удобны для управления в случае неисправности. Неисправный блок можно быстро заменить, не выключая весь распределительный щит.

Фиксированные или отсоединяемые выдвижные блоки управления могут быть использованы в менее важных узлах.

Блок управления электродвигателя типа ASSEMBLIES должен быть полностью согласованна со стандартом МЭК 61439-1 (ГОСТ IEC 61439-1-2013) и 61439-2 (ГОСТ Р МЭК 61439.2-2012), чтобы гарантировать доступность, безопасность и надежность применения. В конфигурации интеллектуальной системы управления двигателем, контроль конструкции, особенно тест на повышение температуры, имеет важное значение, так как интеллектуальная система управления двигателем (электронное устройство) чувствительно к теплу. Кроме того, центр управления двигателями должен обеспечивать надежную работу и надежное соединение шины связи.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Асинхронные двигатели

Блок управления отличается от универсального шкафа тем, что универсальный шкаф может быть использован только для размещения группы нескольких пускателей. Он имеет более низкие требования относительно электрических характеристик, и блок не обеспечивает разделение между пускателями в различных функциональных блоках.
По сравнению с традиционными решениями, данная система предлагает большие преимущества как в стадии разработке проекта и монтажа, а также и на этапе эксплуатации.

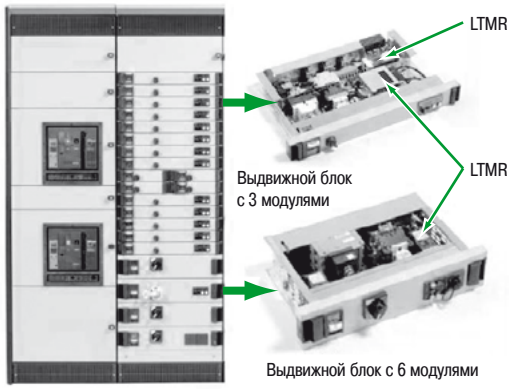


Рис. N87. Пример интеллектуальной системы управления двигателем: Okken распределительный щит и выдвижные блоки от Schneider Electric

Ценностное предложение для подрядчиков на стадии проекта:

■ Это повышает эффективность проекта:
□ Сокращение инженерных работ, поскольку пускатели становятся стандартизированы в более широком спектре,
□ Снижение времени на локальную проводку, благодаря использованию полевых шин,
□ Сокращение времени настройки, благодаря удаленной параметризации управления моторных устройств.

■ Сокращение времени ввода в эксплуатацию с помощью:
□ Лучшего понимания процесса, благодаря детальной диагностики и статистики,
□ Более быстрая фиксация ошибок,
□ Оказание помощи для исправления ошибок при запуске,
□ Учет сэкономленного времени, благодаря предварительно апробированным решениям (эталонные архитектуры)

Ценностное предложение для конечных пользователей на стадии эксплуатации:

■ Улучшение непрерывности обслуживания:
□ Улучшение процесса за счет лучшей ЗАЩИТЫ двигатели и нагрузки,
- Использование более точных датчиков,
- Использование более точных моделей защиты двигателя
■ Снижение несвоевременного времени ПРОСТОЯ:
□ Сигналы тревоги дают время, чтобы решить эту проблему, прежде чем происходит отключение,
□ Подробное описание ошибок, которые помогают в исправление,
□ Статистика может использоваться для непрерывного совершенствования,
□ Запись всех изменений параметров защиты.
■ Сокращение эксплуатационных затрат:
□ Сокращение расходов на электроэнергию,
- Снижение потребления энергии,
- Оптимизированное потребление энергии, сравнительный анализ, распределение затрат
■ Снижение затрат на обслуживание:
□ Меньше времени простоя,
□ Фиксация ошибок происходит быстрее,
□ Меньшее количество запасных частей,
□ Профилактическая стратегия технического обслуживания
■ Снижение технологических затрат и времени ввода в эксплуатацию:
□ Упрощенная инженерия,
□ Не требуется подключение,
□ Упрощенная установка,
□ Настройка процесса и ввода в эксплуатацию происходит легче.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Асинхронные двигатели

Система концентрирует знания и опыт распределения электроэнергии, защиты двигателя и управления, автоматизации и установки. Вот почему лишь несколько ведущих компаний в области распределения электроэнергии и автоматизации может предложить решения такого рода.

5.9 Связь

Интеллектуальная система управления двигателями оперирует многими данными. Система, как правило, управляет от 50 до 1000 пусковыми устройствами. Для того чтобы контролировать систему, необходимо получить информацию о двигателях, такую как состояние двигателя, сигнализации, значение тока и т.д. Традиционное подключение по средствам проводов не является эффективным и экономически выгодным способом, когда имеется большое количество данных, подлежащих передаче. Сегодня связь по сети при помощи внешнего интерфейса, является предпочтительным способом.

В связи необходима поддержка общего языка, который является коммуникационным протоколом. В следующей таблице приведены протоколы наиболее часто используемых в различных уровнях промышленных сетей связи. На данный момент самые популярные протоколы являются Ethernet TCP/IP, Modbus-RTU, Profibus-DP и DeviceNet.

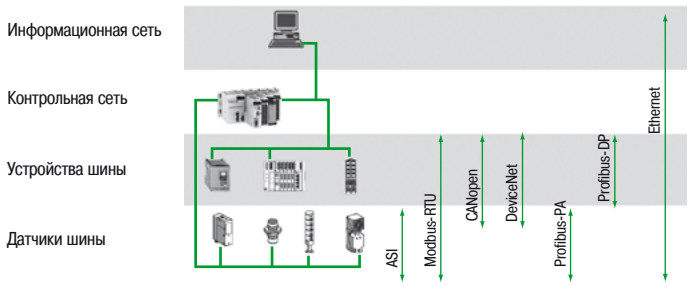


Рис. N88. Различные протоколы связи

Modbus

Modbus является структурой обработки сообщений и введена Modicon в 1979 г. Modbus является протоколом прикладного уровня на основе модели OSI. Он не зависит от физического уровня.

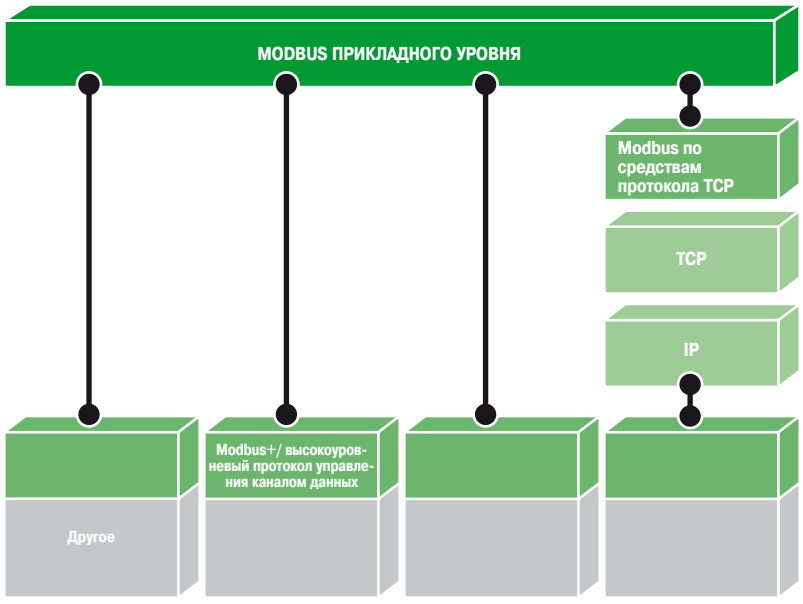


Рис. N89. Архитектура Modbus

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Асинхронные двигатели

Modbus-RTU (известная как – последовательная линия)

Modbus может быть реализован на RS232, RS 442 или RS485 внешнем интерфейсе связи, а также других средств массовой информации, как Ethernet. Modbus RS485 был наиболее распространенным протоколом в мире. Он поддерживает связь со скоростью до 115 кбит, но большинство устройств поддерживают скорость обмена данными только до 19,2 кб/с.

Modbus RS485 имеет низкую стоимость связи и самую большую сеть пользователей. Слабым местом Modbus является скорость передачи данных (так как она ограничена последовательной линией), и относительно небольшим количеством устройств, которые могут быть подключены к одной сети. Однако, Modbus-RTU по-прежнему является экономичным и разумным выбором для большинства систем защиты двигателя.

Modbus основан на концепции ведущий/ведомый. Одно устройство является ведущим и отправляет запросы на чтение или запись данных на каждое ведомое. Ведомые устройства, в свою очередь, отвечают на запросы от ведущего. Несмотря на то, что интерфейс можете иметь много устройств, подключенных к одной последовательной линии, только одно устройство может отправлять сигналы одновременно.

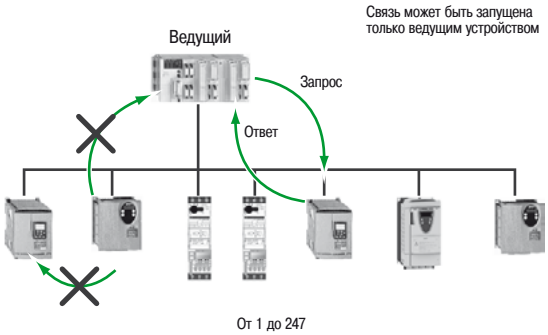


Рис. N90. Архитектура Modbus-RTU

Modbus/TCP

Modbus / TCP является отличным выбором для больших объектов. Modbus / TCP использует стандарт Ethernet со скоростью передачи данных 100 Мбит/с для носителей информации в физических слоях и для переноса обработки сообщений структуры Modbus. Он предлагает очень высокую скорость передачи и возможность подключения большого количества устройств к одной сети; проще интегрировать реле защиты двигателя в локальную сеть.

В отличие от Modbus-RTU, Modbus / TCP работает на концепции клиент / сервер:

- Клиент инициирует запросы и ответы сервера,
- Любое устройство может быть клиентом или сервером,
- Многие устройства одновременно являются клиентом и сервером
- Сеть может состоять из многих клиентов.

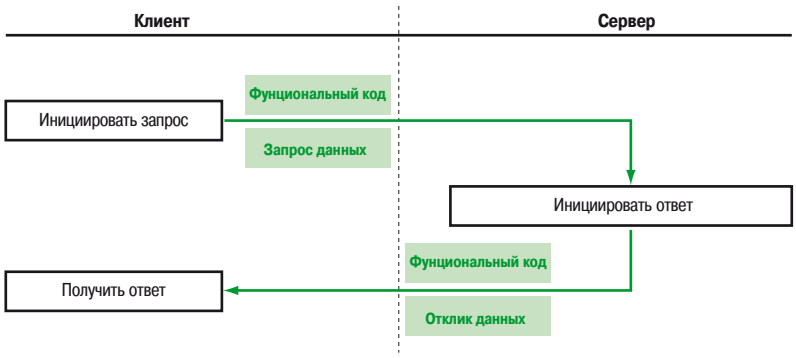


Рис. N91. Архитектура Modbus /TCP

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Асинхронные двигатели

Многие клиенты могут отправлять запросы в то же время и многие серверы могут отвечать одновременно:

- Клиент может обмениваться данными с несколькими серверами одновременно,
- Сервер может ответить на несколько запросов одновременно,
- Ethernet коммутаторы заботиться о доставке пакетов для всех устройств одновременно.

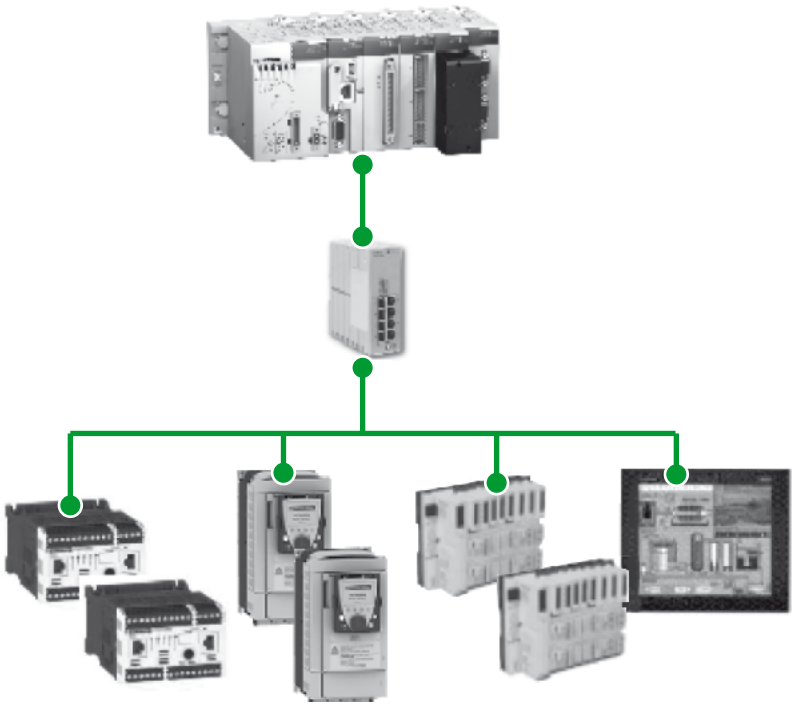


Рис. N92. Структура типичной связи

Различия между Modbus / TCP и Modbus-RTU:

- Устройства могут быть клиентом и сервером одновременно.
- Каждый может обмениваться данными одновременно: несколько устройств могут инициировать связь, а не только один. Увеличивает время отклика системы с помощью параллельных коммуникаций.
- Несколько запросов могут передаться от одного устройства к другому, не дожидаясь ответа на первый запрос. Новая часть данных добавляется в Modbus называется идентификатор операции Modbus и ответ должен быть согласован с конкретным запросом.
- Скорость передачи данных значительно увеличивается: 10мб, 100мб, 1гб и т.д.
- Средства массовой информации передачи являются гораздо более гибкими и менее затратными: волокно, радио и т.д.
- Количество узлов в одной сети практически неограниченно: максимально рекомендовано около 200, но маршрутизаторы могут быть использованы для объединения нескольких сетей.
- Шлюзы /Прокси позволяют прозрачный обмен данными между Ethernet Modbus / TCP и Modbus-устройств RTU.

Modbus I/O Scanning

Modbus I/O Scanning это функция программируемых логических контроллеров в Schneider Electric, которые позволяют производить операции Modbus с помощью простого экрана настройки. Запрашивает адрес, время опроса и данные для чтения и/или записи.

После конфигурирования система связи управляет автоматически всеми обменами данных по протоколу Modbus с проверяемыми устройствами.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Асинхронные двигатели

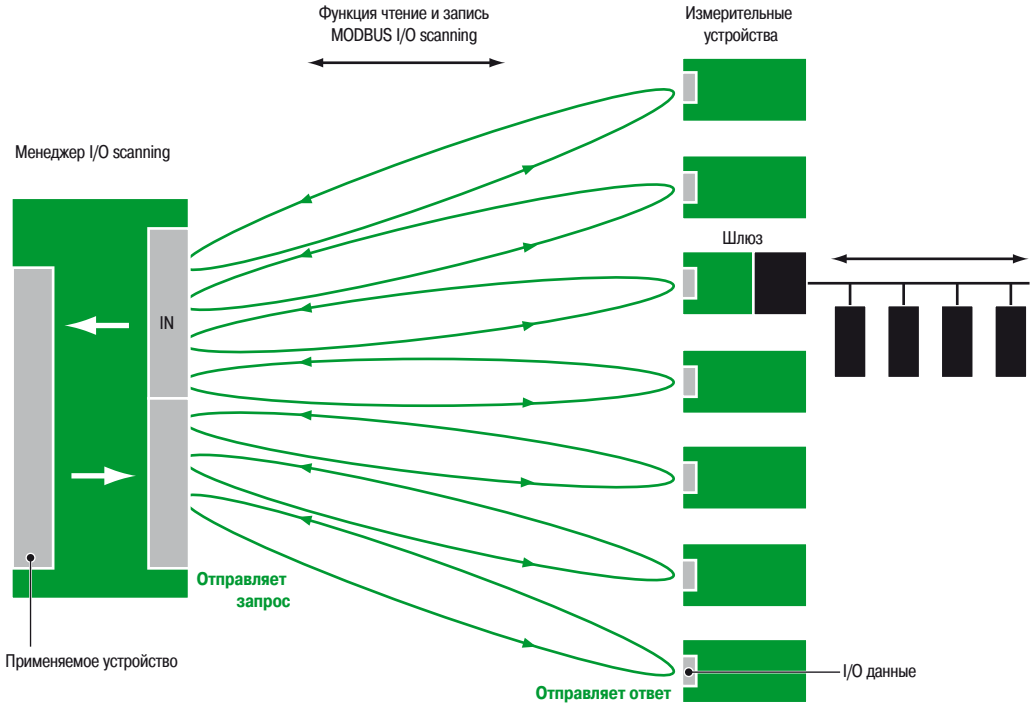


Рис. N93. Архитектура I/O Scanning

Profibus

Profibus представляет собой протокол, работающий с промышленной сетью с 1987 году, поддерживается PI (Profibus & Profinet International). Profibus-DP является вариантом Profibus и используется на уровне устройства. Этот протокол успешно применяется в последние десятилетие, особенно в Европе. Profibus-DP поддерживает связь до 12 Мбит/с, но на самом деле номинальное значение составляет – 1,5 Мбит/с. Для того, чтобы достичь скорости передачи данных до 12 Мбит требуются дополнительные ограничения, такие как подавление дифференцирования шин.

Топология сети – это шина. Количество присоединений к шине ограничено. Использование специальных повторителей может потребоваться для того, чтобы достичь теоретического максимального числа.

DeviceNet

DeviceNet представляет собой протокол на основе CAN, представляющий собой протокол, который широко используется в автоматизации. ODVA (Open DeviceNet Vendor Association) берет на себя ответственность, в реальном времени, поощрять и оказывать техническую поддержку DeviceNet.

ODVA является международной ассоциацией, которая состоит из членов ведущих мировых компаний по автоматизации. Коллективно, ODVA и ее члены поддерживают сетевые технологии с использованием Common Industrial Protocol (CIP ™). Они в настоящее время включают в себя DeviceNet ™, EtherNet / IP ™, CompoNet ™ и основные расширения для CIP – CIP Safety ™, CIP Sync ™ и CIP Motion ™. ODVA управляет развитием этих открытых технологий и помогает производителям и пользователям CIP сетей на основе методик, учебных и маркетинговых мероприятий.

Топология сети – это шина. Количество присоединений к шине ограничено.

DeviceNet обеспечивает связь с тремя возможными скоростями: 125, 250 или 500 кбит/с, которая зависит от длины шины и кабеля, а также продукта потребления. Максимальное количество устройств 64, в том числе ведущее-устройство (управляющие устройства). Длина шины ограничена до 100 м со скоростью 500 кбит.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Асинхронные двигатели

В следующей таблице представлено краткое сравнение этих протоколов:

	Modbus RTU	Profibus-DP	DeviceNet	Ethernet Modbus TCP/IP
Скорость	До 115 кбит	от 9.6 Кбит до 12 Мбит	125, 250 или 500 кбит	10/100 Мбит / 1 Гбит
Максимальное расстояние без повторителей	1300 м	100м в 12 Мбит 1,2 км на скорости 10 Мбит	100м в 500 кбит 500м в 125 кбит	Витая пара: 100 м Оптоволокно: - 2000 м (многорежимный) - > 2км (моно-режим)
Максимальное количество устройств	32 без повторителя: 1 ведущее и 247 ведомые	126: с одним или несколькими ведущими устройствами, 122 ведомыми устройствами с 3 повторителями	64: 1 ведущее устройство и 63 ведомых устройства	1280 с I/O scanning; без ограничения для остальных
Максимальное расстояние с повторителями	В зависимости от типа повторителя	От 400 до 4800м, в зависимости от скорости	В зависимости от типа повторителя	10 км оптического кабеля

Рис. N94. Сравнение протоколов связи

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

Глава P

Фотоэлектрические установки

1 Преимущества фотоэлектрической энергии P2

1.1 Мировой рост солнечной энергетики....P2
1.2 Децентрализация производства электроэнергии....P2
1.3 Увеличение собственного потребления....P2
1.4 Доступ к энергии....P3

2 Предпосылки и технологии P4

2.1 Фотогальванический эффект....P4
2.2 Фотоэлектрические модули....P5
2.3 Инверторы....P7
2.4 Соединения....P8
2.5 Зарядные устройства....P8
2.6 Установка, не подключенная или подключенная к централизованной сети электроснабжения....P9

3 Фотоэлектрическая система и правила ее установки P11

3.1 Как обеспечить безопасность во время нормального режима работы?....P11
3.2 Защита от перенапряжения: устройство защиты от перенапряжения....P14
3.3 Как обеспечить безопасность во время технического обслуживания или при чрезвычайном происшествии....P15
3.4 Как обеспечить безопасность на протяжении всего жизненного цикла установки....P16

4 Структура фотоэлектрических систем P17

4.1 Общие характеристики фотоэлектрических структур....P17
4.2 Структура установок, подсоединенных к сети....P18
4.3 Размер фотоэлектрической системы....P20
4.4 Тип установки....P21
4.5 Выбор электрического оборудования....P22
4.6 Подключение фотоэлектрической системы к сети или частной низковольтной установке....P30

5 Архитектура фотоэлектрической системы для собственного потребления P31

5.1 Подключение ФЭ системы к электроустановке....P31
5.2 Эксплуатация электроустановок с местным производством фотоэлектрической энергии....P35
5.3 Требования к архитектуре и оборудованию....P36
5.4 Рекомендации по определению размеров....P37

6 Мониторинг P39

6.1 Фотоэлектрические установки для коммерческих и промышленных зданий....P39
6.2 Электростанции общего назначения....P40

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Преимущества фотоэлектрической энергии

1.1 Мировой рост солнечной энергетики

Данная технология позволяет получать электроэнергию непосредственно из солнечного света, который является источником возобновляемой энергии.

Фотоэлектрическая (ФЭ) энергия является одной из наиболее перспективных технологий для решения глобальной проблемы изменения климата и удовлетворения насущной потребности в возобновляемой энергии и устойчивом развитии. Производство фотоэлектрической энергии имеет ряд преимуществ: солнечная энергия не ограничена, доступна во всем мире, не способствует выделению парниковых газов или других загрязняющих веществ во время работы и потребляет небольшое количество воды или вовсе в ней не нуждается. Фотоэлектрические панели производят электроэнергию без шума и требуют минимального обслуживания. Кроме того, производство солнечной энергии снижает зависимость от импорта энергии, и в долгосрочной перспективе это должно повысить надежность энергоснабжения и стабилизировать стоимость выработки электроэнергии.

В настоящее время происходит стремительный рост установленной мощности фотоэлектрических станций благодаря активной вовлеченности разных стран в политику устойчивого развития электроэнергетики, развитию технологий и снижению затрат на установки. К 2016 году совокупная мощность фотоэлектрических установок достигла 303 ГВт по сравнению с 40 ГВт в 2010 году.

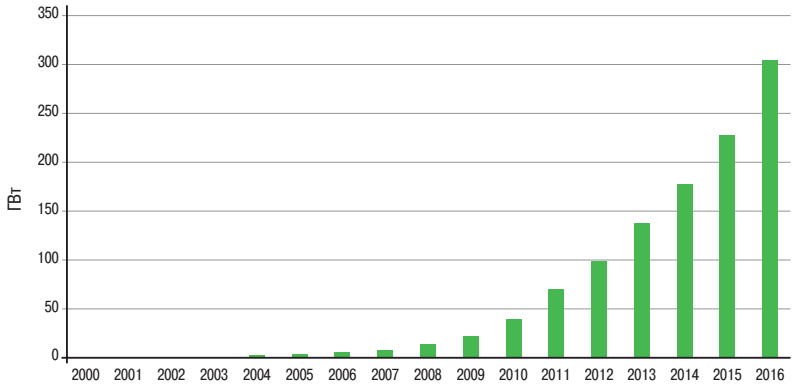


Рис. P1. Установленная мощность фотоэлектрических установок за период до 2016 года.
Источник: МЭА-ФЭ 2016 Ситуация на глобальном рынке фотоэлектрической энергии, апрель 2017 года

1.2 Децентрализация производства электроэнергии

Фотоэлектрические установки обычно разделяют на две основные категории:

- **Крупные фотоэлектрические установки энергетических компаний,** которые, как правило, отдают всю электроэнергию в сеть. Фотоэлектрические установки общего назначения являются наиболее экономичными благодаря своим масштабам. С увеличением числа крупных фотоэлектрических установок новые национальные сетевые стандарты требуют от них поддержания напряжения в сети и обеспечения бесперебойного питания.
- **Фотоэлектрические установки для коммерческого и бытового использования** (установленные на крыше здания, автостоянки или интегрированные в здание), где произведенная энергия может потребляться местными нагрузками или продаваться в сеть. На сегодняшний день половина мировой установленной фотоэлектрической мощности представлена такими установками.

1.3 Увеличение собственного потребления

Существует два основных варианта использования фотоэлектрической энергии:

- экспорт энергии в сеть
- собственное потребление

Экспорт энергии в сеть позволяет установить долгосрочный контракт с гарантированными тарифами на экспортируемую фотоэлектрическую энергию (тарифная политика).

Такая модель была популярна в прошлом, так как получила широкую поддержку субсидированной кампании по увеличению использования солнечной энергии. С уменьшением затрат на фотоэлектрическую систему и увеличением установленной мощности фотоэлектрических систем тарифы на подачу во всех странах постепенно снижаются, становясь даже ниже тарифов на электроэнергию для конечных пользователей. В этом случае собственное потребление становится более прибыльным, таким образом заменяя экспорт в сеть для жилых, коммерческих и промышленных зданий.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

На **рис. P2** показаны тенденции изменения тарифа на поставку электрической энергии в сеть и стоимости электроэнергии в Германии. В 2006 году промышленному потребителю в Германии платили около 40 центов за каждый кВт·ч поставляемой им в сеть фотоэлектрической энергии, и он также покупал электроэнергию по гораздо более низкому тарифу – около 10 центов за кВт·ч. Экспорт фотоэлектрической энергии был финансово выгоден, и являлся предпочтительным вариантом. Спустя десять лет, в 2016 году, тариф на продажу снизился до уровня, меньшего стоимости покупаемой потребителем электроэнергии, поэтому самостоятельное потребление произведенной фотоэлектрической энергии стало более выгодным.

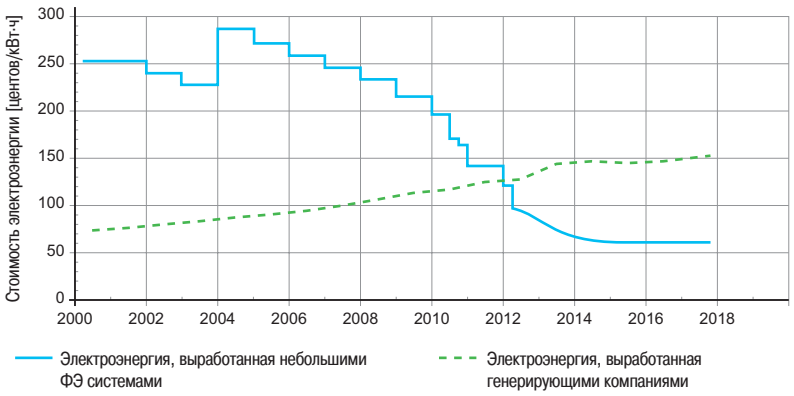


Рис. P2. Изменение тарифов на покупку и продажу электроэнергии в сеть в Германии. Источник: новости о фотоэлектрической энергии в Германии, Институт Фраунгофера для солнечных энергетических систем, 2017

Самопотребление – это экономическая модель, в которой жилое, коммерческое или промышленное предприятие использует произведенную фотоэлектрическую энергию для удовлетворения своих собственных потребностей, таким образом выступая одновременно производителем и потребителем, или просьюмером. Вырабатываемая солнечная энергия потребляется мгновенно. В случаях, когда количество вырабатываемой фотоэлектрической энергии превышает потребности потребителя, существует несколько вариантов, позволяющих оценить избыток производства фотоэлектрической энергии: так, энергия может быть введена в сеть, может храниться и использоваться спустя время, либо потребление может быть изменено в соответствии с производством.

Самостоятельное потребление – это модель, которую сегодня продвигает и поддерживает все большее число стран, поскольку она делает потребителей энергии активными участниками процесса энергетического перехода и способствует достижению цели увеличения доли возобновляемых источников энергии в структуре энергопотребления.

Просьюмеры предпочитают модель собственного потребления, поскольку она:

- предлагает или предложит в ближайшем будущем наибольшие экономические выгоды
- позволяет потребителям использовать свою солнечную энергию
- позволяет контролировать счета за электроэнергию
- обеспечивает независимость от возможного повышения тарифов на электроэнергию

1.4 Доступ к энергии

Производство фотоэлектрической энергии остается одним из немногих средств обеспечения электроэнергией 2 миллиардов человек, которые не имеют к ней доступа в настоящее время. Это массовый способ подачи электроэнергии, который не зависит от сети. Чтобы правильно определить размеры автономных фотоэлектрических установок, необходимо определить требуемую кривую нагрузки и количество пасмурных дней, чтобы определить объем энергии, который будет необходимо запасти в аккумуляторах. Эта информация используется для определения размера и типа требуемых батарей.

Затем следует рассчитать площадь поверхности фотоэлектрических установок, чтобы обеспечить возможность подзарядки батарей в периоды коротких световых дней.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Предпосылки и технологии

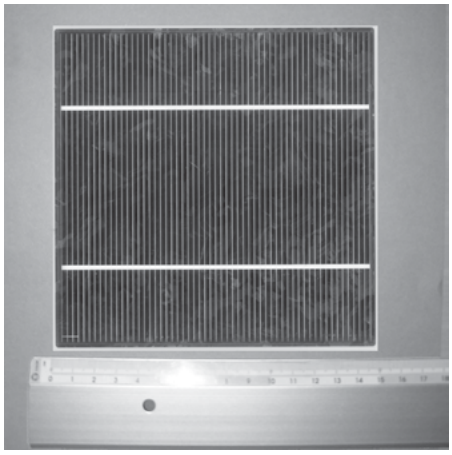


Рис. P3. Фотоэлектрические элементы, установленные в кремниевой пластине (источник: Фотоватт)

2.1 Фотогальванический эффект

Это способность преобразовывать солнечную энергию в электрическую за счет использования фотоэлектрических элементов (ФЭ).
ФЭ элементы (см. **рис. P3**) способны генерировать напряжение между 0,5 и 2 В в зависимости от используемых материалов. Сила тока напрямую зависит от поверхности пластины (5 или 6 дюймов). Характеристики фотоэлемента приведены на графике тока / напряжения на **рис. P4.**

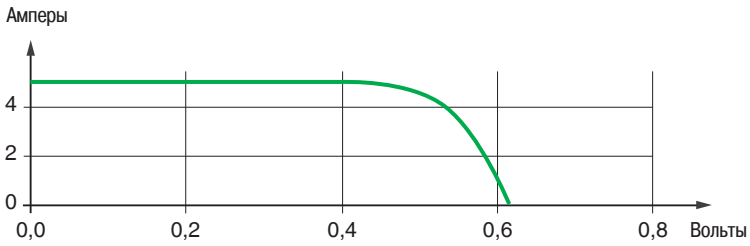
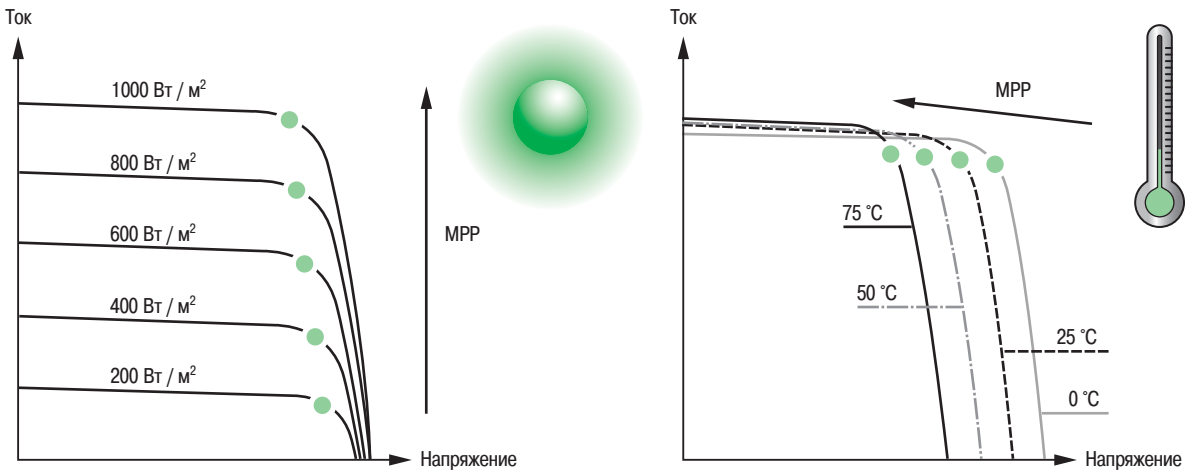


Рис. P4. Типовая характеристика фотоэлемента

Фотоэлектрический эффект зависит от двух физических величин (см. **рис. P5**) – интенсивности облучения и температуры:

- с увеличением интенсивности облучения E (Вт/м^2) увеличиваются значения тока и мощности, вырабатываемых фотоэлементами;
- с увеличением температуры (T°) снижается выходное напряжение, вырабатываемое фотоэлементами, а ток возрастает лишь незначительно, так что в целом выходная мощность уменьшается. Для того чтобы сравнить эффективность различных фотоэлементов, используют стандартный тест с такими начальными условиями: интенсивность облучения 1000 Вт/м при температуре 25 °C.



▶ Увеличение солнечной радиации
увеличивает мощность, генерируемую ячейкой

▶ Повышение температуры
уменьшает мощность, генерируемую ячейкой

MPP : Точка оптимальной мощности

Рис. P5. Интенсивность облучения и влияние температуры на фотоэлектрический эффект

Для того чтобы облегчить использование фотоэлектрических установок, производители предлагают последовательные и / или параллельные комбинации панелей или модулей.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Предпосылки и технологии

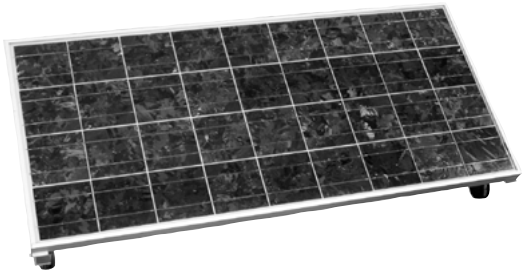


Рис. P6. Размеры фотоэлектрического модуля PW2300: 1638 x 982 x 40 мм (источник: Фотоватт)

2.2 Фотоэлектрические модули

Фотоэлектрические модули – это комбинация фотоэлементов с аналогичными электрическими характеристиками (см. **рис. P6**), что позволяет увеличить напряжение и ток.
Каждый модуль выдает напряжение в несколько десятков вольт и классифицируется по уровню мощности, измеренной в момент максимума. Расчет производится исходя из производительности 1 м^2 поверхности под действием облучения 1000 Вт/м при температуре +25 °C. Тем не менее, идентичные модули могут производить различные мощности. В настоящее время стандарт МЭК устанавливает изменение мощности ± 3 %. Модули с уровнем мощности 160 Вт включают в себя все модули с мощностью от 155 Вт (160 - 3%) до 165 Вт (160 + 3%).
Поэтому необходимо при сравнении эффективности делить их мощность (Вт/м^2) на 1000 Вт/м^2.
Например: модуль 160 Вт с площадью поверхности 1,338 м^2 (*), пик мощности 160/1,338 и, в итоге, получаем 120 Вт/м^2.
Поэтому эффективность этого модуля: 120/1000 = 12 %.

Примечание: производители могут иметь различные допустимые пределы уровней мощности в соответствии с местными стандартами или особенностями (например: JISC 8918 указывает на ± 10 %), поэтому рекомендуется всегда руководствоваться характеристиками, которые приведены в каталогах продукции для фактических значений уровней мощностей (в качестве примера смотри таблицу на **рис. P7**).

Размер ячеек	156 x 156 мм		
Количество ячеек	60		
Напряжение	24 В		
Номинальная мощность	250	255	260
Допустимое отклонение мощности	0/+5	0/+5	0/+5
Напряжение при номинальной мощности	30,1 В	30,2 В	30,4 В
Ток при номинальной мощности	8,3 А	8,4 А	8,6 А
Ток короткого замыкания в цепи	8,9 А	9,0 А	9,1 А
Напряжение холостого хода	37,2	37,4	37,5
Максимальное напряжение системы	1 000 В		
Температурный коэффициент	Isc = +0,065%/°C Voc = -0,34%/°C Pmax = -0,43%/°C		
Потребление энергии	При стандартных условиях испытания: интенсивность облучения 1000 Вт/м^2, спектр AM 1,5 и температура 25 °C		

Рис. P7. Электрические характеристики модуля PW2300 (источник: Фотоватт)

Тем не менее, когда фотоэлектрические элементы соединены последовательно, негативное явление, известное как "мертвая зона" может возникнуть, если одна из ячеек частично затенена. Эта ячейка будет работать как приемник, и ток, проходящий через него, может уничтожить её. Чтобы избежать этот риск, производители включают в цепь диоды, которые работают в обход поврежденных панелей. Обходной диод, как правило, устанавливается в распределительной коробке позади модуля и включает в себя от 18 до 22 ФЭ, которые должны быть шунтированы, в зависимости от схем производителя.

Неисправный модуль внутри системы должен быть заменен на идентичный модуль, и, следовательно, важно выбрать надежного поставщика в долгосрочной перспективе.

Эти модули соединены последовательно, чтобы достичь необходимого уровня напряжения, образуя цепочки модулей или "ветви". Затем ветви располагают параллельно, чтобы достичь необходимого уровня мощности, формируя таким образом массив ФЭ.
Поскольку в мире появляется все больше производителей фотоэлектрических модулей, важно внимательно рассмотреть различные варианты при выборе оборудования. Монтажники должны также:

- обеспечить совместимость электрических характеристик с остальной частью установки (входное напряжение инвертора);
- убедиться, что они соответствуют стандартам;
- выбрать надежного поставщика в долгосрочной перспективе, с целью замены вышедшего из строя оборудования на его точный аналог.

Заключительный пункт важен, как гарантия монтажников за предоставленные услуги их клиентам.

(*) Габаритные размеры этих модулей (Д x Ш x Г) в мм: 1237 x 1082 x 38.

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Предпосылки и технологии

Различные технологии в настоящее время используются для производства фотогальванических генераторов. Они делятся на две категории – кристаллические и тонкопленочные модули.

Модули на основе кристаллического кремния

Существуют два типа фотоэлектрических модулей на основе кристаллического кремния – монокристаллические и поликристаллические.
Монокристаллические модули в настоящее время самые лучшие с точки зрения производительности, с КПД 16-18 %. Они также являются более дорогими.
КПД поликристаллических модулей составляет от 12 до 14%. Они более широко используется, особенно в жилых зданиях или сфере услуг.
Эти модули имеют срок службы более 20 лет. Они теряют часть своей мощности с течением времени (< 1 % в год), но продолжают производить электричество. В зависимости от требуемого внешнего вида, двухсторонний стеклянный модуль состоит из двух стеклянных пластин, который делает модуль полупрозрачным. Тедларовые или тефлоновые стеклянные модули, которые являются менее дорогими, но полностью непрозрачными.

Тонкопленочные модули

В настоящее время проводятся обширные исследования тонкопленочных модулей, КПД которых сейчас достигает от 6 до 8 % и должен увеличиться в ближайшие годы.

Они представляют собой дешевое решение, применяться повсеместно, так как их применение не увеличивает стоимость установки в зависимости от площади. Тонкопленочные модули включает в себя ряд технологий, из которых можно выделить три основные:

- a-Si – тонкая пленка или аморфный кремний
- CdTe (теллурид кадмия)
- CIS (селенид меди и индия)

Следует отметить, что в настоящее время еще нет 20-летнего опыта использования этих технологий и, таким образом, пока неизвестно, как эти модули будут стареть.

В спецификациях ведущих производителей указываются пусковые и рабочие параметры.

В таблице на **рис. P8** представлен сравнительный обзор всех этих технологий.

Технология	sc-Si Монокристаллический	mc-Si Поликристаллический	a-Si Тонкопленочный	CdTe Тонкопленочный	CIS Тонкопленочный
КПД STC-модуля					
Максимальный	20,4 %	16 %	10 %	14,4 %	15,5 %
Средний	16 %	15 %	6 %	11 %	11 %
Относительная стоимость ($ / Wp)	0,8 – 1	0,8 – 1	0,75	0,65	0,85
Температурный коэффициент при пиковой мощности (%/°C)	-0,3 / -0,5	-0,3 / -0,5	-0,2	-0,2	-0,3

Рис. P8. Сравнение технологий, используемых в фотоэлектрических генераторах

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Предпосылки и технологии

Рис. P9. Инвертор Conext CL60-A, разработанный специально для фотоэлектрических установок

2.3 Инверторы

Инверторы для фотоэлектрических панелей - это устройства, которые преобразует постоянный ток в переменный ток (см. **рис. P9**). Предлагаются различные типы фотоэлектрических (ФЭ) инверторов, которые выполняют три основные функции:

- Функция инвертора: преобразует постоянный ток в переменный в требуемой форме (синусоидальной, квадратичной и т.д.).
- Функция точки максимальной мощности: рассчитывает рабочую точку фотоэлектрической панели установки или условия, необходимые для производства максимальной мощности по напряжению и току. Также известна как "Отслеживание точки максимальной мощности" (ОТММ) (см. **рис. P10**).
- Функция автоматического отключения от сети: на инвертор при отсутствии напряжения в сети поступает команда, и система отключается от сети. Это защищает инвертор и обслуживающий персонал, который может производить работы в сети.

При сбое в сети инвертор не будет поставлять электроэнергию, и фотогальванический модуль будет работать в режиме холостого хода. В объединенных энергосистемах имеется возможность перехода на резервное питание. В них должны быть установлены батареи, а также дополнительные шкафы управления для того, чтобы убедиться, что сеть отключена от внешней энергосистемы перед переключением на резервное питание.

- Различные модели

Некоторые инверторы с функцией ОТММ имеют две, три или четыре отслеживаемые точки максимальной мощности, что позволяет оптимизировать работу фотоэлектрической установки, когда ФЭ модули расположены по разнонаправленным линиям. Однако, существует риск полной потери питания при неисправности одного инвертора.

Тем не менее, можно установить один инвертор меньшей мощности на линию, это является более дорогим решением, но повышает общую надежность системы.
Также имеются многофункциональные инверторы. Эти инверторы не всегда имеют функцию отслеживания нескольких точек максимальной мощности, описанную выше. Название просто указывает на то, что несколько линий могут быть подключены к инвертору параллельно.

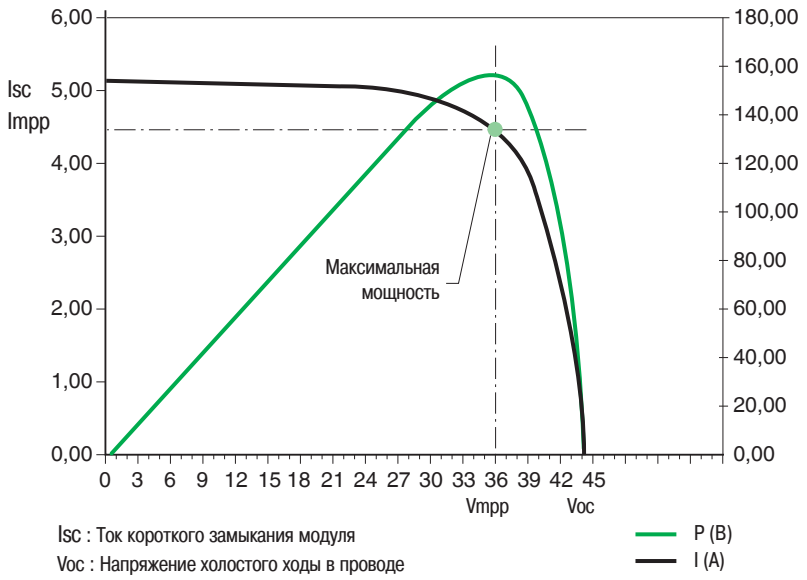


Рис. P10. Рабочая точка ФЭ модулей, которая производит наибольшую мощность, также известная как ОТММ

Европейский коэффициент полезного действия

При сравнении различных приборов уровень эффективности определяется по различным рабочим точкам с имитацией среднесуточной производительности инвертора. Европейский коэффициент полезного действия рассчитывается по следующей формуле:
0,03 x (η 5 %) + 0,06 x (η 10 %) + 0,13 x (η 20 %) + 0,1 x (η 30 %) + 0,48 x (η 50 %) + 0,2 x (η 100 %),
где:

- (η 5%) (η 10%) и т.д. представляют статическую эффективность ОТММ на уровне 5 %, 10 % и т.д. частичной мощности в ТММ;
- 0,03; 0,06 и т.д. являются весовыми коэффициентами, используемыми для расчета Европейского КПД и они были рассчитаны в соответствии с годовыми климатическими данными (для северо-запада Германии)

Примечание: Другой расчет, подобный вычислению Европейского КПД, был сделан Энергетической комиссией штата Калифорния. В нем использовалась аналогичная формула, но применялись различные весовые коэффициенты и рабочие точки.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Предпосылки и технологии

Мы настоятельно не рекомендуем устанавливать инвертор на солнце, так как это значительно сокращает срок его службы.

IP и рабочая температура

Параметры пылевлагозащиты и температуры имеют важное значение при выборе инвертора. Инверторы большинства производителей имеют степень защиты IP65, которая предполагает их установку на открытом воздухе. Тем не менее, это не означает, что они должны быть установлены в местах с постоянным воздействием солнечного излучения, поскольку для большинства инверторов при температуре выше 40 °C (50 °C для инвертора Xantrex, производимого Schneider Electric) применяются понижающие коэффициенты, и, таким образом, выходная мощность уменьшается. Установка инверторов на открытом воздухе под воздействием прямых солнечных лучей подвергает риску преждевременного старения некоторых компонентов, например, химических конденсаторов. Это значительно сокращает срок службы инверторов с 10 до всего лишь 5 лет!

2.4 Соединения

Фотоэлектрические установки требуют специальных кабелей и разъемов. Поскольку модули устанавливаются на открытом воздухе, они подвергаются климатическим ограничениям, связанным с высокими напряжениями, вызванными последовательной установкой модулей.
Оборудование также имеет защиту от внешнего проникновения и устойчиво к воздействию ультрафиолетовых лучей и озона. Кроме того, оно должно иметь высокий уровень механической прочности и устойчивости к экстремальным изменениям температуры.

Кабели

Разность напряжений фотоэлектрической установки и инвертора должна рассчитываться таким образом, чтобы она не отличалась более чем на 3 % от разности номинальных токов.
Кабели и провода постоянного тока должны быть с двойной изоляцией, и их тип должен соответствовать указанному производителем фотоэлектрических модулей.

Разъемы

В общем, фотоэлектрические модули поставляются с двумя кабелями, оборудованными разъемом «вилка-розетка». Используя эти кабели, можно подключить два модуля, установленные рядом, создавая тем самым группу модулей без каких-либо трудностей. Штыревой разъем соединяется с розеткой следующего модуля и так далее, пока требуемый уровень постоянного тока не будет достигнут.
Эти специальные разъемы с фиксирующими системами (например, Multi-Contact MC3 или разъемы MC4) обеспечивают защиту при прикосновении, пока они отключены.
Эта защита необходима, поскольку в фотоэлектрическом модуле, подверженному облучению, сразу же возникает напряжение. Если кабели, соединяющие модули, изменяются (заменяются или увеличиваются), то они должны быть либо сначала отключены, либо необходимо обеспечить видимый разрыв цепи в соединительной коробке.
Кроме того, можно использовать различные разъемы, доступные на рынке. Они должны быть выбраны правильно, чтобы избежать плохого контакта, что может привести к перегреву и нарушению целостности.

2.5 Зарядные устройства

В некоторых местах необходимо заряжать аккумуляторные батареи, чтобы снабжать потребителей электрической энергией после захода солнца.

Есть два типа зарядных устройств:

- Токозарядные устройства – напряжение фотоэлектрических модулей должно быть таким же, как напряжение зарядки аккумуляторной батареи, и оно регулируется в соответствии с током.
- Точка максимальной мощности зарядного устройства – это режим работы зарядных устройств с максимальным КПД. Они управляют зарядом батареи, ограничением тока и напряжения, а также астатического регулирования.

Этот тип зарядного устройства является более дорогим, чем описанный выше, но позволяет зарядить оптимальное количество фотоэлектрических модулей установки и снижает ее общую стоимость.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2.6 Установка, не подключенная или подключенная к централизованной сети электроснабжения

2.6.1 Установка, не подключенная к централизованной сети электроснабжения

Исторически сложилось, что в местах, удаленных от централизованных сетей, электроснабжения были впервые использованы фотоэлектрические системы, которые обеспечивали питанием ретрансляционные станции электросвязи или отдаленные населенные пункты.
Они остаются одним из немногих средств электроснабжения для 2 миллиардов людей, которые в настоящее время не имеют доступа к централизованной системе энергоснабжения.
Для того чтобы правильно выбрать параметры фотоэлектрической установки, прежде всего необходимо определить номинальную нагрузку и количество дней, когда установка не будет подвергаться воздействию солнечного света для того, чтобы определить, сколько энергии необходимо хранить в аккумуляторных батареях.
Эта информация используется для определения размера и типа требуемых батарей.
Рассчитывается площадь поверхности датчиков фотогальванических установок для того, чтобы гарантировать зарядку батареи в самом неблагоприятном случае (например, в самый короткий день года).

Специфичные проблемы

Для того чтобы обеспечить необходимый уровень энергии один или два раза в год, используют метод, подразумевающий чрезмерное превышение параметров системы.
В результате, установки такого типа становятся очень дорогими.
Следует отметить, что в соответствии с данными EPIA (Европейская ассоциация фотоэлектрической промышленности) доля установок такого типа на фотоэлектрическом рынке составляла 20 % в 2012 году и возрастет до 40 % к 2030 году.

Аккумуляторные батареи

Запас энергии имеет решающее значение для этого типа установок. Для этой цели предлагаются несколько типов батарей:

- Свинцовые батареи

Эти батареи работают циклично (заряд / разряд). Открытые батареи рекомендуется для предотвращения раздувания, которое может возникнуть из-за чрезмерно быстрой зарядки и больших выбросов водорода.

Цена, безусловно, их главное достоинство, но они имеют короткий срок службы. Он зависит от глубины разрядки, но они могут эксплуатироваться не более 2 или 3 лет при уровне разрядки 50% и выше Глубокая разрядка может «убить» батарею. Поэтому при эксплуатации такого оборудования в удаленных узлах батареи должны обслуживаться на регулярной основе для поддержания параметров зарядки.

- Никель-кадмиевые батареи

Эти батареи гораздо менее чувствительны к экстремальным температурным условиям и режимам глубокой зарядки или разрядки. Они имеют гораздо более длительный срок службы (от 5 до 8 лет), но являются более дорогими. Тем не менее, стоимость Вт*ч в течение срока службы установки ниже, чем у свинцовых аккумуляторов.

- Литий-ионные аккумуляторы

Это батареи будущего. Они нечувствительны к глубокой разрядке и имеют срок службы до 20 лет. В настоящее время они являются чрезмерно дорогими, но цены должны упасть с началом массового производства. Таким образом, они станут самым экономичным вариантом для этого вида использования.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2.6.2 Установка, подключенная к централизованной сети электроснабжения

Владельцы локальных систем производства электроэнергии, подключенных к централизованной сети, имеют две возможности:

- Продать всю энергию, которую они производят (вариант, известный как "полная продажа"). Для этого в сети должно быть отдельное соединение, помимо цепи питания для собственных нужд. Оно должно быть выполнено в соответствии с требованиями энергоснабжающей организации.
- Использовать энергию, которую они производят на местном уровне, по мере необходимости и продавать только излишки (вариант, известный как "продажа излишков"). Этот вариант имеет два преимущества:
  - Разница в тарифах для производителя (приобретение) и потребителя (продажи)
  - Отсутствие необходимости в установке нового соединения, которое может быть дорогостоящим и требовать разрешения энергоснабжающей организации.

Поскольку существуют разные тарифы, следует проводить анализ рентабельности, чтобы выбрать наилучший вариант.

Установки, подключенные к сети – 3 важных момента

Важно отметить следующие моменты, касающиеся установок, подключенных к сети:

- В отличие от независимых установок не требуется никакой корреляции между потреблением для строительства и производства.

Для варианта "полных продаж" эти два элемента являются полностью независимыми.
Для варианта "продажи излишков", сеть будет компенсировать, когда производство не покрывает потребление.

- Должно быть подключение к сети для того, чтобы поставлять и продавать энергию. Кроме того, энергоснабжающая организация требует наличия системы автоматического разъединения в случае аварийных ситуаций в сети. При срабатывании такой системы происходит остановка в энергоснабжении и, как следствие, в продаже. Повторное подключение происходит автоматически, когда сеть возвращается к своим номинальным условиям эксплуатации.
- Как правило, в системах, подключенных к централизованной сети энергоснабжения, отсутствуют модули для локального хранения энергии. Такие модули используются в континентальной Франции, где есть сети высокого качества со способностью потреблять всю вырабатываемую энергию.

Тем не менее, система имеет один недостаток. При возникновении неисправности в сети владельцы установок, подключенных к централизованной сети энергоснабжения, не имеют возможности выдавать вырабатываемую мощность в сеть, и у них отсутствуют специальные модули для хранения электроэнергии (см. выше). В странах, где используют модули для локального хранения электрической энергии, при аварии в централизованных сетях излишки энергии хранятся в аккумуляторных батареях.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Фотоэлектрическая система и правила ее установки

3.1 Как обеспечить безопасность во время нормального режима работы?

Две главные характеристики работы фотоэлектрических генераторов – это их уровни напряжения и постоянного тока. Также следует учитывать особенность фотоэлектрических систем, а именно то, что они не могут быть отключены, пока модули подвергаются солнечному облучению. Ток короткого замыкания, который создается в фотоэлектрическом модуле, является слишком низким и не может вызвать срабатывание автоматического выключателя. В фотоэлектрических системах не принимаются обычно используемые защитные меры. Однако, так как фотоэлектрические модули устанавливаются на открытом воздухе, то они подвергаются воздействию атмосферных явлений. А так как они могут быть установлены на крышах, особое внимание должно быть уделено риску возникновения пожара и повышенному вниманию со стороны пожарных служб.

3.1.1 Защита людей от поражения электрическим током

Стандарт МЭК 60364-7-712 (ГОСТ Р 50571.7.712-2013) предусматривает, что в фотоэлектрической системе при значении напряжения Uoc макс. выше, чем 120 В пост. тока, должна использоваться «двойная или усиленная изоляция» в качестве защиты против поражения электрическим током. Коммутационные устройства, например, предохранители или автоматические выключатели на стороне постоянного тока, не обеспечивают защиту от поражения электрическим током, так как нет автоматического отключения источника питания. Максимальная токовая защита защищает фотоэлементы от обратного тока и кабели от перегрузки.

В пункте 412.1.1 стандарта МЭК 60364-4-41 (ГОСТ Р 50571.3-2009) говорится:
Двойная или усиленная изоляция является защитной мерой, при которой:
■ основную защиту обеспечивают основной, а защиту при повреждении - дополнительной изоляцией или
■ основную защиту и защиту при повреждении обеспечивают усиленной изоляцией между токоведущими и доступными прикосновению проводящими частями.
Примечание. Данная защитная мера предназначена для предотвращения появления опасного напряжения на доступных прикосновению проводящих частях электрического оборудования из-за повреждения основной изоляции.

3.1.2 Опасности пожара: защита от тепловых воздействий

Существуют три ситуации, которые могут привести к аномально высоким температурам и рискам пожара в фотоэлектрической системе: повреждение изоляции, обратный ток в фотоэлектрическом блоке и перегрузки кабелей или оборудования.

Обнаружение повреждения изоляции

Двойная или усиленная изоляция является защитной мерой против поражения электрическим током, но это не исключает любой риск повреждения изоляции (здесь предполагается, что вероятность повреждения изоляции и касания человеком токоведущей части установки тоже очень низка). Повреждения изоляции в цепях постоянного тока могут быть более опасны, так как дуга имеет меньшие шансы погаснуть самопроизвольно, как это часто происходит в цепях переменного тока.

Фотоэлектрические генераторы должны быть проверены на предмет их изоляции от земли.

■ **При отсутствии гальванической развязки между сторонами переменного и постоянного тока:**
□ Отсутствует возможность заземления одного полюса.
□ Защита переменного тока может быть использована для обнаружения повреждения изоляции.

■ **Когда стороны постоянного и переменного тока гальванически разделены:**
□ Устройство максимальной токовой защиты (которое также определяет повреждения изоляции) должно использоваться для отключения заземляющего провода в случае неисправности, если технологии фотоэлементов (например, тонкие пленки аморфного кремния) требуют непосредственного заземления одного из проводников.
□ Устройство контроля изоляции следует использовать, если технология фотоэлементов требует, чтобы один из проводников являлся заземлением.
□ Устройство контроля изоляции также следует использовать при технологии фотоэлементов, которая не требует, чтобы проводник был заземлен.

Устройство контроля изоляции должно быть выбрано с учетом максимального напряжения разомкнутой цепи при самой низкой температуре и емкости между полюсами и землей, которая вызывает ток утечки. К тому же необходимо учитывать емкости кабелей и инверторов. Устройство замера и мониторинга изоляции, которое в состоянии обрабатывать емкость до 500 мкФ, подходит для фотоэлектрической системы.

При обнаружении неисправности изоляции инвертор остается под напряжением и срабатывает устройство защиты переменного тока. При этом, на стороне постоянного тока присутствует неисправность, и имеется напряжение холостого хода фотоэлектрических генераторов. Они не могут быть отключены, пока фотоэлектрические модули подвергаются солнечному облучению.
Обнаруженную неисправность необходимо незамедлительно устранить. В противном случае на другом полюсе может возникнуть вторая неисправность, в результате чего ток будет циркулировать в заземляющих проводниках и металлических частях фотоэлектрического оборудования без гарантии правильной работы защитных устройств. См. раздел «Защита от перенапряжения».

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Фотоэлектрическая система и правила ее установки

Значения, приведенные в специальной литературе и предоставленные производителями фотоэлектрических модулей:

	Максимальная мощность, как правило, выработанная с помощью одного инвертора	Поверхность, необходимая для выработки такой мощности	Стандартная емкость на м²	Стандартная емкость между фазой и землей для одинарной системы IT
Модуль из стекла без рамки / стекла с алюминиевой рамкой на сборочном стенде (на открытом воздухе)	1 МВт	8000 м²	1 нФ / м²	8 мкФ
Модуль для установки на крыше из стекла / стекла с алюминиевой рамкой	100 кВт	800 м²	5 нФ / м²	4 мкФ
Фотоэлектрический тонкопленочный модуль на гибкой подложке	100 кВт	800 м²	50 нФ / м²	40 мкФ

Значения, измеренные европейскими производителями:

	Макс. мощность, как правило, выработанная с помощью одного инвертора	Поверхность, необходимая для выработки такой мощности	Мин. емкость измерения	Макс. емкость измерения	Макс. измеренная емкость на м²
Модуль из стекла без рамки / стекла с алюминиевой рамкой на сборочном стенде (на открытом воздухе)	Завод 1: 1 МВт	8000 м²	Солнечный день: 5 мкФ	Дождливое утро: 10 мкФ	1,25 нФ / м²
	Завод 1: 2: 750 кВт	5000 м²	Солнечный день: 2 мкФ	Дождливое утро: 4 мкФ	0,8 нФ / м²
Модуль для установки на крыше из стекла / стекла с алюминиевой рамкой	Завод 1: 100 кВт	800 м²	Солнечный день: 2 мкФ	Дождливое утро: 4 мкФ	5 нФ / м²
	Завод 2: 50 кВт	400 м²	Солнечный день: 0,5 мкФ	Дождливое утро: 1 мкФ	2,5 нФ / м²
Фотоэлектрический тонкопленочный модуль на гибкой подложке	Завод 1: 100 кВт	800 м²	Солнечный день: 30 мкФ	Дождливое утро: 50 мкФ	62,5 нФ / м²
	Завод 2: 50 кВт	400 м²	Солнечный день: 15 мкФ	Дождливое утро: 25 мкФ	62,5 нФ / м²

Рис. P11. Пример емкости утечки в различных фотоэлектрических системах

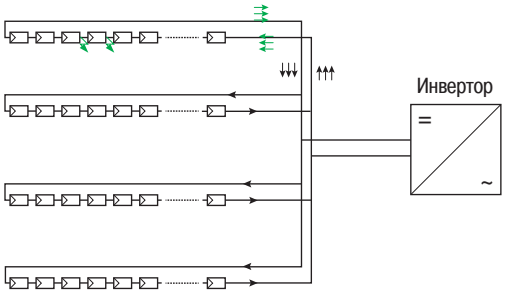


Рис. P12. Обратный ток

3.1.3 Защита фотоэлектрических модулей от обратных токов

Короткое замыкание в фотоэлектрическом модуле, обрыв провода или схожие неисправности могут привести к реверсу токов в фотоэлектрических цепях. Это происходит, если напряжение холостого хода одной ветви значительно отличается от напряжения холостого хода параллельных ветвей, связанных к тому же через инвертор. Ток протекает от исправных ветвей на неисправные, вместо обычного пути от инвертора к потребителям по сетям переменного тока. Обратный ток может привести к опасному повышению температуры и возгоранию фотоэлектрического модуля. Поэтому фотоэлектрический модуль должен выдерживать максимальную величину реверсного тока и быть проверенным в соответствии с МЭК 61730-2 (ГОСТ Р МЭК 61730-2-2013).

При использовании только одной ветви отсутствует риск обратного тока. При наличии двух ветвей с таким же количеством фотоэлектрических модулей, подключенных параллельно, обратный ток будет всегда ниже, чем максимальный обратный ток. Так, когда фотоэлектрический генератор изготовлен из одной или двух ветвей, нет необходимости в обратной токовой защите.

Обратный ток в неисправной ветви = общий ток остальных ветвей

Цепь максимальной токовой защиты должна использоваться, если общее количество ветвей, которые могли бы питать одну неисправную ветвь, достаточно высоко, чтобы поставлять опасный обратный ток:

$1{,}35\ I_{RM} < (Ns - 1)\ I_{SC\ MAX}$,

где:

- I_{RM} – максимальное значение обратного тока фотоэлектрических элементов, определенное в МЭК 61730;
- Ns – общее количество ветвей.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Фотоэлектрическая система и правила ее установки

МЭК 60364-7-712 (ГОСТ Р 50571.7.712-2013):
712.433.1 Допускается отсутствие защиты от перегрузки ФЭ блока и кабеля ФЭ батареи, если значение длительно допустимого тока кабеля в любом месте превышает или равно значению тока Iкз, увеличенному в 1,25 раза.
712.433.2 Допускается отсутствие защиты от перегрузки основного ФЭ кабеля, если значение его длительно допустимого тока превышает или равно значению тока Iкз ФЭ генератора, увеличенному в 1,25 раза.

3.1.4 Защита от перегрузки по току

Любая установка должна быть защищена от опасности, вызванной тепловым эффектом из-за перегрузки по току. Ток короткого замыкания зависит от солнечного излучения, но он может быть ниже, чем значение максимальной токовой защиты. Хотя это не является проблемой для кабелей, так как ток находится в токопроводящем диапазоне, инвертор будет обнаруживать падение напряжения и отключать электроснабжение.

Устройства защиты

Там, где требуется защита от перегрузки по току ветви, каждая электрическая ветвь фотоэлектрического блока должна быть защищена с помощью устройства защиты от сверхтоков. Штатное устройство максимальной токовой защиты (предохранитель или автоматический выключатель) должно быть настроено на ток, который превышает значение более чем в 1,25 раза значения короткого замыкания ветви Iкз.
Выбор токовой ступени защиты должен быть сделан для того, чтобы избежать неожиданного отключения в нормальной режиме работы с учетом температуры. Обычно рекомендуется значение в 1,4 раза от тока короткого замыкания $I_{sc\ stc_string}$.

3.1.5 Автоматические выключатели, предохранители

Автоматические выключатели, предохранители могут быть использованы для обеспечения защиты от сверхтоков. Предохранители, как правило, подключенные напрямую или через плавкую вставку к шинам или кабелям, не обеспечивают функцию отключения нагрузки. Поэтому, когда используются плавкие предохранители, выключатели нагрузки должны быть также использованы для отключения предохранителей от инвертора с тем, чтобы заменить картридж. Так клеммная коробка с предохранителями должна также содержать и главный выключатель.
Автоматические выключатели имеют большие ступени регулировки и большую точность, чем предохранители.

Двойные замыкания на землю

Фотоэлектрические системы, либо изолированы от земли, либо один полюс заземлен через устройство защиты от сверхтоков. В обоих случаях может быть короткое замыкание на землю. Если эта неисправность не устраняется, она может распространиться на исправный полюс и привести к опасной ситуации, вплоть до пожара. Даже если двойная изоляция делает такую ситуацию возможной, то она тем не менее не рассматривается.

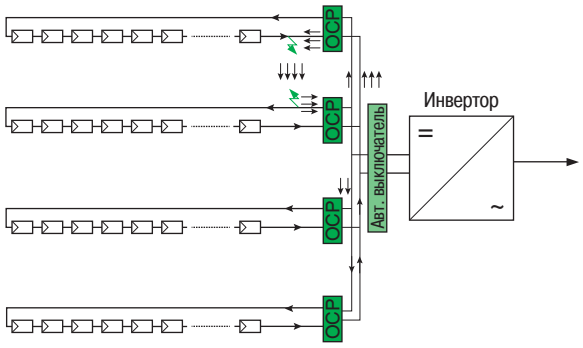


Рис. P13. Устройство защиты от сверхтоков

По двум описанным ниже причинам возможность возникновения двойного замыкания должна быть полностью исключена: устройства контроля изоляции или защиты от сверхтоков в заземленной системе должны обнаружить неисправность, а персонал должен сразу же найти её и устранить.

■ Уровень тока при КЗ может быть низким (например, пробои изоляции или низкие значения тока короткого замыкания в генераторе при слабом солнечном свете) и ниже значения тока для срабатывания защитных устройств (автоматического выключателя или предохранителей). Тем не менее, электрическая дуга постоянного тока может продолжать гореть, даже когда значение тока достаточно низкое. Это может быть серьезной опасностью, особенно для фотоэлектрических модулей, установленных на зданиях.

■ Автоматические выключатели и выключатели-разъединители, используемые в фотоэлектрических системах, предназначены для разрыва питания при номинальном токе или токе замыкания всех полюсов в разомкнутой цепи максимального напряжения. При двойных замыканиях на землю выключатели должны разомкнуть ток при полном напряжении только с двумя полюсами, соединенными последовательно. Такое устройство не предназначено для этих целей и может получить серьезные повреждения если его использовать при двойном замыкании на землю.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Фотоэлектрическая система и правила ее установки

Идеальным решением является исключение двойных замыканий на землю. Устройства контроля изоляции или максимальная токовая защита в заземленных системах обнаруживают первичный отказ. Тем не менее, хотя система мониторинга повреждения изоляции, как правило, отключает инвертор, неисправность по-прежнему присутствует. Персонал должен немедленно найти и устранить неисправность. В больших генераторах с выключателями необходимо отключить все выключатели в случае обнаружения неисправности, которая не может быть исправлена в течение ближайших нескольких часов.

3.1.6 Выбор коммутационного аппарата и распределительного шкафа

Двойная изоляция

Распределительные шкафы на стороне постоянного тока должны иметь двойную изоляцию.

Температурная составляющая

Термические характеристики распределительных шкафов постоянно контролируются. Фотоэлектрические генераторы и клеммные коробки обычно устанавливаются на открытом воздухе и подвергаются воздействиям атмосферных явлений. При высокой температуре окружающей соответствующая степень защиты IP может уменьшить поток воздуха и рассеивание тепловой мощности. Поэтому особое внимание должно быть уделено температуре коммутационного аппарата внутри корпуса на стороне постоянного тока.

Защита кабелей должна соответствовать требованиям МЭК 60364. Часть 7-712 стандарта предусматривает, что все корпуса на стороне постоянного тока должны соответствовать требованиям стандарта МЭК 61439. Стандарт распространяется на РУ низкого напряжения и КРУ сборок и устанавливает требования, которые гарантируют защиту устройств при повышении температуры (генератора и клеммной коробки).

Выбор распределительного шкафа и его степень загрязнения

В дополнение к стандартным критериям выбора корпуса фотоэлектрических установок в системах с максимальным напряжением до 1000 В некоторое оборудование может иметь степень загрязнения 2, а не степень загрязнения 3, согласно стандарту МЭК 60947-1 (ГОСТ IEC 60947-1-2014).

Если распределительное устройство имеет степень загрязнения 2, то степень защиты шкафа должна быть не менее IP5x в соответствии с МЭК 60529 (ГОСТ 14254-2015).

3.2 Защита от перенапряжения: устройство защиты от перенапряжения

См. главу **J часть 5.2**

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Фотоэлектрическая система и правила ее установки

Примечание: Автоматические выключатели, используемые в фотоэлектрических системах, предназначены для того, чтобы отключить номинальный ток на всех полюсах при $U_{oc\ max}$. Чтобы отключить ток, когда $U_{oc\ max}$ равно 1000 В, например, четыре последовательных соединения полюса (два полюса в последовательном соединении для каждой полярности) являются обязательными. В случае двойных замыканиях на землю автоматический выключатель или выключатель-разъединитель должен отключить ток при полном напряжении только с двумя последовательно соединенными полюсами. Такое распределительное устройство не предназначено для того, чтобы цепь могла выдержать критические повреждения. По этой причине двойные замыкания на землю следует избегать любым способом. Как только устройства контроля изоляции или максимальная токовая защита выявляет первые признаки возможной аварий в системе, персонал должен незамедлительно найти и устранить причину неисправности.

Рис. P14. Выключатель-разъединитель Compact NSX 200 A с межфазными перегородками и контактными пластинами с теплоотводами

3.3 Как обеспечить безопасность во время технического обслуживания или при чрезвычайном происшествии

Для обеспечения безопасности персонала при обслуживании и в чрезвычайных ситуациях отключающие устройства должны быть надлежащим образом расположены, распределительные щиты должны иметь высокую степень отказоустойчивости.

3.3.1 Изоляция переключателей и управляющих элементов

- Выключатели-разъединители должны быть установлены на сторонах переменного и постоянного тока инвертора для технического обслуживания.
- Необходимо установить столько выключателей-разъединителей, сколько необходимо для обеспечения нормальной работы генератора ФЭ установки и для замены предохранителей в клеммной коробке и отсеке пост. тока.
- В фотоэлектрических системах внутренней установки выключатель-разъединитель с дистанционным управлением располагается как можно ближе к ФЭ модулю или на вводе линии постоянного тока для аварийного отключения в случае необходимости.

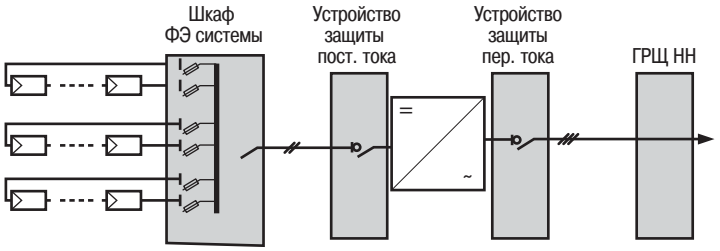


Рис. P15. Схема установки выключателей-разъединителей

3.3.2 Выбор и установка шкафа

Шкафы для фотоэлектрических генераторов и распределительных щитов на стороне пост. тока должны обеспечивать двойную изоляцию, а также защищать установленное в них оборудование от воздействия высокой/низкой температуры, дождя и вандализма и т.д.
Корпуса шкафов и специальные устройства должны обеспечивать контроль температуры и влажности для безотказной работы оборудования. Однако, для достижения этой цели трудно предложить общее решение. Каждая установка должна быть проанализирована на предмет оптимизации размеров шкафа и выбора вспомогательного оборудования.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Фотоэлектрическая система и правила ее установки

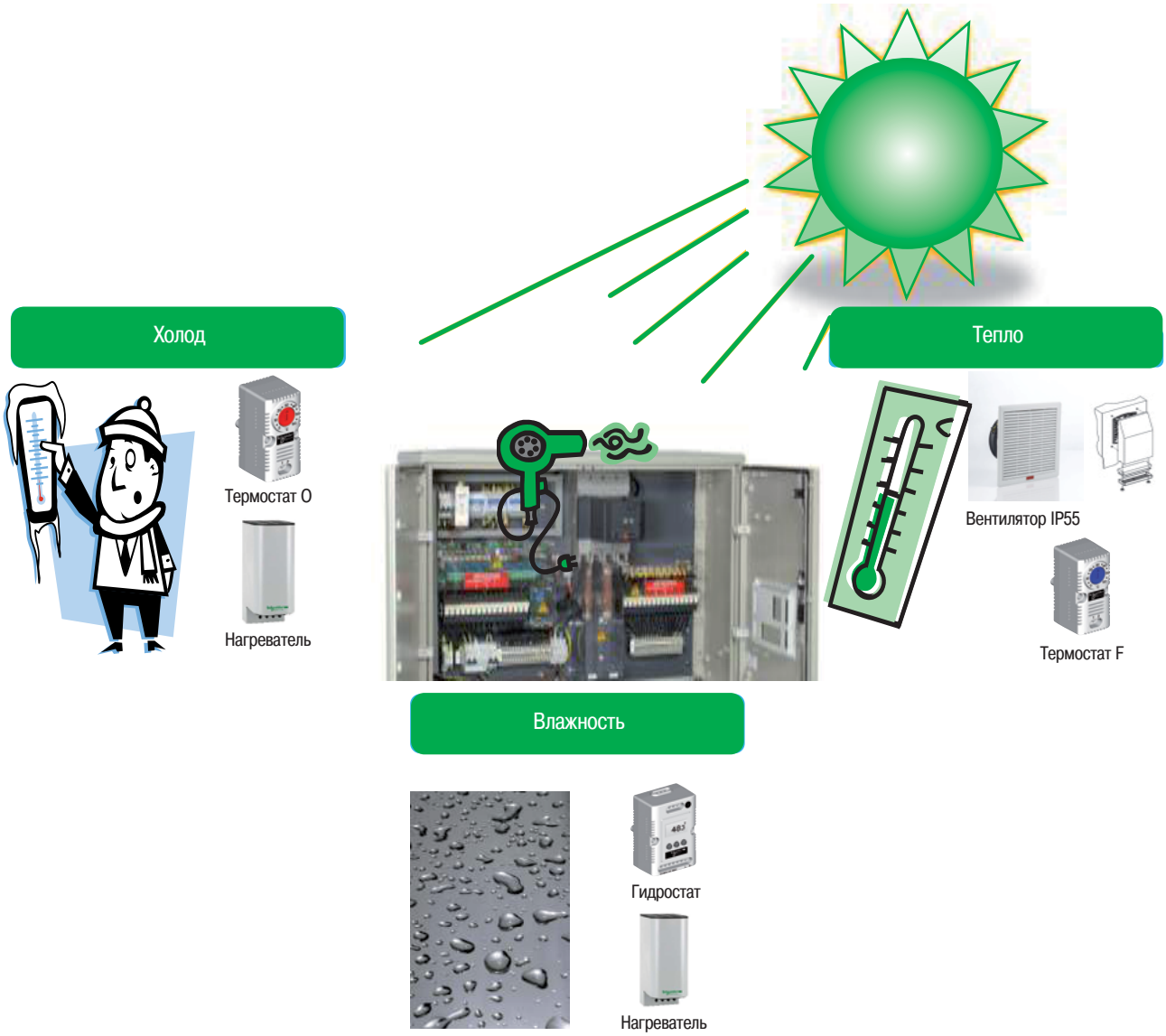


Рис. P16. Контроль температуры и влажности

3.4 Как обеспечить безопасность на протяжении всего жизненного цикла установки

Согласно стандарту МЭК 60364-6 (ГОСТ Р 50571.16-2007), необходимо проводить первоначальные и периодические проверки электрических установок.
Специфика фотоэлектрической установки (на открытом воздухе, высокое напряжение постоянного тока, установка без присмотра) предполагает обязательное проведение периодических проверок.
Как правило, эффективность всей системы проверяется для того, чтобы обеспечить максимальную выработку, именно поэтому мы рекомендуем выполнять периодическое техническое обслуживание оборудования.
Условия эксплуатации фотоэлектрических систем предполагают различные экологические проблемы установки: большие перепады температуры, влажность, скачки напряжения. Для того чтобы поддерживать заводские характеристики оборудования в течение всего жизненного цикла установки особое внимание следует уделить следующим факторам:

- ■ целостности корпуса (двойная изоляция, степень IP)
- ■ условиям работы и целостности КРУ:
  - □ оценка возможных причин перегрева (при его обнаружении)
  - □ проверка КРУ на наличие пыли, влаги и т.д.
- ■ визуальной проверке электрических соединений
- ■ функциональной проверке оборудования и вспомогательных агрегатов
- ■ устройствам мониторинга и проверке изоляции
- ■ испытаниям сопротивления изоляции

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Структура фотоэлектрических систем

4.1 Общие характеристики фотоэлектрических структур

Фотоэлектрическая система состоит из нескольких модулей, которые соединены последовательно или параллельно, соответствующе входным характеристикам инвертора. Однако, поскольку эти модули взаимосвязаны, система очень чувствительна к нюансам и различиям с точки зрения направления движения. Необходимо следовать нескольким простым правилам относительно кабелей, чтобы избежать проблем.

Положение панелей

При установке солнечной батарей на крыше панели необходимо установить в различных направлениях. Важно, чтобы, по меньшей мере, одна система панелей была установлена в одном направлении для обеспечения оптимального получения энергии. Каждая система должна быть связана с определенным инвертором. При несоблюдении этих рекомендаций система может быть повреждена, и увеличится время, необходимое для возврата инвестиций (срок окупаемости).

Затемнение

Кроме этого, существует риск разрушения затененных модулей фотоэлектрической системы из-за явления "мертвой зоны ", описанного в пункте 2.2. Производителям необходимо использовать решение, рекомендованное Национальным институтом по солнечной энергии Франции (НИСЭ). По исследованиям НИСЭ затенение 10 % площади поверхности панели может привести к уменьшению выработки энергии более чем на 30 %! Поэтому важно устранить прямое затенение. Тем не менее, во многих случаях это сложно выполнимо из-за наличия деревьев, труб, соседних стен и т.д. Если фотоэлектрическая система включает в себя несколько панелей:

- по возможности необходимо включить затененные модули в одну систему;
- нужно выбирать такие технологии, которые лучше реагируют на рассеянный свет, чем на прямой.

Устранение петель

При подключении компонентов системы панелей, в первую очередь убедитесь, что приняли все меры, чтобы избежать кабельных петель внутри панелей. Даже несмотря на прямые удары молнии в систему, данное явление несет меньше разрушений, чем индуцированный ток молнии. Эти токи особенно разрушительны в зонах, где имеется большая площадь петель. На **рис. P17** показывает, как улучшить систему панелей.

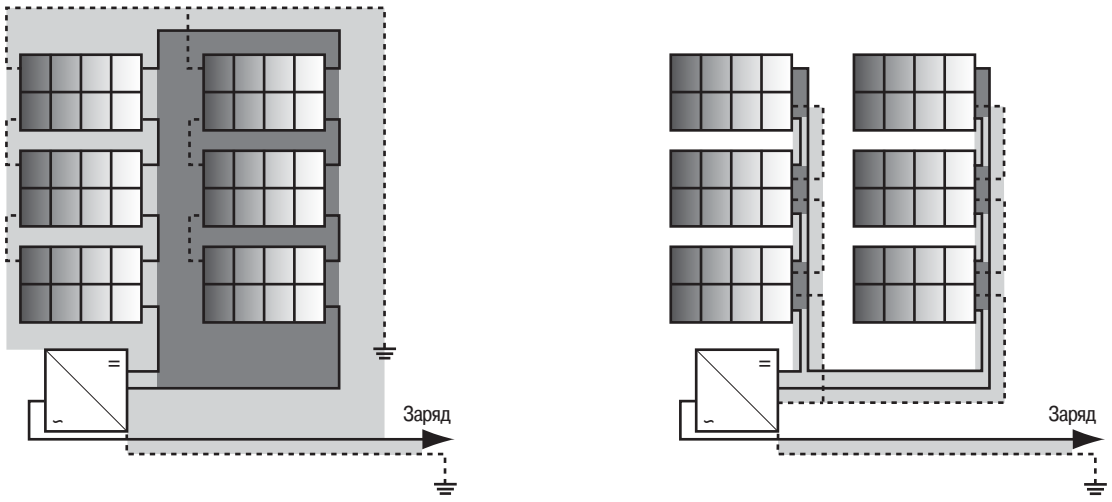


Рис. P17. Как избежать петель при установке панелей

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Структура фотоэлектрических систем

4.2 Структура установок, подсоединенных к сети

Если фотоэлектрические установки подключены к сети, и энергия продается, то необходимо оптимизировать эффективность и снизить затраты на монтаж. Имея это в виду, а также принимая во внимание относительно высокое рабочее напряжение пост. тока от 200 до 500 В, которое часто используются для жилых помещений, а напряжение 1000 В предназначено для потребителей, требующих больший уровень мощности. Все модули в системе должны быть одинаковыми (той же марки и того же типа) и выбраны в качестве поставщика такого же уровня мощности. Например, все модули должны быть 180 Вт, хотя существуют и другие уровни мощности в том же диапазоне фотоэлектрических модулей (170, 180 и 190 Вт). На практике, устройства защиты пост. и пер. тока должны быть расположены близко к инверторам для простоты обслуживания.

Фотоэлектрическая система с одной линией модулей

Это простейшая конфигурация (см. **рис. P18**). Она используется для небольших фотоэлектрических систем с пиковой мощностью до 3 кВт. Пик зависит от расположения модулей. В большинстве случаев, эта система применяется для жилых помещений.
Модули соединены последовательно, обеспечивая постоянный ток, с напряжением от 200 до 500 В. Оптимальная эффективность достигается с преобразованием напряжения в пределах этого диапазона. Одна линия постоянного тока проходит через инвертор. Фотоэлектрическая система может быть отключена от инвертора с помощью выключателя нагрузки вблизи инвертора.

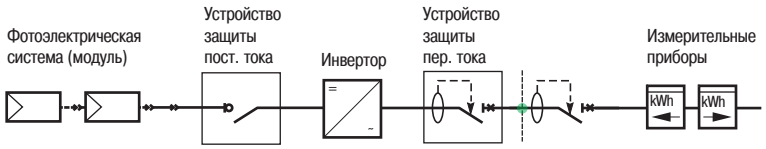


Рис. P18. Схема фотоэлектрической системы с одной линией модулей

Фотоэлектрическая система с несколькими линиями модулей, соединенных параллельно

Эта конфигурация (см. **рис. P19**), в основном, размещается на зданиях или в небольшой фотоэлектрической системе, установленной на земле и имеющей не более тридцати параллельных линий с максимальной выходной мощностью порядка 100 кВт.
Если превышена мощность, то требуется увеличить сечение главного кабеля постоянного тока. Напряжение может быть определено по количеству модулей, а в данном случае оно будет от 300 до 600 В постоянного тока. Требуемая мощность установки может быть достигнута при параллельном подключении идентичных линий. Устройство включает в себя предохранительные элементы, необходимые для распараллеливания линий и приборов, используемых для измерения тока. Один кабель постоянного тока соединяет эти установки с преобразователем. Фотоэлектрическая система может быть отключена от инвертора с помощью выключателя нагрузки, установленного вблизи преобразователя.

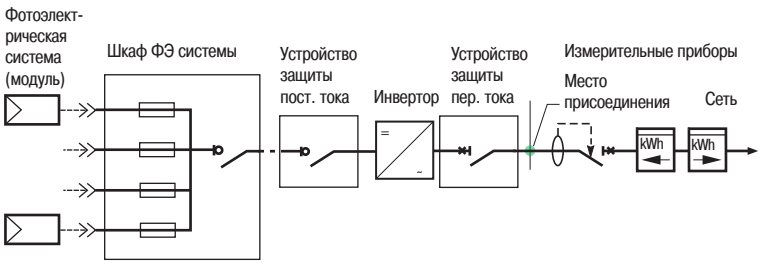


Рис. P19. Схема фотоэлектрической системы, подключенной к одному инвертору

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Структура фотоэлектрических систем

Как вариант применения этой схемы, несколько однофазных инверторов могут быть установлены в трехфазную систему (см. **рис. P20**).

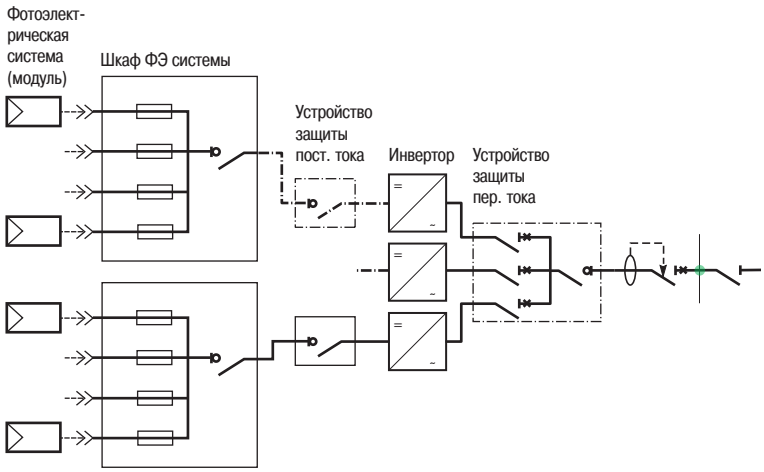


Рис. P20. Схема фотоэлектрической системы с несколькими однофазными инверторами, подключенными к трехфазной системе

Фотоэлектрическая система с линиями, разделенными на несколько групп

Когда мощность превышает 50 или 100 кВт, фотоэлектрические системы разделяют на подгруппы (см. **рис. P21**), чтобы сделать ее проще для подключения различных компонентов. Линии будут параллельны на двух уровнях.

- Ветви каждой подгруппы установлены параллельно в шкафу фотоэлектрической установки. В шкафах установлены предохранительные устройства, необходимое измерительное оборудование и устройства мониторинга.
- Кабельные линии параллельны установленным фотоэлектрическим системам и подключены к клеммной коробке около инвертора. Система также оснащена необходимыми приборами безопасности, а также измерительным и контрольным оборудованием, необходимым для распараллеливания подгрупп.

Система может быть отключена от инвертора с помощью блок-переключателя нагрузки. Постоянный ток системы составляет примерно 1000 В.

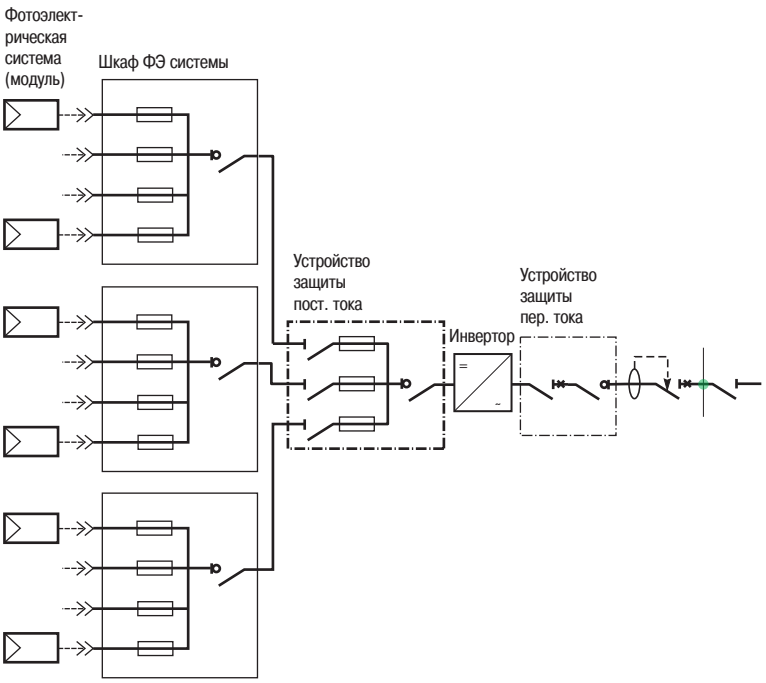


Рис. P21. Схема фотоэлектрической системы, состоящей из нескольких групп

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Структура фотоэлектрических систем

Фотоэлектрический модуль переменного тока, или «Струнный инвертор»

Альтернативным решением для системы постоянного тока является тесная взаимосвязь инвертора с фотоэлектрическим модулем, в этом случае фотоэлектрический модуль становится источником переменного тока. Такое решение, называемое фотоэлектрическим модулем переменного тока, или «Струнным инвертором», широко применяется для небольших установок, но может использоваться и для более крупной системы. В этом случае все параллельное соединение и проводка выполняются на переменном токе. При подключении следует руководствоваться общими правилами для систем переменного тока.

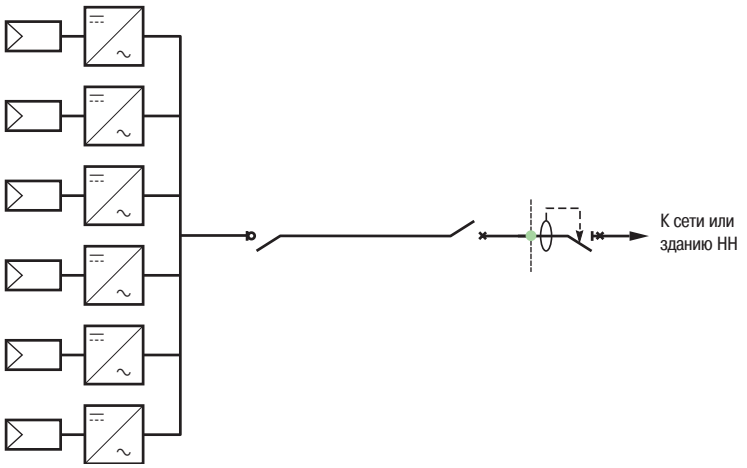


Рис. P22. Пример архитектуры на основе фотоэлектрических модулей переменного тока

4.3 Размер фотоэлектрической системы

Расчет фотоэлектрических систем

В расчете фотоэлектрических систем необходимо учитывать:
- Расположение элементов системы (географическое положение, широта, высота, тень и т.д.)
- Факторы установки (направление, угол и т.д.)

Во-первых, примерная выходная мощность может быть вычислена на основе доступной площади поверхности:
10 м^2 = 1 кВт – максимальная мощность
7140 м^2 (= футбольное поле) = 700 кВт – максимальная мощность
Фотоэлектрическая система всегда должна быть расположена рядом с инвертором. Расчеты, полученные при анализе системы, необходимо сравнить с характеристиками модулей и инвертором с целью выявления оптимальной конфигурации.

- Состав линий модулей

Примечание: количество модулей Voc x (при t° min) < Vmax инвертора.
Без нагрузки в линии модулей напряжение (Voc x количество модулей в линии) при минимальной температуре в месте установки должно быть ниже максимального входного напряжения инвертора. Это правило должно строго соблюдаться. В противном случае инвертор может выйти из строя.
Помимо вышеупомянутого правила для предотвращения поломки инвертора (при t° min количество модулей x Voc < Vmax инвертора) необходимо придерживаться двух других ограничений:
- Количество модулей x Vmpp (при t° max) > Vmin инвертора.

Рабочее напряжение (Vm x количество модулей в линии при любой температуре в месте установки) должно быть в пределах напряжения MPPT инвертора. В противном случае отключится инвертор, и энергоснабжение прекратится.
- Isc линии < Imax инвертора.

Общий ток Isc для линии модулей, соединенных параллельно, должен быть ниже максимального входного тока инвертора. В противном случае инвертор ограничивает энергию, подаваемую в сеть.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Структура фотоэлектрических систем

Характеристики инвертора

■ В Европе уровень мощности инвертора должно быть в пределах от 0,8 до 1 мощности системы: 0,8 <инвертор / система < 1

□ Если мощность инвертора ниже указанных значений (<0,8), то этот фактор существенно ограничивает возможности системы. Энергия, продаваемая в сеть, таким образом, будет ниже той, которую панели способны производить/продавать и, следовательно, потребуется больше времени для возврата инвестиций.

□ Если мощность инвертора выше указанных значений (>1), то он является слишком большим для системы, и, опять же, потребуется больше времени для возврата инвестиций.

■ Однофазный или трехфазный

Выбор должен варианта зависит от доступности устройств и рекомендаций энергоснабжающей организации. Часто решение принимается исходя из следующих условий:

□ Мощность инвертора <10 кВт => однофазный инвертор

□ 10 кВт < мощность инвертора <100 кВт => трехфазный(ые) инвертор(ы) либо однофазные инверторы, которые нужно разделить между тремя фазами и нейтралью. В этом случае должно строго соблюдаться условие симметрии по фазам.

□ Мощность инвертора > 100 кВт => трехфазный(ые) инвертор(ы)

■ Конфигурация

Производители инверторов предоставляют архитектурным бюро и монтажным организациям специальное ПО для выбора инвертеров в соответствии с параметрами ФЭ модулей, предназначенных для жилых и административных зданий.

4.4 Тип установки

Тип установки является важным фактором, которым не следует пренебрегать. В таких странах, как Франция стоимость поставляемой электроэнергии напрямую зависит от типа установки. Наряду с уровнем затененности, его следует учитывать при выборе модуля. Есть три типа установки – встроенная, частично встроенная и наземная:

■ Встроенная фотоэлектрическая система

Этот тип установки выполняет двойную роль (энергоснабжение и гидроизоляция крыши, затенение и т.д.).

■ Частично встроенная фотоэлектрическая система

Это самый простой тип установки и, самое главное, в этом случае не нужно изменять характеристики покрытия крыши. Тем не менее, его главным недостатком является то, что, например, во Франции, система не можете обеспечить высокую мощность. Этот тип установки наиболее часто используется в Германии и Швейцарии.

■ Наземная фотоэлектрическая система

Этот тип установки используется для питания сельскохозяйственных объектов, охватывающих большие территории. Опять же во Франции установки такого типа обеспечивают высокую цену при продаже энергии в сеть.

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

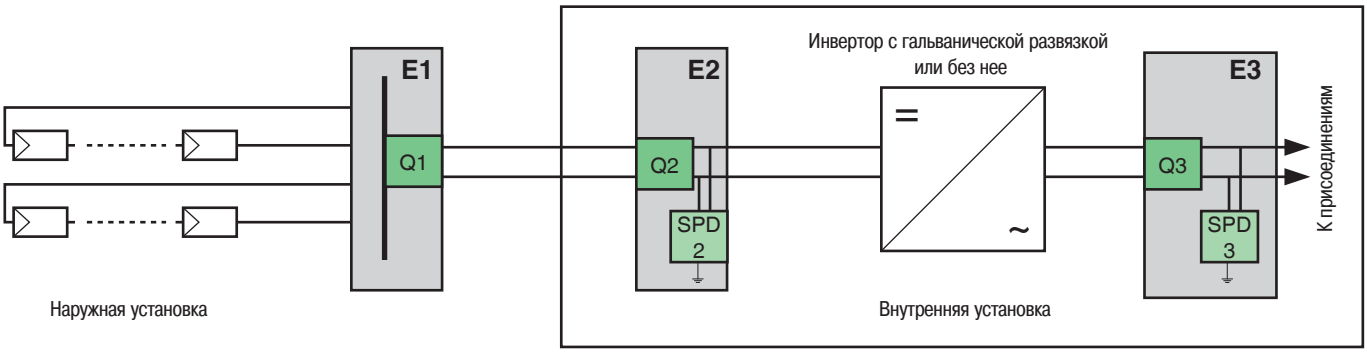
4 Структура фотоэлектрических систем

4.5 Выбор электрического оборудования

4.5.1 Схема подключения фотоэлектрической системы мощностью ≤ 10 кВт (для жилых домов)

Один однофазный инвертор

Как правило, системы с мощностью 5 кВт подключены к сети через однофазный инвертор с Uoc max ≤ 600 В. Одна или две линии модулей – Isctc < 25 А, Iac < 32 А. В этой конструкции нет защиты линий, подключенных к модулям. Здесь необходим главный выключатель фотоэлектрической системы. Когда инвертор расположен в помещении, то необходим дополнительный автоматический выключатель с дистанционным управлением на вводе линии постоянного тока для аварийного отключения, в случае необходимости.



Требования	Клеммная коробка линий	Главный выключатель фотоэлектрической системы	Инвертор	Распределительный щит пер. тока (230 В, фаза-нейтраль)
Распределительное устройство и шкаф управления				
Изоляция	·	· (d)	(a)	· (d)
Выключатель	· DC21B	· (d) DC21B	(a)	· (d)
Шкаф управления	· (b)	· (d)	(e)	· (d)
Максимальная токовая защита	(c)			· (f)
Защита от повреждений изоляции			(g)	(g) УЗО типа B или A
Защита от перенапряжения		· Тип 2		· Тип 1 или 2
Шкаф	Внешняя установка Двойная изоляция	Внутренняя установка Двойная изоляция		Стандартные требования к переменному току + требования к сети
Измерение			Параметры инвертора	Энергия

- a) Главный выключатель фотоэлектрической системы может быть расположен в инверторе. Это решение затрудняет обслуживание инвертора или его замену.
- b) Аварийные автоматические выключатели устанавливаются как можно ближе к фотоэлектрическому модулю или точке ввода кабелей постоянного тока в здание.
- c) Защита не требуется, когда количество линий в системе не более двух.
- d) Обслуживание и аварийное отключение.
- e) Инвертор должен включать в себя секционированную защиту (например, в соответствии со стандартом VDE 0126).
- f) Рекомендуется защита от перегрузки и коротких замыканий.
- g) УЗИП не требуется, если есть еще один УЗИП в установке переменного тока на расстоянии менее 10 метров.

Рис. P23. Схема подключения системы ≤ 10 кВт

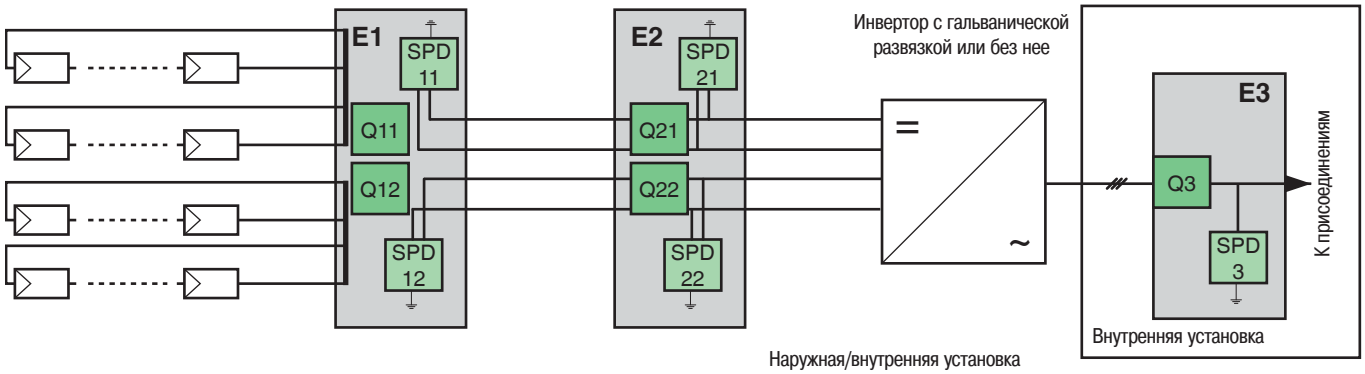
© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Структура фотоэлектрических систем

4.5.2 Схема подключения фотоэлектрической системы мощностью от 10 до 150 кВт (для небольших зданий)

Один трехфазный инвертор несколькими вводами без шкафа ФЭ системы

Как правило, система мощностью от 10 до 36 кВт подключена к сети через инвертор с Uoc max выше, чем 600 В (т.е. 800 или 1000 В), Isctc < 125 А, Iac < 63 А. В этом диапазоне инверторы, как правило, находятся между двумя и четырьмя точками оптимальной мощности. Таким образом, в той же подсети постоянного тока имеется не более 1 или 2 линий, и нет необходимости в их защите. Главный выключатель фотоэлектрической системы необходим для защиты ввода каждой линии. Когда инвертор расположен в помещении, то необходим дополнительный автоматический выключатель с дистанционным управлением на вводе линии постоянного тока для аварийного отключения.



Требования	Клеммная коробка линий	Главный выключатель фотоэлектрической системы	Инвертор	Шкаф пер. тока (400 В)
Распределительно устройство и щит управления				
Изоляция	•	• (d)	(a)	• (d)
Выключатель	• DC21B	• (d) DC21B	(a)	• (d)
Шкаф управления	• (b)	• (d)	(e)	• (d)
Максимальная токовая защита	(c)			• (f)
Защита от повреждений изоляции			(h)	(h) УЗО типа B или A SI
Защита от перенапряжения	(g)	• Тип 2		• Тип 1 или 2
Шкаф	Внешняя установка Двойная изоляция	Внутренняя установка Двойная изоляция		Стандартные требования к переменному току + требования к сети
Измерение				Энергии

■ a) Главный выключатель фотоэлектрической системы может быть расположен в инверторе. Это решение затрудняет обслуживание инвертора или его замену.

■ b) Аварийные автоматические выключатели устанавливаются как можно ближе к фотоэлектрическому модулю или точке ввода кабелей постоянного тока в здание.

■ c) Защита не требуется, когда количество линий в системе не более двух.

■ d) Обслуживание и аварийное отключение.

■ e) Инвертор должен включать в себя секционированную защиту (например, в соответствии со стандартом VDE 0126).

■ f) Рекомендуется защита от перегрузки и коротких замыканий.

■ g) УЗИП не требуется, если есть еще один УЗИП в установке переменного тока на расстоянии менее 10 метров.

□ Если инвертор не имеет гальванической развязки, необходимо установить УЗО на стороне переменного тока. Стандарт МЭК 60364-7-712 (ГОСТ Р 50571.7.712-2013) рекомендует УЗО типа B. Некоторые местные правила требуют УЗО типа A.

□ Если инвертор обеспечивает, по крайней мере, простое разделение:

- без функционального заземления: необходим контроль изоляции, это обычно делается при помощи инвертора в данном диапазоне мощностей;
- с функциональным заземлением: заземление посредством модульного автоматического выключателя постоянного тока (серии C60PV, 4P, 2-10 A) или предохранителя.

Рис. P24. Схема подключения инвертора от 10 до 100 кВт к системе с несколькими точками оптимальной мощности

© Schneider Electric – все права защищены

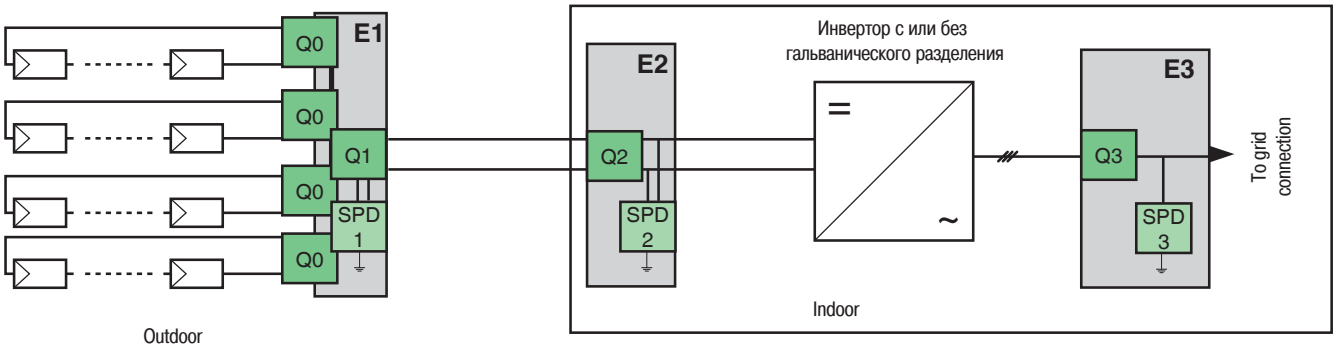
Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Структура фотоэлектрических систем

Один трехфазный инвертор с одной клеммной коробкой

Как правило, система с мощностью от 30 кВт до 60 кВт подключена к сети через инвертор с UOC MAX, как правило, выше, чем 600 В (до 1000 В), Isctc не превышает 200 А, Iac не превышает 10 А. Такая конструкция обычно имеет более двух линий. Поэтому необходима защита от тока. Также требуется главный выключатель фотоэлектрической системы. Когда инвертор расположен в помещении, то необходимо предусмотреть дополнительные переключатели дистанционного управлением на точки подключения кабелей постоянного тока, в случае аварийных ситуаций.



Требования	Клеммная коробка линий	Главный выключатель фотоэлектрической системы	Инвертор	Шкаф пер. тока (400 В)
Распределительное устройство и шкаф управления				
Изоляция	•	• (d)	(a)	• (d)
Выключатель	• DC21B	• (d) DC21B	(a)	• (d)
Шкаф управления	• (b)	• (d)	(e)	• (d)
Максимальная токовая защита	•	(c)		• (f)
Защита от повреждений изоляции			(h)	(h) УЗО типа B или A SI
Защита от перенапряжения	(g)	• Тип 2		• Тип 1 или 2
Шкаф	Внешняя установка Двойная изоляция	Внутренняя установка Двойная изоляция		Стандартные требования к переменному току + требования к сети
Измерение				P, Q, PF, энергия

■ a) Главный выключатель фотоэлектрической системы может быть расположен в инверторе. Это решение затрудняет обслуживание инвертора или его замену.

■ b) Аварийные автоматические выключатели устанавливаются как можно ближе к фотоэлектрическому модулю или точке ввода кабелей постоянного тока в здание.

■ c) Защита не требуется, когда количество линий в системе не более двух.

■ d) Обслуживание и аварийное отключение

■ e) Инвертор должен включать в себя секционированную защиту (например, в соответствии со стандартом VDE 0126)

■ f) Рекомендуется защита от перегрузки и коротких замыканий.

■ g) УЗИП не требуется, если есть еще один УЗИП в установке переменного тока на расстоянии менее 10 метров.

□ Если инвертор не имеет гальванической развязки, необходимо установить УЗО на стороне переменного тока. Стандарт 60364-7-712 (ГОСТ Р 50571.7.712-2013) рекомендует УЗО типа B. Некоторые местные правила требуют УЗО типа A.

□ Если инвертор обеспечивает, по крайней мере, простое разделение:

- без функционального заземления: необходим контроль изоляции, это обычно делается при помощи инвертора в данном диапазоне мощностей;
- с функциональным заземлением: заземление посредством модульного автоматического выключателя постоянного тока (серии C60PV, 4P, 2-10 A) или предохранителя.

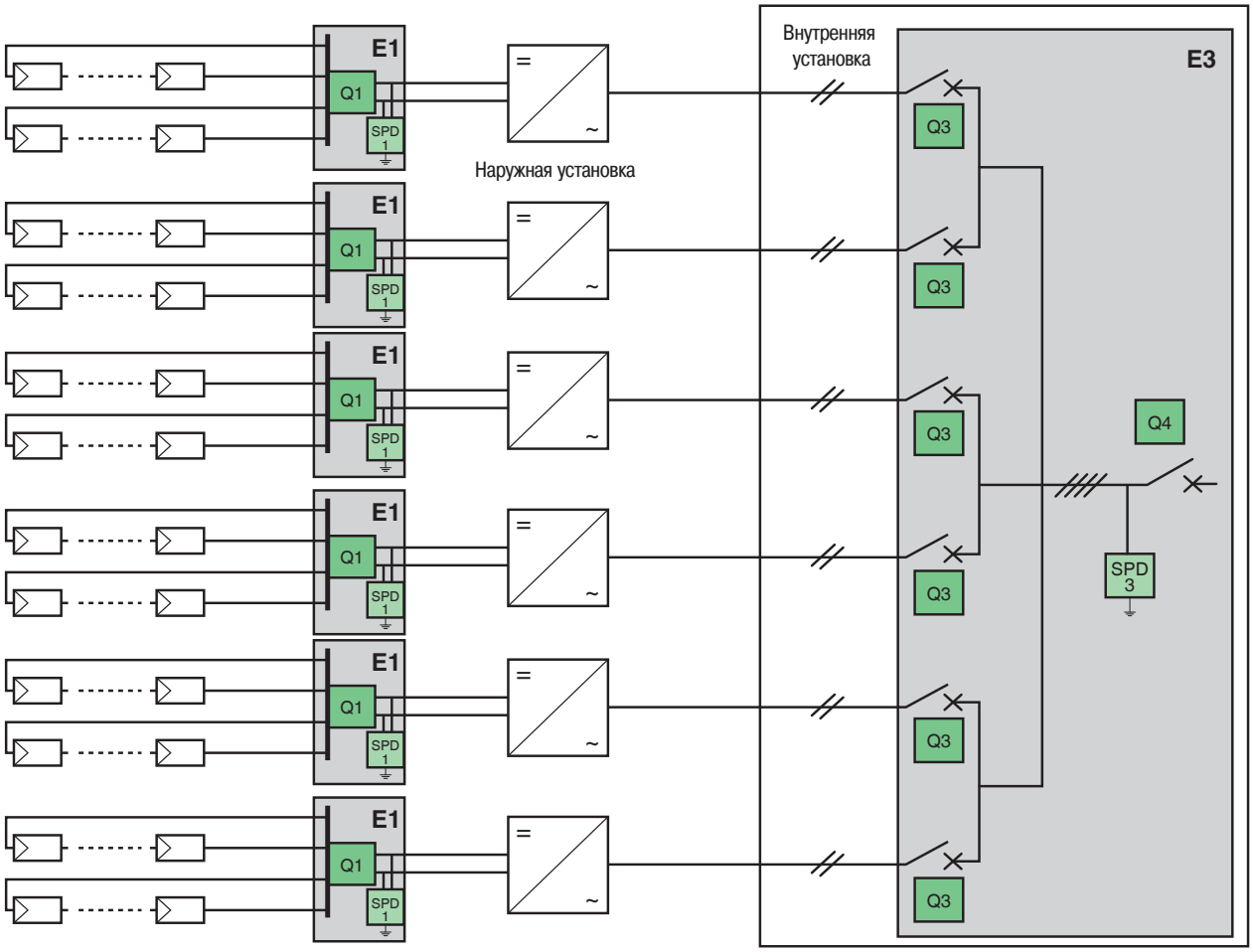
Рис. P25. Схема подключения инвертора от 10 до 100 кВт к системе с одной точкой оптимальной мощности

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Структура фотоэлектрических систем

Схема подключения фотоэлектрической системы с несколькими однофазными инверторами

Как правило, подключение ФЭ 6x5 и 20x5 кВт к сети выполняется через инвертор. Схемы установок для жилых помещений могут быть продублированы так часто, как это необходимо. В этом случае, система постоянного тока очень проста, а система переменного тока очень похожа на стандартную.



Требования	Главный выключатель фотоэлектрической системы	Инвертор		Шкаф пер. тока (400 В)
Распределительное устройство и щкаф управления	См. схему для системы ≤ 10 кВт			
Защита от перенапряжения	· Тип 2			· Тип 1 или 2
Шкаф	Внешняя установка Двойная изоляция			Стандартные требования к переменному току + требования к сети
Измерение			Энергии	P, Q, PF, энергия, небаланс

Рис. P26. Схема подключения инвертора от 10 до 100 кВт к системе с несколькими точками оптимальной мощности

© Schneider Electric – все права защищены

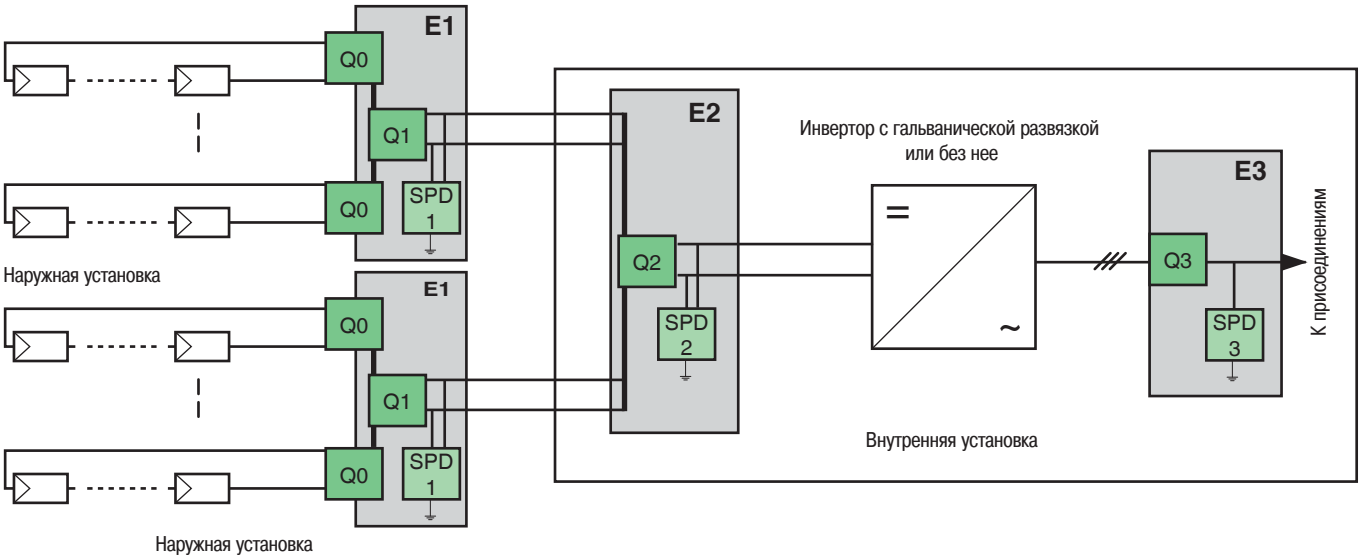
Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Структура фотоэлектрических систем

Схема подключения фотоэлектрической системы с трехфазными инверторами и двумя шкафами

Как правило, система мощностью от 60 до 100 кВт подключена к сети через инвертор с двумя шкафами. В данном случае защита кабеля не является необходимым требованием. I_{sctc} шкафа ≤ 200 A, I_{sctc} ≤ 400 A и I_{max} пер. тока ≤ 200A. Главный выключатель фотоэлектрической системы должен находиться как можно ближе к инвертору. Необходим дополнительный автоматический выключатель с дистанционным управлением, установленный как можно ближе к фотоэлектрическим модулям, для аварийного отключения.



Требования	String / Array junction box	Главный выключатель фотоэлектрической системы	Инвертор	Шкаф пер. тока (400 В)
Распределительно устройство и щит управления				
Изоляция	•	• (d)	(a)	• (d)
Выключатель	• DC21B	• (d) DC21B	(a)	• (d)
Шкаф управления	• (b)	• (d)	(e)	• (d)
Максимальная токовая защита	•	(c)		• (f)
Защита от повреждений изоляции			(h)	(h) УЗО типа B или A SI
Защита от перенапряжения	(g)	• Тип 2		• Тип 1 или 2
Шкаф	Внешняя установка Двойная изоляция	Внутренняя установка Двойная изоляция		Стандартные требования к переменному току + требования к сети
Измерение				P, Q, PF, энергия

■ a) Главный выключатель фотоэлектрической системы может быть расположен в инверторе. Это решение затрудняет обслуживание инвертора или его замену.

■ b) Аварийные автоматические выключатели устанавливаются как можно ближе к фотоэлектрическому модулю или точке ввода кабелей постоянного тока в здание.

■ c) Защита не требуется, когда количество линий в системе не более двух.

■ d) Обслуживание и аварийное отключение

■ e) Инвертор должен включать в себя секционированную защиту (например, в соответствии со стандартом VDE 0126)

■ f) Рекомендуется защита от перегрузки и коротких замыканий.

■ g) УЗИП не требуется, если есть еще один УЗИП в установке переменного тока на расстоянии менее 10 метров.

■ h)

□ Если инвертор не содержит гальваническую развязку УЗО необходимую на стороне переменного тока. Стандарт МЭК 60364-7-712 (ГОСТ Р 50571.7.712-2013) определяет УЗО типа B. Некоторые местные правила требуют УЗО типа A.

□ Если инвертор обеспечивает, по крайней мере, простым разделением:

- Без функционального заземления: необходим контроль изоляции, это обычно делается при помощи инвертора в данном диапазоне мощностей.
- С функционального заземлением: заземление должно быть сделано с миниатюрным выключателем постоянного тока (C60PV 4P серии 2 – 10A) или предохранителем.

Рис. P27. Схема подключения инвертора от 10 до 100 кВт с двумя клеммными коробками к системе с одной точкой оптимальной мощности

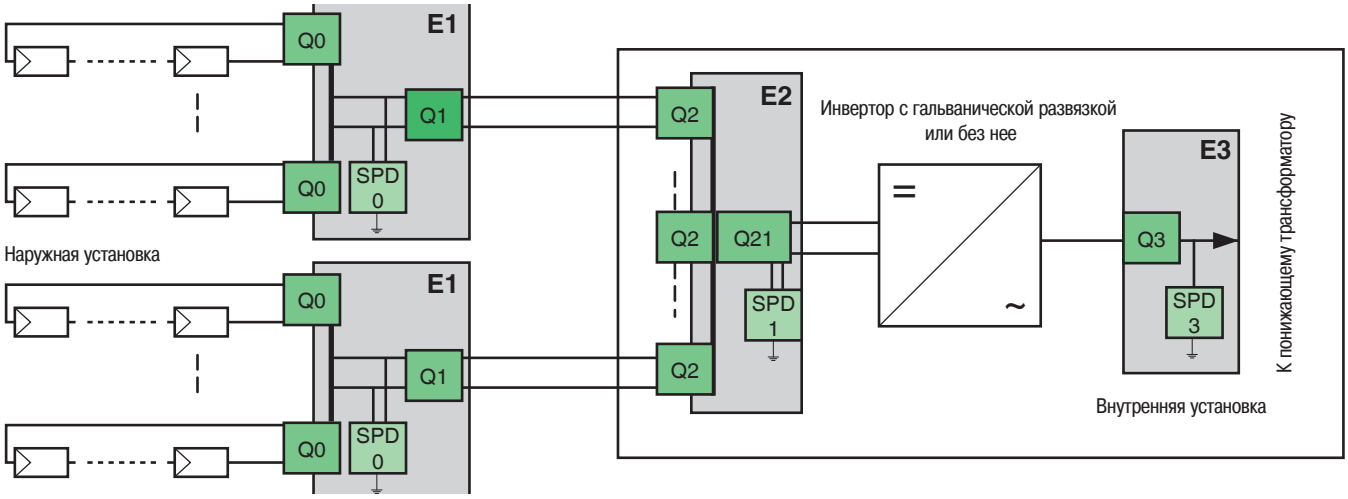
© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Структура фотоэлектрических систем

4.5.3 Схема подключения фотоэлектрической системы мощностью от 150 до 500 кВт (для больших зданий и объектов с/х)

Трехфазные инверторы с двумя и более шкафами

Как правило, подключение к системе с мощностью от 150 кВт до 500 кВт выполняется через одни инвертор. Эта схема очень похожа на предыдущую, за исключением того, что она имеет больше линий, и, как следствие, требует защиты кабелей. I_{stc} <= 400 A, IAC ≤ 600 A.



Требования	Линия панелей	Клеммная коробка	Главный выключатель фотоэлектрической системы	Инвертор	Блок переменного тока (400 В или другое напряжение)
Распределительно устройство и щит управления					
Изоляция	·	·	·	· (a)	· (d)
Выключатель		· DC22A	· DC22A	· (a)	· (d)
Шкаф управления		· (b)		· (a) (e)	· (d)
Максимальная токовая защита	·		· (c)		· (f)
Защита от повреждений изоляции				· (h)	· (h)
Защита от перенапряжения		(g)	· Тип 2		· Тип 1 или 2
Шкаф		Внешняя установка Двойная изоляция	Внутренняя установка Двойная изоляция		Стандартные требования к переменному току + требования к сети
Измерение		Энергии			P, Q, PF, энергия, сигнализация, коэффициент нелинейных искажений

■ a) Главный выключатель фотоэлектрической системы может быть расположен в инверторе. Это решение затрудняет обслуживание инвертора или его замену.
■ b) Аварийные автоматические выключатели устанавливаются как можно ближе к фотоэлектрическому модулю или точке ввода кабелей постоянного тока в здание.
■ c) Защита не требуется, когда количество линий в системе не более двух.
■ d) Обслуживание и аварийное отключение.
■ e) Инвертор должен включать в себя секционированную защиту (например, в соответствии со стандартом VDE 0126).
■ f) Рекомендуется защита от перегрузки и коротких замыканий.
■ g) УЗИП не требуется, если есть еще один УЗИП в установке переменного тока на расстоянии менее 10 метров.
■ h) Гальваническая разделение на стороне НН/СН трансформатора.
□ ФЭ система без функционального заземления: необходим контроль изоляции: с помощью устройств IMD-IM20 и IMD-IM20-1700
□ ФЭ система с функционального заземлением: в системе заземления должен быть установлен миниатюрный выключатель постоянного тока (C60PV 4P серии 2 – 10A) или предохранитель.

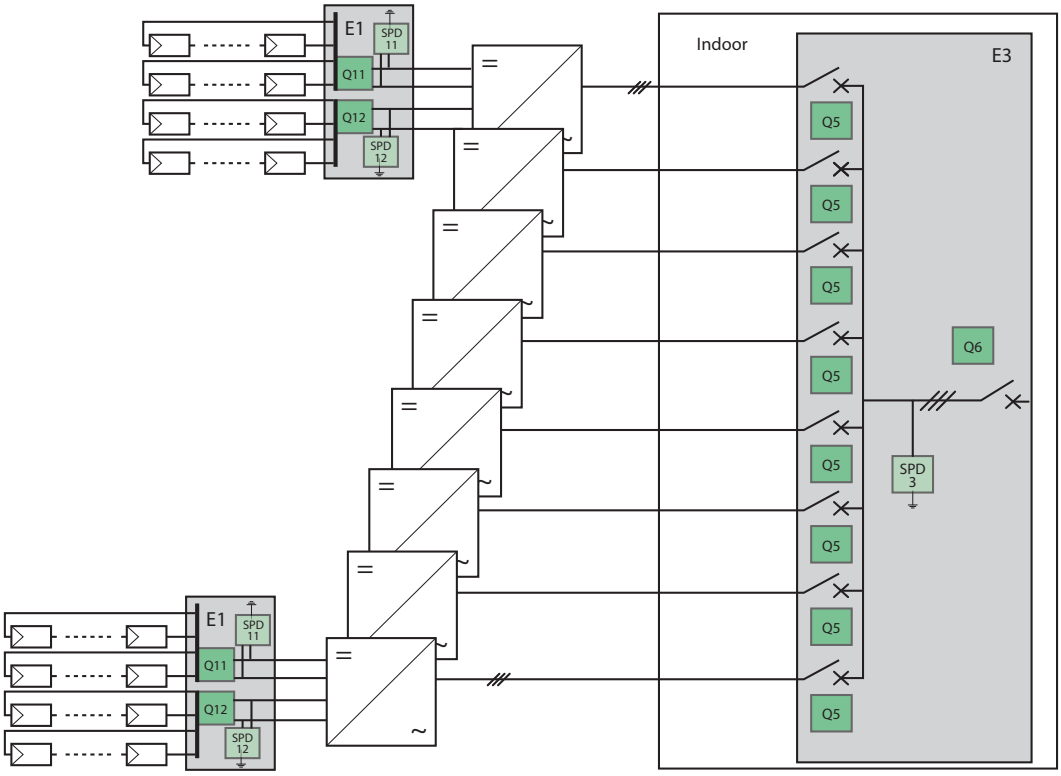
Рис. P28. Схема подключения инвертора от 150 до 500 кВт с двумя или более клеммными коробками к системе с одной точкой оптимальной мощности

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Структура фотоэлектрических систем

Схема подключения фотоэлектрической системы с несколькими трехфазными инверторами без шкафа

Как правило, подключение ФЭ 10x20 и 20x30 кВт к сети выполняется через одну или две ветви на каждый инвертор с Uoc max ≤ 1000 В. Iac max =50 А для одного инвертора.



Требования	Клеммная коробка линий			Объединенный блок переменного тока
Распределительно устройство и щит управления				
	См. конструкции от 10 до 35 кВт			
Защита от перенапряжения	· Тип 2			· Тип 1 или 2
Шкаф	Внешняя установка Двойная изоляция			Стандартные требования к переменному току + требования к сети
Измерение			Энергия	P, Q, PF, энергия, сигнализация

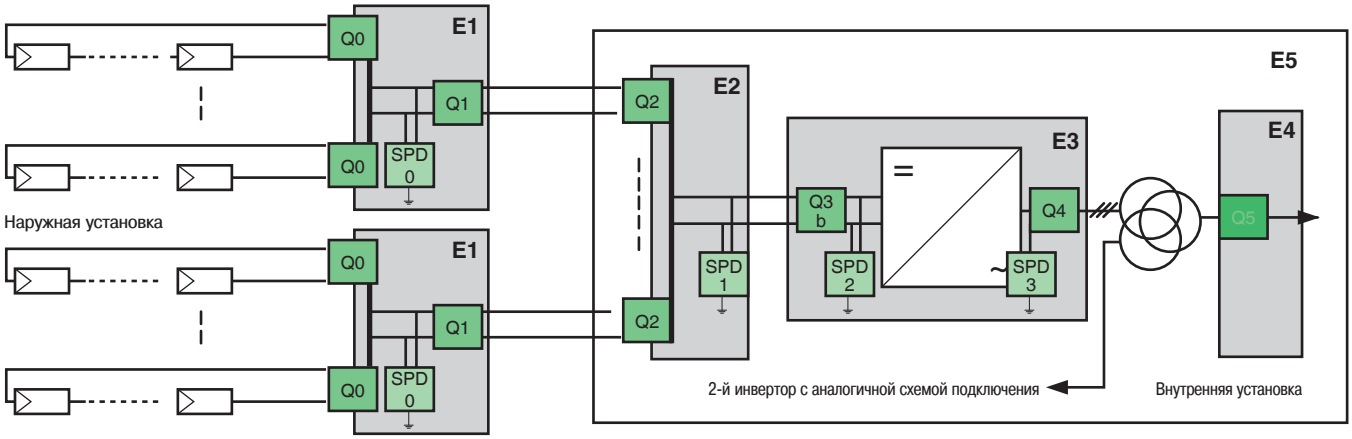
Рис. P29. Схема подключения системы мощностью 150-500 кВт с несколькими трехфазными инверторами

Руководство по устройству электроустановок 2019
© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Структура фотоэлектрических систем

Схема подключения фотоэлектрической системы большой мощности (для крупных зданий и объектов с/х)

Как правило, инверторы мощностью 50-630 кВт соединены с трансформаторами НН/СН и подстанциями СН.



Требования	Линия панелей	Клеммная коробка	Клеммная коробка генератора	Инвертор		Блок переменного тока (400 В или другое напряжение)
Распределительно устройство и щит управления				**Сторона пост. тока**	**Сторона пер. тока**	
Изоляция	·	·	· (a)	·	·	·
Выключатель		· DC22A	· (a)	· DC22A или 23A	· AC1	·
Шкаф управления		· (b)		·	·	·
Максимальная токовая защита	·		· (c)	Нет	·	· (f)
Защита от повреждений изоляции			· (h)	·		· (h)
Защита от перенапряжения		(g)	· Тип 2	(g)		· Тип 1 или 2
Шкаф		Внешняя установка Двойная изоляция	Внутренняя установка Двойная изоляция			
Измерение		Энергия				P, Q, PF, энергия, сигнализация, качество энергии

■ a) Главный выключатель фотоэлектрической системы может быть расположен в инверторе. Это решение затрудняет обслуживание инвертора или его замену.
■ b) Аварийные автоматические выключатели устанавливаются как можно ближе к фотоэлектрическому модулю или точке ввода кабелей постоянного тока в здание.
■ c) Защита не требуется, когда количество линий в системе не более двух.
■ f) Рекомендуется защита от перегрузки и коротких замыканий.
■ g) УЗИП не требуется, если есть еще один УЗИП в установке переменного тока на расстоянии менее 10 метров.
■ h) Гальваническая разделение на стороне НН/СН трансформатора.
□ ФЭ система без функционального заземления: необходим контроль изоляции: с помощью устройств IMD-IM20 и IMD-IM20-1700
□ ФЭ система с функционального заземлением: в системе заземления должен быть установлен миниатюрный выключатель постоянного тока (C60PV 4P серии 2 – 10A) или предохранитель.

Рис. P30. Схема подключения инверторов мощностью от 500 до 630 кВт с трансформаторами НН/СН

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Структура фотоэлектрических систем

4.6 Подключение фотоэлектрической системы к сети или частной низковольтной установке

4.6.1 Прямое подключение фотоэлектрической системы к сети

Когда фотоэлектрическая система установлена для питания сети, утилита, которая управляет сетью, будет обеспечивать соответствие требованиям к функциям защиты, отключения и измерения. Каждая утилита может иметь определенные требования в соответствии с привычками местного населения и спецификой энергосистемы.
Как правило, требуются следующие функции:

- Счетчик электроэнергии (в обоих направлениях)
- Размыкающее устройство (в некоторых странах требуется визуальный разрыв)
- Защита от перегрузки по току и замыкания на землю в соответствии с применяемой системой заземления
- Противоизолирующая защита, например, VDE0126.

4.6.2 Подключение фотоэлектрической системы к частной низковольтной установке

См. раздел 5 «Архитектура фотоэлектрической системы для собственного потребления».

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Архитектура фотоэлектрической системы для собственного потребления

Существует два способа подключения и эксплуатации фотоэлектрических систем, установленных на крыше здания, на автостоянке или встроенных в конструкцию здания, – собственное потребление и экспорт в энергосистему.
В режиме экспорта в сеть фотоэлектрическая установка подключается к электрической распределительной сети и работает параллельно с частной низковольтной установкой здания, не мешая её работе. Несмотря на физическую связь, фотоэлектрическая система и установка здания являются двумя автономными и не зависящими друг от друга единицами.
В случае собственного потребления фотоэлектрическая система подключается к электроустановке здания, где энергия, произведенная фотоэлектрическими приборами, используется в первую очередь для удовлетворения потребностей местных нагрузок.

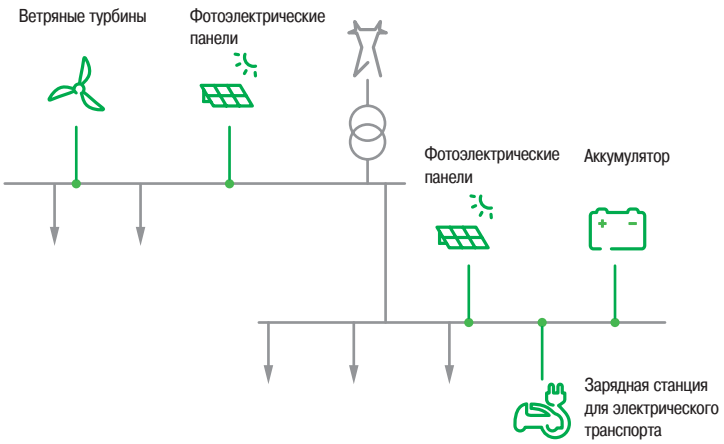


Рис. P31. Установка с использованием ФЭ (возобновляемых источников энергии) для собственного потребления

Поскольку между этими двумя установками существует физическая связь, при собственном потреблении электроэнергии, произведенной фотоэлектрической системой, необходимо руководствоваться особыми правилами установки и соблюдать требования к архитектуре системы. Электрические установки с локальной генерацией ФЭ энергии для собственного потребления могут быть спроектированы для работы:
■ **только при подключении к сети** – в случае прекращения подачи электроэнергии от сети работа электроустановки прекращается. Современные фотоэлектрические системы, используемые для собственного потребления, работают в основном в этом режиме.
■ **при подключении к сети и в автономном режиме** – электрическая установка работает с подключением к сети, но также может работать в автономном режиме, обеспечивая все нагрузки или их часть местными источниками энергии. Сегодня фотоэлектрические установки не могут обеспечить работу электрической установки в автономном режиме, так как производимая фотоэлектрическая энергия является нестабильной, предсказуемой, но не планируемой, и имеет ограниченные возможности управления. Чтобы обеспечить автономную работу, фотоэлектрические установки должны быть связаны с другим основным и стабильным источником, таким как аккумулятор или генератор. Кроме того, работа электроустановки как в режиме подключения к сети, так и в автономном режиме намного сложнее и требует специального управления. Такой вид работы встречается редко, особенно в странах, где электрическая сеть стабильна и аварийные отключения не являются нормой. Этот раздел посвящен электроустановкам, подключенным одновременно к локальной системе генерации фотоэлектрической энергии и к сети, что является наиболее распространенным способом использования фотоэлектрических систем. В нем приведены требования к фотоэлектрическим установкам, производящим электроэнергию для собственного потребления, объяснены и приведены рекомендации по выбору оборудования и его размеров.

P31

5.1 Подключение ФЭ системы к электроустановке

Интеграция фотоэлектрической системы в электрическую установку может быть осуществлена путем подключения:
■ к главному распределительному щиту низкого напряжения
■ к распределительному щиту низкого напряжения
■ до главного распределительного щита низкого напряжения
■ к системе СН
Ниже приведены соответствующие схемы и их описание, область применения, преимущества и недостатки каждого способа подключения.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Архитектура фотоэлектрической системы для собственного потребления

5.1.1 Подключение к главному распределительному щиту низкого напряжения

При такой конфигурации архитектура ФЭ установки может включать в себя:
- один фотоэлектрический инвертор, напрямую подключенный к главному распределительному щиту низкого напряжения
- группу фотоэлектрических инверторов. Выходы инверторов собираются на распределительный щит местной генерации, и каждый из них, в свою очередь, питает главный распределительный щит низкого напряжения электрической установки - см. **рис. P32**. (Существует другой способ, который заключается подключении каждого инвертора отдельно к главному распределительному щиту низкого напряжения, но такая конфигурация не рекомендуется к применению из-за высокой стоимости, сложности установки и особенностей обслуживания).

Диапазон мощности ФЭ инвертора, используемого для собственного потребления в коммерческих и промышленных зданиях, обычно составляет от 20 кВт до 60 кВт. Таким образом, можно принять, что для установленной мощности до 30 кВт достаточно использовать один инвертор, и выше этого значения предпочтительной является группа инверторов.

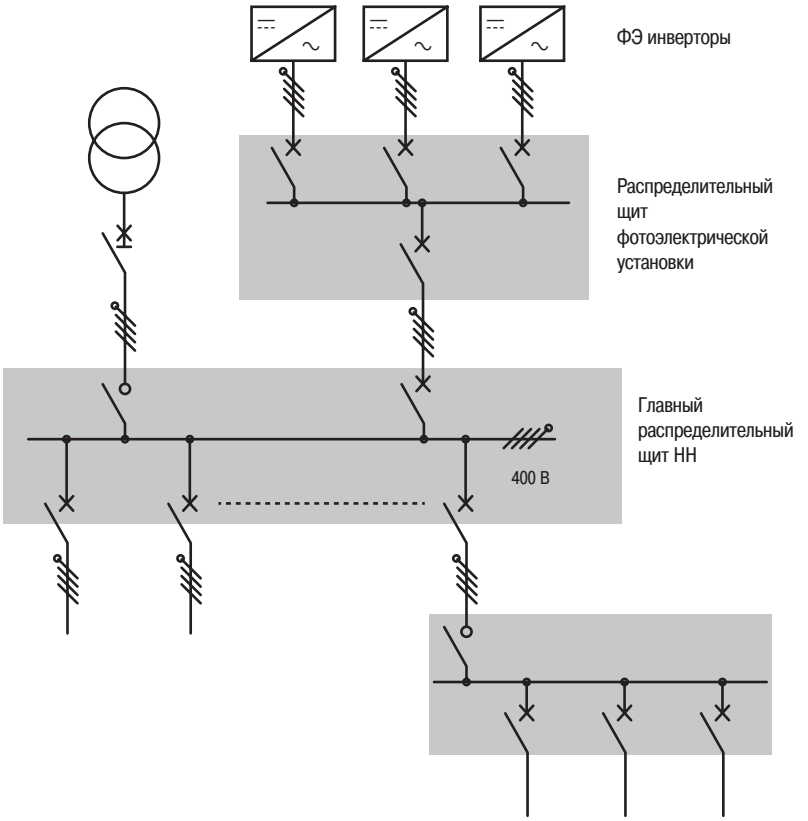


Рис. P32. Фотоэлектрическая установка подключена к главному распределительному щиту низкого напряжения

Конфигурация, при которой ФЭ установка подключена к главному распределительному щиту низкого напряжения, используется в следующих случаях:
- фотоэлектрическая система расположена рядом с главным распределительным щитом низкого напряжения
- производство фотоэлектрической энергии используется как для собственного потребления, так и для экспорта в сеть избыточной ФЭ энергии.
- фотоэлектрическая система связана с другими местными источниками энергии, например, аккумулятором или теплоэнергетической станцией.

Соединение с главным распределительным щитом низкого напряжения позволяет собирать всю локальную продукцию в одной зоне, что облегчает техническое обслуживание и эксплуатацию установки. Это идеальная конфигурация для новых электрических установок или существующих, когда основной распределительный щит низкого напряжения легко доступен (например, одно- или двухэтажные здания)
- Мощность производства фотоэлектрических систем составляет от 10% до 100% от установленной мощности здания. Для небольших фотоэлектрических установок предпочтительным может быть подключение к ближайшему вторичному распределительному щиту.

Для более крупных ФЭ установок более подходящим является подключение до распределительного щита низкого напряжения.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Архитектура фотоэлектрической системы для собственного потребления

5.1.2 Подключение к распределительному щиту

Фотоэлектрическая система подключена к ближайшему распределительному щиту.
Эта конфигурация предпочтительна в следующих ситуациях:
■ Производство ФЭ энергии не превышает потребление нижестоящих нагрузок распределительного щита, к которому он подключен
■ ФЭ инверторы находятся далеко от главного распределительного щита низкого напряжения. Эта конфигурация обычно используется в многоэтажных зданиях, которые характеризуются:
■ Производством фотоэлектрической энергии на крыше в значительно меньших объемах, чем потребление энергии в здании.
■ расположением главного распределительного щита низкого напряжения, как правило, на первом этаже (подключение к питающей сети через проложенные в земле кабели).

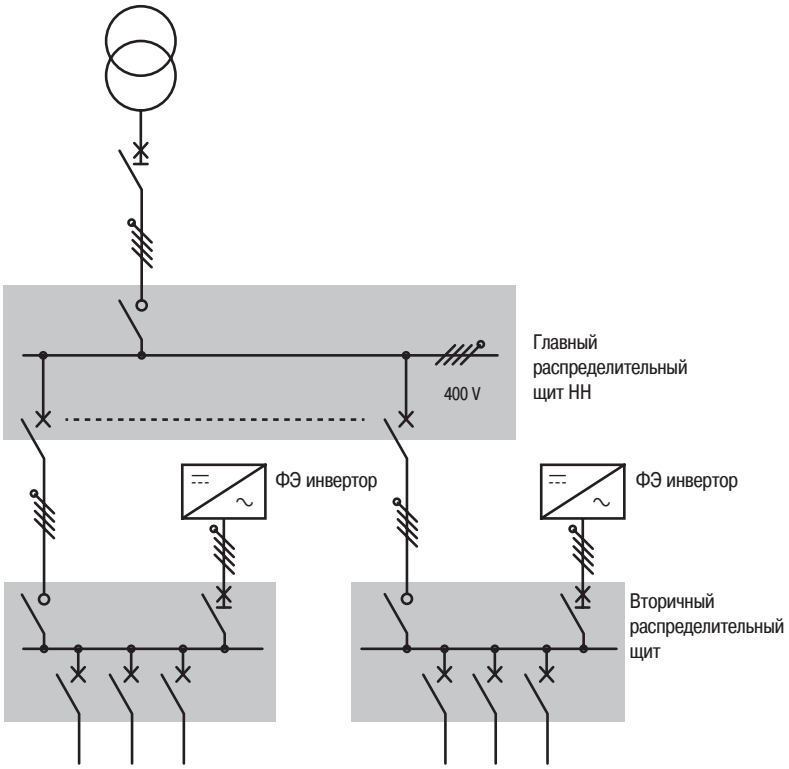


Рис. P33. Фотоэлектрическая установка подключена к вторичным распределительным щитам низкого напряжения

Подключение к вторичному низковольтному распределительному щиту имеет следующие преимущества:
■ Длина кабеля между фотоэлектрической системой и точкой ее подключения к электроустановке сведена к минимуму
■ Установка является более простой и оптимизированной.

Однако такая конфигурация имеет некоторые ограничения:
■ Усложнение технического обслуживания при увеличении числа источников фотоэлектрической энергии - когда фидер находится на обслуживании, все источники питания, потенциально питающие данный фидер, должны быть изолированы. При подключении фотоэлектрических установок к ближайшему распределительному щиту количество потенциальных подключенных источников питания увеличивается, а их расположение становится более рассредоточенным, что усложняет их изоляцию.
■ Ограниченная возможность модернизации - эта конфигурация гораздо менее эволюционна, чем подключение к основному распределительному щиту низкого напряжения: расширение ФЭ установки может потребовать внесения изменений в существующую электрическую установку здания (возможно, потребуется изменить сечения кабелей, размеры распределительных щитов и защит).

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Архитектура фотоэлектрической системы для собственного потребления

5.1.3 Подключение до низковольтного ГРЩ

В этой конфигурации ФЭ установка подключена до главного распределительного щита. Возможная конфигурация - подключить все фотоэлектрические инверторы и энергетическую сеть к распределительному щиту, который питает ГРЩ низкого напряжения электрической установки. Другая альтернатива (особенно, когда энергосеть и местные источники располагаются в отдалении друг от друга) заключается в том, чтобы подключить один выход фотоэлектрической системы к энергетической сети, прежде чем питать электрическую установку.

Это соединение перед главным распределительным щитом низкого напряжения используется в зданиях, где производственная мощность фотоэлектрического оборудования превышает потребление нагрузки, на которую рассчитана электрическая установка. В этом случае подключение фотоэлектрической системы к вторичному или главному распределительному щиту приведет к перегрузке существующей электрической инфраструктуры и потребует ее модификации, например, замены кабелей, распределительных щитов и защитного оборудования. Подключение до главного распределительного щита является наилучшим вариантом, не требующим каких-либо модификаций главного распределительного щита низкого напряжения.

Основным преимуществом такой архитектуры является ее способность интегрировать крупномасштабное фотоэлектрическое производство без воздействия на существующую инфраструктуру электроустановок. Может использоваться как для собственного потребления, так и для экспорта избытка выработанной фотоэлектрической энергии в сеть. Недостатком может являться необходимость в использовании дополнительного распределительного щита для сбора всех источников, так как это приведет к потенциальному увеличению стоимости системы.

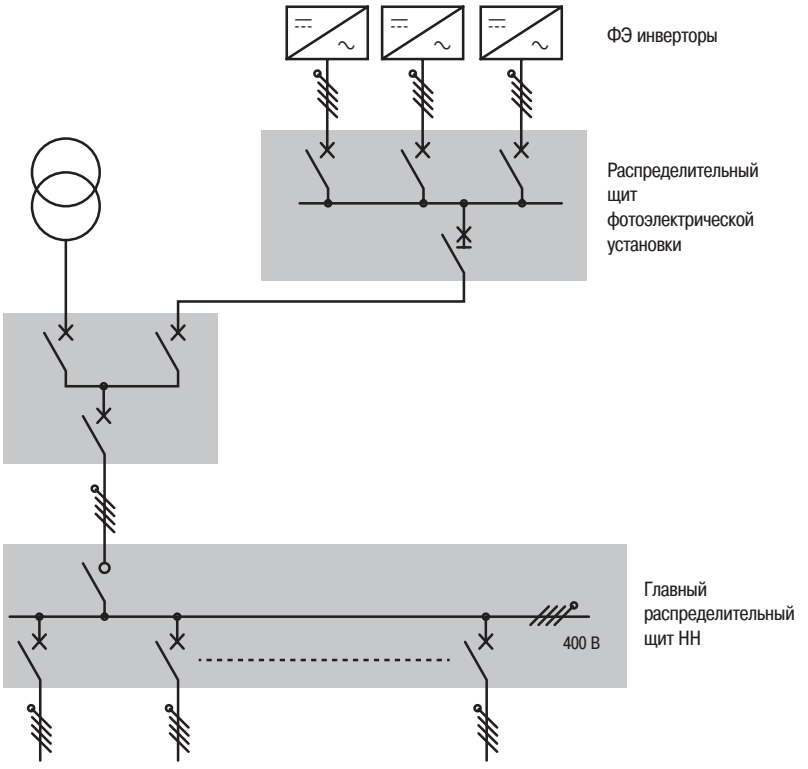


Рис. P34. Фотоэлектрическая установка подключена до ГРЩ

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Архитектура фотоэлектрической системы для собственного потребления

5.1.4 Подключение к системе СН

Подключение к стороне среднего напряжения электроустановки встречается крайне редко, поскольку производство фотоэлектрических систем и нагрузки на электроустановки находятся в географической близости.

Подключение среднего напряжения для локального производства фотоэлектрических систем потребует дополнительных затрат и будет менее энергоэффективным, за исключением случаев, когда фотоэлектрическая система находится далеко от нагрузок и питает важные производственные мощности.

5.2 Эксплуатация электроустановок с местным производством фотоэлектрической энергии

5.2.1 Нормальные условия эксплуатации

Режимы работы

В нормальных условиях эксплуатации электроустановки с фотоэлектрическим производством для собственного потребления характеризуются двумя режимами работы:

■ Электроустановка работает от сети только при отсутствии производства фотоэлектрической энергии (например, ночью)

ФЭ установка также может быть отключена через свое защитное устройство (опционально).

■ Электрическая установка постоянно работает как от сети, так и от фотоэлектрической установки, даже при наличии фотоэлектрической энергии. Форма выходного сигнала ФЭ инвертора(ов) синхронизируется с напряжением и частотой сети. Эта функция обеспечивается встроенным управлением ФЭ инвертора(ов).

Вырабатываемая фотоэлектрическая мощность поступает на нагрузку, поскольку электричество имеет приоритет в направлении наименьшего сопротивления. Следовательно, нет необходимости в специальном оборудовании, перенаправляющем поток электронов.

Управление избыточным производством фотоэлектрической энергии

В случае, когда производство ФЭ энергии превышает потребности мгновенного потребления электрической установки, может быть принята одна из следующих стратегий управления:

■ Ввод избыточной мощности в сеть, где она потребляется другими пользователями.

Вводимая мощность может быть оплачена по оптовой цене электроэнергии или по другому тарифу, либо может не предоставляться вообще, в зависимости от договоренности с поставщиком энергии.

■ Ограничение производства фотоэлектрической энергии - некоторые поставщики энергии не разрешают ввод избыточной мощности фотоэлектрической сети в сеть, или разрешают ее ввод в ограниченном объеме.

■ Использование аккумуляторов

■ Разделение избытка энергии с сообществом или с частной электрической сетью, если это разрешено местным законодательством.

Генерируемые помехи

Фотоэлектрические системы создают некоторые ограниченные помехи в электрической установке, возникающие в основном из-за работы фотоэлектрических преобразователей.

Такими помехами являются:

■ Гармоники: как и большинство электронного оборудования, фотоэлектрические инверторы генерируют гармоники. Уровень гармоник определяется производителями фотоэлектрических систем, как правило, они меньше 3% THDI.

■ Постоянный ток утечки: при возникновении замыкания на землю на стороне постоянного тока, подача постоянного тока утечки на стороне переменного тока установки зависит от изоляции между сторонами постоянного тока и переменного тока фотоэлектрической системы:

□ Гальваническая развязка между стороной постоянного и переменного тока ФЭ установки гарантирует, что токи утечки постоянного тока не будут проходить со стороны переменного тока.

□ Если гальваническая развязка между стороной постоянного и переменного тока отсутствует, на стороне переменного тока установки может присутствовать остаточный постоянный ток, и его следует исключить, если только инвертор PV не предназначен для предотвращения, ограничения или избегания такой ситуации.

Если для электрической установки требуется установка УЗО цепи переменного тока, его тип (AC, A или B) следует выбирать в зависимости от тока утечки, который может присутствовать в данной цепи. Изготовитель фотоэлектрических инверторов обычно указывает максимальную утечку постоянного тока и тип УЗО, который должен использоваться с этим инвертором.

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Архитектура фотоэлектрической системы для собственного потребления

5.2.2 Условия возникновения неисправности

Потеря подключения к сети

В установках, работающих только с подключением к сети, в случае потери электроснабжения фотоэлектрические инверторы автоматически отключаются. Они не предназначены для обеспечения резервного питания при отключении электроэнергии.

Неисправность внутри электроустановки

При возникновении неисправности внутри электроустановки ток короткого замыкания протекает от энергосети к месту неисправности. Фотоэлектрические инверторы также вносят свой вклад в отказ, подпитывая его максимальным током, который обычно не превышает двухкратного номинального тока ФЭ инвертора (максимальное значение тока короткого замыкания предоставляется производителем ФЭ инвертора).
Электрические неисправности в установках с фотоэлектрическими системами для собственного потребления локализованы и изолированы посредством защиты от перегрузки по току, в связи с чем отсутствует необходимость в применении специальных защитных функций или устройств.
Наличие фотоэлектрических преобразователей не влияет на защиту от замыкания на землю на стороне переменного тока установки.
Фотоэлектрические преобразователи и сторона постоянного тока должны иметь защиту от замыкания на землю в соответствии с МЭК 712.421.101.

5.3 Требования к архитектуре и оборудованию

При работе только с сетевым подключением фотоэлектрические системы, используемые для собственного потребления, просто подключаются к распределительному щиту электрической установки.
Контурные конфигурации, используемые для увеличения доступности энергии в установках с несколькими источниками, не приносят никакой пользы, поскольку инверторы фотоэлектрической установки прекращают работу в случае потери электроснабжения.

Автоматическая передача операций

Как было описано в предыдущем разделе, фотоэлектрические инверторы работают параллельно с сетью. Передача операций из одного источника в другой отсутствует, поэтому автоматический перевод для установок, работающих только с подключением к сети, не требуется.

Заземление

Поскольку фотоэлектрическая система для собственного потребления является частью электрической установки, схема заземления электрической установки применяется также к стороне переменного тока инвертора ФЭ. Если инвертор ФЭ имеет распределенную нейтраль, то его подключают к той же точке заземления, что и нейтраль трансформатора. Запрещается создание двух контуров заземления внутри одного здания, так как между ними могут циркулировать токи.
Заземление остается без изменений, так как установка получает питание от сети.

Что касается стороны постоянного тока ФЭ инвертора(ов), существует два варианта:
- наличие гальванической развязки между стороной постоянного тока и стороной переменного тока ФЭ системы: заземление на стороне постоянного тока не зависит от системы заземления электрической установки переменного тока
- отсутствие гальванической развязки (наиболее распространенный случай): заземление системы постоянного тока должно соответствовать заземлению электрической установки переменного тока.

Взаимосвязь с сетью

В случае потери электроснабжения установки, производящие электроэнергию, должны гарантировать, что они не будут подавать ее в сеть в целях обеспечения безопасности коммунальных работников.
Для установок с производством ФЭ, работающим только с сетью, эта функция безопасности может быть обеспечена с помощью:
- ФЭ инвертора(ов) - большинство фотоэлектрических инверторов имеют встроенную антиизолирующую защиту, которая отключает фотоэлектрический инвертор в случае отключения электроэнергии. Наличие этой защиты и ее соответствие стандарту обеспечивается производителем фотоэлектрических установок
- специального защитного устройства, установленного на фидерах местных источников или электроустановки снабжающей организации.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Архитектура фотоэлектрической системы для собственного потребления

Защита от обратной мощности

Защита от обратной мощности для фотоэлектрических инверторов не требуется, поскольку они являются однонаправленными устройствами и не пропускают обратный ток.
Защита от обратной мощности может потребоваться в случае присутствия других локальных источников, таких как дизель-генераторы, где подача тока обратно к генератору может привести к его выходу из строя.
При нормальных условиях эксплуатации защита от протекания обратной мощности для предотвращения подачи энергии в сеть обычно не требуется, эта функция обеспечивается за счет контроля местных источников.

5.4 Рекомендации по определению размеров

Установки с производством фотоэлектрической энергии для собственного потребления (даже те, которые работают только при подключении к сети) предъявляют особые требования к расчету потока нагрузки, размещению и выбору защитных устройств, а также к размеру оборудования.

Ток нагрузки и токи короткого замыкания

Установки с производством фотоэлектрической энергии для собственного потребления характеризуются как минимум двумя режимами работы (питание от сети и питание от сети и источников фотоэлектрической энергии). Токи нагрузки и короткого замыкания должны оцениваться для каждого режима работы, а компоненты и оборудование электроустановки должны иметь размеры, удовлетворяющие требованиям при наихудших случаях работы электроустановки.
Если в электроустановке присутствует аккумулятор, при расчете тока нагрузки и токов короткого замыкания его следует учитывать дважды: как нагрузку (при зарядке) в первый раз и как источник (разряд) – во второй.

Размеры распределительного щита

В установках с одним источником размеры распределительных щитов зависят от максимального тока, потребляемого нагрузкой на выходе.
Если распределительный щит питается от двух или более источников, его размер должен зависеть от максимального значения пропускаемого тока:
- ток, потребляемый нагрузкой
- ток, получаемый из местных источников

Сечение кабеля

Максимально допустимая токовая нагрузка кабелей должна быть выше, чем максимальный ожидаемый ток, который следует рассчитывать для каждой рабочей конфигурации электроустановки.

Размер трансформатора

В установках с одним источником электроэнергии размеры трансформаторов зависят от установленной мощности нагрузки.
В установках с производством фотоэлектрической энергии для собственного потребления, где возможен ввод в сеть произведенной фотоэлектрической энергии, размеры трансформатора должны приниматься в соответствии с установленной мощностью локальных источников.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Архитектура фотоэлектрической системы для собственного потребления

Расположение автоматического выключателя

Когда один инвертор подключен к распределительному щиту электроустановки, автоматический выключатель должен быть установлен ниже и подключен к кабелю, соединяющему фотоэлектрический инвертор с распределительным щитом, с целью изоляции электрических неисправностей или перегрузок, возникающих на фотоэлектрическом фидере.
В случае, когда несколько фотоэлектрических преобразователей перегруппированы в распределительный щит до момента соединения с электрической установкой, рекомендуется установка защитных устройств на обоих концах соединения между двумя распределительными щитами:

- задача нижестоящего выключателя (CB2) заключается в том, чтобы изолировать неисправности в соединении между фотоэлектрической системой и электрической установкой здания (в случае возникновения КЗ на линии C2 ток будет протекать по пути от электрической сети к месту повреждения. Отключение выключателя CB2 изолирует неисправность и позволит электрической установке, подключенной к сети, продолжить свою работу).

Должна быть обеспечена селективность между CB1 и CB2. В противном случае неисправность в фотоэлектрической установке может привести к отключению главного выключателя и прерыванию питания от сети.

- задача вышестоящего выключателя (CB3) заключается в том, чтобы изолировать электрические неисправности на фотоэлектрическом (ФЭ) щите. Должна быть обеспечена селективность между нижним и верхним выключателем на фидере ФЭ.

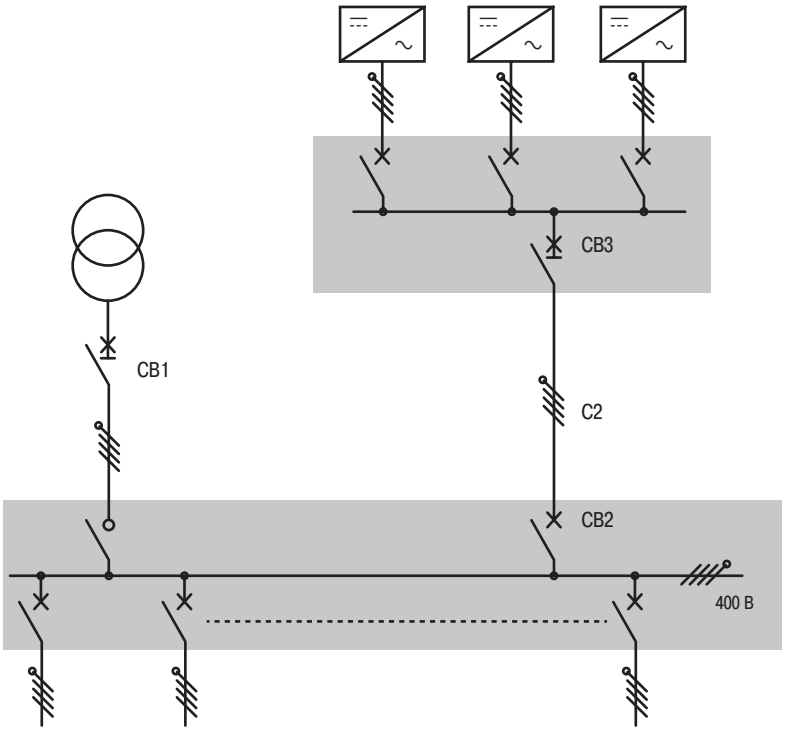


Рис. P35. Расположение автоматических выключателей

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

6 Мониторинг

Вне зависимости от размеров и использования фотоэлектрической установки, главная цель системы мониторинга – контролировать параметры фотоэлектрической энергии, оценивать производительность фотоэлектрической системы, обнаруживать дрейфы или неисправности и немедленно уведомлять обо всех отклонениях от нормы. В данном разделе представлены архитектура и требования к мониторингу.

6.1 Фотоэлектрические установки для коммерческих и промышленных зданий

Мониторинг фотоэлектрической системы

В фотоэлектрических установках, предназначенных для экспорта в сеть, система мониторинга обеспечивает:

- Измерение произведенной фотоэлектрической энергии и расчет ее экономического эффекта на ежедневной и ежемесячной основе.
- Оценку эффективности фотоэлектрической системы (обнаружение снижения коэффициента полезного действия и выявление его потенциальных причин, например, температуры, наличия грязи или скопления пыли на поверхности фотоэлектрической панели, потерь в проводке, состояния и работы инвертора).

Архитектура мониторинга основана на регистраторе данных, который в основном оснащается последовательным портом RS232/485 для связи с инверторами, используя Modbus или собственный протокол. Сбор данных осуществляется с помощью опроса, который производится в среднем каждые 10 минут. Данные могут храниться локально в регистраторе данных в течение короткого периода времени или передаваться на внешний сервер, который может хранить данные в течение многих лет.

Регистратор данных также может быть оборудован вспомогательными входами, такими как аналоговые входы для контроля датчиков температуры, цифровой вход для контроля состояния оборудования и / или импульсный вход для подключения к счетчику энергии.

После завершения локального сбора выходных данных и оповещений система отправляет их в удаленную систему мониторинга, где дополнительно могут быть предоставлены облачные приложения, аналитика или сервисы.

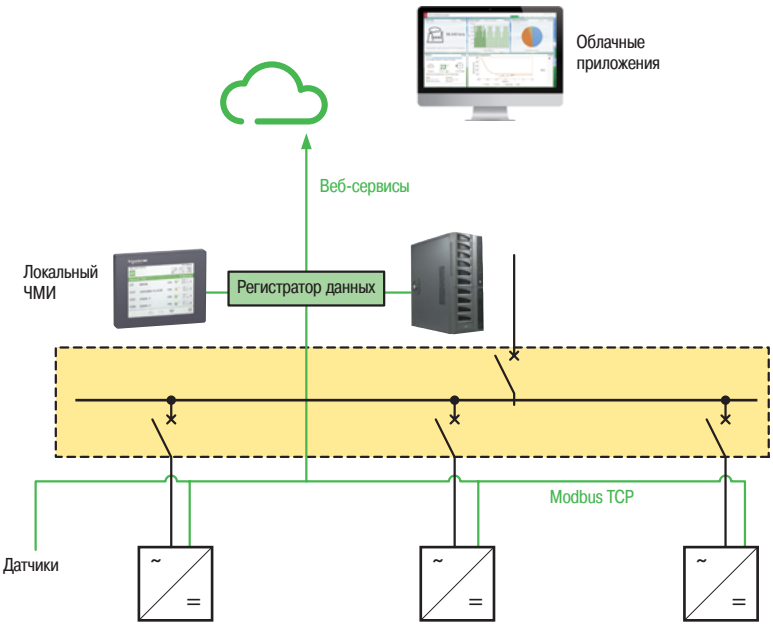


Рис. P36. Система мониторинга для коммерческих фотоэлектрических установок

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

6 Мониторинг

Требования к самостоятельному потреблению

В случае самостоятельного потребления произведенная фотоэлектрическая энергия потребляется нагрузками здания. Избыток производства ФЭ (если таковой имеется) обычно вводится в сеть. Чтобы понять, как используется энергия и как ее можно оптимизировать, необходимо придерживаться ключевых показателей эффективности, таких как:

- % использования произведенной ФЭ энергии (само-потребление против экспорта сетки)
- Коэффициент собственного потребления
- Коэффициент собственного производства
- Анализ тенденций производства фотоэлектрической энергии в зависимости от потребления здания

Система мониторинга должна объединять данные как по производству фотоэлектрических систем, так и по потреблению в зданиях. Система мониторинга может представлять собой систему управления зданием или специализированную систему управления питанием, интегрирующую мониторинг производства фотоэлектрической энергии.

6.2 Электростанции общего назначения

Системы для электростанций коммунальных предприятий мощностью от 500 кВт и выше могут контролировать всю установку от точки ввода до точки подключения к распределительной сети. Эти системы основаны на системе SCADA (супервизорное управление и сбор данных), которая обеспечивает многосайтовый мониторинг, измерения постоянного и переменного тока, дистанционное управление моторизованным оборудованием, интеллектуальное оповещение, генерацию отчетов, индикацию производительности и другие возможности, такие как глубокий анализ.

Эти системы также включают другое оборудование для более эффективной эксплуатации площадки, например, метеостанцию (датчики температуры, ветра и дождя), датчики освещенности, контроллер установки, поддерживающий связь с оператором энергосистемы для адаптации производства площадки к изменению энергосистемы (напряжение, коэффициент мощности), а также счетчики коммерческого учета, расположенные близко к точке подключения.

Эти SCADA-системы могут быть локальными и / или удаленными, с возможностями резервирования и высокой производительностью обработки данных.

Установки такого типа, как правило, поставляются с сервисным контрактом на управление и обслуживание, который часто включает в себя обеспечение требуемых рабочих характеристик, таких как производительность и коэффициент полезного действия.

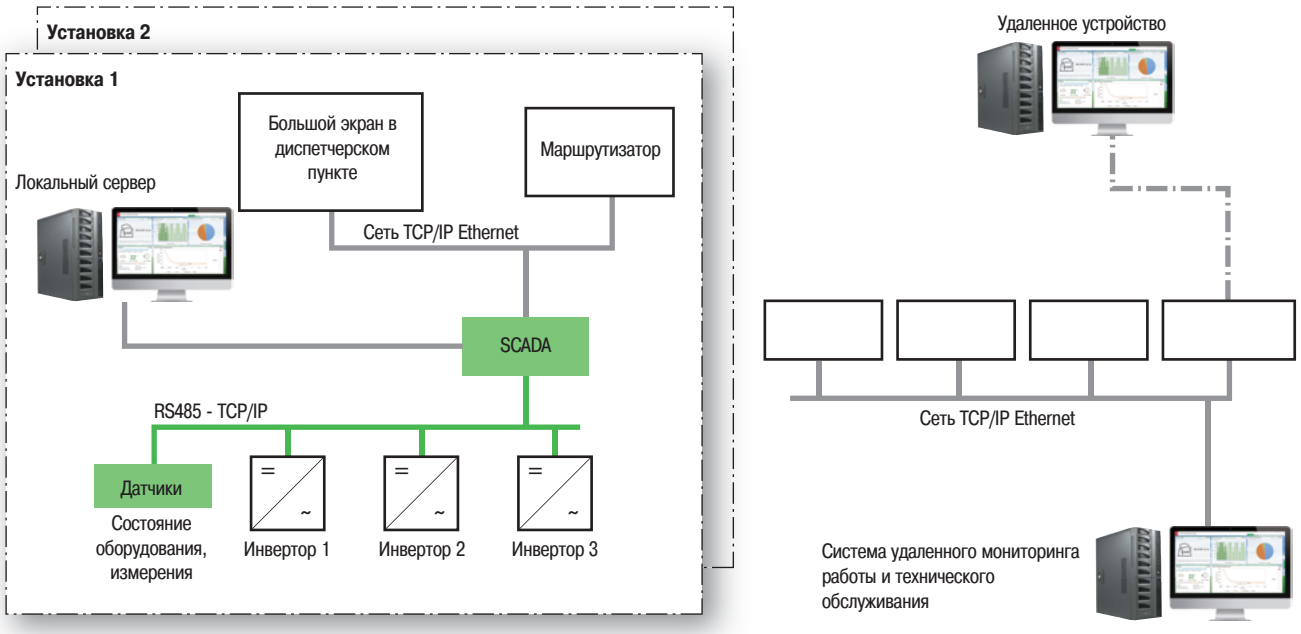


Рис. P37. Пример системы дистанционного мониторинга, используемой на электростанциях коммунальных предприятий

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

Глава Q

Жилые и особые помещения

1 Жилые помещения и коттеджи Q2

1.1 Общие положения ... Q2
1.2 Элементы распределительных щитов ... Q2
1.3 Защита людей ... Q4
1.4 Силовые цепи ... Q6
1.5 Защита от перенапряжений и грозовых разрядов ... Q7
1.6 Периодический контроль электроустановок жилых помещений ... Q8
1.7 Требования и рекомендации для разных типов помещений: Кухня ... Q9
1.8 Требования и рекомендации для разных типов помещений: Гостиная ... Q10

2 Ванные и душевые комнаты Q11

2.1 Классификация зон ... Q11
2.2 Требования, предусмотренные для каждой зоны ... Q13
2.3 Уравнивание потенциалов ... Q13

3 Требования к устройству электроустановок для специальных помещений и зон Q14

© Schneider Electric – все права защищены

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Жилые помещения и коттеджи

Жилые помещения предъявляют к электроустановкам высокие требования по безопасности и надёжности.

1.1 Общие положения

Стандарты

В большинстве стран правила устройства (проектирования и монтажа) электроустановок для жилых и сходных с ними помещений регулируются региональными стандартами и нормами, обязательными для соблюдения. Соответствующим международным стандартом является МЭК 60364.

В сетях общего пользования нейтральная точка обмотки низкого напряжения понижающего распределительного трансформатора обычно заземляется.
Все установки низкого напряжения должны быть защищены УЗО. Все открытые проводящие части должны быть соединены друг с другом и заземлены.

Электрическая сеть

В подавляющем большинстве сетей общего пользования нейтральная точка обмотки низкого напряжения понижающего распределительного трансформатора заземляется.

В силу этого, защита людей от поражения электрическим током строится на принципе, описанном в главе F. Принимаемые меры зависят от того, какая система заземления используется: TT, TN или IT.

Для установок, заземлённых по системам TT и IT, необходимы устройства защитного отключения (УЗО). В установках, заземлённых по схеме TN, мгновенные расцепители при КЗ или устройства защитного отключения (УЗО) могут обеспечивать защиту от косвенного прикосновения. Для того, чтобы защитить гибкие выводы за пределами фиксированных розеток и обеспечить защиту от пожаров электрического происхождения, следует устанавливать высокочувствительные УЗО. Также рекомендуется использовать УЗДП (устройства защиты при дуговом пробое), чтобы еще больше расширить область, защищенную от риска возгорания (см. главу F, §9.3).

Качество электрооборудования, используемого в жилых помещениях, обычно гарантируется знаком соответствия, расположенным на передней части каждого устройства.

1.2 Элементы распределительных щитов

(см. **рис. Q1**)

В распределительных щитах (в жилых помещениях, как правило, бывает только один из них) обычно ставится счётчик(и), а в некоторых случаях (особенно когда организациями электроснабжения подписывается применение схемы заземления TT и/или ставятся тарифные условия, ограничивающие максимально допустимый потребляемый ток) – дифференциальный автоматический выключатель-ограничитель, который отключает питание при повышенном токе. Абонент электросети обладает свободным доступом к этому выключателю.

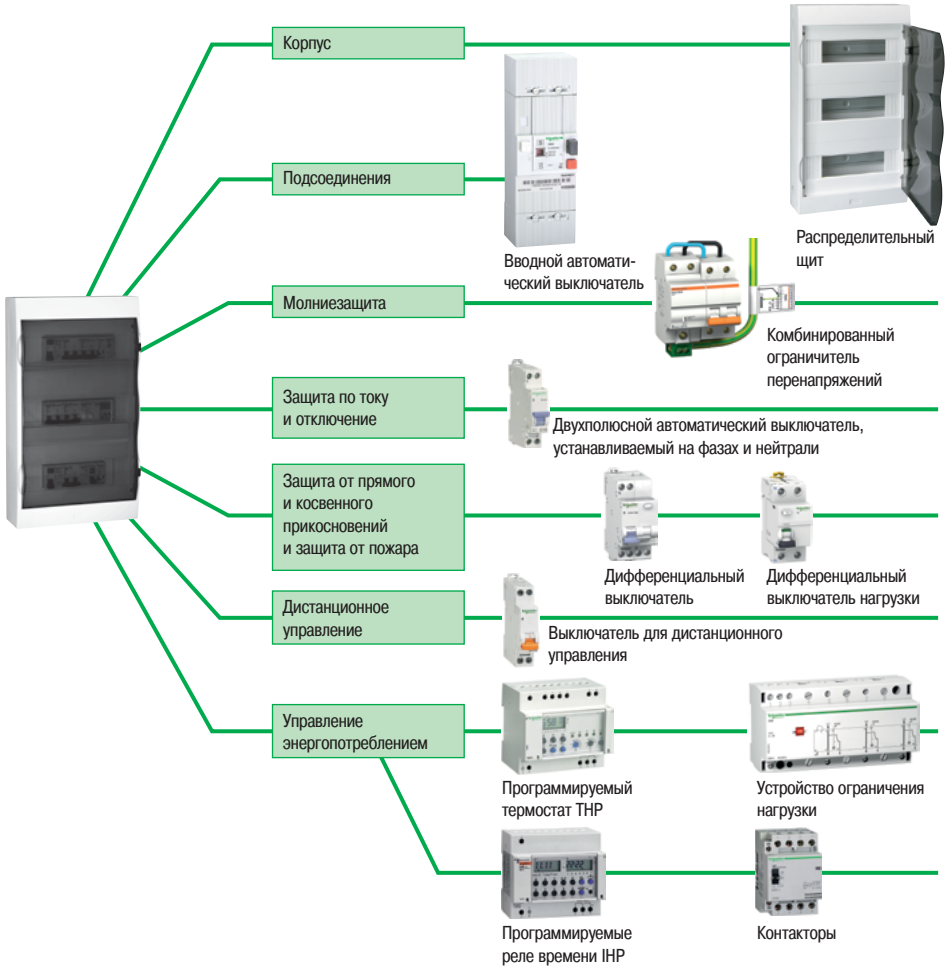


Рис. Q1. Функции, реализуемые в абонентском щитке

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Жилые помещения и коттеджи

Рис. Q3. Вводной автоматический выключатель

Рис. Q4. Контрольно-распределительный щит

Установки, заземлённые по системе TN, поставщик электроэнергии обычно защищает с помощью герметичных плавких предохранителей, включаемых в цепь непосредственно перед входными зажимами счётчика (счётчиков) (см. **рис. Q2**). У абонента нет доступа к этим предохранителям.

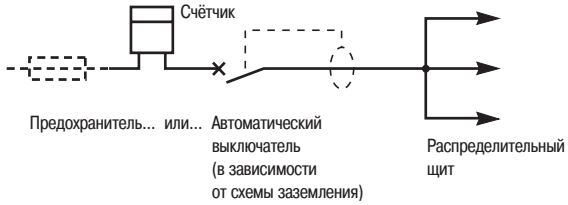


Рис. Q2. Компоненты контрольно-распределительного щита

Вводной автоматический выключатель

(см. **рис. Q3**)

Потребителю разрешается, при необходимости, включать/отключать этот выключатель (например, повторно включать его, если потребляемый ток превысил допустимый предел, и отключать его в аварийных ситуациях или для отключения силовых цепей).

Для систем заземления TT номинальный ток нулевой последовательности вводного автоматического выключателя должен быть адаптирован к максимальному сопротивлению заземляющего электрода:

- Например, если полное сопротивление заземления не превышает 100 Ом, номинальный ток нулевой последовательности вводного автоматического выключателя не должен превышать 500 мА: Idn = 50 В / 100 Ом = 500 мА
- В некоторых странах номинальный ток нулевой последовательности вводного автоматического выключателя составляет 300 мА. В этом случае сопротивление заземляющего электрода должно быть меньше, чем R = 50 В / 300 мА = 166 Ом.
- На практике, сопротивление заземляющего электрода любой новой установки должно быть менее 80 Ом (R / 2).

Контрольно-распределительный щит (блок потребителя)

(см. **рис. Q4**)

В щит входят:

- панель для монтажа автоматического выключателя электропитания и другого дополнительного контрольного оборудования (при необходимости);
- распределительная панель для крепления модульных автоматических выключателей, блоков предохранителей и т.д.
- монтажные материалы для крепления неподвижных проводников, рейки для крепления автоматических выключателей, основания предохранителей, нулевая и заземляющая шины и т.д.;
- кабельные лотки или каналы, проложенные по поверхности или в кабельных желобах, вмонтированных в стену.

Примечание: чтобы в будущем в систему было легче вносить изменения, все соответствующие документы (фотографии, схемы, графики и т. п.) рекомендуется держать в доступном месте, близком к распределительному щиту.

Щит должен устанавливаться на такой высоте, чтобы рукоятки приборов, шкалы и индикаторы счётчиков были на расстоянии 1-1,8 м от пола (для людей с физическими недостатками или пожилых людей – на расстоянии 1,3 м от пола).

Ограничители перенапряжений

В установках низкого напряжения, содержащих чувствительное (например, электронное) оборудование, настоятельно рекомендуется применять ограничители перенапряжений, включаемые в питающую цепь системы.

Эти устройства должны автоматически отключаться от системы в случае замыкания или защищаться автоматическим выключателем. В случае жилых помещений использование дифференциального автоматического выключателя на 300 мА типа S (т.е. с небольшой выдержкой времени) обеспечит эффективную защиту от замыкания на землю, и в то же время такой выключатель не будет без надобности отключаться каждый раз, когда срабатывает ограничитель перенапряжений.

Сопротивление заземляющего электрода

В случае если сопротивление заземления превышает 80 Ом, надо установить одно или несколько устройств защиты (УЗО) номиналом 30 мА.

Если при системе заземления TT величину сопротивления заземляющего электрода в 80 Ом достичь не удаётся, надо установить УЗО номиналом 30 мА, чтобы обеспечить защиту от замыканий на землю.

© Schneider Electric – все права защищены

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Жилые помещения и коттеджи

При использовании системы заземления типа TT соответствующие стандарты для обеспечения защиты людей предписывают применение УЗО.

1.3 Защита людей

В системах с заземлением типа TT защита людей обеспечивается следующими мерами:

■ Защита от опасности косвенного прикосновения устройствами защитного отключения (УЗО) (см. **рис. Q5**) средней чувствительности (300 мА) на вводе установки (входящими в состав вводного автоматического выключателя или питающей линии распределительного щита). У абонента должно быть установлено заземляющее устройство, к которому необходимо подсоединять защитные заземляющие провода PE от открытых проводящих частей всех электроприборов и электрооборудования с классом изоляции I, а также от заземляющих контактов всех розеток.

■ Если автоматический выключатель на вводе не включает УЗО, то для обеспечения безопасности людей все оборудование и цепи должны иметь класс изоляции II (на участке сети от ввода до первого УЗО). Если корпус распределительного щита металлический, то все части, находящиеся под напряжением, должны иметь двойную изоляцию (путём применения дополнительных зазоров или изоляции, использования крышек), а проводка должна быть надёжно закреплена.

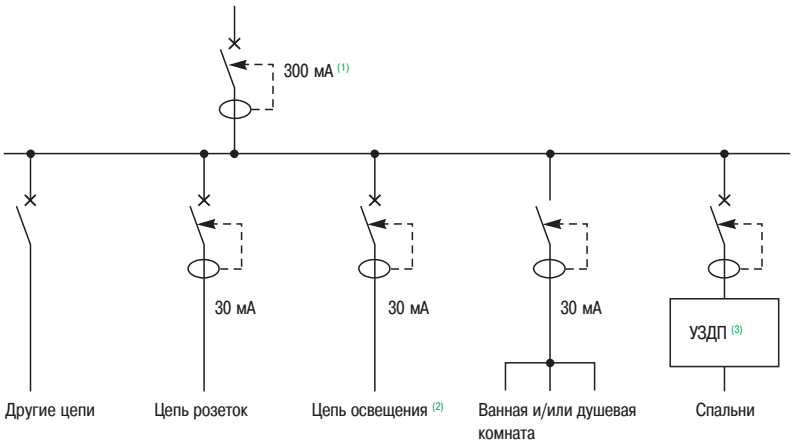
В **системах TN** защита от неисправностей обеспечивается следующими способами:

■ Защита от сбоев обеспечивается автоматическим выключателем, установленным на вводе.

■ Данная мера связана с установленным потребителем заземляющим электродом, к которому должен быть подключен защитный заземляющий провод (PE) от открытых проводящих частей всех изолированных приборов и оборудования класса I.

Для **всех систем заземления**:

■ обязательная защита с помощью высокочувствительных УЗО 30 мА для розеток и цепей, питающих ванную. В соответствии с недавним нововведением МЭК 60364 также необходимо использовать УЗО 30 мА для осветительных цепей.



(1) УЗО необходимо устанавливать для защиты от замыканий в системах TT. В системе TN используется автоматический выключатель.
(2) В соответствии с недавним нововведением МЭК 60364, установка УЗО 30 мА является обязательной для цепей освещения
(3) См. главу F, раздел 9.3, содержащую информацию об устройствах обнаружения дугового пробоя

Рис. Q5. Требования МЭК 60364 по защите людей

Вводный автоматический выключатель с модулем УЗО мгновенного действия

В этом случае:

■ пробой изоляции на землю может привести к отключению всей установки;

■ если в системе установлен ограничитель перенапряжений, его срабатывание (т.е. отвод импульса перенапряжения в землю) может быть воспринято УЗО как замыкание на землю, вследствие чего оно отключит установку.

Оборудование, рекомендуемое компанией Schneider Electric:

■ Вводный автоматический выключатель со встроенным УЗО на 300 мА.

■ В цепях питания розеток – УЗО на 30 мА (к примеру, дифференциальный автоматический выключатель 1P + N типа DPN N Vigi).

■ В цепях питания ванных, душевых, помещений для стирки (освещение, отопление, розетки) – УЗО на 30 мА (к примеру, дифференциальный выключатель нагрузки типа ID).

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Жилые помещения и коттеджи

Вводный автоматический выключатель с модулем УЗО, имеющим выдержку времени (типа S)

Этот тип автоматического выключателя защищает от замыкания на землю, но благодаря небольшой выдержке времени позволяет сработать нижестоящим УЗО, оставаясь при этом во включенном состоянии. Таким образом, в случаях грозовых разрядов или при других перенапряжениях отключение вводного автоматического выключателя такого типа и его последствия (к примеру, размораживание холодильника) становятся менее вероятными. Ток разряда на землю через ограничитель перенапряжений не вызовет отключение выключателя типа S.

Оборудование, рекомендуемое компанией Schneider Electric (см. **рис. Q6**):

- Вводный автоматический выключатель с модулем УЗО на 300 мА типа S.
- В цепях питания стиральных и посудомоечных машин – УЗО на 30 мА (к примеру, дифференциальный автоматический выключатель 1P + N типа Vigi).
- В цепях питания ванных, душевых, помещений для стирки (освещение, отопление, розетки) – УЗО на 30 мА (к примеру, дифференциальный выключатель нагрузки типа ID clic).

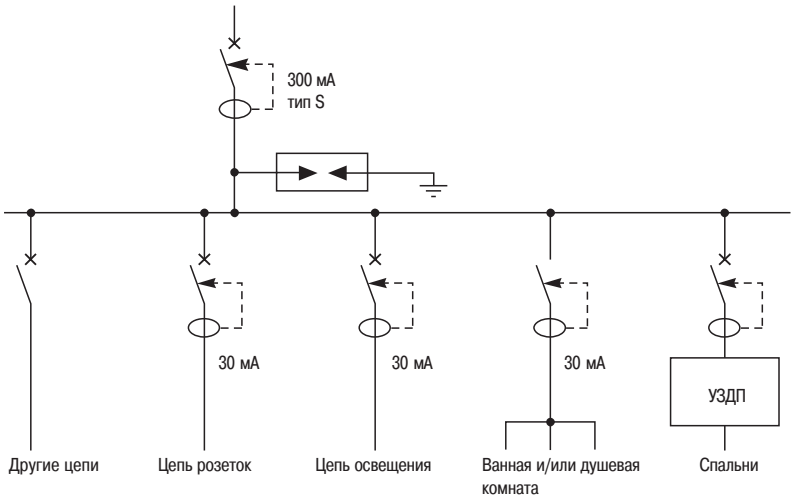


Рис. Q6. Установка с вводным автоматическим выключателем, в состав которого входит модуль УЗО с небольшой выдержкой времени (тип S)

Вводный автоматический выключатель без УЗО

В этом случае безопасность людей должна обеспечиваться:

- изоляцией класса II всех цепей до выходных зажимов УЗО;
- всех выходных цепей распределительного щита с помощью УЗО номиналом 30 мА или 300 мА в зависимости от типа соответствующих цепей, как описано в главе F.

Если ограничитель перенапряжений включается в сеть перед распределительным щитом (для защиты чувствительного электронного оборудования, такого как микропроцессорная техника, видеомагнитофоны, телевизоры, электронные кассовые аппараты и т. п.), то в случае его отказа (который случается редко, но всегда возможен) это устройство обязательно должно автоматически отключаться от установки. В некоторых устройствах применяются заменяемые плавкие предохранители. Однако, рекомендуемый метод, как показано на **рис. Q7** (поз. 2) – использование автоматического выключателя.

Оборудование, рекомендуемое компанией Schneider Electric:

На **рис. Q7** цифрами обозначены:

1. Вводный автоматический выключатель без УЗО
2. Автоматическое отключающее устройство (если установлен ограничитель перенапряжений)
3. В каждой цепи, питающей одну или более розеток, – УЗО номиналом 30 мА (к примеру, дифференциальный автоматический выключатель 1P + N типа Vigi)
4. В цепях питания ванных, душевых, помещений для стирки и т.п. (освещение, отопление, розетки) УЗО номиналом 30 мА (к примеру, дифференциальный выключатель нагрузки типа ID) или дифференциальный автоматический выключатель на 30 мА на каждой цепи
5. Во всех остальных цепях – УЗО на 300 мА (к примеру, дифференциальный выключатель нагрузки)

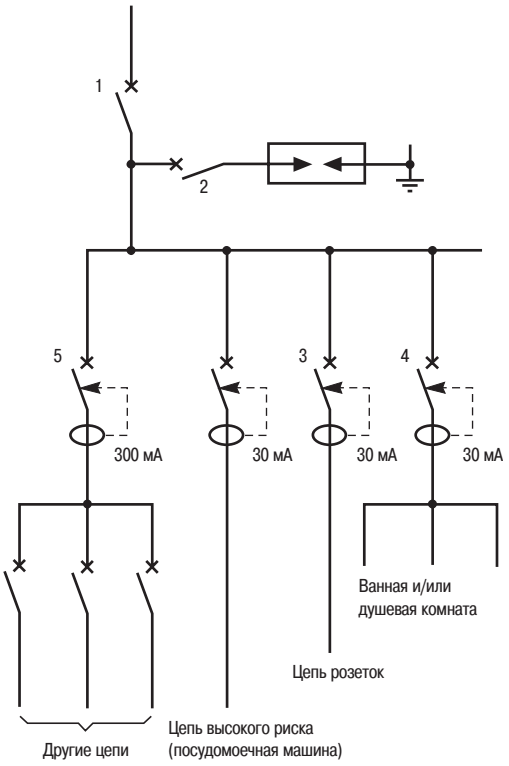


Рис. Q7. Система с вводным автоматическим выключателем без УЗО

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Жилые помещения и коттеджи

Распределение и разделение цепей обеспечивает удобство в работе и облегчает выявление места замыкания.

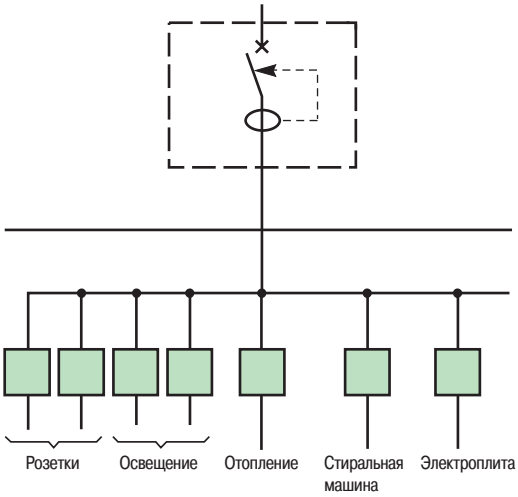


Рис. Q8. Подразделение цепей по типу использования

МЭК и большинство внутренних стандартов различных стран требуют включение защитного провода во все силовые цепи.

1.4 Силовые цепи

Разделение на типы

Внутренние стандарты различных стран повсеместно рекомендуют разделять силовые цепи в соответствии с типом нагрузки (см. **рис. Q8**):

- не менее одной цепи освещения; от каждой цепи может быть запитано несколько комнат общей площадью не более 50 м^2;
- не менее одной цепи номиналом 16 А; каждая цепь питает разумное количество последовательно подключенных розеток в соответствии с используемой площадью поперечного сечения проводки (1,5 мм^2 или 2,5 мм^2), длины проводки (падения напряжения) и влияния повышения температуры в зависимости от количества предполагаемых используемых нагрузок.
- одна выделенная цепь для каждого бытового прибора, такого как водонагреватель, стиральная машина, посудомоечная машина, электроплита, холодильник и т. п. На **рис. Q9** приведено рекомендуемое количество розеток (10/16 А или подобных) и стационарных точек освещения в соответствии с назначением соответствующих комнат жилого помещения
- одна выделенная цепь для каждого устройства с высокой нагрузкой, такого как стиральная машина, посудомоечная машина, плита и т. д. Водонагреватели и стационарные нагреватели должны быть подключены клеммами (не розетками или разъемами).

На **рис. Q9** приведено рекомендуемое количество розеток и стационарных точек освещения в соответствии с назначением соответствующих комнат жилого помещения.

Назначение комнаты	Наибольшее кол-во неподвижных точек освещения	Наименьшее кол-во розеток на 10/16 А
Жилая комната	1	5
Спальня, комната отдыха, кабинет, столовая	1	3
Кухня	2	4 (1)
Ванная, душевая	2	1 или 2
Прихожая, кладовая	1	1
Туалет, складское помещение	1	-
Помещение для стирки	-	1

(1) 2 из них – над рабочей поверхностью, а одна – для специальной цепи: дополнительно устанавливаются отдельная розетка на 16 или 20 А для плиты и соединительная коробка или розетка для специальной цепи на 32 А.

Рис. Q9. Рекомендуемое минимальное количество точек освещения и точек электропитания в жилых помещениях

Защитные провода

МЭК и большинство внутренних стандартов различных стран требуют наличие в каждой цепи защитного проводника. Это особенно рекомендуется при использовании бытовых приборов и оборудования, с классом изоляции I, что бывает чаще всего.

При вводе системы в эксплуатацию защитные проводники должны соединять заземляющий контакт в каждой из розеток и клеммы заземления оборудования класса I с главной заземляющей шиной на вводе установки.

Кроме того, контактные отверстия розеток на 10/16 А (или подобного номинала) должны быть снабжены защитными шторками.

Сечение проводников (см. **рис. Q10**)

Сечение проводников и максимально допустимый ток соответствующего защитного устройства зависят от величины тока цепи, температуры среды, типа электроустановки и влияния соседних цепей (см. главу G).

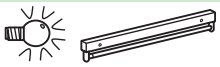
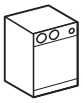
Кроме того, проводники фазных проводов, нулевого провода и защитных проводов каждой конкретной цепи должны все быть равного сечения (1) (если эти проводники изготавливаются из одинакового материала, т.е. все из меди или все из алюминия).

(1) Здесь мы говорим о бытовых приборах, где используемый защитный PE-проводник является изолированным отдельным проводником или жилой многожильного проводника. В этом случае PE-проводник должен иметь сечение фазных проводников.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Жилые помещения и коттеджи

На **рис. Q10** приведено сечение проводников для повсеместно используемых бытовых приборов. Защитные устройства типа «1 фаза + N» соответствуют требованиям по отключению, а также по сечению подключаемых проводников.

Тип цепи: однофазная, 230 В 1 фаза + N или 1 фаза + N + PE	**Сечение проводников**	**Максимальная мощность**	**Защитное устройство**
Стационарный источник света 	1,5 мм^2 (2,5 мм^2)	2300 Вт	Авт, выключатель 16 А Предохранитель 10 А
10/16 А	2,5 мм^2 (4 мм^2)	4600 Вт	Авт, выключатель 25 А Предохранитель 20 А
Цепи с индивидуальной нагрузкой Водонагреватель	2,5 мм^2 (4 мм^2)	4600 Вт	Авт, выключатель 25 А Предохранитель 20 А
Посудомоечная машина 	2,5 мм^2 (4 мм^2)	4600 Вт	Авт, выключатель 25 А Предохранитель 20 А
Стиральная машина	2,5 мм^2 (4 мм^2)	4600 Вт	Авт, выключатель 25 А Предохранитель 20 А
Электроплита (1)	6 мм^2 (10 мм^2)	7300 Вт	Авт, выключатель 40 А Предохранитель 32 А
Электрический обогреватель	1,5 мм^2 (2,5 мм^2)	2300 Вт	Авт, выключатель 16 А Предохранитель 10 А

(1) В трёхфазной цепи напряжением 230/400 В сечение медных проводников равно 4 мм^2, а алюминиевых – 6 мм^2. Защита обеспечивается автоматическим выключателем на 32 А или предохранителями на 25 А.

Рис. Q10. Сечение проводников и номинальный ток защитных устройств в домашних электроустановках (в скобках указано сечение алюминиевых проводников)

1.5 Защита от перенапряжений и грозовых разрядов

Выбор ограничителя перенапряжений описан в главе J.

Правила

Необходимо соблюдать три основных правила:

1 - Для установки ограничителя перенапряжений надо обязательно применять три отдельных провода, каждый длиной не более 50 см:
- провод, подсоединяемый к автоматическому выключателю и находящийся под напряжением;
- провод от автоматического выключателя к ограничителю перенапряжений;
- провод от ограничителя перенапряжений к заземляющей шине главного распределительного щита (не путать с главным заземляющим проводником электроустановки). Заземляющая шина главного распределительного щита должна находиться в том же шкафу, что и ограничитель перенапряжений.

2 - Необходимо использовать выключатель того типа, который рекомендует производитель ограничителя.

3 - Для обеспечения бесперебойности электроснабжения рекомендуется устанавливать автоматический выключатель с выдержкой времени.

Q7

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Жилые помещения и коттеджи

1.6 Периодический контроль электроустановок жилых помещений

§ 6.5.2 стандарта МЭК 60364-6: 2016 рекомендует проводить периодические проверки электроустановок для жилых помещений раз в 10 лет.

Стандарт МЭК 60364 рекомендует проводить периодическую проверку электроустановок

Опасность поражения электрическим током в новых жилых зданиях регулируется строительными нормами и правилами (СНиП), а также стандартами продукции. Уровень безопасности старых зданий часто не удовлетворяет существующим стандартам.
МЭК 60364-6 рекомендует проводить периодическую проверку электроустановок жилых помещений. Проведение периодических проверок позволяет получить информацию об условиях работы электроустановки и об уровне безопасности дома в целом.

Почему необходимо осуществлять периодические проверки в жилых помещениях

Существующие электроустановки могут быть опасны вследствие:
- Изменения требований стандартов безопасности в последующие годы после постройки объекта
- Старения электропроводки и изоляционного материала, ослабления соединений или поломки деталей (например, шторок в розетках)
- Изменения количества потребляемой электроэнергии вследствие изменения количества жильцов, а также самостоятельного внесения изменений в распределительный щит жильцами, как правило, не являющимися квалифицированными электриками

Обычно могут возникать следующие ситуации, представляющие опасность:
- Отсутствие защитного заземляющего проводника (PE) в жилых помещениях
- Отсутствие устройства защиты от поражения электрическим током на вводе установки
- Несоответствие устройств защиты от сверхтоков сечению используемого проводника
- Отсутствие высокочувствительного устройства защитного отключения (УЗО 30 мА) в ванных комнатах, в цепях освещения жилых помещений и в цепях питания розеток до 32 А
- Наличие поврежденных розеток или розеток без заземляющего проводника
- Неправильное использование удлинителей, приводящее к перегрузве розеточных цепей
- Использование поврежденного и устаревшего электрооборудования

Что необходимо проверить?

Пункт	Проверка безопасности	Обоснование	Примеры
1	Наличие коммутационного устройства на вводе	Для отключения всей установки в случае возникновения аварийной ситуации	Разъединитель, автоматический выключатель, УЗО со встроенной защитой от сверхтоков
2	Наличие устройств защиты от сверхтоков, принятым в соответствии с сечением проводников в распределительном щите	Для обеспечения защиты от перегрузки и короткого замыкания	Автоматические выключатели или предохранители
3	Наличие защитного заземляющего проводника и устройства автоматического отключения питания, принятым в соответствии с сопротивлением земли	Для обеспечения защиты от поражения электрическим током при возникновении неисправности	Желто-зеленый заземляющий провод PE, автоматический выключатель (система TN), УЗО средней чувствительности (система TT)
4	Наличие устройств защитного отключения высокой чувствительности для розеток и наружного оборудования	Для обеспечения дополнительной защиты от поражения электрическим током	Высокочувствительное устройство защитного отключения (например, УЗО 30 мА)
5	Наличие заземляющего провода PE и УЗО высокой чувствительности для помещений, содержащих ванну или душ	Особые меры, необходимые для защиты от поражения электрическим током в помещениях с высокой влажностью	Желто-зеленый проводник, УЗО 30 мА
6	Отсутствие риска прямого контакта вследствие наличия старых, поврежденных или перегретых электрических устройств или проводников	Старые электрические устройства (выключатели, розетки, клеммные колодки) или проводники, не имеющие механической защиты, создают риск поражения электрическим током	Визуальный осмотр распределительного щита, розеток, выключателей, проводников

Рис. Q11. Пример рекомендуемых проверок для жилых помещений

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Жилые помещения и коттеджи

1.7 Требования и рекомендации для разных типов помещений: Кухня

Безопасное подключение светильников

Стационарные светильники предпочтительно должны подключаться с помощью штепсельного разъема (DCL: устройство для подключения патрона лампы). Разъем DCL будет подключен к стационарной проводке, к которому, в свою очередь, будет подключен светильник. Такой способ позволит легко и безопасно заменить светильник.

Выделенные схемы

Варочные панели, плиты и микроволновые печи могут давать большую нагрузку на сеть. В большинстве случаев для устройств с высоким потреблением используют выделенные разъемы и розеточные группы, либо фиксированные розетки, соединенные клеммами в соответствии с национальными правилами или стандартами.

Количество розеток

Розетки для кухонных приборов должны располагаться в местах предполагаемого использования техники (кофемашины, тостера, чайника и т. д.). Поскольку это практическая необходимость для всех пользователей, в некоторых странах существуют национальные требования к их количеству и местоположению.

Зарядная станция

Для стационарных установок доступны зарядные устройства USB. Преимущество будет иметь одно зарядное устройство в выделенном месте для всех ваших устройств,таких как телефон, планшет и т. д. Кухня может быть удобным местом для размещения зарядного устройства USB.

Рис. Q12. Пример рекомендации – устройства для монтажа на кухне (обратитесь к местным стандартам для выяснения фактических требований)

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Жилые помещения и коттеджи

1.8 Требования и рекомендации для разных типов помещений: Гостиная

Рабочий уголок

В современном доме рабочее место нередко является частью гостиной. Типичные устройства, которым необходимо питание: монитор(ы), компьютер, маршрутизатор, принтер и т. д.

Это следует учитывать при проектировании и заранее предусматривать установку дополнительных розеток, чтобы в будущем избегать использования удлинителей и отдавать приоритет постоянному соединению.

Диммеры

Регулирование яркости является важным фактором создания атмосферы для разных случаев.

Диммеры рекомендуется устанавливать с разделением на зоны, где свет должен регулироваться независимо.

Датчик движения / присутствия

Для управления освещением удобно использовать датчики движения или присутствия, особенно в залах или на лестницах.

Мультимедиа уголок

Розетки должны располагаться с учетом того, что расстановка мебели в гостиной может быть разной, и впоследствии может возникнуть потребность в перепланировке пространства.

Как бы то ни было, мультимедиа уголок будет иметь одно фиксированное местоположение, где необходимо будет подключить несколько устройств (например, телевизор, декодер, записывающее устройство и т. д.). Это следует учитывать при проектировании и заранее предусматривать установку дополнительных розеток, чтобы в будущем избегать использования удлинителей и отдавать приоритет постоянному соединению.

Энергоэффективность

Гостиная часто является самой большой комнатой в доме, имеющей потенциально важное значение при рассмотрении вопросов энергоэффективности.

Электронные термостаты позволяют регулировать потребление энергии, контролируя температуру в соответствии с временем суток (день или ночь) и временем года (лето или зима). Установка термостатов должна планироваться в соответствии с конкретными потребностями.

Рис. Q13. Пример рекомендации - устройства для установки в гостиной (обратитесь к местным стандартам для выяснения фактических требований)

© Schneider Electric – все права защищены

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Ванные и душевые комнаты

Поскольку человеческое тело при его увлажнении или погружении в воду обладает очень низким сопротивлением, ванные и душевые комнаты являются помещениями с повышенной опасностью. В силу этого, для данных помещений предусмотрены серьёзные меры предосторожности и действуют более строгие правила, чем для большинства других помещений.
Данная область регулируется стандартом МЭК 60364-7-701 (ГОСТ Р 50571.7.701-2013).

Требуемые к соблюдению предосторожности базируются на трёх принципах:

- Разграничение на зоны, обозначаемые как зоны 0, 1 и 2, в которых размещение и демонтаж какого-либо электрооборудования строго ограничены или запрещены, а если разрешены, то для этого предусматриваются меры электрической или механической защиты.
- Обеспечение уравнивания потенциалов всех открытых проводящих частей и металлических частей неэлектрического назначения в соответствующих зонах.
- Строгое соблюдение требований, предусматриваемых для каждой из зон, приведенных в пункте 3.

2.1 Классификация зон

Разграничение на зоны 0, 1 и 2 определено в подпункте 701.30 стандарта МЭК 60364-7-701 (ГОСТ Р 50571.7.701-2013) и представлено на **рис. Q14-Q18**. Для получения более подробной информации обратитесь к стандарту.

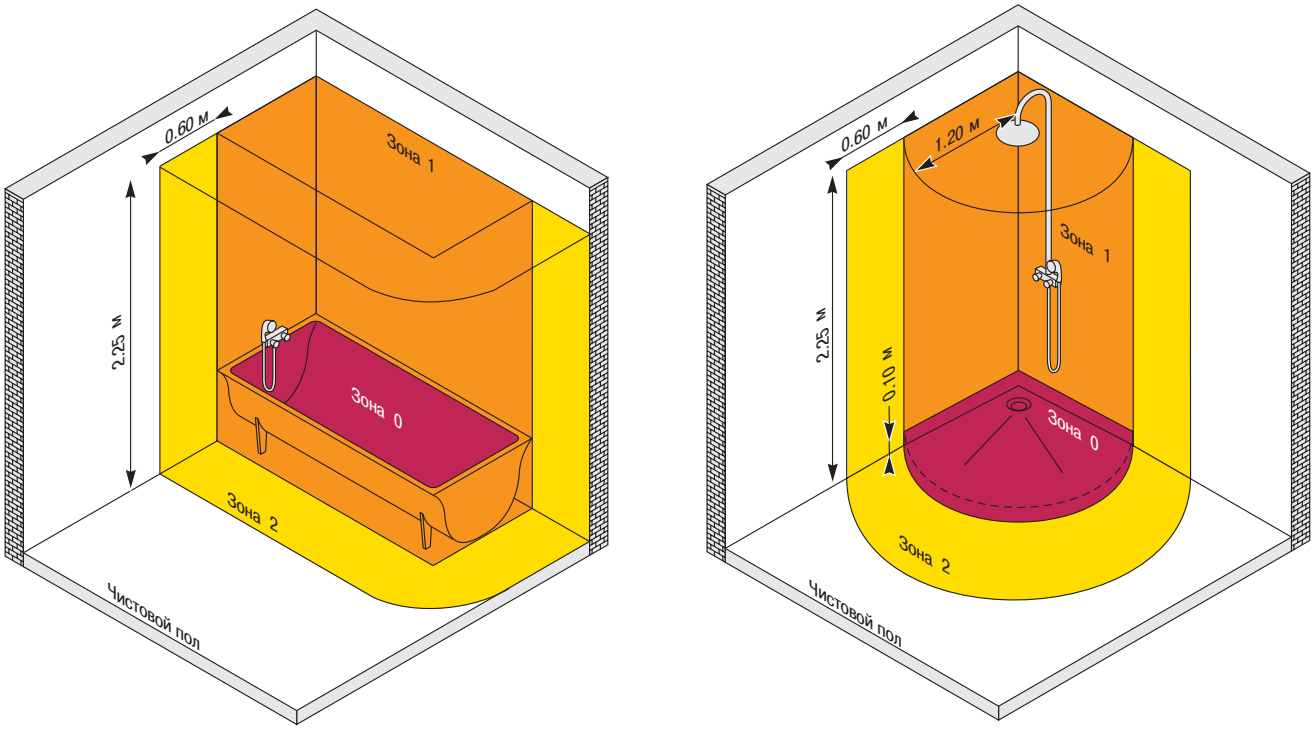
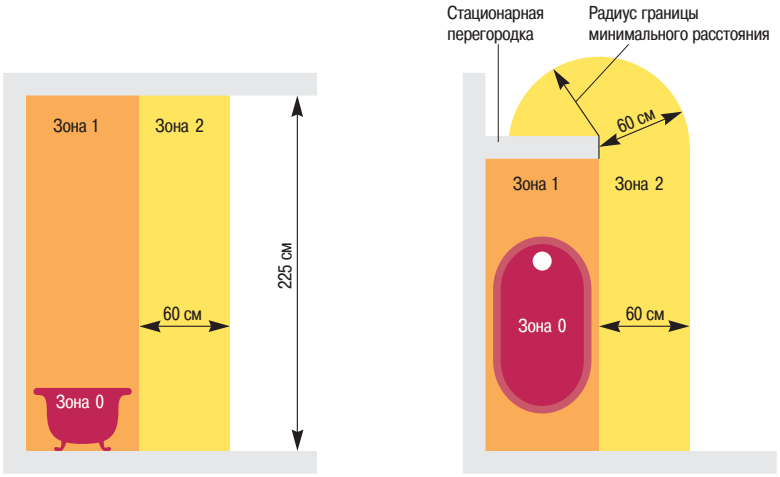


Рис. Q14. Разграничение на зоны 0, 1 и 2

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

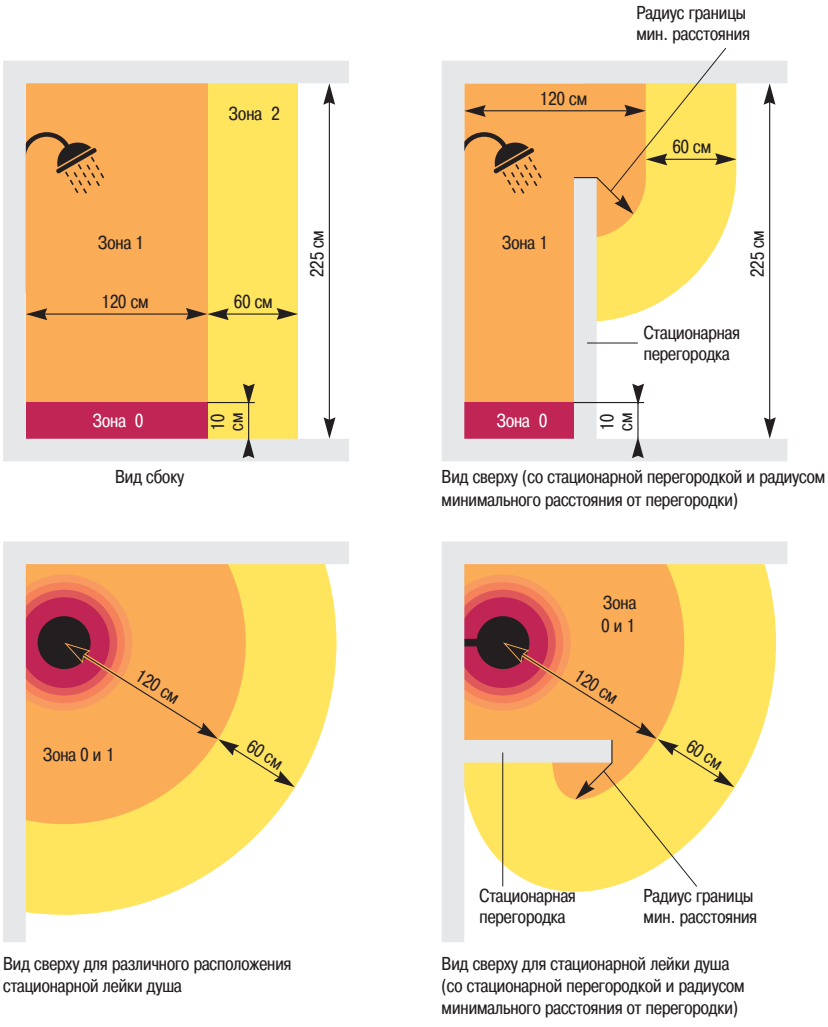
2 Ванные и душевые комнаты



Вид сбоку, ванна

Вид сверху (со стационарной перегородкой и радиусом минимального расстояния от перегородки)

Рис. Q15. Размеры зон 0, 1 и 2 в помещениях, содержащих ванну или душ с поддоном



Вид сбоку

Вид сверху (со стационарной перегородкой и радиусом минимального расстояния от перегородки)

Вид сверху для различного расположения стационарной лейки душа

Вид сверху для стационарной лейки душа (со стационарной перегородкой и радиусом минимального расстояния от перегородки)

Рис. Q16. Размеры зон 0, 1 и 2 в помещениях, содержащих душ без поддона

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Ванные и душевые комнаты

2.2 Требования, предусмотренные для каждой зоны

Стандарт МЭК 60364-7-701 (ГОСТ Р 50571.7.701-2013) предусматривает особые требования для различных зон, определенных в §2.1, применимых к оборудованию, распределительным цепям и т. д.

Ниже представлен краткий обзор требований для каждой зоны:

Зона	Требуемая степень защиты IP
Зона 0	IPX7
Зона 1	IPX4 (1)
Зона 2	IPX4

(1) IPX5 для душевых кабин с горизонтальными струями воды

Рис. Q17. Требования, предъявляемые к степени защиты IP в каждой зоне

Тип оборудования	Зона 0	Зона 1	Зона 2	За пределами зон 0-2
Требуемая степень защиты IP	IPX7	IPX4 (1)	IPX4	стандартная
Проводка	–	только для питания цепей, разрешенных в этой зоне	только для питания цепей, разрешенных в этой зоне	ОК
Распределительные коробки	–	–	–	ОК
Розетка	–	–	–	ОК (3)
Блок питания бритвы (от 20 до 50 ВА)	–	–	ОК	ОК
Выключатель	–	БСНН ⩽ 12 В (2)	БСНН ⩽ 12 В (2)	ОК
Разделительный трансформатор для цепи БСНН	–	–	–	ОК
Светильник	БСНН ⩽ 12 В (2)	БСНН ⩽ 12 В (2)	Класс II	Класс I
Обогреватель, полотенцесушитель	–	–	Класс II	Класс I
Водонагреватель	–	расположен горизонтально и на максимально возможной высоте	прямое кабельное соединение, без соединительной коробки	ОК
Стиральная машина, сушилка	–	–	–	ОК

Клетки с серым фоном указывают, что использование такого оборудования запрещено в этой зоне.
(1) Электрооборудование для водоструйных систем, например, для санитарной очистки общественных бань, должно иметь степень защиты не менее IPX5.
(2) Разделительный трансформатор цепи должен быть установлен вне зон 0-2
(3) За пределами зон 0-2 все цепи должны быть защищены УЗО 30 мА (или разделительным трансформатором БСНН, применение системы ЗСНН в России не разрешается)

Рис. Q18. Краткий обзор требований для ванных и душевых комнат

2.3 Уравнивание потенциалов (см. рис. Q19)

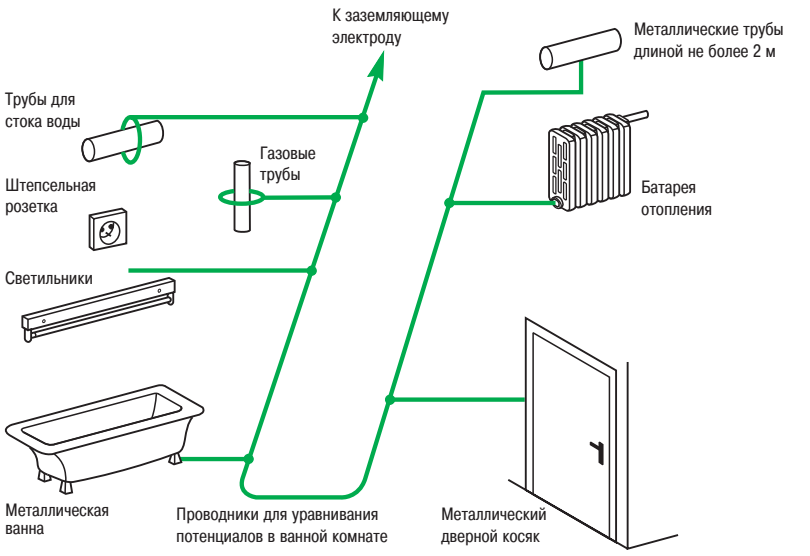


Рис. Q19. Дополнительное уравнивание потенциалов в ванной

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Требования к устройству электроустановок для специальных помещений и зон

Стандарты МЭК 60364-7-7xx (часть 7 МЭК 60364) детализируют обязательные «Требования для специальных установок или мест». Эти требования дополняют, изменяют или заменяют некоторые общие требования других частей МЭК 60364.
Эти части должны применяться в совокупности с другими частями МЭК 60364: если пункт не упоминается в части 7, это означает, что на него распространяются требования общей части МЭК 60364.

Ниже приведен список существующих стандартов (часть 7 МЭК 60364):

МЭК 60364-7-701	Помещения для ванных и душевых
МЭК 60364-7-702	Бассейны и фонтаны
МЭК 60364-7-703	Помещения, содержащие нагреватели для саун
МЭК 60364-7-704	Электроустановки строительных площадок
МЭК 60364-7-705	Сельскохозяйственные и садовые участки
МЭК 60364-7-706	Проводящие помещения с ограниченной возможностью передвижения
МЭК 60364-7-708	Стоянки для автоприцепов, кемпинги и аналогичные места
МЭК 60364-7-709	Пристани и аналогичные места
МЭК 60364-7-710	Медицинские помещения
МЭК 60364-7-711	Выставки, показы и стенды
МЭК 60364-7-712	Системы питания с использованием фотоэлектрических (ФЭ) солнечных батарей
МЭК 60364-7-713	Мебель
МЭК 60364-7-714	Наружные осветительные установки
МЭК 60364-7-715	Осветительные установки сверхнизкого напряжения
МЭК 60364-7-717	Подвижные или транспортируемые агрегаты
МЭК 60364-7-718	Общественные помещения и рабочие места
МЭК 60364-7-721	Электрические установки в жилых прицепах и автоприцепах
МЭК 60364-7-722	Электроснабжение электромобилей
МЭК 60364-7-729	Проходы для проведения работ и техобслуживания
МЭК 60364-7-740	Временные электрические установки для сооружений, устройств для развлечений и павильонов на ярмарках, в парках развлечений и цирках
МЭК 60364-7-753	Нагревательные кабели и встроенные системы отопления

Конкретные требования в этих стандартах могут включать некоторые из перечисленных:
- Наличие дополнительного уравнивания потенциалов
- Зоны, где запрещено устанавливать электрические приборы
- Зоны с дополнительными требованиями к электрическим приборам, которые могут быть установлены (класс II)
- Зоны, где могут использоваться только определенные цепи (БСНН)
- Обязательная защита некоторых цепей УЗО 30 мА
- Дополнительная защита от пожара
- Требования к месту установки некоторого оборудования (высота между x и y)

В качестве примера см. Раздел 2 «Ванная комната и душевые», основанный на стандарте МЭК 60364-7-701.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

Глава R

Рекомендации по обеспечению электромагнитной совместимости

1 Схемы распределения электроэнергии R2

2 Принципы исполнения систем заземления R3

3 Конструктивное исполнение R5

3.1 Эквипотенциальные соединения внутри и вне зданий ... R5
3.2 Улучшение условий эквипотенциальности ... R5
3.3 Разделение кабелей ... R7
3.4 Фальшполы ... R7
3.5 Прокладка кабелей ... R8
3.6 Шинопроводы ... R11
3.7 Применение экранированных кабелей ... R11
3.8 Сети связи ... R13
3.9 Внедрение ограничителей перенапряжения (ОПН) ... R15
3.10 Разводка кабелей в шкафах ... R15
3.11 Стандарты ... R18
3.12 Защита от статического электричества ... R18

4 Механизмы электромагнитной связи и меры противодействия R20

4.1 Общие положения ... R20
4.2 Гальваническая (кондуктивная) связь ... R21
4.3 Емкостная связь ... R22
4.4 Индуктивная связь ... R23
4.5 Связь посредством излучения ... R24

5 Рекомендации по электропроводке R26

5.1 Классы сигналов ... R26
5.2 Рекомендации по прокладке кабелей ... R26

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Схемы распределения электроэнергии

Для обеспечения безопасности жизни людей и сохранности имущества необходимо правильно выбрать систему заземления. При этом необходимо учитывать влияние различных элементов электроустановки с точки зрения обеспечения электромагнитной совместимости. На **рис. R1** представлены сводные основные характеристики.

Европейские стандарты (см. EN 50174-2, EN 50310 и HD 60364-4-444) рекомендуют систему заземления TN-S (нулевой рабочий и нулевой защитный проводник работают раздельно по всей системе), которая создает наименьшее количество проблем с обеспечением электромагнитной совместимости для электроустановок, содержащих оборудование для обработки информации и телекоммуникационное оборудование.

	TT	TN-S	IT	TN-C
Степень безопасности людей	Хорошая (применение УЗО обязательно)	Хорошая Должна быть обеспечена непрерывность PE-проводника в пределах электроустановки		
Степень сохранности имущества	Хорошая	Недостаточная	Хорошая	Недостаточная
	Средняя величина токов короткого замыкания (менее нескольких десятков ампер)	Большой ток короткого замыкания (около 1 кА)	Низкий ток первого КЗ (менее нескольких десятков миллиампер), но большой ток второго КЗ	Большой ток короткого замыкания (около 1 кА)
Эксплуатационная готовность	Хорошая	Хорошая	Высокая	Хорошая
Степень электромагнитной совместимости	Хорошая - опасность перенапряжений - проблемы уравнивания потенциалов - необходимость управления устройствами с большими токами утечки	Отличная - отсутствие серьезных проблем уравнивания потенциалов - необходимость управления устройствами с большими токами утечки - большие токи короткого замыкания (помехи вследствие переходных процессов)	Недостаточная (следует избегать) - опасность перенапряжений - обычные фильтры и ограничители перенапряжений должны выдерживать межфазные напряжения - при наличии в сетиконденсаторов УЗО подвержены ложным срабатываниям - эквивалентна системе TN для случая второго замыкания	Недостаточная (запрещается использовать) - общий нулевой рабочий и защитный (PE) проводник - циркуляция токов в открытых проводящих частях (наличие электромагнитных помех) - большие токи короткого замыкания (помехи из-за переходных процессов)

Рис. R1. Основные характеристики различных систем заземления

Когда электроустановка включает в себя оборудование большой мощности (электродвигатели, системы кондиционирования, лифтовое оборудование, элементы силовой электроники и др.), то рекомендуется установить для таких электроустановок один или несколько специальных трансформаторов. Электрическая распределительная сеть должна быть организована соединением звезда, и все исходящие цепи должны выйти из главного распределительного щита низкого напряжения (ГРЩ).

Электронные системы (управления / контроля, регулирования, измерения и др.) должны питаться от специального трансформатора с системой заземления TN-S.

Эти рекомендации иллюстрируются ниже на **рис. R2**.

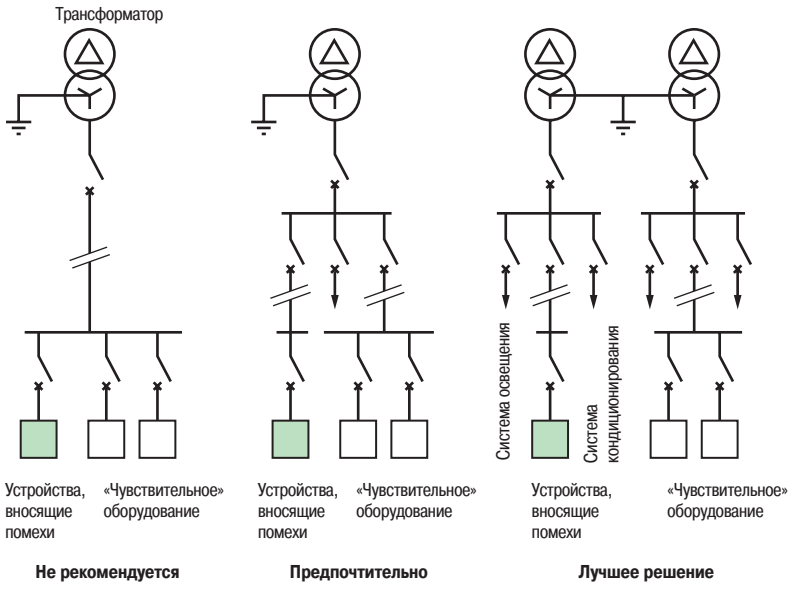


Рис. R2. Рекомендации по разделению цепей

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Принципы исполнения систем заземления

В данном разделе рассмотрены вопросы заземления и эквипотенциального соединения устройств обработки информации и других аналогичных устройств, электрически связанных между собой, для обмена сигналами.

Системы заземления предназначены для выполнения ряда функций. Они могут быть независимыми или действовать вместе, чтобы обеспечить следующее:

- защиту людей от поражения электрическим током;
- защиту оборудования от повреждения электрическим током;
- нулевую точку отсчета потенциала для слаботочных сигналов;
- требуемый уровень электромагнитной совместимости.

Система заземления обычно проектируется и устанавливается с целью обеспечения низкого сопротивления, способного отводить токи короткого замыкания и высокочастотные токи от электронных устройств и систем. Существуют различные типы систем заземления, и для некоторых из них требуется соблюдение специальных условий. Эти условия не всегда выполняются в типовых электроустановках. Представленные в данном разделе рекомендации предназначены именно для таких электроустановок.

Правильно выполненная система заземления и уравнивания потенциалов значительно улучшает электромагнитную совместимость и обеспечивает:

- улучшенную электромагнитную совместимость компьтерных и иных систем;
- соблюдение основных требований по электромагнитной совместимости директивы от 2004/108/EC (излучение помех и устойчивость к помехам);
- возможность надежной работы различного электрооборудования;
- высокий уровень систем безопасности и контроля доступа, а также надежность и эксплуатационную готовность системы.

В настоящее время признано, что использование независимых заземлителей, каждый их которых обслуживает отдельную сеть заземления, не только неприемлемо с точки зрения обеспечения электромагнитной совместимости, но и представляет серьезную угрозу для безопасности. Действующие в некоторых странах строительные нормы и правила запрещают применение таких систем.

Использование отдельной «чистой» системы заземления для электронного оборудования и «грязной» системы заземления для силового оборудования не рекомендуется с точки зрения обеспечения требуемой электромагнитной совместимости, даже если используется один заземлитель (**рис. R3** и **рис. R4**). При разряде молнии в электроустановке возникнут высокочастотные возмущения, ток короткого замыкания и переходные токи. Возникшие в результате этого переходные напряжения приведут к повреждению или выходу электроустановки из строя. Если монтажные работы и работы по техническому обслуживанию проводятся должным образом, применение такого подхода допускается (для промышленной частоты 50 Гц), но обычно он неприемлем с точки зрения обеспечения электромагнитной совместимости и не рекомендуется для основного применения.

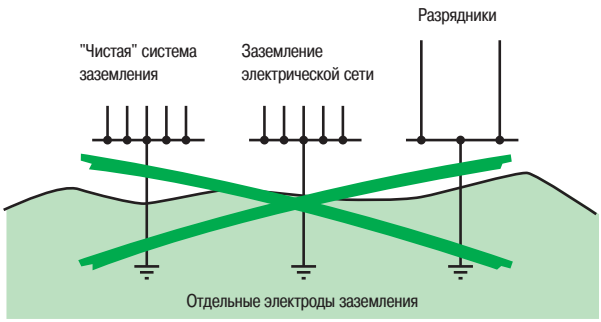


Рис. R3. Применение независимых заземляющих электродов обычно неприемлемо с точки зрения безопасности и обеспечения электромагнитной совместимости

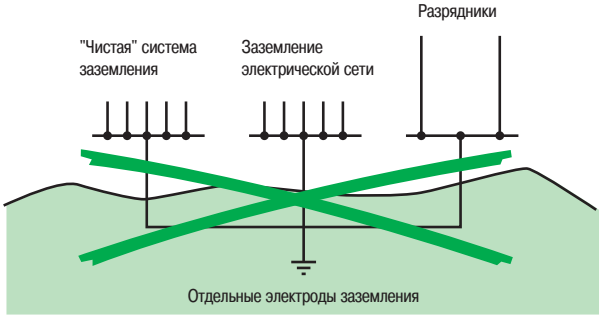


Рис. R4. Установка с одним заземляющим электродом

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Принципы исполнения систем заземления

Рекомендуемая конфигурация для сети заземления состоит из двух или трех электродов (**рис. R5**). Такой подход обеспечивает безопасность и электромагнитную совместимость. Это не исключает и другие конфигурации, которые допускаются, если гарантировано надлежащее обслуживание.

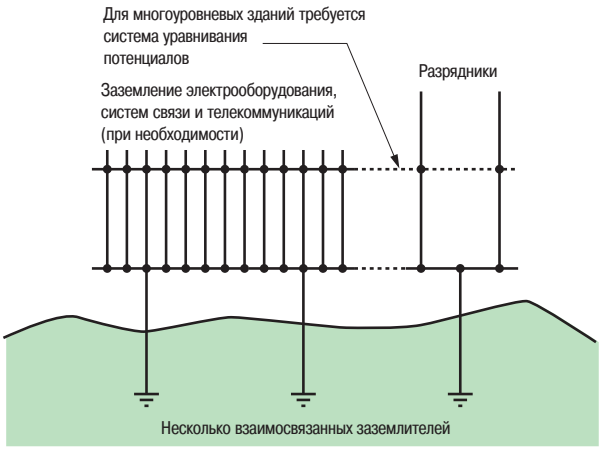


Рис. R5. Электроустановка с несколькими соединенными между собой заземляющими электродами

В типовой электроустановке для многоэтажного здания каждый этаж должен иметь собственную сеть заземления (обычно в виде сетки), и все сетки должны быть соединены между собой и присоединены к заземлителю. Для обеспечения защиты от обрыва одного из проводников, чтобы ни одна из секций сети заземления не оказалась отсоединенной, требуются не менее двух соединений (избыточное резервирование).

На практике для получения более равномерного распределения токов используется более двух соединений. Это сглаживает различия в потенциалах и общем сопротивлении между различными этажами здания.

Параллельные контуры тока имеют разные резонансные частоты. Если один из контуров имеет большое сопротивление, то он наверняка шунтируется другим контуром, имеющим другую резонансную частоту. В целом, в широком спектре частот (от десятков герц до мегагерц) наличие большого количества контуров приводит к системе с низким полным сопротивлением (**рис. R6**).

Каждое помещение в здании должно иметь проводники системы заземления для эквипотенциального соединения устройств, систем, кабелепроводов и конструкций. Эту систему можно усилить с помощью металлических труб, лотков, опор, подставок и др. В специальных случаях, например, в аппаратных серверных или в компьютерных помещениях, для выравнивания потенциалов при соединении устройств коммуникационными кабелями можно усилить существующую сеть заземления дополнительными заземляющими проводниками или шинами и создать специальную зону (**рис. R6**).

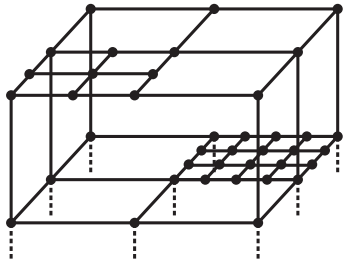


Рис. R6. Каждый этаж имеет свою сетку заземления, и эти сетки соединены между собой в нескольких точках. Некоторые сетки цокольного этажа усилены для создания специальной зоны

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Конструктивное исполнение

3.1 Эквипотенциальные соединения внутри и вне зданий

Основными целями заземления и эквипотенциального соединения являются:

■ Обеспечение электробезопасности
Посредством ограничения величины напряжения прикосновения и длины контура возврата токов короткого замыкания.

■ Обеспечение электромагнитной совместимости
Посредством устранения различий в потенциалах и использования эффекта экранирования.

В системе заземления неизбежно распространяются блуждающие токи. Невозможно устранить в электроустановке все источники помех. Также неизбежны замкнутые петли (контуры) заземления. Когда электроустановка оказывается под воздействием магнитного поля, например поля, созданного молнией, то в контурах, образованных различными проводниками, возникает разность потенциалов, а в системе заземления протекают токи. Поэтому система заземления оказывается под непосредственным влиянием любых внешних воздействий.

До тех пор пока эти токи протекают в системе заземления, а не в электронных цепях, они не наносят ущерб. Однако, если сети заземления не эквипотенциальны, например, когда они подсоединены к заземлителю «звездой» (т.е. радиально), то высокочастотные блуждающие токи будут протекать везде, где это возможно, в том числе в цепях управления. В результате возможны сбои в работе оборудования, оно может быть повреждено или даже уничтожено.

Единственным недорогим способом устранения токов в системе заземления и поддержания равенства потенциалов является соединение цепей заземления между собой. Это способствует уравниванию потенциалов в пределах системы заземления, но не устраняет необходимость применения защитных проводников. Для того чтобы удовлетворить установленные нормативными документами требования обеспечения электробезопасности людей между каждой единицей оборудования и клеммой заземления должны быть установлены защитные проводники достаточного сечения. Кроме того, за возможным исключением зданий со стальным каркасом, большое количество проводников, подключенных к ограничителям перенапряжений и устройствам системы молниезащиты, должно быть непосредственно присоединено к заземлителю.

Основное различие между защитным проводником PE и кабелем, отходящим от ограничителя перенапряжений, состоит в том, что по первому проводнику внутренние токи «возвращаются» в нейтраль понижающего трансформатора, в то время как по второму проводнику внешний ток (по отношению к рассматриваемой электроустановке) поступает на заземлитель.

В здании рекомендуется соединять сеть заземления со всеми доступными проводящими конструкциями, а именно металлическими балками, дверными коробками, трубами и др. Обычно достаточно соединить металлические кабель-каналы, кабельные лотки, трубы, вентиляционные трубопроводы в максимально возможном количестве точек. В местах, где установлено много оборудования, и размер ячеек сетки соединений превышает 4 метра, должен быть дополнительно проложен проводник для выравнивания потенциалов. Сечение и тип проводника особого значения не имеют.

Крайне важно соединить между собой сети заземления зданий, имеющих общие кабельные соединения. Соединение между собой сетей заземления должно выполняться с использованием нескольких проводников и всех внутренних металлических конструкций этих зданий.

В отдельном здании различные сети заземления (электронного оборудования, компьютерной техники, телекоммуникационного оборудования и др.) должны быть обязательно соединены между собой и образовывать общую систему уравнивания потенциалов.

Эта система заземления должна быть, по возможности, сетчатой (**рис. R6**). Если система заземления является эквипотенциальной, то различия потенциалов между взаимодействующими устройствами будут небольшими, и это позволит решить многие проблемы обеспечения электромагнитной совместимости. Также будет уменьшена разность потенциалов в случае пробоев изоляции или ударов молний.

Если нельзя обеспечить условия эквипотенциальности между зданиями, или если расстояние между зданиями превышает 10 метров, настоятельно рекомендуется использовать оптоволоконные кабели связи и гальванические развязки (разделительные трансформаторы) для систем измерений и связи.

Указанные меры являются обязательными, если в системе электропитания используется схема заземления IT или TN-C.

3.2 Улучшение условий эквипотенциальности

Сети соединений (уравнивание потенциалов)

Хотя идеальная сеть соединений (уравнивание потенциалов) должна представлять собой металлический лист или металлическую сетку с мелкими ячейками, опыт показал: применение сети соединений с ячейками размером 3x3 м позволяет устранить большинство помех.

Примеры различных сетей соединений (уравнивание потенциалов) показаны на **рис. R7**. Схема, удовлетворяющая минимальным требованиям, содержит проводник (например, медный кабель или медную шину), проложенный по периметру помещения.

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Конструктивное исполнение

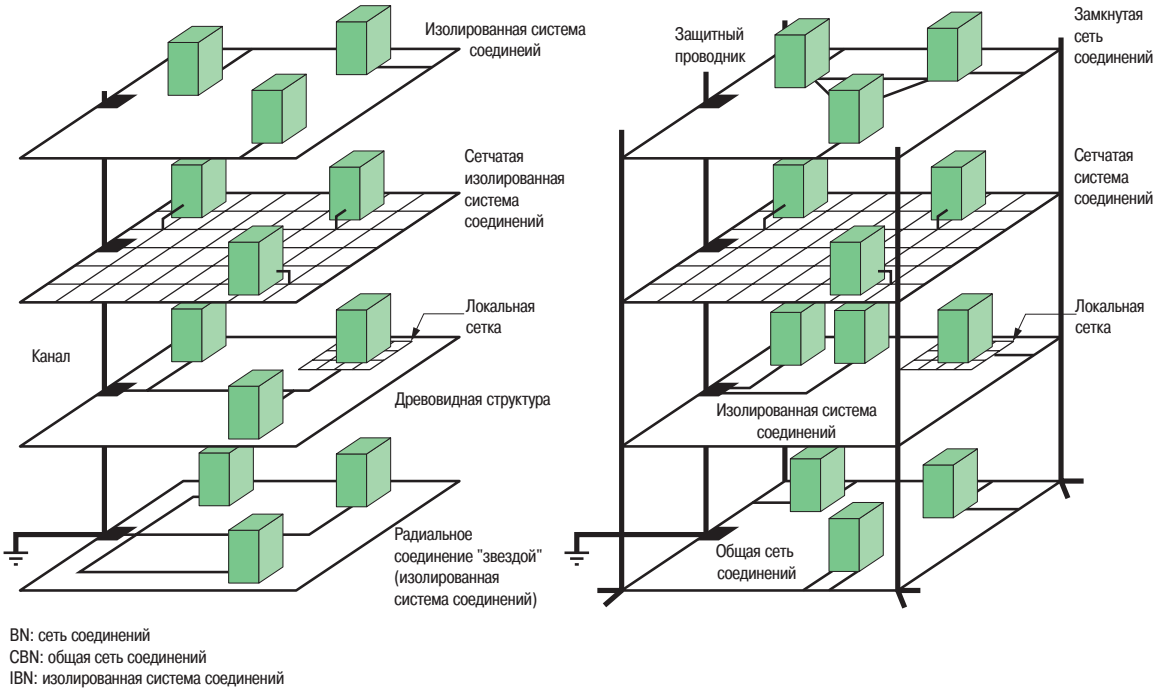


Рис. R7. Примеры сетей соединений

Длина соединений между элементом конструкции и сетью уравнивания потенциалов не должна превышать 50 см, и параллельно на определенном расстоянии от первого соединения должно быть установлено дополнительное соединение. Индуктивность соединения между заземляющей шиной электрического шкафа для размещения оборудования и сетью уравнивания потенциалов (см. ниже) должна быть менее 1 микрогенри (по возможности 0,5 микрогенри).
Например, можно использовать один проводник длиной 50 см или два параллельных проводника длиной по 1 м, установленных на минимальном расстоянии друг от друга (не более 50 см), чтобы уменьшить взаимную индуктивность между двумя проводниками.

По возможности, соединение с сеткой должно выполняться в месте пересечения, что позволит разделить высокочастотные токи на четыре, не удлиняя это соединение. Профиль соединительных проводников не имеет особого значения, но плоский профиль предпочтительней. Кроме того, проводник должен быть как можно короче.

Параллельный заземляющий проводник

Параллельный заземляющий проводник предназначен для того, чтобы уменьшить наводки при передаче сигнала по проводникам.

Параллельный заземляющий проводник должен быть рассчитан на большие токи, возникающие при коротких замыканиях или ударах молнии. Когда в качестве параллельного заземляющего проводника используется экранирующая оболочка кабеля, надо понимать, что она не способна выдерживать большие токи. В таком случае рекомендуется прокладывать этот кабель вдоль металлических элементов конструкции или кабелепроводов, которые для всего кабеля будут выполнять функцию параллельных заземляющих проводников. Другая возможность – проложить экранированный кабель рядом с большим параллельным заземляющим проводником, при этом на обоих концах, и этот кабель и параллельный заземляющий проводник присоединяются к локальной клемме заземления соответствующего оборудования или устройства.

В случае очень больших расстояний рекомендуется применять дополнительные соединения параллельного заземляющего проводника с системой заземления на разных расстояниях между устройствами. Эти дополнительные соединения образуют более короткий обратный контур для токов помех, протекающих по параллельному заземляющему проводнику. Для U-образных кабельных лотков, экранирующих оболочек и труб дополнительные соединения должны быть внешними для того, чтобы обеспечить их отделение от внутренних цепей.

Соединительные проводники

В качестве соединительных проводников могут применяться металлические полосы, плоские жгуты или круглые проводники. Для высокочастотных систем металлические полосы и плоские жгуты предпочтительней из-за уменьшения поверхностного эффекта, поскольку круглый проводник имеет более высокий импеданс, чем плоский проводник такого же сечения. По возможности отношение длины к ширине не должно превышать 5.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Конструктивное исполнение

3.3 Разделение кабелей

Физическое разделение кабелей высокого и низкого токов является очень важным для обеспечения электромагнитной совместимости, особенно если слаботочные кабели не экранированы, или экранирующая оболочка не соединена с оголенными проводящими частями. Чувствительность электронного оборудования в значительной степени определяется сопутствующей системой кабелей.

Если нет никакого разделения (различные типы кабелей в отдельных кабельных лотках, минимальное расстояние между кабелями высококого и низкого тока кабелей, типы лотков и т.д.), электромагнитные помехи будут максимальны. В этих условиях, электронное оборудование, к которому подсоединены данные кабели, становится чувствительным к электромагнитным помехам.

Использование шинопроводов или шиных каналов для больших номинальных мощностей настоятельно рекомендуется. Уровни излучаемых магнитных полей при использовании таких шинопроводов в 10-20 раз ниже по сравнению со стандартными кабелями или проводниками.

Информация в разделах «Прокладка кабеля» и «Рекомендации по прокладке кабелей» должна быть принята во внимание.

3.4 Фальшполы

Включение полов в сетчатую систему соединений способствует выравниванию потенциалов участка и, значит, рассеиванию и ослаблению помех от низкочастотных токов.

Экранирующий эффект фальшпола непосредственно связан с его эквипотенциальностью. Если между панелями пола плохой контакт (например, применяются антистатические резиновые уплотнения), или если нарушен контакт между опорными кронштейнами (из-за загрязнений, коррозии, плесени или отсутствия опорных кронштейнов), необходимо использовать дополнительную эквипотенциальную сетку. В этом случае достаточно обеспечить надежные электрические соединения между опорными металлическими стойками. На рынке имеются в наличии небольшие пружинные зажимы для присоединения металлических стоек к эквипотенциальной сетке. В идеальном случае должна быть соединена каждая стойка, но часто оказывается достаточным соединить каждую вторую стойку по каждому направлению. В большинстве случаев приемлемой оказывается сетка с размером ячейки 1,5 x 2 м. Рекомендуемое сечение медного проводника – 10 мм^2 или более. Обычно используется плоский жгут. Для снижения коррозии рекомендуется использовать медь, покрытую оловом (**рис. R8**).

Примерно раз в пять лет для панелей пола требуется профилактическое техническое обслуживание (в зависимости от типа панели пола и условий эксплуатации, включая влажность, пыль и коррозию). Необходима чистка покрытия и конструктивных элементов с применением подходящего чистящего средства.

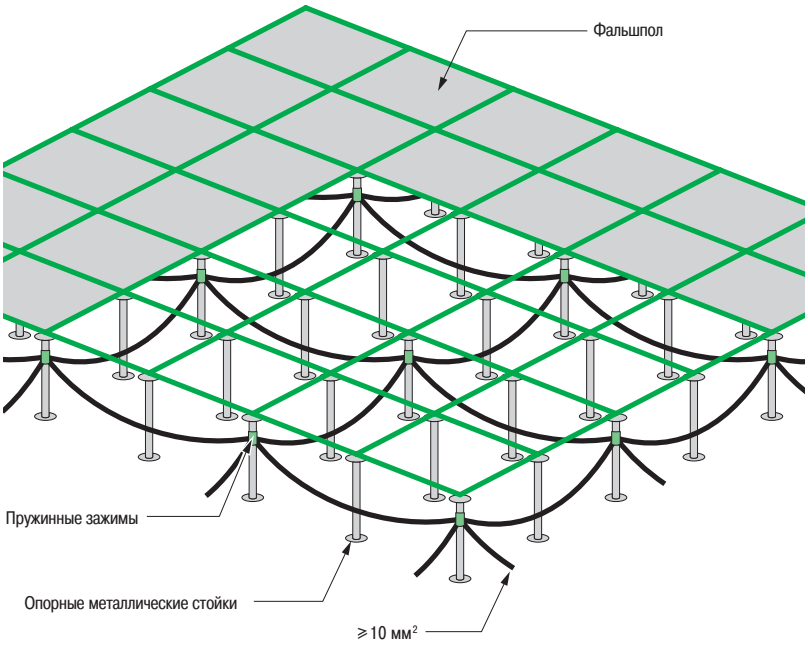


Рис. R8. Конструкция фальшпола

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Конструктивное исполнение

3.5 Прокладка кабелей

Выбор материалов и формы зависит от следующих факторов:

- интенсивности электромагнитных помех вдоль кабельных трасс (близость источников кондуктивных или излучаемых электромагнитных помех);
- разрешенного уровня кондуктивных или излучаемых электромагнитных помех;
- типа кабелей (экранированные, витые пары, оптоволоконные);
- способности оборудования, подключенного к электросети, выдерживать электромагнитные помехи;
- других ограничений, налагаемых окружающими условиями (химических, механических, климатических, противопожарных и др.);
- планируемых расширений системы электропроводки.

Кабелепроводы из неметаллических материалов пригодны для использования в следующих случаях:

- при низком уровене электромагнитных помех в окружающем пространстве;
- в системе электропроводки с низким уровнем излучений;
- в ситуации, когда применения металлических кабелепроводов следует избегать (химические среды);
- в системе с использованием оптоволоконных кабелей.

Для металлических кабелепроводов (лотков) именно форма (плоская, U-образная, трубчатая), а не поперечное сечение определяет импеданс. Замкнутые формы предпочтительней, чем открытые, поскольку снижают несимметричные помехи. Кабелепроводы часто имеют пазы для крепления кабеля чем меньше, тем лучше. Пазы, вызывающие минимальные проблемы, те, которые вырезаются параллельно и на некотором расстоянии от кабелей. Пазы, вырезанные перпендикулярно кабелям, не рекомендуются (см. **рис. R9**).

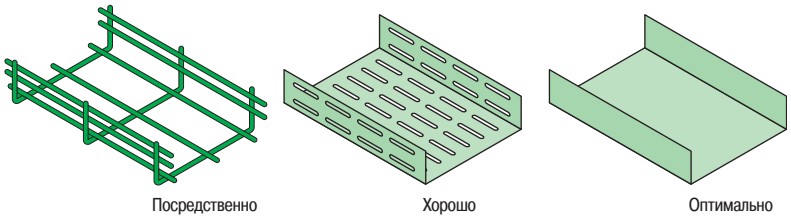


Рис. R9. Эффективность различных типов металлических кабелепроводов (лотков)

В определенных случаях плохой, с точки зрения защищенности от электромагнитных помех, кабелепровод может оказаться подходящим, если электромагнитная среда является мало интенсивной, если используются экранированные или оптоволоконные кабели, или если применяются отдельные кабелепроводы для разных типов кабелей (силовых, передачи и обработки данных).

Рекомендуется предусматривать место внутри кабелепровода для определенного количества дополнительных кабелей. Высота кабелей должна быть ниже разделительных перегородок кабелепровода (как показано на рисунке ниже). Крышки также улучшают электромагнитную совместимость кабелепроводов.

В кабелепроводах U-образной формы магнитное поле уменьшается в двух углах. По этой причине глубокие кабелепроводы предпочтительней (см. **рис. R10**).

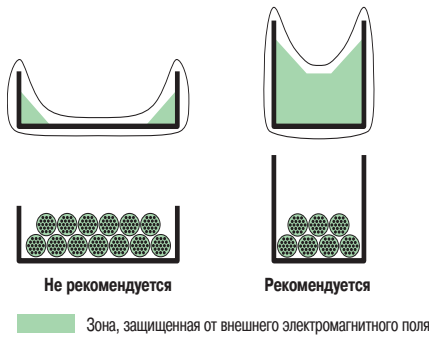


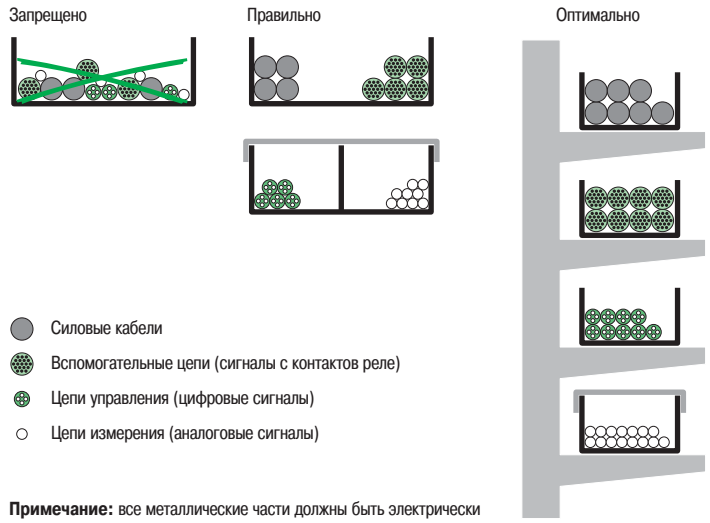
Рис. R10. Различные способы размещения кабелей

Различные типы кабелей (силовые и слаботочные) не должны устанавливаться в одной связке или в одном и том же кабелепроводе. Кабелепроводы не должны заполняться кабелями больше, чем наполовину.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Конструктивное исполнение

Рекомендуется осуществлять электромагнитное отделение кабелей одной группы от другой посредством экранирования или прокладки таких кабелей в разных кабелепроводах. Качество экранирования определяет расстояние между группами. Если экранирование не используется, должны поддерживаться достаточные расстояния (см. **рис. R11**).



Примечание: все металлические части должны быть электрически соединены.

Рис. R11. Рекомендации по прокладке групп кабелей в металлических кабелепроводах

Металлические элементы каркаса зданий можно использовать для обеспечения электромагнитной совместимости. Стальные балки (уголок, двутавр, U- и T-образные) часто образуют непрерывную заземленную конструкцию с большими поперечными сечениями и поверхностями, к которым подведены многочисленные промежуточные заземляющие соединения. По возможности, кабели должны прокладываться вдоль таких балок. Размещение во внутренних углах предпочтительней, чем на наружных поверхностях (см. **рис. R12**).

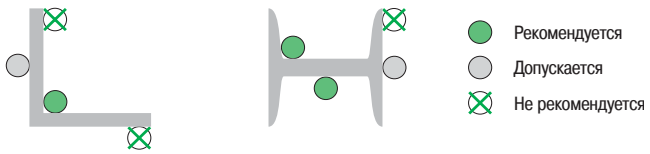


Рис. R12. Рекомендации по прокладке кабелей в стальных балках

Оба конца металлических кабелепроводов должны всегда соединяться с локальными заземляющими электродами. В очень длинных кабелепроводах рекомендуется использовать дополнительные соединения с системой заземления. По возможности, расстояние между этими соединениями должны быть неодинаковыми (для симметричных систем разводки) с тем, чтобы избежать резонанса на одинаковых частотах. Все соединения с системой заземления должны быть короткими.
Существуют металлические и неметаллические кабелепроводы. Металлические варианты обеспечивают улучшенные характеристики электромагнитной совместимости. Кабелепровод (лотки и коробы для кабелей, кабельные кронштейны и др.) должны от начала до конца представлять собой непрерывную проводящую металлическую конструкцию.
Алюминиевый кабелепровод имеет более низкое сопротивление по постоянному току, чем стальной кабелепровод того же размера, но сопротивление (Zt) стали снижается при малых частотах, особенно когда сталь имеет высокую относительную магнитную проницаемость μ. Следует соблюдать осторожность при одновременном использовании различных типов металлов, поскольку в определенных случаях не допускается непосредственного электрического контакта некоторых металлов. Несоблюдение этого правила может вызвать коррозию в месте контакта. С точки зрения обеспечения электромагнитной совместимости это может быть недостатком.
В случаях когда устройства, подключенные к кабельной системе посредством неэранированных кабелей, не подвергаются воздействию низкочастотных полей, электромагнитная совместимость неметаллических кабелепроводов может быть улучшена посредством добавления внутрь кабелепровода параллельного заземляющего проводника (PEC). Оба конца должны быть подсоединены к локальной системе заземления. Присоединения должны быть сделаны к металлической части, имеющей низкий импеданс (например, к большой металлической панели корпуса устройства). PEC-проводник должен выдерживать большие токи короткого замыкания.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Конструктивное исполнение

Практическая реализация

Если металлический кабелепровод состоит из нескольких коротких секций, следует обратить внимание на обеспечение его непрерывности посредством надлежащего соединения различных секций. Желательно, чтобы секции сваривались по всем кромкам. Клепаные, болтовые или резьбовые соединения разрешаются в том случае, если контактные поверхности проводят ток (отсутствует краска или изолирующие покрытия) и защищены от коррозии. Следует соблюдать установленные моменты затяжки с тем, чтобы обеспечить необходимое давление для получения плотного электрического контакта между двумя частями кабелепровода.

Если выбрана конкретная форма кабелепровода, она должна использоваться на всей его длине. Все внутренние соединения (между секциями кабелепровода) должны иметь низкое полное сопротивление. Соединение секций кабелепровода с помощью одного провода создает большое местное сопротивление, которое резко ухудшает его характеристики электромагнитной совместимости.

Начиная с частоты в несколько мегагерц, соединительный промежуток в 10 см между двумя секциями кабелепровода резко ухудшает его коэффициент затухания (более чем в 10 раз) (см. **рис. R13**).

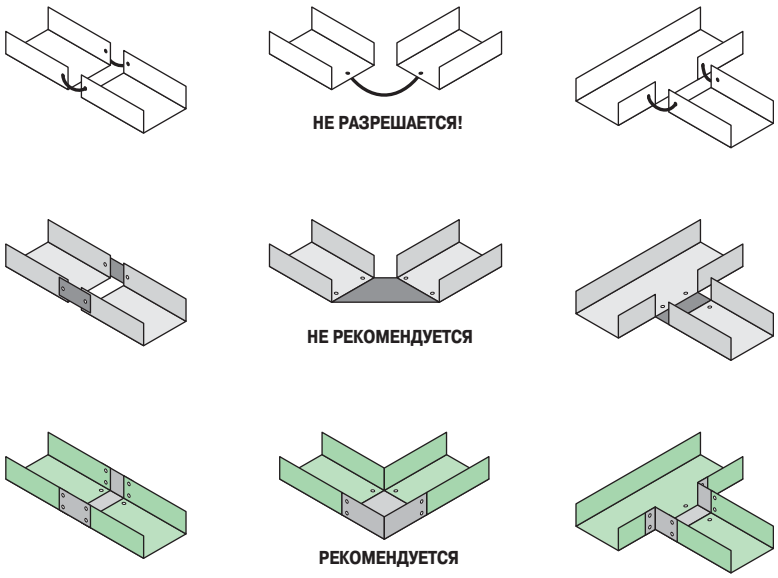


Рис. R13. Сборка металлических кабелепроводов

Всякий раз, когда проводятся изменения или расширения кабельной системы, важно следить за тем, чтобы они выполнялись в соответствии с правилами обеспечения электромагнитной совместимости (например, никогда не заменяйте металлический кабелепровод пластмассовым!).

Крышки для металлических кабелепроводов должны отвечать тем же требованиям, что и сами кабелепроводы. Крышка должна иметь большое количество контактов по всей длине. Если это невозможно, она должна быть соединена с кабелепроводом по крайней мере на двух концах с помощью коротких соединений (например, плетеных или сетчатых проводников).

В случае прохождения кабелепроводов через стену (например, противопожарную перегородку), между их двумя частями должны использоваться соединения с низким полным сопротивлением (см. **рис. R14**).

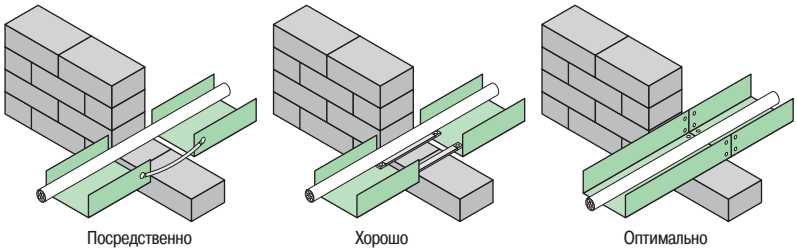


Рис. R14. Рекомендации для соединения частей металлического кабелепровода при прохождении через стену

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Конструктивное исполнение

Рис. R14a. Воздействие магнитного поля силовых кабелей и шинопроводов на здоровье человека

3.6 Шинопроводы

Шинопроводы снижают воздействие нежелательных электромагнитных полей (рис. R14 a).
По данным ВОЗ (Всемирной организации здравоохранения), воздействие электромагнитных полей может быть опасно для здоровья, начиная с уровня 0,2 микро Тесла, и может представлять собой риск развития рака. Некоторые страны создали стандарты, которые предусматривают ограничения (например, 0,2 мкТл на расстоянии 1 м в Швеции).
Все электрические проводники генерируют магнитные поля пропорционально расстоянию между ними. Конструкция шинопровода с плотно расположенными проводниками в металлическом корпусе позволяет значительно уменьшить излучаемые электромагнитные поля. Электромагнитные характеристики полевых шинопроводов хорошо определены, и измерения показывают, что они являются намного ниже потенциально опасных уровней (**рис. R14b**).
В конкретных случаях, где требуются особенно низкие значения (компьютерные залы, медицинские кабинеты, некоторые офисы) важно свести к минимуму магнитную индукцию, генерируемую силовыми кабелями.
Магнитная индукция:
- пропорциональна току;
- пропорциональна расстоянию между проводниками;
- обратно пропорциональна квадрату расстояния по отношению к сборной шине.

Шинопровод со стальным корпусом обеспечивает хороший эффект экранирования по сравнению с силовыми кабелями: магнитное поле уменьшается от 2 до 30 раз.

Особенно низкий уровень электромагнитного поля объясняется коротким расстоянием между решеткой и дополнительным ослаблением, обеспечиваемым стальным корпусом.

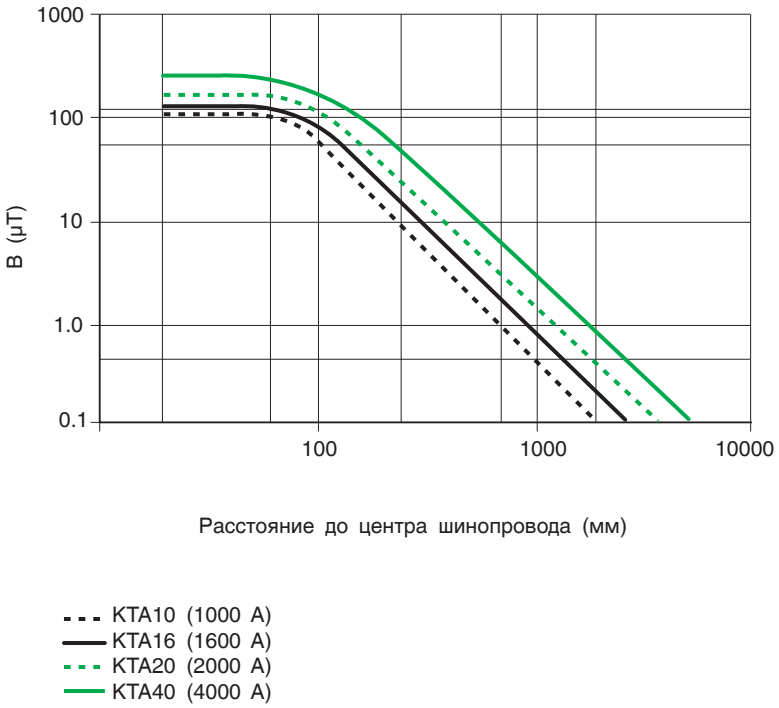


Рис. R14b. Данные шин магистральной системы

3.7 Применение экранированных кабелей

Если решено использовать экранированные кабели, необходимо также определить каким образом будет соединяться экранирующая оболочка (тип заземления, соединителя, кабельного ввода), ибо в противном случае преимущества будут в значительной мере снижены. Для получения эффективного экранирования оболочка должна быть соединена по всему своему периметру. На **рис. R15** показаны различные способы заземления экранирующей оболочки.

Для компьютерного оборудования и цифровых каналов связи экранирующая оболочка должна быть соединена на обоих концах кабеля.

Соединение экранирующей оболочки является очень важным для обеспечения электромагнитной совместимости и следует обратить внимание на следующее:

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Конструктивное исполнение

Если экранированный кабель соединяет оборудование, расположенное в одной и той же зоне уравнивания потенциалов, экранирующая оболочка должна быть присоединена к открытым проводящим частям на обоих концах кабеля. Если соединяемое оборудование не расположено в одной и той же зоне уравнивания потенциалов, то имеется несколько возможных решений:

■ Присоединение к открытым проводящим частям только одного конца является опасным. В случае пробоя изоляции напряжение на экранирующей оболочке может оказаться смертельным для оператора или привести к повреждению оборудования. Кроме того, при высоких частотах экранирование будет неэффективным.

■ Присоединение к открытым проводящим частям обоих концов может быть также опасным при пробое изоляции. В экранирующей оболочке возникнет большой ток, который может ее разрушить. Для устранения этой проблемы рядом с экранированным кабелем необходимо проложить параллельный заземляющий проводник. Сечение этого проводника зависит от тока короткого замыкания в данной части электроустановки. Очевидно, что если в электроустановке используется сетчатая система заземления с достаточно мелкой сеткой, то эта проблема не возникает.

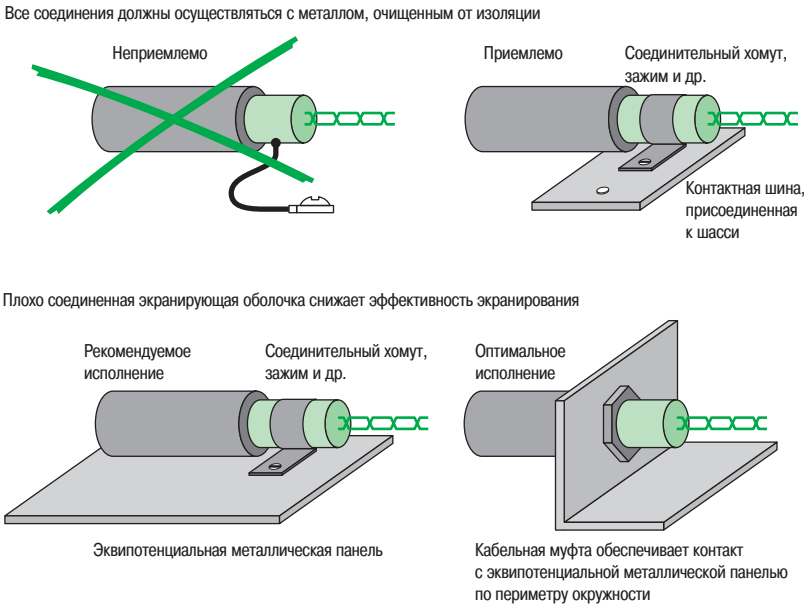


Рис. R15. Конструктивное исполнение экранированных кабелей

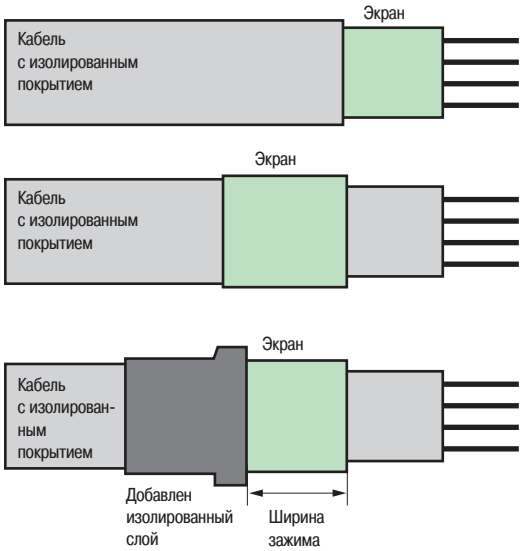


Рис. R16. Рекомендуемая подготовка экрана

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Конструктивное исполнение

3.8 Сети связи

Настоятельно рекомендуется следовать ряду европейских стандартов EN 50173 для прокладки кабелей передачи данных.

Для обеспечения надежной передачи данных исполнение всей линии связи должно быть однородным. Это означает, что категории различных кабелей должны быть одинаковыми, соединительные материалы должны быть адаптированы к кабелям.

Кабели и соединения различных категорий могут быть различными в пределах одного канала, однако в результате, производительность будет определяться категорией самого низкого исполнительного компонента.

Непрерывность щита на протяжении всей линии связи (коммутационных кабелей, розеток, горизонтальных кабелей) должно быть обеспечено и контролироваться путем испытаний.

Сети связи в основном имеют обширное исполнение. Они соединяют оборудование, расположенное в различных областях, где питающие линии могут иметь различные системы заземления.

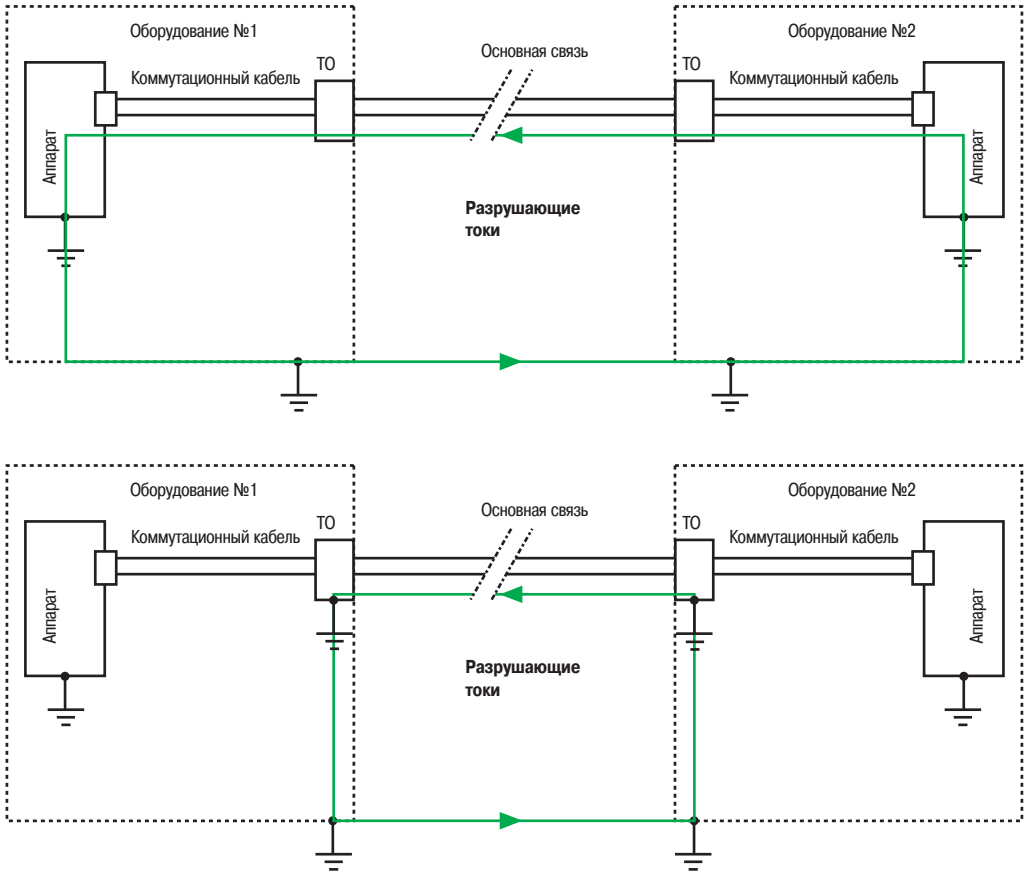


Рис. R17. Варианты уменьшения нежелательных токов

Если эти различные области не эквипотенциальные, могут появиться разрушающие переходные токи (молнии, неисправность питающей сети и т.д.), которые вызывают высокую разность потенциалов между взаимосвязанным оборудованием.

Интерфейсы связи могут быть повреждены из-за общего режима перенапряжения.

Использование системы заземления TN-S и установка с хорошей эквипотенциальной ситуацией минимизировать эту проблему.

В любом случае, рекомендуется использование устройства защиты от перенапряжений, установленного в обычном режиме или дифференциальном режиме.

В условиях интенсивных электромагнитных воздействий или протяженных сетей связи между электроустановками, не являющимися эквипотенциальными или являющимися лишь частично эквипотенциальными, при использовании систем заземления IT, TT или TN-C настоятельно рекомендуется применять оптоволоконные линии связи.

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Конструктивное исполнение

По соображениям безопасности оптоволоконный кабель не должен иметь металлических частей (из-за риска поражения электрическим током в случае, если этот кабель соединяет два участка с разными потенциалами).

Защита от возмущений, вызываемых катушками

Катушки переменного тока и, особенно, постоянного тока (реле, контактор, привод и т.д) – это источники, которые подвержены большим нежелательным токам.

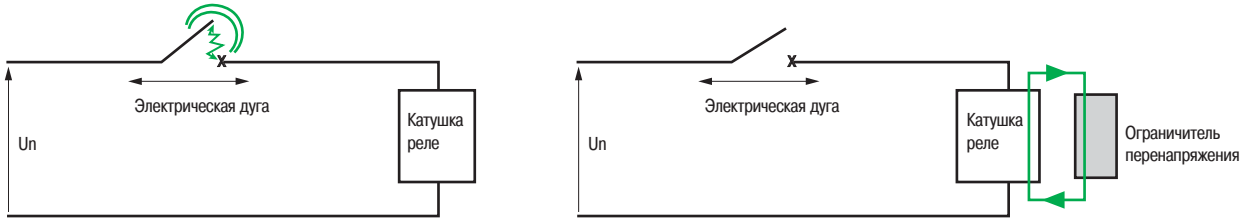


Рис. R18. Ограничитель напряжения уменьшает напряжение искрения

Чтобы свести к минимуму высокочастотные возмущения следует придерживаться данного решения (серым цветом выделен более предпочтительный выбор).

Символ	Ограничитель напряжения (Полупроводниковый диод)	Для пер. тока	Для пост. тока	Ограничитель перенапряжения	Время отключения контакта
	Сеть R-C	Y	Y	2 – 3 Un	Время срабатывания от 1 до 2 нормального времени
	Металл-оксид-варистор	Y	Y	< 3 Un	Время срабатывания от 1,1 до 1,5 нормального времени
	Двунаправленный полупроводниковый диод (ограничитель напряжения)	Y	Y	< 2 Un	Время срабатывания от 1,1 до 1,5 нормального времени
	Направленный полупроводниковый диод (ограничитель напряжения)	N	Y	Un + 0,7 В	Время срабатывания от 3 до 10 нормального времени
	Диод свободного хода	N	Y	Un + 0,7 В	Время срабатывания от 3 до 10 нормального времени
	Резистор	Y	Y	< 4 Un	Время срабатывания от 1,5 до 2,5 нормального времени

Рис. R19. Таблица информации по ОПН разных конструкций

Для большей эффективности, ОПН должны быть установлены ближе к катушкам реле, контактора, привода и т.д.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Конструктивное исполнение

3.9 Внедрение ограничителей перенапряжения (ОПН)

Обратитесь к главе J – параграф 4 «Установка УЗИП».

3.10 Разводка кабелей в шкафах

(См. **рис. R20**)

Каждый шкаф должен быть оснащен заземляющей шиной или заземленной металлической пластиной. Все экранированные кабели и внешние защитные проводники должны быть подключены к этой точке. Любая металлическая пластина шкафа или DIN-рейка может использоваться в качестве точки заземления.

Пластиковые шкафы не рекомендуются. В этом случае должна использоваться DIN-рейка в качестве точки заземления.

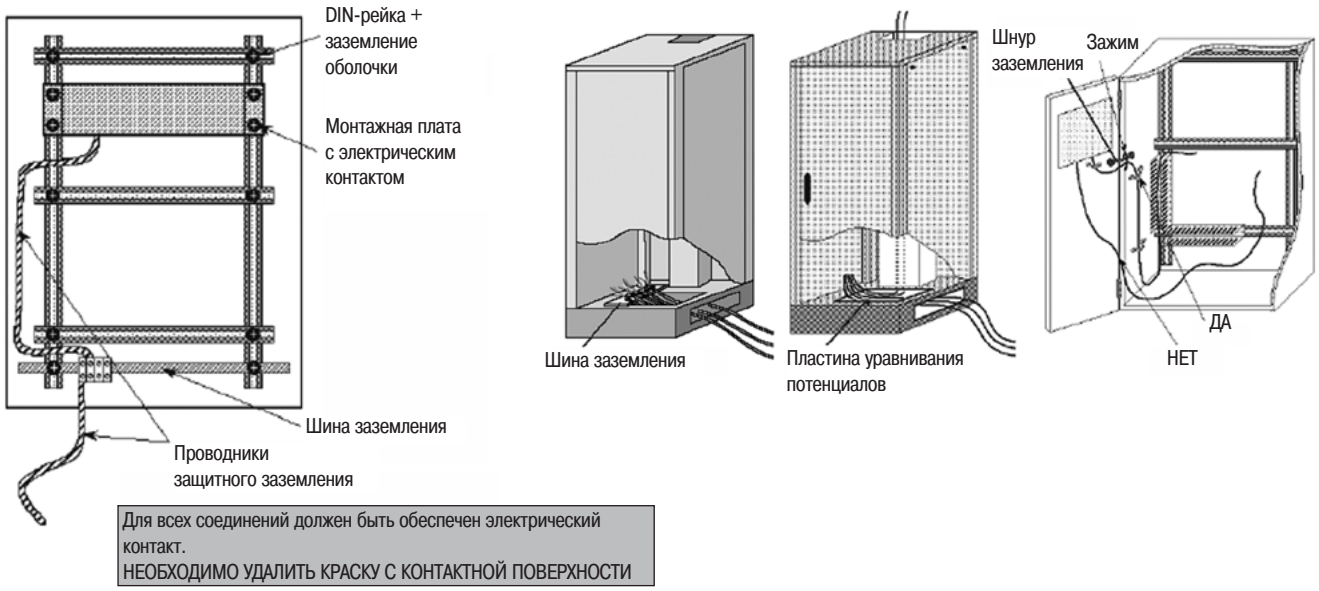


Рис. R20. Примеры заземления шкафов

Чувствительное оборудование должно подключаться через устройство защиты от импульсных перенапряжений.

Рекомендации по разводке кабелей в шкафах

Каждый шкаф должен быть оборудован, как минимум, заземляющей шиной и опорной металлической пластиной или сеткой (пластиной заземления). Все металлические части (рамы, панели, крыша, двери и т.д.) должны быть соединены.

Рекомендуется использование особенных шайб. Некоторые предпочтительные примеры приведены ниже:

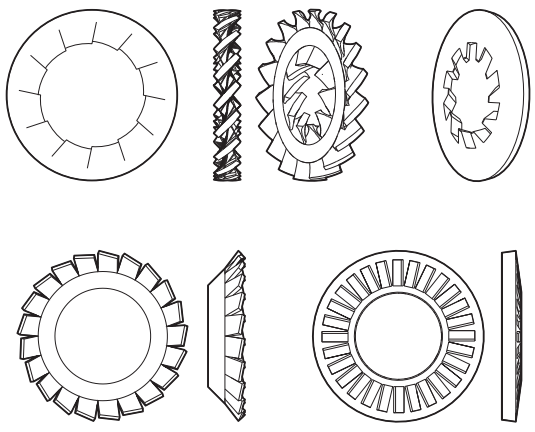


Рис. R21. Примеры предподчительных шайб

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Конструктивное исполнение

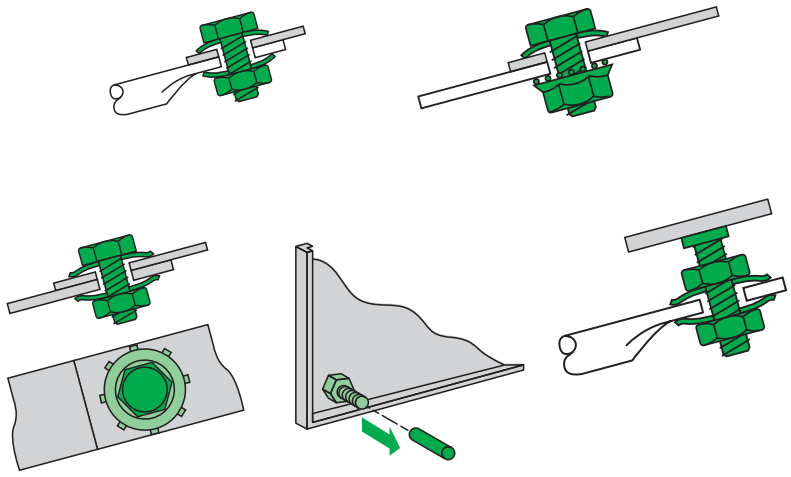


Рис. R22. Некоторые примеры шайб, болтов и наконечников для монтажа

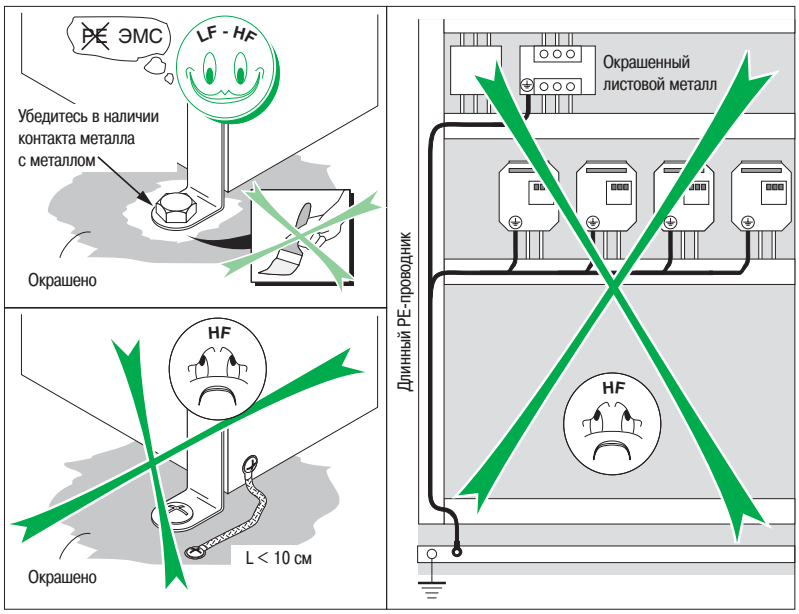


Рис. R23. Примеры соединений и заземлений

Все кабели должны быть проложены на заземленных металлических конструкциях.
Все компоненты ЭМС (например, фильтр электромагнитных помех, зажимы ЭМС) должны быть установлены непосредственно на металлических пластинах без изоляционного покрытия (например, на поверхностях, покрытых краской или лаком).

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Конструктивное исполнение

Экранированные кабели, идущие в шкаф или выходящие из него, должны быть соединены с заземляющей шиной или заземляющей пластиной, если эти кабели идут издалека и /или от неэквипотенциальных зон.
Целью данных мер является исключить нежелательные токи на входе в шкаф, а не внутри него.
Неметаллические шкафы не рекомендуются из соображений электромагнитной совместимости.
Для защиты оборудования от магнитного поля низкой частоты рекомендуется использовать оцинкованные шкафы.
Шкафы, покрытые такими металлами, как, например, алюминий или нержавеющая сталь являются более эффективными для магнитного поля высокой частоты.
Мощные и маломощные устройства должны быть физически отделены. Также силовые и измерительные кабели должны быть разделены, и расстояние между ними должно соблюдаться, как показано на рисунке ниже.

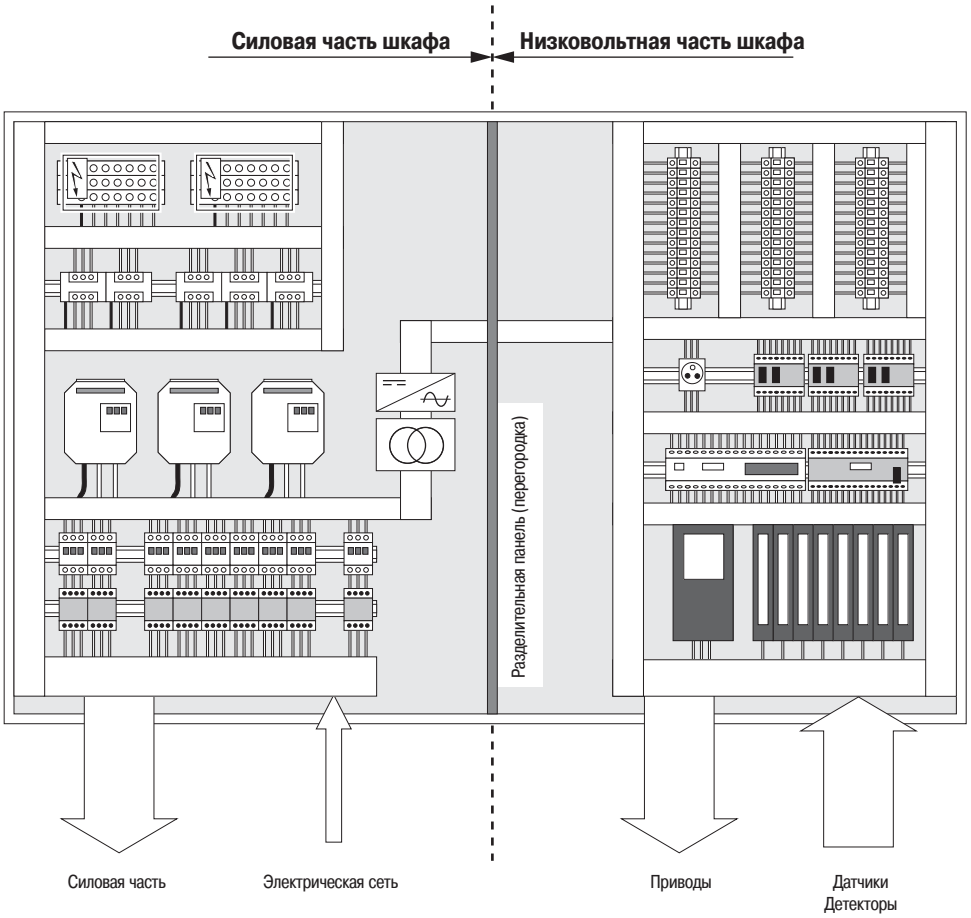


Рис. R24. Правильное внутреннее выполнение шкафа относительно электромагнитной совместимости

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Конструктивное исполнение

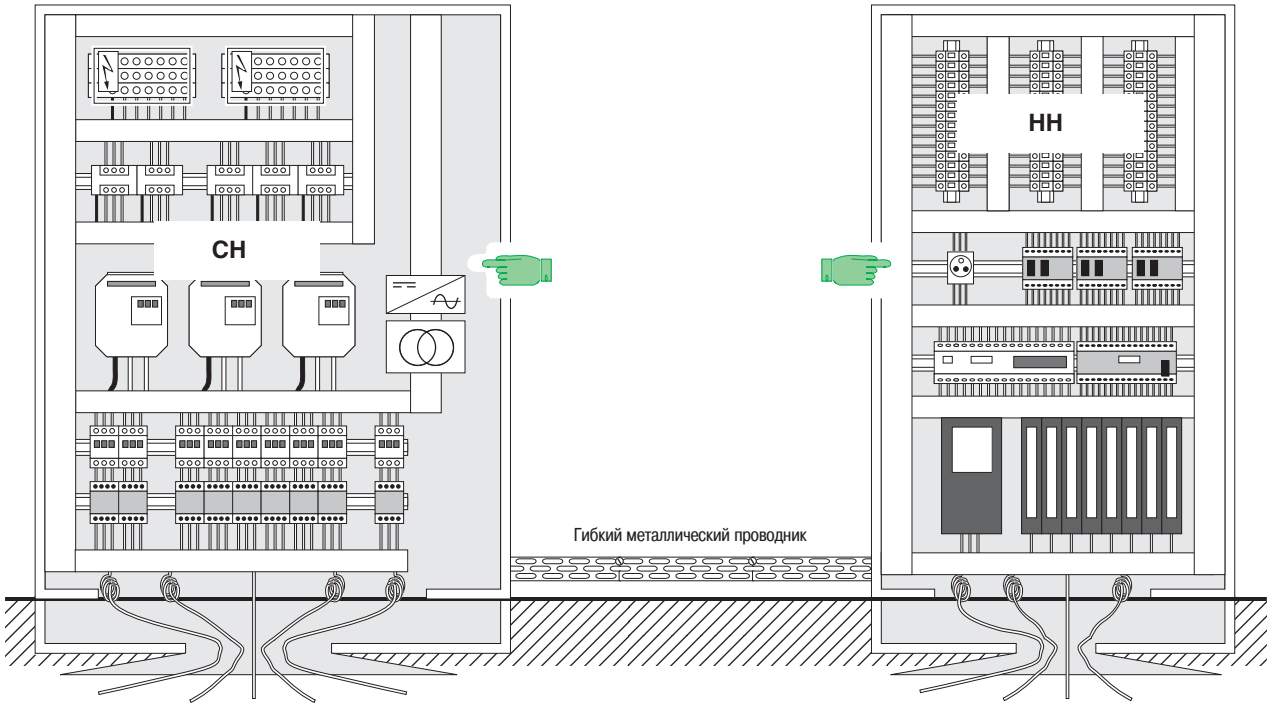


Рис. R25. Правильное внутреннее выполнение раздельных шкафов, относительно электромагнитной совместимости

3.11 Стандарты

Крайне важно указать стандарты и рекомендации, которые должны быть приняты во внимание для электроустановки.

Ниже приводятся несколько документов, которые могут использоваться:

- EN 50174-1. Информационные технологии. Кабельный монтаж.
Часть 1. Технические условия и обеспечение качества
- EN 50174-2. Информационные технологии. Кабельный монтаж.
Часть 2. Планирование монтажа и практика внутри зданий
- EN 50310. Меры, применяемые для выравнивания потенциалов и заземления в зданиях с оборудованием информационных технологий
- EN 50173. Информационные технологии. Универсальные кабельные системы
- HD 60364-4-444: 2010. Электроустановки зданий. Часть 4-444.
Требования по обеспечению безопасности. Защита электроустановок от перенапряжения, вызванных электромагнитными воздействиями.

3.12 Защита от статического электричества

Как правило, использование плат или комплектующих (процессор, память, оперативная память и т.д.), которые чувствительны к электростатическим разрядам (ЭСР) электроники требуют предварительных защитных мер.

Наша продукция соответствует стандартным тестам для снятия электростатического напряжения. ЭСР-угроза, которая может привести полупроводники к преждевременному старению или поломке, также полупроводниковые приборы могут повредиться или сгореть.

Решение

Настоятельно рекомендуется использование специального антистатического браслета. Этот браслет должен быть установлен внутри каждого шкафа и правильно подключен к заземленной металлической раме шкафа.

Пример использования антистатического браслета приведен на след. стр.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Конструктивное исполнение

Антистатический браслет

Статический заряд происходит по средствам контакта разных материалов обуви и пола, одежды и тела человека. Созданный заряд будет находиться на теле до тех пор, пока не наступит разряжение, а потом знакомый "щелчок", который испытывали все из нас. Это "щелчок" причиняет значительный ущерб некоторым электроприборам. Если мы можем предотвратить электростатический заряд на теле, то почему бы не предотвратить его на поверхности прибора? Правильно заземленный браслет эффективно предотвращает электростатический заряд на конструкции. Любой статический заряд, который создается мгновенно "утекает" в браслет. Запястье браслета поддерживает потенциальное равновесие и предотвращает "щелчок".

Рис. R26. Пример использования антистатического браслета

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Механизмы электромагнитной связи и меры противодействия

4.1 Общие положения

Пример воздействия электромагнитных возмущений показан ниже на **рис. R27**.

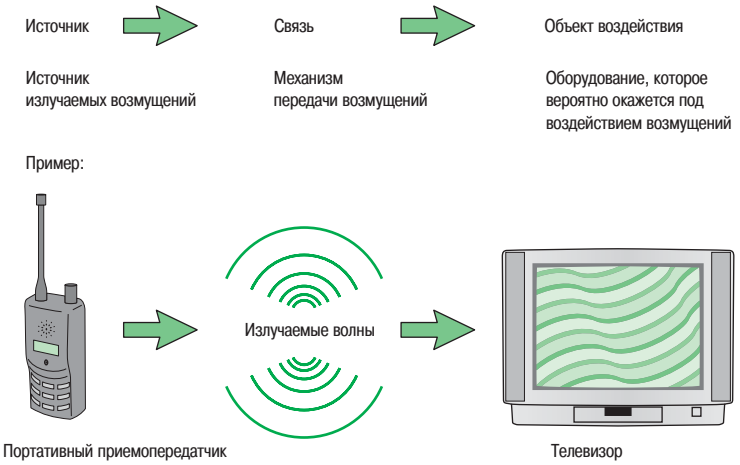


Рис. R27. Воздействие электромагнитных возмущений

Источниками возмущений являются:

- Радиочастотные излучения:
  - беспроводные системы связи (радио- и телевизионные передатчики, портативные радиостанции, выключатели, радиотелефоны, устройства дистанционного управления);
  - радиолокаторы.
- Электрооборудование:
  - мощное промышленное оборудование (индукционные печи, сварочные машины, ПЧ;
  - офисное оборудование (компьютеры и электронные цепи, фотокопировальные машины, большие мониторы);
  - разрядные лампы (неоновые, флуоресцентные, импульсные и др.);
  - электромеханические устройства (реле, контакторы, электромагниты, устройства отключения тока).
- Энергосистемы:
  - системы передачи и распределения электроэнергии;
  - системы электрического транспорта.
- Разряды молний.
- Электростатические разряды (ESD).

Потенциальными объектами воздействия являются:

- радио- и телевизионные приемники, радиолокаторы, системы радиосвязи;
- аналоговые системы (сенсоры, системы измерений и сбора данных, усилители, мониторы);
- цифровые системы (компьютеры, системы передачи данных, периферийное оборудование).

Различными типами электромагнитной связи являются:

- гальваническая связь;
- емкостная связь;
- индуктивная связь;
- связь посредством излучения (между кабелями, между полем и кабелем, между антеннами).

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

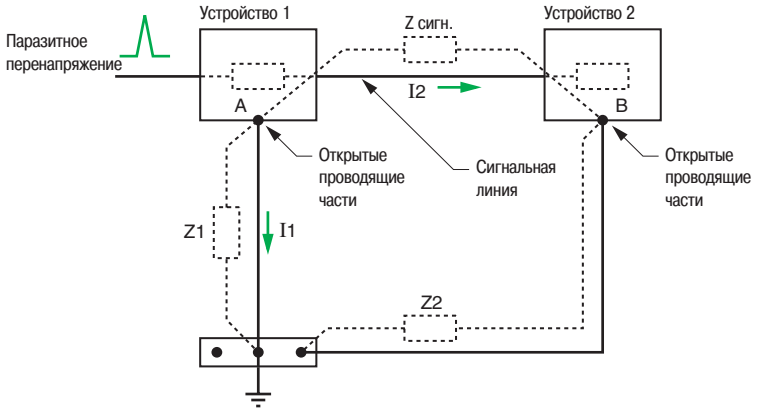
4 Механизмы электромагнитной связи и меры противодействия

4.2 Гальваническая (кондуктивная) связь

Описание

Два или более устройств соединены между собой источником питания и коммуникационными кабелями (**рис. R28**). Когда по сопротивлениям цепей протекают внешние токи (токи молний, токи короткого замыкания, возмущения), между точками A и B, которые предположительно являются эквипотенциальными, возникает нежелательное напряжение. Это паразитное напряжение может создать помехи для слаботочных цепей или цепей передачи данных.

Все кабели, включая защитные проводники, имеют сопротивление (импеданс), особенно на высоких частотах.



Открытые проводящие части устройств 1 и 2 присоединены к общей клемме заземления через сопротивления Z1 и Z2.
Ток, вызванный паразитным перенапряжением, уходит на землю через Z1. Потенциал устройства 1 возрастает до величины Z1xI1. Разность потенциалов с устройством 2 (начальный потенциал которого равен нулю) приводит к появлению тока I2.

$$Z1\ I1 = (Z\text{сигн.} + Z2)I2 \qquad \frac{I2}{I1} = \frac{Z1}{(Z\text{сигн.} + Z2)}$$

Ток I2, протекающий по сигнальной линии, создает помехи для устройства 2.

Рис. R28. Описание гальванической (кондуктивной) связи

Примеры (рис. R29)

- Устройства, соединенные общим заземляющим проводником (например, PEN или PE) и подвергающиеся воздействию кратковременных или интенсивных изменений тока (ток повреждения, удар молнии, ток короткого замыкания, изменения нагрузки, цепи отключения, гармоники тока, батареи конденсаторов для компенсации реактивной мощности и др.).
- Общая обратная цепь для нескольких источников электрического напряжения.

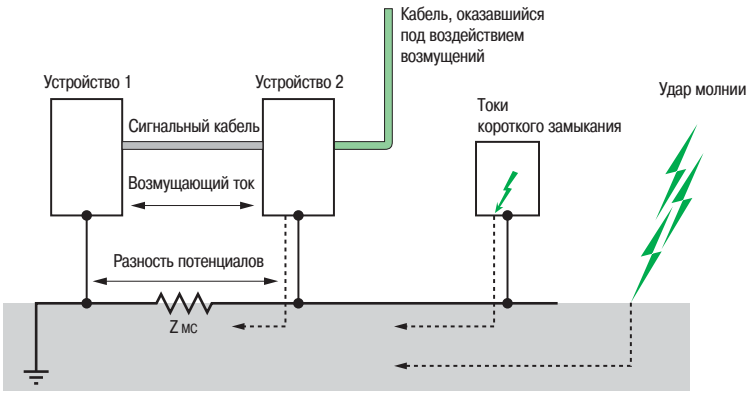


Рис. R29. Пример гальванической связи

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

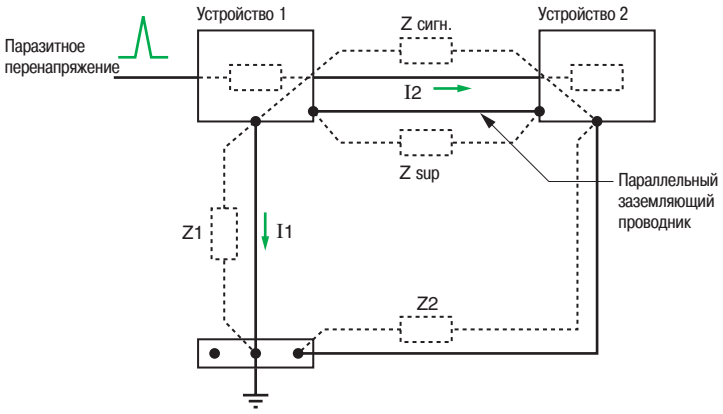
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Механизмы электромагнитной связи и меры противодействия

Меры противодействия (рис. R30)

Чтобы уменьшить влияние помех, передающихся по гальваническим связям (кондуктивным путем) нужно:

- уменьшать сопротивления:
  - объединить заземляющие проводники системы уравнивания потенциалов в сетку;
  - использовать короткие кабели или плоские жгуты, которые при равных сечениях имеют меньшее сопротивление по сравнению с кабелями круглого сечения;
  - установить систему уравнивания потенциалов между устройствами;
- снизить уровень возмущающих токов посредством фильтрации гармоник и использования дросселей для ограничения токов замыкания на землю.



Если сопротивление параллельного заземляющего проводника (Z sup) является очень низким по сравнению с Zсигн., то в основном ток пойдет через этот проводник, а не через сигнальную линию, как в предыдущем случае.
Разность потенциалов между устройствами 1 и 2 становится очень низкой, и уровень помех снижается до допустимого.

Рис. R30. Меры по уменьшению величины влияния кондуктивных помех

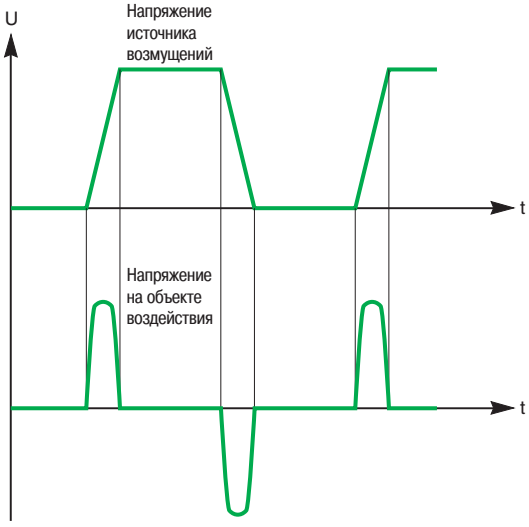


Рис. R31. Типовой результат емкостной связи (емкостных наводок)

4.3 Емкостная связь

Описание

Уровень возмущений зависит от скорости изменений напряжения (dv/dt) и величины ёмкости связи между источником возмущений и объектом воздействия.

Емкостная связь усиливается:

- с частотой;
- с уменьшением расстояния между источником возмущений и объектом воздействия и увеличением длины параллельных кабелей;
- с высотой установки кабелей относительно заземленной поверхности;
- с входным сопротивлением цепи, подвергшейся воздействию возмущений (цепи с большим входным сопротивлением более уязвимы);
- с диэлектрической проницаемостью изоляции кабеля, подвергшегося воздействию возмущений (особенно для сильносвязанных пар).

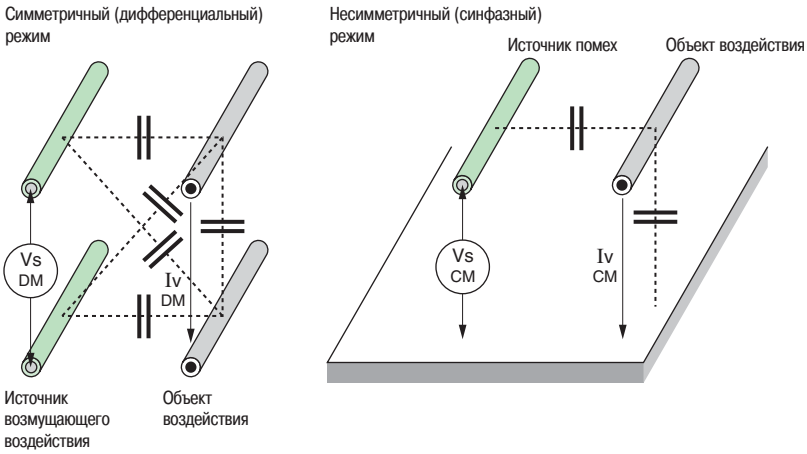
На рис. R31 показаны результаты емкостной связи между двумя кабелями.

Примеры (рис. R32)

- Близкорасположенные кабели, подверженные быстрым изменениям напряжения (dv/dt).
- Включение флуоресцентных ламп.
- Часто включаемые источники питания (фотокопировальные машины и др.).
- Емкостная связь между первичными и вторичными обмотками трансформаторов.
- Наводки между кабелями.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Механизмы электромагнитной связи и меры противодействия



Vs DM: источник возмущающего напряжения (дифференциальный режим)
Iv DM: возмущающий ток со стороны объекта воздействия (дифференциальный режим)
Vs CM: источник возмущающего напряжения (синфазный режим)
Iv CM: возмущающий ток со стороны объекта воздействия (синфазный режим)

Рис. R32. Пример емкостной связи

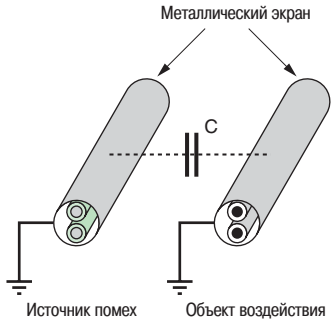


Рис. R33. Использование экранов кабелей с перфорацией снижает емкостную связь

Меры противодействия (рис. R33)

- Максимальное ограничение длины параллельно проложенных кабелей-источников возмущений и кабелей-объектов воздействия.
- Увеличение расстояния между источником возмущений и объектом воздействия.
- При использовании двухпроводных линий прокладывать провода как можно ближе друг к другу.
- Размещение параллельного заземляющего проводника (PEC) между источником возмущений и объектом воздействия.
- Использование двух- или четырехжильных кабелей, а не отдельных проводников.
- Использование симметричной передачи сигналов по правильно смонтированным симметричным системам проводников.
- Экранирование кабелей-источников возмущений, кабелей-объектов воздействия или и тех, и других (экраны должны быть соединены).
- Снижение величины dv/dt-источника возмущений путем увеличения, по возможности, времени нарастания сигнала.

4.4 Индуктивная связь

Описание

Источник помех и объект воздействия связаны магнитным полем. Уровень возмущений зависит от скорости изменения тока (di/dt) и величины взаимной индуктивности.

Индуктивная связь усиливается:

- с частотой;
- с уменьшением расстояния между источником помех и объектом воздействия и увеличением длины параллельных кабелей;
- с увеличением высоты установки проводников относительно заземленной поверхности;
- с увеличением импеданса нагрузки цепи, генерирующей возмущения.

Примеры (рис. R34)

- Близко расположенные кабели, подверженные быстрым изменениям тока (di/dt).
- Короткие замыкания.
- Токи повреждения.
- Удары молний.
- Статические (полупроводниковые) устройства управления обмотками статора двигателей.
- Сварочные машины.
- Индукторы.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

4 Механизмы электромагнитной связи и меры противодействия

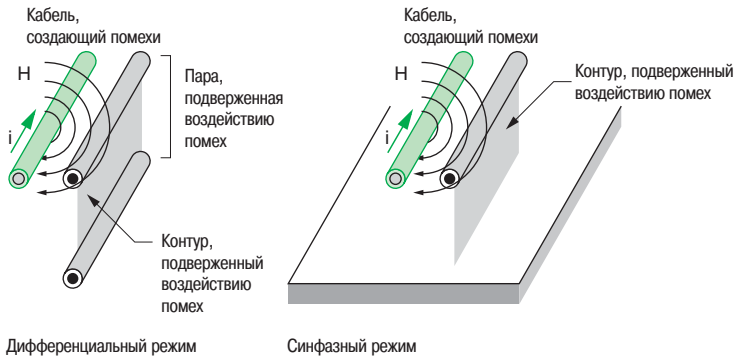


Рис. R34. Пример индуктивной связи

Меры противодействия

- Максимальное ограничение длины параллельно проложенных кабелей-источников возмущений и кабелей-объектов воздействия.
- Увеличение расстояния между источником возмущений и объектом воздействия.
- Прокладка проводов как можно ближе друг к другу при использовании двухпроводных линий.
- Использование многожильных или соприкасающихся одножильных кабелей, предпочтительно с треугольной схемой укладки.
- Размещение параллельного заземляющего проводника (PEC) между источником возмущений и объектом воздействия.
- Использование симметричных систем передачи по должным образом смонтированным симметричным системам электропроводки.
- Экранирование кабелей-источников возмущений, кабелей-объектов воздействия или и тех, и других (экраны должны быть соединены).
- Снижение величины dv/dt-источника возмущений путем увеличения, по возможности, времени нарастания сигнала (с помощью последовательно включенных резисторов или PTC-резисторов на кабеле-источнике помех, ферритовых колец на кабеле-источнике помех и/или кабеле-объекте воздействия).

4.5 Связь посредством излучения

Описание

Источник возмущений и объект воздействия связаны посредством среды, например, воздуха. Уровень возмущений зависит от мощности источника излучений и эффективности излучающей и принимающей антенн. Электромагнитное поле состоит из магнитного и электрического полей. При этом можно отдельно анализировать электрическую и магнитную составляющие.

В системах электропроводки связь электрического поля (E) и магнитного поля (H) осуществляется посредством проводов и контуров (**рис. R35**).

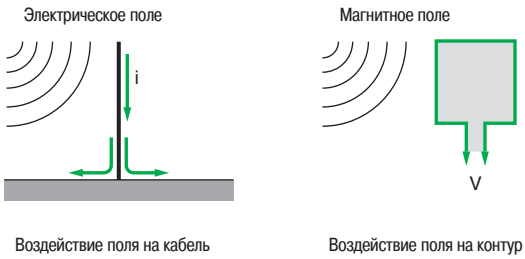


Рис. R35. Различные виды воздействия поля

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

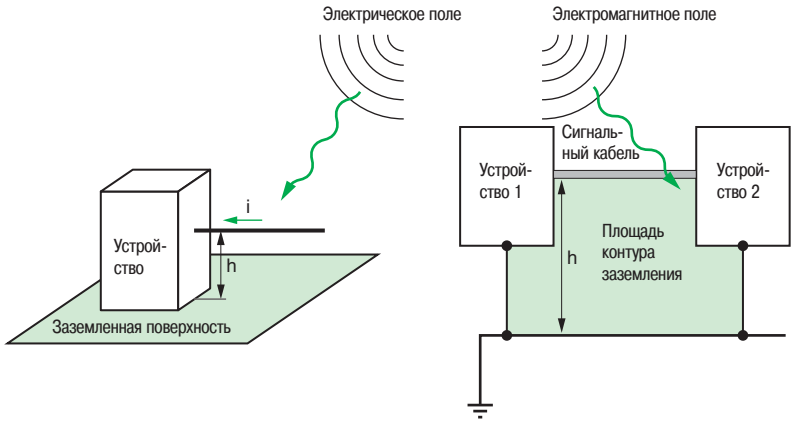
4 Механизмы электромагнитной связи и меры противодействия

Когда кабель подвергается воздействию переменного электрического поля, в нем генерируется ток. Это явление называется электрической наводкой в кабеле (связь «поле-проводник»).

Аналогичным образом, когда переменный магнитный поток пересекает контур, он наводит ЭДС, которая генерирует разность потенциалов между двумя концами этого контура. Это явление называется электромагнитной наводкой в контуре.

Примеры (рис. R36)

- Радиопередатчики (портативные приемопередатчики, радио- и телевизионные передатчики, мобильные телефоны).
- Радиолокаторы.
- Системы зажигания автомобилей.
- Машины для дуговой сварки.
- Индукционные печи.
- Устройства коммутации силовых цепей.
- Электростатические разряды.
- Удары молний.



Пример электрической наводки в кабеле

Пример электромагнитной наводки в контуре

Рис. R36. Примеры воздействий излучения

Меры противодействия

Чтобы свести к минимуму последствия электромагнитных наводок, требуются меры, перечисленные ниже.

Для снижения наводок в кабеле:

- уменьшайте антенный эффект объекта воздействия, уменьшая высоту (h) прокладки кабеля относительно заземленной поверхности;
- помещайте кабель в непрерывный соединенный металлический кабелепровод (трубу, кабель-канал, короб);
- используйте экранированные кабели, которые надлежащим образом установлены и соединены;
- используйте параллельные заземляющие проводники;
- устанавливайте на кабеле-объекте воздействия фильтры или ферритовые кольца.

Для снижения наводок в контуре:

- уменьшайте площадь поверхности контура-объекта воздействия, уменьшая высоту установки (h) и длину кабеля;
- используйте решения, предусмотренные для снижения электромагнитных наводок в кабеле;
- используйте принцип клетки Фарадея.

Электромагнитные наводки можно устранить, используя принцип клетки Фарадея. Возможным решением является экранированный кабель, при этом оба конца экранирующей оболочки должны быть присоединены к металлическому корпусу устройства. Открытые проводящие части должны быть соединены для повышения эффективности на высоких частотах.

Электромагнитные наводки снижаются с увеличением расстояний и при использовании симметричных каналов передачи.

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Рекомендации по электропроводке

5.1 Классы сигналов (рис. R37)

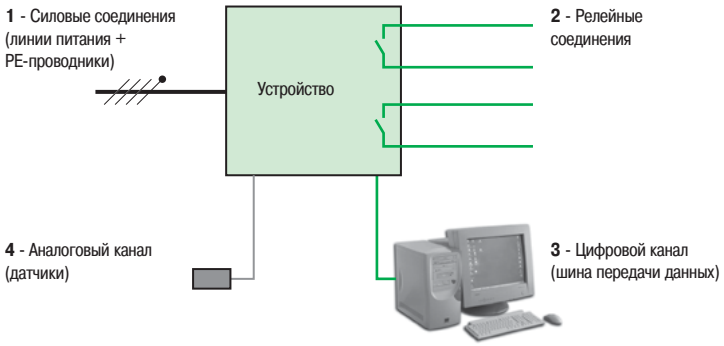


Рис. R37. Цепи передачи внутренних сигналов можно сгруппировать в четыре класса

Четыре класса цепей передачи внутренних сигналов:

■ Класс 1

Цепи сетевого питания, силовые цепи с высоким градиентом изменения тока (di/dt), импульсные источники питания, устройства регулирования мощности.

Данный класс – не очень чувствительный, но создает помехи для остальных классов.

■ Класс 2

Релейные контакты.

Этот класс – не очень чувствительный, но создает помехи для остальных классов (коммутация, образование дуги при размыкании контактов).

■ Класс 3

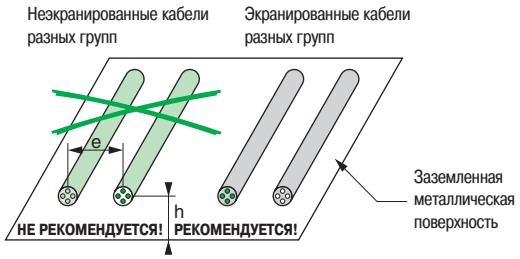
Цифровые каналы (высокочастотные коммутации).

Данный класс чувствителен к импульсным сигналам, но также создает помехи для следующего класса.

■ Класс 4

Аналоговые входные и выходные цепи (низкоуровневые измерения, схемы питания активных датчиков). Этот класс является чувствительным.

Чтобы облегчить распознавание и разделение кабелей разных классов рекомендуется использовать для каждого класса проводники определенного цвета. Это полезно при проектировании и устранении неисправностей.



Риск перекрестных помех, если e < 3 h

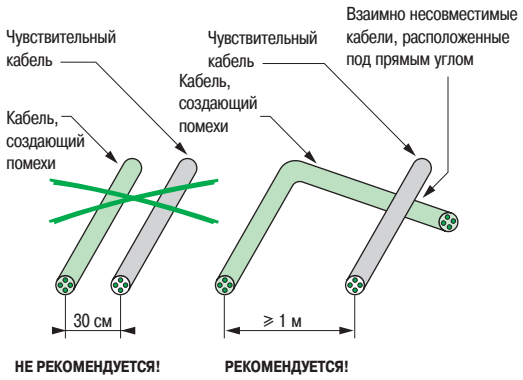


Рис. R38. Рекомендации по размещению кабелей, передающих разные типы сигналов

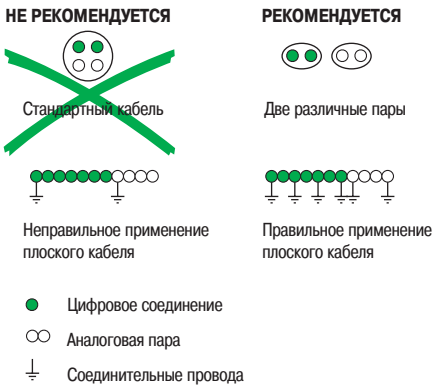


Рис. R39. Использование обычного и плоского кабелей

5.2 Рекомендации по прокладке кабелей

Кабели, передающие различные типы сигналов, должны быть физически разделены (см. **рис. R38** выше).

Кабели, создающие помехи (класс 1 и 2), должны быть размещены на некотором расстоянии от чувствительных кабелей (классы 3 и 4) (см. **рис. R38** и **Q39**)

Как правило, если кабели проложены по металлической поверхности, то достаточно промежутка 10 см между кабелями (для уменьшения как симметричных, так и несимметричных помех). Если достаточно места, то промежуток между кабелями 30 см является предпочтительным. Если кабели должны пересечься, то пересечение должно быть сделано под прямым углом, чтобы избежать перекрестных помех. Не требуется соблюдение промежутка между кабелями, если кабели разделены металлической перегородкой. При этом перегородка и сторонние проводящие части должны быть заземлены, и их потенциалы должны быть одинаковы. Высота перегородки должна быть больше, чем диаметр кабелей.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Рекомендации по электропроводке

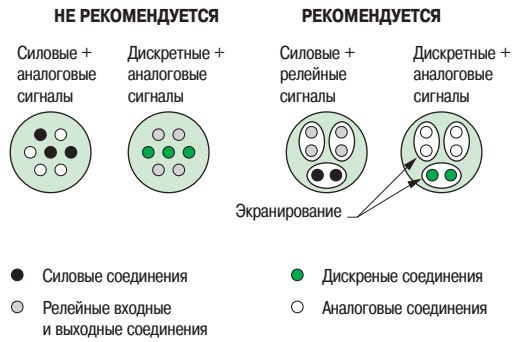


Рис. R40. Несовместимые сигналы = разные кабели

По кабелю должны передаваться сигналы одной группы (см. **рис. R40**).

Если необходимо использовать кабель для передачи сигналов разных групп, требуется внутреннее экранирование для ограничения перекрестных помех (в дифференциальном режиме). Для групп 1, 2 и 3 экранирующая оболочка (предпочтительно оплетка) должна быть соединена на каждом конце.

Рекомендуется экранирование помехообразующих и чувствительных кабелей (см. **рис. R41**).

Экранирование служит в качестве защиты от высокочастотных помех в синфазном и дифференциальном режимах), если экран соединен на каждом конце с помощью кольцевого соединителя, кольцевой скобы или хомута. Использование обычного соединительного провода недостаточно.

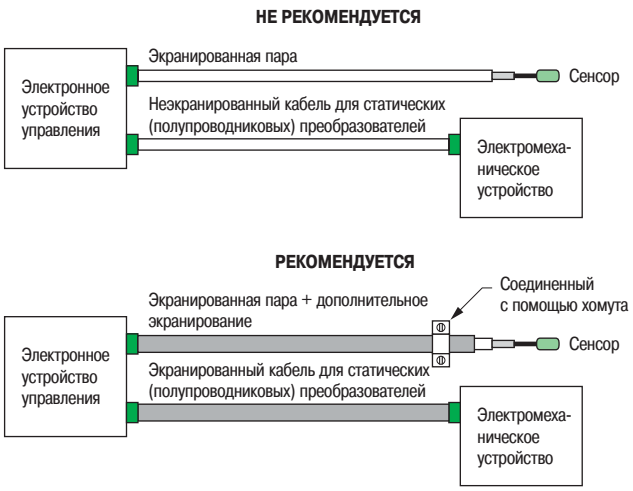


Рис. R41. Внутреннее и наружное экранирование помехообразующих и чувствительных кабелей

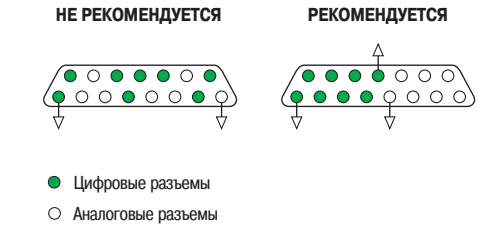


Рис. R42. Разделение применяется также к разъемам

Избегайте использования одного разъема для передачи сигнала разных групп (см. **рис. R42**)

Кроме случаев, когда это необходимо для групп 1 и 2 (дифференциальный режим). Если используется один разъем для аналоговых и цифровых сигналов, две группы должны разделяться минимум одной контактной группой, присоединенной к нулевому потенциалу и используемой в качестве барьера.

Все резервные проводники должны быть всегда соединены на каждом конце с системой уравнивания потенциалов (см. **рис. R43**)

Для группы 4 эти соединения не рекомендуются в линиях с очень низкими уровнями напряжения и частоты (из-за риска создания шумов при частотах передачи вследствие магнитной индукции).

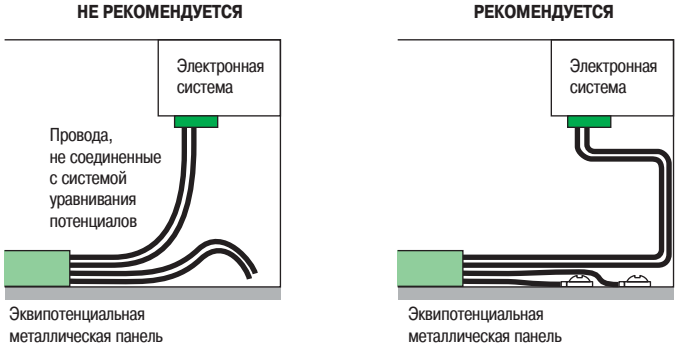


Рис. R43. Неиспользуемые проводники должны быть соединены с системой уравнивания потенциалов

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

5 Рекомендации по электропроводке

Два проводника должны располагаться как можно ближе друг к другу (см. **рис. R44**)
Это особенно важно для низкоуровневых датчиков. Даже в случае релейных сигналов вместе с активными проводниками должен использоваться, по крайней мере, один общий проводник на жгут проводников. Для аналоговых и цифровых сигналов минимальным требованием являются витые пары. Использование витой пары (в дифференциальном режиме) гарантирует, что два провода останутся вместе на протяжении всей длины кабеля.

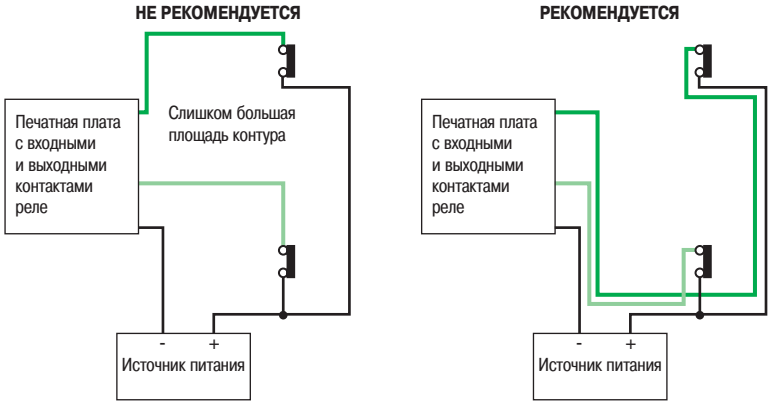
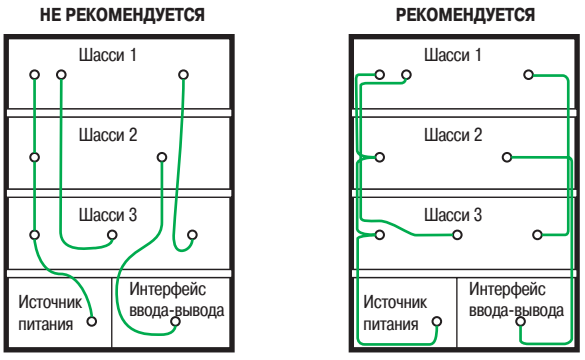


Рис. R44. Два провода должны быть проложены как можно ближе друг к другу

Кабели группы 1 не требуют экранирования при наличии фильтров.
Но они должны состоять из витых пар в соответствии с предыдущим разделом.

Кабели должны располагаться по всей длине непосредственно на соединенных металлических конструкциях (см. **рис. R45**)**.**
Например: крышки, металлические короба, конструкции и т.д. Это обеспечивает надежное, недорогое и значительное ослабление помех (в фазном режиме) и ослабление наводок (в дифференциальном режиме). При этом все элементы металлических конструкций должны быть электрически связаны друг с другом.



Все металлические части (корпус, конструкция, защитные оболочки и др.) имеют одинаковые потенциалы

Рис. R45. Прокладка рабочих проводников непосредственно по соединенным металлическим конструкциям

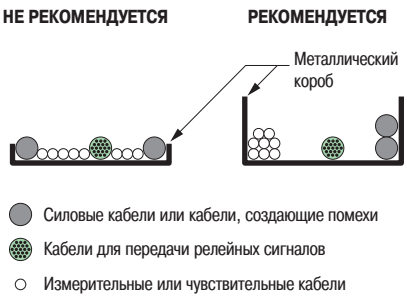


Рис. R46. Прокладка кабелей в коробах

Использование металлического короба (с правильно соединенными конструктивными элементами) значительно улучшает внутреннюю электромагнитную совместимость (см. **рис. R46**)**.**

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

Глава S

Измерения

1 Приложения для измерений 2

2 Описание приложений 3

2.1 Энергоэффективность и снижение затрат 3
2.2 Доступность и надежность энергоснабжения....4
2.3 Учет и контроль качества электроэнергии в сети 5
2.4 Система выставления счетов....6
2.5 Распределение затрат, проверка счетов и система тарификации 6

3 Стандарт МЭК 61557-12 7

3.1 Функции устройства измерения и контроля 7
3.2 Маркировка....8
3.3 Погрешность измерений....8

© Schneider Electric – все права защищены

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

1 Приложения для измерений

В этой главе дано описание различных приложений для измерений, а также основные стандарты в этой области.

Приложения для измерений разделены на 5 основных категорий, как показано на **рис. S1**.

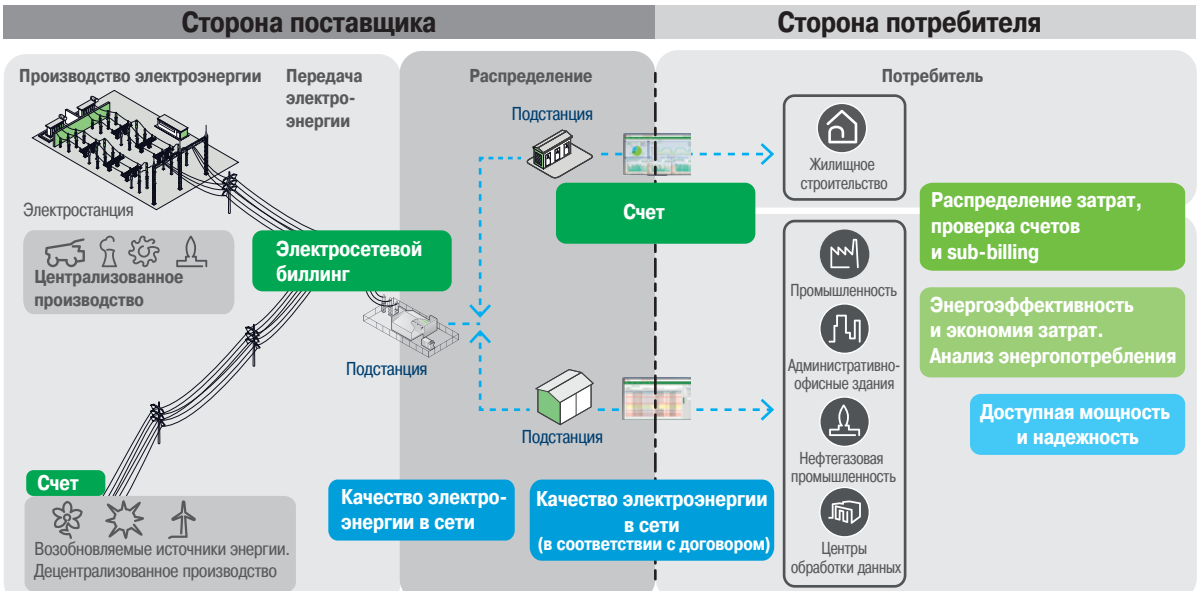


Рис. S1. Пять основных видов приложений для измерения электроэнергии на сторонах поставщика и потребителя

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Описание приложений

2.1 Энергоэффективность и снижение затрат

Данное приложение предназначено для измерения электроэнергии и ее использование наиболее эффективным способом для уменьшения затрат.
Более подробно энергоэффективность рассматривается в главе K.
Основные стандарты указаны ниже:

Полная оценка энергоэффективности	Инструменты для оценки	Устройства, используемые для оценки
ISO ИСО 50001 Системы энергетического менеджмента – Требования и руководство по применению	**ISO ИСО 50006** Энергетические базовые линии (EnB) и индикаторы энергопараметров (EnPI) **IEC МЭК 60364-8-1** Электроустановки низковольтные. Часть 8-1. Энергоэффективность	**PMD (измерение мощности)** **IEC МЭК 61557-12** Устройства для измерения и контроля рабочих характеристик (PMD) **Шлюзы, энергетические серверы, регистраторы данных** **IEC МЭК 62974-1** Системы мониторинга и измерения, используемые для сбора, регистрации и анализа данных. Часть 1. Требования к приборам

Рис. S2. Стандарты энергоэффективности, распределения затрат и оптимизации

Смотрите также рекомендации, представленные в разделе S4.

Устройство измерения iEM 2000 серии Acti 9 компании Schneider Electric

Устройство измерения iEM 3000 серии Acti9 компании Schneider Electric

Рис. S3. Устройства для повышения энергоэффективности, соответствующие требованиям стандарта МЭК 61557-12 (ГОСТ МЭК 61557-12-2015)

© Schneider Electric – все права защищены

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2.2 Доступность и надежность энергоснабжения

Во время работы электроустановки рекомендуется контролировать основные параметры сети, такие как напряжение, ток, частота и / или активная мощность.

Некоторые электрические явления могут оказать влияние на работу оборудования на уровне предприятия (например, небаланс может сократить срок службы двигателей, перебои в их работе могут остановить производство и т.д.).

В следующей таблице приведены основные проблемы, которые могут возникнуть в сети:

Параметры	Измерение	Влияние на энергоэффективность	Влияние на производительность
Коэффициент мощности	cos φ	Низкий коэффициент создает дополнительные потери в установке. Поставщик энергии начисляет дополнительную плату потребителю.	Нагрев кабелей (кабели должны быть больше необходимых)
Гармоники тока и напряжения	THDu THDi	Последовательность отрицательных гармоник (U2) замедляются работу двигателя. Гармоники создают дополнительные потери в установке.	Ранний выход из строя некоторых устройств, в основном двигателей
Постоянные или частые перепады напряжения	U	Устройства могут работать за пределами указанного диапазона, и потреблять больше, чем в номинальном режиме, в основном двигатели	Ранний выход из строя некоторых устройств, в основном двигателей
Небаланс напряжения	Uimb	Дисбаланс напряжения создает дополнительные потери в двигателях.	Ранний выход из строя некоторых устройств, в основном двигателей
Провалы и перерывы	Udip Uint	---	Прерывание работы с финансовыми последствиями
Частота	f	---	Двигатели могут изменить свою скорость вращения в зависимости от частоты
Фликер	Pst RVC	---	Это явление может вызывать колебания напряжения в электрической сети

Рис. S4. Основные проблемы, которые могут возникнуть в электрической сети, а также их потенциальные последствия

Основные стандарты указаны ниже:

Нужды установки/ стандарты	Стандарты по методам измерения	Стандарты по изделиям
Индикация напряжения, тока и частоты	---	**Аналоговые счетчики** **МЭК 60051** Приборы аналоговые показывающие электроизмерительные прямого действия и вспомогательные части к ним
Контроль распределения электроэнергии	---	**PMD (измерение мощности)** **МЭК 61557-12** Аппаратура для испытания, измерения или контроля средств защиты
	МЭК 61000-4-30 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Методы измерений показателей качества электрической энергии	**PMD (измерители мощности) класс A или S** **МЭК 61557-12** Аппаратура для испытания, измерения или контроля средств защиты **и** **МЭК 62586-2** NEW Измерение качества электроэнергии в системах электроснабжения. Часть 2. Функциональные испытания и требования к погрешности

Рис. S5. Стандарты по доступности и надежности энергопитания

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2 Описание приложений

Компактный автоматический выключатель серии Compact NSX, оснащенный расцепителем Micrologic, компании Schneider Electric

Устройство измерения энергии PM5000 серии PowerLogic компании Schneider Electric

Устройство измерения энергии PM8000 серии PowerLogic компании Schneider Electric

Рис. S6. Приборы измерения и контроля электроэнергии, соответствующие требованиям стандарта МЭК 61557-12 (ГОСТ МЭК 61557-12-2015)

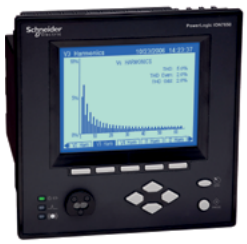
2.3 Учет и контроль качества электроэнергии в сети

Некоторые нормативные акты или особые контракты требуют от поставщиков энергии контролировать параметры электроэнергии на любом отрезке сети. Это касается напряжения, частоты, перепадов напряжения, гармоник, небаланса, провалов, фликера и т.д.

Измерения, как правило, производится на стороне поставщика (проверка поставляемой энергии на соответствие требованиям договора) и на стороне потребителя (проверка полученной энергии на соответствие договору) на качество предоставляемой электроэнергии, посредством аппаратуры класса А в соответствии с требованиями стандарта МЭК 61000-4-30 (ГОСТ 30804.4.30-2013).

Применяемые стандарты для оценки	Стандарт по методам измерения	Стандарт по изделиям
CENELEC EN 50160 Характеристики напряжения электроэнергии в сетях общего пользования **IEC МЭК/ТС 62749** NEW Оценка качества электроэнергии. Характеристики электроэнергии, поставляемой коммунальными электросетями	**IEC МЭК 61000-4-30 класс А** Техника испытаний и измерений. Методы измерений показателей качества электрической энергии	**Средства измерений показателей качества электроэнергии (СИ ПКЭ)** **IEC МЭК 62586-1** NEW Измерение параметров качества электрической энергии в системах электроснабжения. Часть 1. Средства измерений показателей качества электроэнергии (СИ ПКЭ) **и** **IEC МЭК 62586-2** NEW Измерение качества электроэнергии в системах электроснабжения. Часть 2. Функциональные испытания и требования к погрешности

Рис. S7. Стандарты для оценки качества электроэнергии в сети



Прибор учета и контроля качества электроэнергии ION7550/ION7650 серии PowerLogic компании Schneider Electric

Прибор учета и контроля качества электроэнергии ION8800 серии PowerLogic компании Schneider Electric

Прибор учета и контроля качества электроэнергии ION8650 серии PowerLogic компании Schneider Electric

Рис. S8. Приборы учета и контроля качества электроэнергии в сети, соответствующие требованиям стандарта МЭК 61000-4-30 (ГОСТ 30804.4.30-2013)

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

2.4 Система выставления счетов

Биллинг – это система выставления счетов, которая позволяет поставщикам энергии или их представителям выставлять счета своим клиентам в соответствии с условиями контракта, произведенными измерениями или предоставленными услугами.

Эти приложения соответствуют международными, региональными или местными стандартами в дополнение к техническим условиям. Могут дополнительно применяться такие нормы как MID в Европе, NMI M-6 в Австралии, LBM-EG-07 в Канаде, JJG 596 в Китае и т.д.

Эти приложения предназначены для защиты потребителей и поставщиков от неправильных или мошеннических измерений. В большинстве случаев приложения, используемые поставщиком энергии, устанавливается на месте потребителя, поэтому внимание сосредоточено на предотвращении мошенничества. Это достигается путем установления требований, предъявляемых к:
- измерительному прибору (точность активных счетчиков электроэнергии, установка измерительных приборов, где может быть запрошена оценка третьей стороной);
- обеспечению безопасности измерительных приборов (герметизация корпуса прибора, обеспечение соответствующим программным обеспечением, параметры конфигурации измерительного прибора и его интерфейсы);
- маркировке измерительных приборов, в том числе дате его монтажа, с целью обеспечения проверки точности, с интервалом времени, определяемым национальными нормами.

К приборам учета электроэнергии предъявляются конкретные правовые требования, например, они должны проходить периодическую проверку каждые 6-10 лет в соответствии с местными нормами.

2.5 Распределение затрат, проверка счетов и система тарификации

Sub-billing – это система тарификации, которая позволяет арендодателю, сервис-менеджеру здания, товариществу собственников жилья или другим пользователям распределять счета между арендаторами жилья в соответствии с показаниями приборов учета. Эта плата входит в общий счет арендатора.

Так как счетчик используется для выставления счетов, он, как правило, устанавливается в электрическом щите под замком или в отдельной комнате, не доступной для арендатора, во избежание риска мошенничества. Устройства, используемые для системы sub-billing и установленные в распределительных щитах и шкафах управления, должны соответствовать требованиям по ЭМС, температуре и механическим воздействиям, а также стандарту МЭК 61557-12 (ГОСТ IEC 61557-12-2015).

Распределение затрат – это процесс, который позволяет сервис-менеджеру здания распределять накладные за израсходованную энергию по арендаторам, которые потребляют энергию.
Проверка счетов – это процесс, который позволяет клиентам контролировать, что накладная, посланная поставщиками энергии или их представителями, является верной.

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Стандарт МЭК 61557-12

Все чаще в электроустановках аналоговое оборудование заменяется на цифровое. Цифровое оборудование обеспечивает более точные измерения и удаленный доступ пользователей к их результатам.
Устройства контроля имеют различные характеристики, но общую систему измерений, позволяющую пользователям сделать простой выбор с точки зрения уровней производительности, надежности и отображения различных измеряемых параметров.

Все приборы измерения и контроля должны соответствовать требованиям стандарта МЭК 61557-12 (ГОСТ IEC 61557-12-2015): " Сети электрические распределительные низковольтные до 1000 В переменного тока и 1500 В постоянного тока. Безопасность. Оборудование для испытания, измерения или контроля средств защиты. Часть 12. Приборы для измерения и мониторинга рабочих характеристик".

3.1 Функции устройства измерения и контроля

Ниже перечислены все возможные электрические параметры, подлежащие измерению. Для каждого параметра указан перечень требований, таких как номинальный рабочий диапазон, диапазон влияющих количественных показателей, методы измерения и т.д.

Электрические параметры:

- Активная энергия (классы эквивалентны приведенным в МЭК 62053-21 (ГОСТ 31819.21-2012) и МЭК 62053-22 (ГОСТ 31819.22-2012))
- Реактивная энергия (классы эквивалентны приведенным в МЭК 62053-23 (ГОСТ 31819.23-2012))
- Полная энергия
- Активная, реактивная и полная мощность
- Частота
- Среднеквадратичный ток и ток нейтрали
- Среднеквадратичное напряжение
- Коэффициент мощности
- Падение напряжения
- Прерывание в напряжение
- Небаланс напряжения
- Гармоническое напряжение и искажения
- Токи высших гармоник и искажений
- Максимальные, минимальные, пиковые, средние значения, спрос и стоимость.

© Schneider Electric – все права защищены
Life Is On Schneider Electric
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Стандарт МЭК 61557-12

3.2 Маркировка

Согласно стандарту, устройства имеют код, обозначающий их параметры установки, диапазон рабочих температур и класс точности. В результате, стало значительно проще выбрать и идентифицировать эти устройства (см. **рис. S9**).

Устройства измерения PM8000 серии PowerLogic, соответствующих стандарту МЭК 61557-12 (ГОСТ IEC 61557-12-2015), такие как: PMD/SD/K70/0,2 и PMD/SS/K70/0,2

PMD / cv / Ktt / p

c = Измерение тока:
S = C внешним датчиком
D = Прямое измерение

v = Измерение напряжения:
S = C внешним датчиком
D = Прямое измерение

K = Температурный класс:
K55 = от -5 до + 55°C
K70 = от -25 до + 70°C

p = класс производительности активной энергии
0,2 = класс 0,2
0,5 = класс 0,5
1 = класс 1
2 = класс 2

Рис. S9. Идентификация измерительных приборов в соответствии со стандартом МЭК 61557-12 (ГОСТ IEC 61557-12-2015)

3.3 Погрешность измерений

Понятий о классах точности (например, класса 1 для измерения активной энергии), определенных стандартом МЭК 61557-12 (ГОСТ IEC 61557-12-2015), намного больше, чем требований, связанных с погрешностью при номинальном токе.

- Внутренняя погрешность: охватывает деятельность по выполнению двух наборов нормальных условий.
- Операционная погрешность: охватывает до 12 параметров окружающей среды и электромагнитных воздействий, которые, как правило, влияют на работу измерительных приборов.
- Общая погрешность системы: информация о том, как оценить погрешность в измерительных приборах, работающих с внешними датчиками.

3.3.1 Внутренняя погрешность

Внутренняя погрешность – это погрешность измерительного прибора при использовании в нормальных условиях (например, при 23 ° C) для различных значений коэффициента мощности. В данном стандарте – это процент от измеренного значения (показания).

График на **рис. S10** показывает существенные ограничения погрешности для класса точности 0,2;1 измерения активной энергии при коэффициенте мощности = 1, в соответствии с таблицей 8 МЭК 61557-12 (ГОСТ IEC 61557-12-2015).

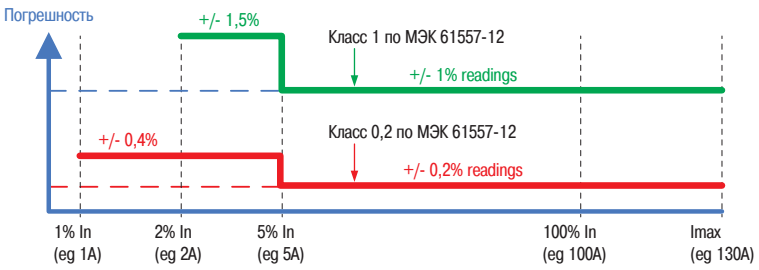


Рис. S10. Пределы погрешности для активной энергии при коэффициенте мощности = 1

© Schneider Electric – все права защищены
Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

3 Стандарт МЭК 61557-12

График на **рис. S11** показывает пределы погрешности для измерения активной энергии класса 1 и класса 0,2 при коэффициенте мощности 0,5 при индуктивной нагрузке и коэффициенте мощности 0,8 при емкостной нагрузке в соответствии с таблицей 8 стандарта МЭК 61557-12.

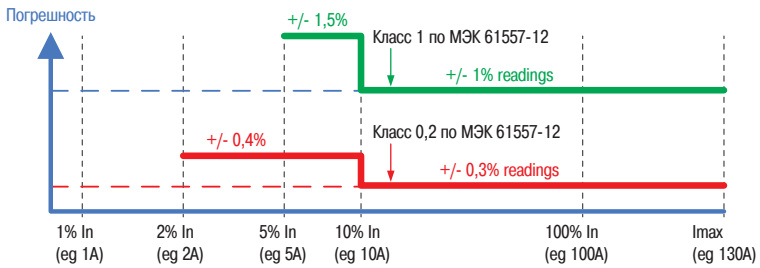


Рис. S11. Пределы погрешности для измерения активной энергии при коэффициенте мощности 0,5 при индуктивной нагрузке и коэффициенте мощности 0,8 при емкостной нагрузке

МЭК 61557-12 (ГОСТ IEC 61557-12-2015) также определяет требования в ситуации с холостым ходом и пусковыми токами.

3.3.2 Операционная погрешность

Операционная погрешность – это погрешность при номинальных условиях эксплуатации (поправки из-за температуры, частоты, ЭМС и т.д.).

МЭК 61557-12 (ГОСТ IEC 61557-12-2015) определяет испытания и максимальное значение погрешности из-за различных влияющих величин, таких как T ° окружающей среды, частота, несимметрия, гармоники и ЭМС.

	Максимальные изменения погрешности для активных измерений энергии в соответствии с таблицей 9 МЭК 61557-12		
Влияющие велечины	**Условия**	**Для класса 1**	**Для класса 0,2**
Температура окружающей среды T °	cosφ=1 cosφ=0,5 Ind	0,05% / °K 0,07% /°K	0,01% / °K 0,02% /°K
Вспомогательный источник питания	24 В пост. тока +/-15%	0,1%	0,02%
Напряжение	PF = 1; 80% / 120% Un PF = 0,5Ind; 80% / 120% Un	0,7% 1%	0,1% 0,2%
Частота	49 Гц 51 Гц / 59 Гц 61 Гц cosφ=1 49 Гц 51 Гц / 59 Гц 61 Гц cosφ=0,5	0,5% 0,7%	0,1% 0,1%
Обратная последовательность фаз		1,5%	0,05%
Небаланс напряжения	От 0 до 10 %	2%	0,5%
Отсутствие фазы	1 или 2 фазный обрыв	2%	0,4%
Гармоники тока и напряжения	Нечетные гармоники тока (20 % Imax каждая пятая) Нечетные гармоники напряжения (10 % Un пятую)	0,8% 3% 3%	0,38% 0,6% 0,6%
Подавление синфазного напряжения		0,5%	0,2%
Магнитная индукция постоянного (переменного тока) 0,5 мТл		2%	2%
Электромагнитные/ радиочастотные поля		2%	0,98%
Наведенные помехи, вызванные радиочастотными полями		2%	0,98%

Рис. S12. Испытания с влияющими величинами

3.3.3 Общая погрешность системы

Общая погрешность системы – это погрешность, в том числе инструментальная, нескольких разделенных приборов (датчиков, проводов, измерительных приборов и т.д.) при номинальных условиях эксплуатации.

В случае если датчики встроены в устройство измерения мощности, то общая погрешность системы и операционная погрешность одинаковы.

В случае если датчики являются внешними, то рекомендуется использовать датчики такого же класса точности, как и прибор измерения мощности.

© Schneider Electric – все права защищены

Life Is On Schneider Electric

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

Для заметок

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

Green Premium™

Экознак, которым отмечаются самые экологичные изделия отрасли

Green Premium™
Product

Green Premium – уникальный экознак, позволяющий вам проводить активную природоохранную политику и при этом сохранять и повышать эффективность вашего бизнеса. Этот экознак гарантирует соответствие требованиям новейших экологических стандартов, а также дает много других преимуществ.

Свыше 75 % продукции компании Schneider Electric отмечено экознаком Green Premium.

Узнайте, что мы называем «зеленым»…

Проверьте свои изделия!

Посредством экологического статуса продукции Green Premium компания Schneider Electric повышает уровень информационной открытости, предоставляя своим клиентам всю необходимую экологическую информацию о своих изделиях.

Директива RoHS

Компания Schneider Electric обязалась применять требования Директивы RoHS ко всей своей продукции по всему миру, хотя действие Директивы не распространяется на значительную часть изделий и оборудования компании. На все изделия, отвечающие критериям этой европейской инициативы, направленной на прекращение использования опасных веществ, имеются сертификаты соответствия.

Регламент REACh

Компания Schneider Electric применяет регламент REACh к своей продукции по всему миру и предоставляет полную информацию о содержании особо опасных веществ (SVHC) в своих изделиях.

PEP: Экологический профиль изделия

В соответствии со стандартом ISO 14025 компания Schneider Electric предоставляет своим клиентам Экологический профиль изделия (PEP) – полный комплект экологической информации, включая данные об «углеродном следе» и энергопотреблении для каждого этапа жизненного цикла изделия. Экологический профиль PEP особенно полезен для контроля и снижения энергопотребления и / или сокращения углеродосодержащих выбросов.

EoLI: Инструкции по утилизации

Эти инструкции, которые можно получить одним кликом, содержат следующие данные:

- коэффициенты использования вторичных ресурсов для продукции Schneider Electric;
- указания по снижению рисков для персонала при разборке изделий и перед началом работ по утилизации;
- обозначения деталей для утилизации или выборочной обработки, позволяющие снизить риски для окружающей среды и / или риски из-за несовместимости со стандартным процессом переработки.

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру

Life Is On | Schneider Electric

Schneider Electric

Центр поддержки клиентов
Тел.: 8 (800) 200 64 46 (многоканальный)
Тел.: (495) 777 99 88, факс: (495) 777 99 94
ru.ccc@se.com
www.se.com
Время работы: 24 часа 5 дней в неделю
(с 23.00 воскресенья до 23.00 пятницы)

© Schneider Electric, 2019.
Все права защищены. Schneider Electric | Life is on – зарегистрированная торговая марка
и собственность компании Schneider Electric, ее дочерних и аффилированных с ней компаний.

MKP-CAT-ELGUIDE-19
06/2019

Важные пункты документа можно найти по ссылке на Энергетик.ру