

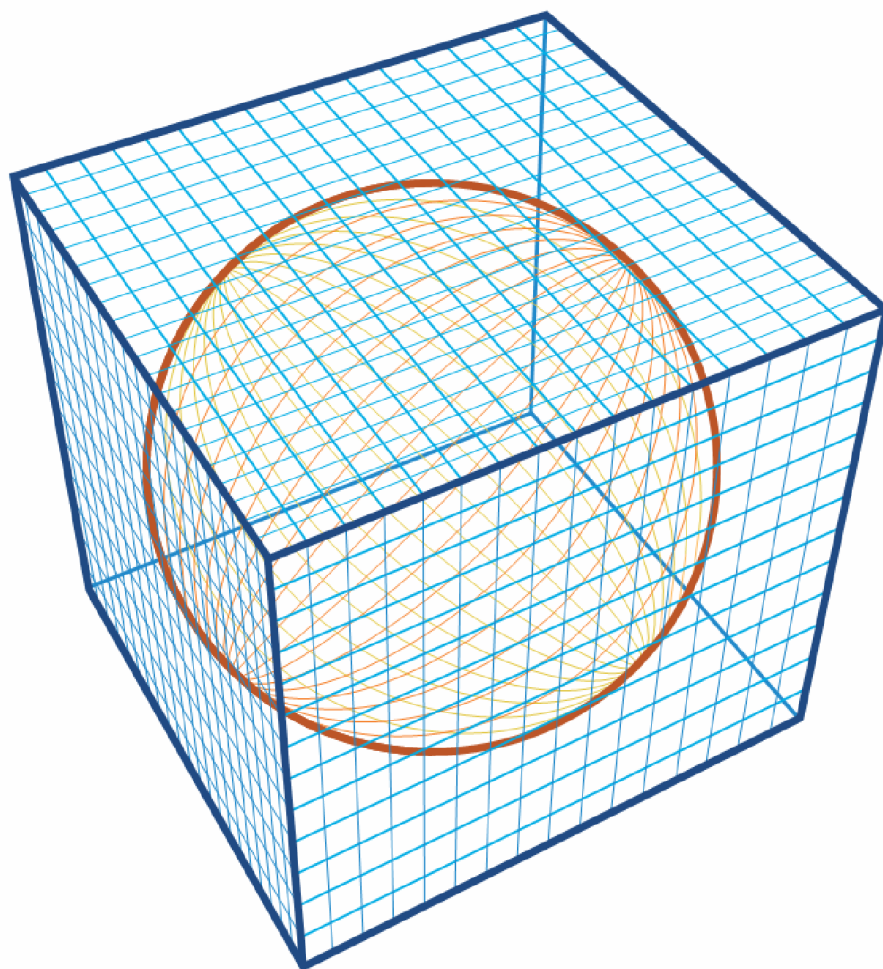
Оборудование для автоматизации

Справочник по электрооборудованию Устройства защиты и управления Электрические устройства

Power and productivity
for a better world™



Справочник по электрооборудованию Устройства защиты и управления Электрические устройства



Справочник предназначен:

- для специалистов проектных, электромонтажных и эксплуатационных организаций,
- для специалистов компаний - дистрибьюторов электрооборудования.

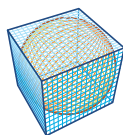
Справочник может быть рекомендован в качестве учебного пособия для студентов высших и средних учебных заведений.

Седьмое издание 2018

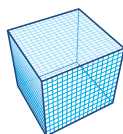
Справочник по электрооборудованию

Устройства защиты и управления

Электрические устройства

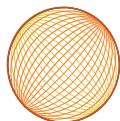


Общие положения



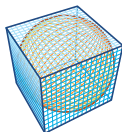
Часть 1

Устройства защиты и управления 1



Часть 2

Электрические устройства



Общие положения

Содержание

Введение	6
1 Стандарты	
1.1 Общие положения.....	7
1.2 Стандарты МЭК и соответствующие им стандарты ГОСТ Р для электрооборудования	20
1.3 Стандарты серии ГОСТ.....	25

Введение

Область применения и назначения

Целью настоящего справочника по электрооборудованию является обеспечение проектных организаций, разработчиков электрощитового оборудования, а также персонала, эксплуатирующего электроустановки, всей необходимой информацией. Данное пособие не является ни теоретическим трудом, ни техническим каталогом. В дополнение к предыдущему изданию оно ставит своей задачей помочь правильно выбрать оборудование для применения в самых разнообразных электроустановках. Часть 2 справочника «Электрические устройства» является переизданием «Учебного пособия по электроустановкам» (январь 2007).

Большое количество различных устройств, используемых в электроустановках, требует широких знаний в различных областях, например, в области энергосистем, электрических проводников и прочих компонентов. Это приводит к тому, что инженер вынужден искать нужную информацию в многочисленных документах и технических каталогах. Данное пособие имеет цель собрать воедино многочисленные справочные таблицы, предназначенные для быстрого определения основных параметров электрооборудования, а также таблицы по выбору защитных устройств для широкого диапазона электроустановок. В справочнике приводятся примеры, иллюстрирующие принципы пользования таблицами для выбора.

Пользователям справочника по электрооборудованию

Данный справочник предназначен для всех, кто интересуется электроустановками. Он окажется полезным инженерам-монтажникам, техникам по ремонту и обслуживанию электроустановок своими краткими, но очень важными справочными данными по электротехнике, а инженерам по сбыту - таблицами для выбора, удобными для быстрого наведения справки по устройствам.

Применимость справочника по электрооборудованию

В следствие обобщения процесса выбора в некоторых таблицах приводятся приблизительные значения величин, например, это относится к конструктивным характеристикам электрического оборудования. В каждом случае, по возможности, приводятся поправочные коэффициенты для реальных условий, которые могут отличаться от предполагаемых. В целях безопасности таблицы составлены с завышенными величинами. Для более точных расчетов рекомендуется использовать разработанное АББ программное обеспечение DOC2, предназначенное для выбора оборудования и проведения необходимых расчетов при проектировании электроустановок.

1 Стандарты

1.1 Общие положения

В электротехнике, как и в любой технической области, достаточным, даже если не обязательным условием для разработки технических систем в соответствии с **«современным уровнем развития техники»** и удовлетворения запросов заказчиков, является четкое соблюдение всех положений технического законодательства.

Таким образом, четкое знание стандартов является основополагающим фактором для правильного подхода к вопросам, связанным с электроустановками. При этом надо иметь в виду, что они должны проектироваться так, чтобы гарантировать **«приемлемый уровень безопасности»**, который, однако, никогда не является абсолютным.»

Юридические стандарты

К этим стандартам относятся все стандарты, диктующие правила поведения для юридических лиц, находящихся под суверенитетом того или иного государства.

Технические стандарты

Эти стандарты являются сводом правил, на основе которых должны быть спроектированы, изготовлены и испытаны все механизмы, аппараты, материалы и установки таким образом, чтобы гарантировать эффективность и безопасность эксплуатации. Технические стандарты, изданные национальными и международными органами, тщательно составлены и могут иметь правовую силу, если она им придается законодательными актами.

Области применения

	Электротехника и электроника	Телекоммуникации	Механика, эргономика и безопасность
Международная организация	МЭК	ITU (МСЭ)	ISO (ИСО)
Европейская организация	CENELEC	ETSI	CEN

Этот сборник технических стандартов принимает во внимание только организации в области электротехники и электроники.

ИЕС - Международная электротехническая комиссия (МЭК)

Международная электротехническая комиссия (МЭК) была официально основана в 1906 г. с целью обеспечения международного сотрудничества в отношении стандартизации и сертификации в области электротехники и электроники. Данную организацию представляют международные комитеты более 40 стран мира.

МЭК издает международные стандарты, технические пособия и статьи, которые являются основой для национальной и европейской деятельности в области стандартизации.

Стандарты МЭК, как правило, издаются на двух языках: английском и французском. В 1991 г. МЭК утвердила договоры о сотрудничестве с CENELEC (Европейская организация по стандартизации), согласно которым любая деятельность по стандартизации должна быть спланирована и утверждена в установленном порядке.

1 Стандарты

CENELEC - Европейский комитет по электротехнической стандартизации

Европейский комитет по электротехнической стандартизации (CENELEC) был основан в 1973 г. В настоящее время комитет объединяет 31 страну (Австрия, Бельгия, Болгария, Великобритания, Венгрия, Германия, Греция, Дания, Ирландия, Исландия, Испания, Италия, Кипр, Латвия, Литва, Люксембург, Мальта, Нидерланды, Норвегия, Португалия, Польша, Румыния, Словакия, Словения, Финляндия, Франция, Хорватия, Чешская Республика, Швеция, Швейцария, Эстония) и сотрудничает с 12 присоединившимися странами (Албания, Беларусь, Грузия, Босния и Герцеговина, Тунис, бывшая Югославская Республика Македония, Сербия, Ливия, Черногория, Турция, Украина и Израиль), которые на первом этапе, наряду с документами CENELEC, сохраняли свои национальные документы, а затем заменили их согласованными документами. Разница между Европейскими стандартами (EN) и согласованными документами заключается в следующем: первые должны быть приняты без изменений и дополнений в любой стране и на любом уровне, во втором случае могут быть внесены поправки в соответствии с требованиями той или иной страны.

Европейские стандарты публикуются на трех языках: английском, французском и немецком. С 1991 г. CENELEC сотрудничает с МЭК с целью ускорить процесс преобразования стандартов в международные стандарты.

Деятельность CENELEC в области стандартизации достаточно специфична и крайне востребована.

Когда МЭК начинает изучение какого либо конкретного вопроса, Европейская организация по стандартизации (CENELEC) может решить, принять или, в случае необходимости, внести поправки в документы, уже одобренные международной организацией стандартизации.

Директивы европейского сообщества (ЕС), относящиеся к электрооборудованию

Одной из основных задач ЕС является издание директив, которые должны быть приняты различными государствами-членами и введены в национальное законодательство.

После принятия директивы вступают в юридическую силу и становятся основными для производителей, монтажников электрооборудования и торговых посредников, которые должны выполнять предписания, установленные законом.

Директивы основываются на следующих принципах:

- согласование ограничено важнейшими требованиями;
- только продукция, соответствующая указанным в директивах важнейшим требованиям, может поступить на рынок и вводится в эксплуатацию;
- согласованные стандарты, регистрационные номера которых опубликованы в Официальном бюллетене ЕС и введены в систему национальных стандартов, должны приниматься в соответствии с важнейшими требованиями;
- применение согласованных стандартов и других технических спецификаций является необязательным, и производитель вправе выбирать другие технические решения, которые будут соответствовать важнейшим требованиям;
- у производителя есть возможность выбора среди различных процедур оценки соответствия, предусмотренных соответствующей директивой.

Цель каждой директивы заключается в том, чтобы производитель принял все необходимые меры к тому, чтобы выпускаемая им продукция была безопасна для жизни и здоровья людей и животных, а также имущества.

1 Стандарты

Директива 2006/95/CE «Низковольтное оборудование»

Директива «Низковольтное оборудование» относится к электрооборудованию, для питания которого используется номинальное напряжение от 50 до 1000 В переменного тока или напряжение от 75 до 1500 В постоянного тока.

Данная Директива, по сути, применима для любых устройств, предназначенных для производства, преобразования, передачи, распределения и потребления электроэнергии, таких как двигатели, трансформаторы, приборы, измерительные инструменты, защитные устройства, а также электротехнические материалы.

На следующие категории данная Директива не распространяется:

- электрооборудование, предназначенное для использования во взрывоопасных средах;
- электрооборудование, предназначенное для рентгенологии и медицинских целей;
- электроаппаратура для грузовых и пассажирских лифтов;
- счетчики электроэнергии;
- штепсельные вилки и розетки бытового назначения;
- контроллеры электрифицированных ограждений;
- радио- и электропомехи, создаваемые при работе электрических устройств;
- специальное электрооборудование, используемое на кораблях, самолетах и железной дороге и соответствующее мерам безопасности, установленным международными организациями, в которые входят государства-члены сообщества.

Директива ЭМС 2004/108/CE («Электромагнитная совместимость»)

Директива по электромагнитной совместимости относится ко всем электрическим и электронным аппаратам, так же как к системам и установкам, содержащим электрические и/или электронные компоненты. Аппараты, подпадающие под действие данной Директивы, делятся на следующие категории в зависимости от их характеристик:

- бытовые радио- и телеприемники;
- промышленно-производственное оборудование;
- мобильное радиооборудование;
- мобильное радио- и коммерческое радиотелефонное оборудование;
- медицинские и научно-исследовательские аппараты;
- оборудование для обработки информации (ITE);
- бытовые электроприборы и домашняя электроника;
- авиационная и морская радиоаппаратура;
- электронное оборудование, используемое в сфере образования;
- телекоммуникационные сети и аппаратура;
- передатчики системы радио- и телевидения;
- осветительные и люминесцентные лампы.

Аппараты должны быть сконструированы таким образом, чтобы:

- a) производимые ими электромагнитные помехи не превышали уровень, допустимый для нормальной работы радио- и телекоммуникационного оборудования и другой аппаратуры;
- b) для нормальной работы аппараты должны иметь соответствующий уровень внутренней защиты от электромагнитных помех.

Аппарат может считаться соответствующим положениям по пунктам a) и b) в том случае, если он соответствует согласованным стандартам, применимым к данной категории продукции, если

1 Стандарты

таковые отсутствуют, - общим стандартам.

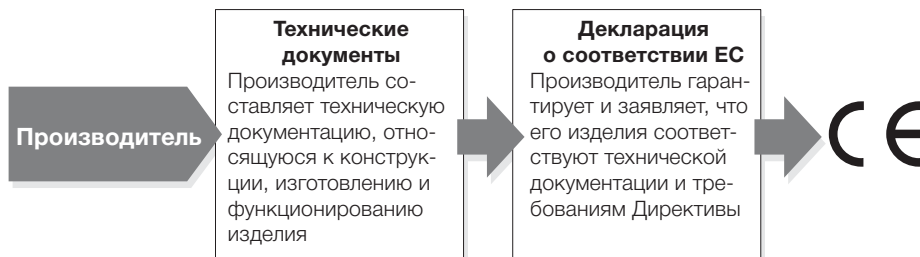
Знак соответствия Европейским стандартам (знак CE)

Знак CE призван указывать на соответствие данного продукта всем требованиям и директивам ЕС, установленным Европейским сообществом для производителей в отношении их продукции.



Маркировка CE на продукции подтверждает заявление производителя или его законного представителя о том, что данный продукт соответствует всем необходимым требованиям, в том числе, связанным с процедурами оценки соответствия. Это позволяет не допустить ограничения государствами-участниками продажи и ввода в эксплуатацию продукции с маркировкой CE, за исключением тех случаев, когда такие меры являются оправданными на основании доказанного несоответствия продукции стандартам.

Данная схема представляет собой процедуры оценки соответствия, учрежденные Директивой 2006/95/ CE для электрооборудования, предназначенного для работы в определенном диапазоне напряжений:



Морской регистр

Условия окружающей среды, в которых используются автоматические выключатели бортовых установок, могут отличаться от стандартных условий эксплуатации в промышленности. По существу, оборудование для морского применения может потребовать установки в особых условиях, таких как:

- окружающая среда, характеризующаяся высокой температурой и влажностью, включая атмосферу соляного тумана (насыщенный солью туман и влажное тепло);
- окружающая среда машинного отделения, в котором работает аппаратура, характеризуется вибрациями значительной амплитуды и продолжительности.

Для обеспечения нормального функционирования аппаратов в подобных условиях, согласно морскому регистру требуется, чтобы аппаратура испытывалась в соответствии с утвержденным перечнем испытаний особого типа, наиболее важными из которых являются испытания

1 Стандарты

на вибрационную стойкость, подверженность динамическому воздействию, влагостойкость и воздействие сухого нагрева.

Автоматические выключатели ABB (Tmax - Emax) утверждены следующими морскими регистрами:

• RINA	Registro Italiano Navale	Итальянский морской регистр
• DNV	Det Norske Veritas	Норвежский морской регистр
• BV	Bureau Veritas	Французский морской регистр
• GL	Germanischer Lloyd	Немецкий морской регистр
• LRs	Lloyd's Register of Shipping	Британский морской регистр
• ABS	American Bureau of Shipping	Американский морской регистр









Для получения информации о типах исполнения и технических характеристик сертифицированных автоматических выключателей рекомендуется всегда обращаться в компанию ABB или в раздел сертификаты на сайте <http://abb.ru>.

Знаки соответствия национальным и международным стандартам

Международные и национальные знаки соответствия собраны в следующую таблицу (исключительно для информации):

Государство	Символ	Буквенное обозначение знака	Применение/Организация
ЕВРОПА		-	Знак соответствия согласованным Европейским стандартам, перечисленным в Соглашении ENEC.
АВСТРАЛИЯ		Знак AS	Электрические и неэлектрические изделия. Этот знак гарантирует соответствие SAA (Австралийская ассоциация по стандартизации).
АВСТРАЛИЯ		Знак S.A.A.	Австралийская ассоциация по стандартизации (S.A.A.). Электротехническое управление Нового Южного Уэльса, Сидней, Австралия
АВСТРИЯ		Австрийский знак испытаний	Электрооборудование и материалы








1 Стандарты

Государство	Символ	Буквенное обозначение знака	Применение/Организация
АВСТРИЯ		OVE Обозначение прокладки кабеля	Кабели
БЕЛЬГИЯ		Знак CEBEC	Электротехническое оборудование и бытовые электроприборы
БЕЛЬГИЯ		Знак CEBEC	Кабелепроводы, каналы, провода и гибкие шнуры
БЕЛЬГИЯ		Сертификат соответствия	Электротехническое оборудование и бытовые электроприборы (в случаях отсутствия эквивалентного национального стандарта или критерия)
КАНАДА		Знак CSA	Электрические и неэлектрические изделия. Этот знак гарантирует соответствие CSA (Канадская ассоциация по стандартизации)
КИТАЙ		Знак CCC	Этот знак требуется для широкого спектра изделий, прежде чем их экспортировать или продавать на рынке Китайской Народной Республики.
ЧЕШСКАЯ РЕСПУБЛИКА		Знак EZU'	Электротехнический испытательный институт
СЛОВАЦКАЯ РЕСПУБЛИКА		Знак EVPU'	Электротехнический проектно-исследовательский институт









1 Стандарты

Государство	Символ	Буквенное обозначение знака	Применение/Организация
ХОРВАТИЯ		KONKAR	Электротехнический институт
ДАНИЯ		Знак подтверждения DEMKO	Низковольтные материалы. Этот знак гарантирует соответствие продукции требованиям (безопасности) «Стандарты для силовоточного оборудования»
ФИНЛЯНДИЯ		Знак безопасности Elektriska Inspektoratet	Низковольтные материалы. Этот знак гарантирует соответствие продукции требованиям (безопасности) «Стандарты для силовоточного оборудования»
ФРАНЦИЯ		знак ESC	Бытовые электроприборы
ФРАНЦИЯ		Знак NF	Провода и кабели – кабелепроводы и каналы – монтажное оборудование
ФРАНЦИЯ		Обозначение прокладки кабеля NF	Кабели
ФРАНЦИЯ		Знак NF	Портативные инструменты с электроприводом
ФРАНЦИЯ		Знак NF	Бытовые электроприборы








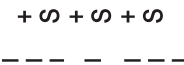
1 Стандарты

Государство	Символ	Буквенное обозначение знака	Применение/Организация
ГЕРМАНИЯ		Знак VDE	Для электроприборов и технического оборудования, а также монтажных принадлежностей, таких как вилки, розетки, предохранители, провода, кабели и другие компоненты (конденсаторы, системы заземления, патроны для ламп и электронные приборы)
ГЕРМАНИЯ		Обозначение прокладки кабеля VDE	Кабели и провода
ГЕРМАНИЯ		Знак VDE для кабелей	Для кабелей, изолированных проводов, кабелепроводов, каналов
ГЕРМАНИЯ		Знак VDE-GS для технического оборудования	Знак безопасности технического оборудования. Присваивается после испытания и сертификации продукта Испытательной лабораторией VDE в Оффенбахе; знаком соответствия является маркировка VDE, которая может использоваться как самостоятельно, так и в сочетании с маркировкой GS
ВЕНГРИЯ		MEEI	Венгерский институт испытания и сертификации электрооборудования
ЯПОНИЯ		Знак JIS	Знак, гарантирующий соответствие промышленным стандартам Японии
ИРЛАНДИЯ		Знак IIRS	Электрическое оборудование

1 Стандарты

Государство	Символ	Буквенное обозначение знака	Применение/Организация
ИРЛАНДИЯ		Знак IIRS	Электрическое оборудование
ИТАЛИЯ		Знак IMQ	Знак наносят на электротехнические изделия для непрофессиональных пользователей. Он удостоверяет соответствие Европейским стандартам.
НОРВЕГИЯ		Норвежский знак подтверждения	Обязательное подтверждение безопасности низковольтных изделий и оборудования
НИДЕРЛАНДЫ		KEMA-KEUR	Общий знак для любого оборудования
ПОЛЬША		KWE	Электротехническая продукция
РОССИЯ		Сертификат соответствия	Электрические и неэлектрические изделия. Этот знак гарантирует соответствие национальному стандарту (Госстандарту России)
РОССИЯ		Знак соответствия техническому регламенту	Знак соответствия техническому регламенту «О безопасности низковольтного оборудования»
РОССИЯ		Знак EAC	Единый знак обращения продукции на рынке государств – членов Таможенного союза

1 Стандарты

Государство	Символ	Буквенное обозначение знака	Применение/Организация
РОССИЯ		Знак соответствия системы сертификации в области пожарной безопасности	Знак, подтверждающий соответствие маркированной им продукции требованиям пожарной безопасности
СИНГАПУР		SISR	Электрические и неэлектрические изделия
СЛОВЕНИЯ	 SIQ - Slovenia	SIQ	Словенский институт качества и метрологии
ИСПАНИЯ		AEE	Электротехнические изделия. Эта марка находится под контролем Испанской электротехнической ассоциации (Asociación Electrotécnica Española)
ИСПАНИЯ		AENOR	Asociación Española de Normalización y Certificación. (Испанская ассоциация по сертификации и стандартизации)
ШВЕЦИЯ		Знак SEMKO	Обязательный знак, подтверждающий безопасность низковольтных изделий и оборудования.
ШВЕЙЦАРИЯ	 * PZ 1	Знак безопасности	Низковольтное оборудование Швейцарии, подлежащее обязательной аттестации (безопасность).
ШВЕЙЦАРИЯ		-	Кабели, подлежащие обязательной аттестации

1 Стандарты

Государство	Символ	Буквенное обозначение знака	Применение/Организация
ШВЕЙЦАРИЯ		Знак безопасности SEV	Низковольтные изделия, подлежащие обязательной аттестации
ВЕЛИКО-БРИТАНИЯ		Знак ASTA	Знак, гарантирующий соответствие нормам Британского института стандартов
ВЕЛИКО-БРИТАНИЯ		Знак BASEC	Знак, гарантирующий соответствие нормам Британского института стандартов для проводов, кабелей и вспомогательных изделий.
ВЕЛИКО-БРИТАНИЯ		Обозначение прокладки кабеля BASEC	Кабели
ВЕЛИКО-БРИТАНИЯ		Знак безопасности BEAB	Соответствие нормам Британского института стандартов для бытовой техники
ВЕЛИКО-БРИТАНИЯ		Знак безопасности BSI	Соответствие нормам Британского института стандартов
ВЕЛИКО-БРИТАНИЯ		Кайтмарк, знак качества Британского института стандартов BEAB	Соответствие применимым Британским стандартам «British Standards» в отношении безопасности и рабочих характеристик
США		Знак ЛАБОРАТОРИИ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ В США (UL)	Электрические и неэлектрические изделия

1 Стандарты

Государство	Символ	Буквенное обозначение знака	Применение/Организация
США		Знак ЛАБОРАТОРИИ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ В США (UL)	Электрические и неэлектрические изделия
США		Знак утверждения UL	Электрические и неэлектрические изделия
CEN		Знак CEN	Знак, установленный Европейским комитетом по стандартизации (CEN): Этот знак гарантирует соответствие Европейским стандартам
CENELEC		Знак	Кабели
CENELEC		Знак согласования	Знак сертификации, подтверждающий, что согласованный кабель соответствует применимым стандартам CENELEC -обозначение прокладки кабеля
EC		Знак Ex EUROPEA	Знак, гарантирующий соответствие Европейским стандартам на изделия, предназначенные для использования во взрывоопасных средах
CEEel		Знак CEEel	Знак, применяемый для некоторых бытовых электроприборов (бритвы, электрические часы и т.д.)

1 Стандарты

Декларация о соответствии ЕС

Декларация о соответствии ЕС - это заявление изготовителя, который под свою ответственность объявляет, что все оборудование, технологии или услуги соответствуют конкретным стандартам (директивам) или другим нормативным документам.

Декларация о соответствии ЕС должна содержать следующую информацию:

- наименование и адрес изготовителя либо его европейского представителя;
- описание изделия;
- ссылку на соответствующие согласованные стандарты и директивы;
- какую-либо ссылку на технические спецификации, соответствие которым подтверждается;
- две последние цифры года присвоения маркировки ЕС;
- удостоверение подписавшейся стороны.

Копия Декларации о соответствии ЕС должна храниться у изготовителя либо его представителя вместе с другой технической документацией.

1 Стандарты

1.2 Стандарты МЭК и соответствующие им стандарты ГОСТ Р для электрооборудования

Ниже приведен перечень основных стандартов, регламентирующих наиболее распространенные требования к низковольтному электрооборудованию, а также годы их публикации. В стандарты могли быть внесены изменения, но соответствующие изменения здесь не указаны.

СТАНДАРТ	ГОД	НАИМЕНОВАНИЕ
МЭК 60027-1	1992	Обозначения буквенные, применяемые в электротехнике. Часть 1. Основные положения
МЭК 60034-1	2010	Вращающиеся электрические машины. Часть 1. Номинальные и эксплуатационные характеристики
МЭК 60617-DB-Snapshot	2010	Графические обозначения на схемах
МЭК 61082-1	2006	Подготовка документов, используемых в электротехнике. Часть 1. Правила
МЭК 60038	2009	Стандартные напряжения по МЭК
МЭК 60664-1	2007	Координация изоляции для оборудования низковольтных систем. Часть 1. Принципы, требования и испытания
МЭК 60909-0	2001	Токи короткого замыкания в трехфазных системах переменного тока. Часть 0. Расчет токов
МЭК 60865-1	1993	Токи короткого замыкания. Расчет воздействий. Часть 1. Определения и методы расчета
МЭК 60076-1	2000	Силовые трансформаторы. Часть 1. Общие положения
МЭК 60076-2	1993	Силовые трансформаторы. Часть 2. Повышение температуры
МЭК 60076-3	2000	Силовые трансформаторы. Часть 3. Уровни изоляции, испытания на диэлектрическую прочность и воздушные зазоры
МЭК 60076-5	2006	Силовые трансформаторы. Часть 5. Прочность при коротком замыкании
МЭК/TR 60616	1978	Маркировка выводов и ответвлений силовых трансформаторов
МЭК 60076-11	2004	Силовые трансформаторы. Часть 11. Сухие трансформаторы
МЭК 60445	2010	Основные принципы безопасности для интерфейса человек-машина, маркировка и обозначения - обозначения выводов оборудования и зажимов для проводов
МЭК 60073	2002	Основные принципы безопасности для интерфейса человек-машина, маркировка и обозначения - кодировка измерительных приборов и исполнительных механизмов
МЭК 60447	2004	Основные принципы безопасности для интерфейса человек-машина, маркировка и обозначения - принципы срабатывания
МЭК 60947-1	2007	Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 1. Общие положения
МЭК 60947-2	2009	Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 2. Автоматические выключатели
МЭК 60947-3	2008	Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 3. Выключатели, разъединители, выключатели-разъединители и комбинации их с предохранителями
МЭК 60947-4-1	2009	Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 4-1. Контактors и пускатели. Электромеханические контакторы и пускатели
МЭК 60947-4-2	2007	Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 4-2. Контактors и пускатели. Полупроводниковые пускатели переменного тока

1 Стандарты

СТАНДАРТ	ГОД	НАИМЕНОВАНИЕ
МЭК 60947-4-3	2007	Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 4-3. Контакторы и пускатели. Полупроводниковые контакторы для недви- гательных нагрузок
МЭК 60947-5-1	2009	Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 5-1. Устройства управления цепями и переключающие элементы. Электро- механические устройства для управления цепями
МЭК 60947-5-2	2007	Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 5-2. Устройства для цепей управления и переключающие элементы. Конце- вые выключатели
МЭК 60947-5-3	2005	Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 5-3. Устройства для управления цепями и переключающие элементы. Требова- ния к конечным выключателям с определенным поведением в условиях короткого замыкания
МЭК 60947-5-4	2002	Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 5. Устройства для управления цепями и переключающие элементы. Раз- дел 4. Методы оценки характеристик малоомощных контактов. Специ- альные испытания.
МЭК 60947-5-5	2005	Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 5-5. Устройства для цепей управления и переключающие элементы. Электрические аварийные выключатели с функцией механической блокировки
МЭК 60947-5-6	1999	Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 5-6. Устройства для управления цепями и переключающие элементы. Интерфейс постоянного тока для бесконтактных датчиков и коммутиру- ющих усилителей (NAMUR)
МЭК 60947-6-1	2005	Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 6-1. Многофункциональная аппаратура. Оборудование для переключения без разрыва тока
МЭК 60947-6-2	2007	Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 6-2. Многофункциональная аппаратура. Коммутационные устройства (или оборудование) защиты и управления (CPS)
МЭК 60947-7-1	2009	Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 7. вспомо- гательное оборудование. Раздел 1. Клеммные колодки для медных проводников
МЭК 60947-7-2	2009	Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 7. вспомо- гательное оборудование. Раздел 2. Клеммные колодки защитных медных проводников
МЭК 61439-1	2009	Устройства комплектные низковольтные распределения и управления. Часть 1. Общие положения
МЭК 60439-2	2005	Устройства комплектные низковольтные распределения и управления. Часть 2. Частные требования к системам сборных шин (шинопроводам)
МЭК 60439-3	2001	Устройства комплектные низковольтные распределения и управления. Часть 3. Дополнительные требования к устройствам распределения и управления, предназначенным для эксплуатации в местах, доступных неквалифицированному персоналу, и методы испытаний
МЭК 60439-4	2004	Устройства комплектные низковольтные распределения и управления. Часть 4. Дополнительные требования и методы испытаний к устрой- ствам распределения и управления для строительных площадок
МЭК 60439-5	2006	Устройства комплектные низковольтные распределения и управления. Часть 5. Особые требования к низковольтным комплектным устрой- ствам для распределения мощности в сетях общего пользования

1 Стандарты

СТАНДАРТ	ГОД	НАИМЕНОВАНИЕ
МЭК 61095	2009	Электромеханические контакторы бытового и аналогичного назначения
МЭК/TR 60890	1987	Экстраполяционные методы оценки превышения температуры для НКУ, прошедших частичные типовые испытания (ЧИ НКУ)
МЭК/TR 61117	1992	Методы оценки прочности при коротком замыкании частично испытанных комплектных устройств (ЧИ НКУ)
МЭК 60092-303	1980	Судовые электроустановки. Часть 303. Оборудование. Силовые трансформаторы и трансформаторы для осветительного оборудования
МЭК 60092-301	1980	Судовые электроустановки. Часть 301. Оборудование. Генераторы и электродвигатели
МЭК 60092-101	2002	Судовые электроустановки. Часть 101. Определения и общие требования
МЭК 60092-401	1980	Судовые электроустановки. Часть 401. Монтаж и испытание комплектного электрооборудования
МЭК 60092-201	1994	Судовые электроустановки. Часть 201. Проектирование системы. Общие положения
МЭК 60092-202	1994	Судовые электроустановки. Часть 202. Проектирование системы. Защита
МЭК 60092-302	1997	Судовые электроустановки. Часть 302. Низковольтные комплектные устройства
МЭК 60092-350	2008	Судовые электроустановки. Часть 350. Бортовые силовые кабели. Общая конструкция и требования к испытаниям
МЭК 60092-352	2005	Судовые электроустановки. Часть 352. Выбор и прокладка электрических кабелей
МЭК 60364-5-52	2009	Электроустановки зданий. Часть 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Глава 52. Электропроводки
МЭК 60227		Кабели с поливинилхлоридной изоляцией номинального напряжения до 450/750 В включительно
	2007	Часть 1. Общие требования
	2003	Часть 2. Методы испытаний
	1997	Часть 3. Кабели без оболочки для стационарной электропроводки
	1997	Часть 4. Кабели в оболочке для стационарной электропроводки
	2003	Часть 5. Гибкие кабели (шнуры)
	2001	Часть 6. Лифтовые кабели и кабели для гибких соединений
	2003	Часть 7. Гибкие кабели экранированные и неэкранированные, с двумя и более жилами
МЭК 60228	2004	Жилы изолированных кабелей
МЭК 60245		Кабели с резиновой изоляцией номинального напряжения до 450/750 В включительно
	2008	Часть 1. Общие требования
	1998	Часть 2. Методы испытаний
	1994	Часть 3. Кабели с термостойкой силиконовой изоляцией
	2004	Часть 4. Провода и гибкие кабели
	1994	Часть 5. Лифтовые кабели
	1994	Часть 6. Кабели для электродной электродуговой сварки
	1994	Часть 7. Кабели с термостойкой этиленвинилацетатной резиновой изоляцией
	2004	Часть 8. Провода для случаев, требующих особой гибкости

1 Стандарты

СТАНДАРТ	ГОД	НАИМЕНОВАНИЕ
МЭК 60309-2	2005	Вилки, штепсельные розетки и соединительные устройства промышленного назначения. Часть 2. Требования к размерной взаимозаменяемости оборудования со штыревыми и контактными гнездами
МЭК 61008-1	2010	Автоматические выключатели, управляемые дифференциальным током, без встроенной защиты от сверхтоков (ВДТ) бытового и аналогичного назначения. Часть 1. Общие положения
МЭК 61008-2-1	1990	Автоматические выключатели, управляемые дифференциальным током, без встроенной защиты от сверхтоков (ВДТ) бытового и аналогичного назначения. Часть 2-1. Применимость общих требований к ВДТ, функционально независимым от напряжения в сети
МЭК 61008-2-2	1990	Автоматические выключатели, управляемые дифференциальным током, без встроенной защиты от сверхтоков (ВДТ) бытового и аналогичного назначения. Часть 2-2. Применимость общих требований к ВДТ, функционально зависящим от напряжения в сети
МЭК 61009-1	2010	Автоматические выключатели, управляемые дифференциальным током, со встроенной защитой от сверхтоков (АВДТ) бытового и аналогичного назначения. Часть 1. Общие положения
МЭК 61009-2-1	1991	Автоматические выключатели, управляемые дифференциальным током, со встроенной защитой от сверхтоков (АВДТ) бытового и аналогичного назначения. Часть 2-1. Применимость общих требований к АВДТ, функционально независимым от напряжения в сети
МЭК 61009-2-2	1991	Автоматические выключатели, управляемые дифференциальным током, со встроенной защитой от сверхтоков (АВДТ) бытового и аналогичного назначения. Часть 2-2. Применимость общих требований к АВДТ, функционально зависящим от напряжения в сети
МЭК 60670-1	2002	Корпуса и кожухи для электрических компонентов бытовых и аналогичных стационарных электроустановок. Часть 1. Общие требования
МЭК 60669-2-1	2009	Переключатели для бытовых и аналогичных стационарных электроустановок. Часть 2-1. Особые требования. Электронные переключатели
МЭК 60669-2-2	2006	Переключатели для бытовых и аналогичных стационарных электроустановок. Часть 2. Особые требования. Раздел 2. Переключатели дистанционного управления (RCS)
МЭК 60669-2-3	2006	Переключатели для бытовых и аналогичных стационарных электроустановок. Часть 2-3. Определенные требования. Переключатели с выдержкой времени (TDS)
МЭК 60079-10-1	2009	Электрические аппараты для взрывоопасных атмосфер. Часть 10. Классификация взрывоопасных газовых зон
МЭК 60079-14	2007	Электрические аппараты для взрывоопасных атмосфер. Часть 14. Проектирование, выбор и монтаж электрических установок
МЭК 60079-17	2007	Электрические аппараты для взрывоопасных газовых атмосфер. Часть 17. Наладка и монтаж электрических установок во взрывоопасных зонах (кроме шахт)
МЭК 60269-1	2009	Плавкие предохранители низкого напряжения. Часть 1. Общие требования
МЭК 60269-2	2010	Плавкие предохранители низкого напряжения. Часть 2. Дополнительные требования к плавким предохранителям, предназначенным для использования квалифицированным персоналом (плавкие предохранители промышленного назначения), примеры предохранителей стандартизированной системы от А до J

1 Стандарты

СТАНДАРТ	ГОД	НАИМЕНОВАНИЕ
МЭК 60269-3	2010	Плавкие предохранители низкого напряжения. Часть 3-1. Дополнительные требования к плавким предохранителям, предназначенным для использования неквалифицированным персоналом (плавкие предохранители, бытового и аналогичного назначения). Разделы с I по IV. Примеры предохранителей стандартизированной системы от А до F
МЭК 60127-1/10		Миниатюрные предохранители -
	2006	Часть 1. Определения для миниатюрных предохранителей и общие требования для миниатюрных плавких вставок
	2010	Часть 2. Патронные плавкие вставки
	1988	Часть 3. Сверхминиатюрные плавкие вставки
	2005	Часть 4. Универсальные модульные плавкие вставки, штырьковый и поверхностный монтаж
	1988	Часть 5. Руководство по оценке качества миниатюрных плавких вставок
	1994	Часть 6. Держатели для миниатюрных патронных плавких вставок
	2001	Часть 10. Руководство по применению миниатюрных плавких вставок
МЭК 60364-1	2005	Низковольтные электроустановки. Часть 1. Основные положения, оценка основных характеристик, определения
МЭК 60364-4-41	2005	Низковольтные электроустановки. Часть 4-41. Требования по обеспечению безопасности. Защита от поражения электрическим током
МЭК 60364-4-42	2010	Электроустановки зданий. Часть 4-42. Требования по обеспечению безопасности. Защита от тепловых воздействий
МЭК 60364-4-43	2008	Электроустановки зданий. Часть 4-43. Требования по обеспечению безопасности. Защита от сверхтока
МЭК 60364-4-44	2007	Электроустановки зданий. Часть 4-44. Защита и безопасность. Защита от резких отклонений напряжения и электромагнитных помех
МЭК 60364-5-51	2005	Электроустановки зданий. Часть 5-51. Выбор и монтаж электрооборудования. Общие правила.
МЭК 60364-5-52	2009	Электроустановки зданий. Часть 5-52. Выбор и монтаж электрооборудования. Электропроводки
МЭК 60364-5-53	2002	Электроустановки зданий. Часть 5-53. Выбор и монтаж электрооборудования. Изоляция, коммутация и управление.
МЭК 60364-5-54	2002	Электроустановки зданий. Часть 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Глава 54. Заземляющие устройства и защитные проводники.
МЭК 60364-5-55	2008	Электроустановки зданий. Часть 5-55. Выбор и монтаж электрооборудования. Прочее оборудование.
МЭК 60364-6	2006	Электроустановки зданий. Часть 6. Освидетельствование
МЭК 60364-7	2004...2010	Электроустановки зданий. Часть 7. Требования к специальным установкам и местам расположения
МЭК 60529	2001	Степени защиты оболочек (IP- коды)
МЭК 61032	1997	Защита персонала и оборудования, обеспечиваемая оболочками. Датчики для освидетельствования
МЭК/TR 61000-1-1	1992	Электромагнитная совместимость (EMC). Часть 1. Общие сведения. Раздел 1. Применение и интерпретация основных определений и терминов
МЭК/TR 61000-1-3	2002	Электромагнитная совместимость (EMC). Часть 1-3. Общие сведения. Воздействие высотного ЭМИ на оборудование и системы общего назначения

1 Стандарты

1.3 Стандарты серии ГОСТ

В связи с тем, что стандарты системы ГОСТ Р выходят с некоторым запозданием по отношению к международным прототипам, мы приводим наиболее часто используемые специалистами отечественные стандарты с указанием аутентичных изданий МЭК.

ГОСТ	МЭК	НАЗВАНИЕ
Стандарты на аппараты низковольтные		
ГОСТ Р 50030.1-2007	МЭК 60947-1-2004	Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 1. Общие требования
ГОСТ Р 50030.2-2010	МЭК 60947-2:2006	Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 2. Автоматические выключатели
ГОСТ Р 50030.3-99	МЭК 60947-3-99	Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 3. Выключатели, разъединители, выключатели-разъединители и комбинации их с предохранителями
ГОСТ Р 50030.4.1-2002	МЭК 60947-4-1-2000	Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 4-1. Контактторы и пускатели. Электромеханические контакторы и пускатели
ГОСТ Р 50030.5.1-2005	МЭК 60947-5-1-2003	Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 5. Аппараты и коммутационные элементы цепей управления. Глава 1. Электромеханические аппараты для цепей управления
ГОСТ Р 50030.5.2-99	МЭК 60947-5-2-97	Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 5-2. Аппараты и коммутационные элементы цепей управления. Бесконтактные датчики
ГОСТ Р 50030.5.4-2011	МЭК 60947-5-4-2002	Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 5.4. Аппараты и элементы коммутации для цепей управления. Метод оценки рабочих характеристик слаботочных контактов. Специальные испытания
ГОСТ Р 50030.5.5-2011	МЭК 60947-5-5-2005	Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 5.5. Аппараты и элементы коммутации для цепей управления. Электрические устройства срочного останова с функцией механического защелкивания
ГОСТ Р 50030.6.1-2010	МЭК 60947-6-1-2005	Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 6. Аппаратура многофункциональная. Раздел 1. Аппаратура коммутационная переключения
ГОСТ Р 50030.6.2-2011	МЭК 60947-6-2:2007	Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 6. Аппаратура многофункциональная. Раздел 2. Коммутационные устройства (или оборудование) управления и защиты (КУУЗ)
ГОСТ Р 50030.7.1-2009	МЭК 60947-7-1-2002	Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 7.1. Электрооборудование вспомогательное. Клеммные колодки для медных проводников
ГОСТ Р 50030.7.2-2009	МЭК 60947-7-2-2002	Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 7.2. Электрооборудование вспомогательное. Клеммные колодки защитных проводников для присоединения медных проводников
ГОСТ Р 50030.7.3-2009	МЭК 60947-7-3-2002	Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 7.3. Электрооборудование вспомогательное. Требования безопасности к колодкам выводов для плавких предохранителей

1 Стандарты

ГОСТ Р 50345-2010	МЭК 60898-1-2003	Аппаратура малогабаритная электрическая. Автоматические выключатели для защиты от сверхтоков бытового и аналогичного назначения. Часть 1. Автоматические выключатели для переменного тока
ГОСТ Р МЭК 60269-1-2010	МЭК 60269-1-2006	Предохранители низковольтные плавкие. Часть 1. Общие требования
ГОСТ Р 50339.1-92	МЭК 269-2-86	Низковольтные плавкие предохранители. Часть 2. Дополнительные требования к плавким предохранителям промышленного назначения
ГОСТ Р 50339.2-92	МЭК 269-2-1-87	Низковольтные плавкие предохранители. Часть 2-1. Дополнительные требования к плавким предохранителям промышленного назначения. Разделы I - III
ГОСТ Р 50339.3-92	МЭК 269-3-87 МЭК 269-3A-87	Низковольтные плавкие предохранители. Часть 3. Дополнительные требования к плавким предохранителям бытового и аналогичного назначения
ГОСТ Р МЭК 60269-3-1-2004	МЭК 60269-3-1-1994	Предохранители плавкие низковольтные. Часть 3-1. Дополнительные требования к плавким предохранителям для эксплуатации неквалифицированным персоналом (плавкие предохранители бытового и аналогичного назначения). Разделы I-IV
ГОСТ Р 50339.4-92	МЭК 269-4-86	Низковольтные плавкие предохранители. Часть 4. Дополнительные требования к плавким предохранителям для защиты полупроводниковых устройств
ГОСТ Р МЭК 60269-4-1-2007	МЭК 60269-4-1-2002	Предохранители плавкие низковольтные. Часть 4-1. Дополнительные требования к плавким вставкам для защиты полупроводниковых устройств. Разделы 1-III. Примеры типов стандартизованных плавких вставок
ГОСТ Р МЭК 60755-2012		Общие требования к защитным устройствам, управляемым дифференциальным (остаточным) током
ГОСТ Р 51326.1-99	МЭК 61008-1-96	Выключатели автоматические, управляемые дифференциальным током, бытового и аналогичного назначения без встроенной защиты от сверхтоков. Часть 1. Общие требования и методы испытаний
ГОСТ Р 51326.2.1-99	МЭК 61008-2-1-90	Выключатели автоматические, управляемые дифференциальным током, бытового и аналогичного назначения без встроенной защиты от сверхтоков. Часть 2-1. Применяемость основных норм к ВДТ, функционально независящим от напряжения сети
ГОСТ Р 51326.2.2-99	МЭК 61008-2-2-90	Выключатели автоматические, управляемые дифференциальным током, бытового и аналогичного назначения без встроенной защиты от сверхтоков. Часть 2-2. Применяемость основных норм к ВДТ, функционально зависящим от напряжения сети
ГОСТ Р 51327.1-2010	МЭК 61009-1-2006	Выключатели автоматические, управляемые дифференциальным током, бытового и аналогичного назначения со встроенной защитой от сверхтоков. Часть 1. Общие требования и методы испытаний
ГОСТ Р 51327.2.1-99	МЭК 61009-2-1-91	Выключатели автоматические, управляемые дифференциальным током, бытового и аналогичного назначения со встроенной защитой от сверхтоков. Часть 2-1. Применяемость основных норм к АДТ, функционально независящим от напряжения сети

1 Стандарты

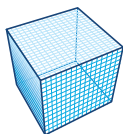
ГОСТ Р 51327.2.2-99	МЭК 61009-2-2-91	Выключатели автоматические, управляемые дифференциальным током, бытового и аналогичного назначения со встроенной защитой от сверхтоков. Часть 2-2. Применяемость основных норм к АВДТ, функционально зависящим от напряжения сети
ГОСТ Р 51992-2011	МЭК 61643-1-2005	Устройства защиты от импульсных перенапряжений низковольтные. Часть 1. Устройства защиты от импульсных перенапряжений в низковольтных силовых распределительных системах. Технические требования и методы испытаний
ГОСТ Р 52320-2005	МЭК 62052-11-2003	Аппаратура для измерения электрической энергии переменного тока. Общие требования. Испытания и условия испытаний. Часть 11. Счетчики электрической энергии
ГОСТ Р 52322-2005	МЭК 62053-21-2003	Аппаратура для измерения электрической энергии переменного тока. Частные требования. Часть 21. Статические счетчики активной энергии классов точности 1 и 2
Стандарты на НКУ		
ГОСТ Р 51321.1-2007	МЭК 60439-1-2004	Устройства комплектные низковольтные распределения и управления. Часть 1. Устройства, испытанные полностью или частично. Общие технические требования и методы испытаний
ГОСТ Р 51321.2-2009	МЭК 60439-2-2005	Устройства комплектные низковольтные распределения и управления. Часть 2. Дополнительные требования к шинопроводам
ГОСТ Р 51321.3-2009	МЭК 60439-3-2001	Устройства комплектные низковольтные распределения и управления. Часть 3. Дополнительные требования к устройствам распределения и управления, предназначенным для эксплуатации в местах, доступных неквалифицированному персоналу, и методы испытаний
ГОСТ Р 51321.4-2011	МЭК 60439-4-2005	Устройства комплектные низковольтные распределения и управления. Часть 4. Дополнительные требования к устройствам комплектным для строительных площадок (НКУ СП)
ГОСТ Р 51321.5-2011	МЭК 60439-5-2006	Устройства комплектные низковольтные распределения и управления. Часть 5. Дополнительные требования к низковольтным комплектным устройствам, предназначенным для наружной установки в общедоступных местах (распределительным шкафам и щитам)
ГОСТ Р 51628-2000	-	Щитки распределительные для жилых зданий. Общие технические условия
ГОСТ Р 51732-2001	-	Устройства вводно-распределительные для жилых и общественных зданий. Общие технические условия
ГОСТ Р 51778-2001	-	Щитки распределительные для производственных и общественных зданий. Общие технические условия
Стандарты на электроустановки зданий		
ГОСТ Р 50571.1-2009	МЭК 60364-1:2005	Электроустановки низковольтные. Часть 1. Основные положения, оценка общих характеристик, термины и определения
ГОСТ Р 50571.2-94	МЭК 364-3-93	Электроустановки зданий. Часть 3. Основные характеристики

1 Стандарты

ГОСТ Р 50571.3-2009	МЭК 60364-4-41-2005	Электроустановки низковольтные. Часть 4-41. Требования для обеспечения безопасности. Защита от поражения электрическим током
ГОСТ Р 50571.4-94	МЭК 364-4-42-80	Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от тепловых воздействий
ГОСТ Р 50571.5-94	МЭК 364-4-43-77	Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от сверхтока
ГОСТ Р 50571.4-44-2011	МЭК 60364-4-44-2007	Электроустановки низковольтные. Часть 4-44. Требования по обеспечению безопасности. Защита от отклонений напряжения и электромагнитных помех
ГОСТ Р 50571.6-94	МЭК 364-4-45-84	Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от понижения напряжения
ГОСТ Р 50571.7-94	МЭК 364-4-46-81	Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Отделение, отключение, управление
ГОСТ Р 50571.9-94	МЭК 364-4-473-77	Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Применение мер защиты от сверхтоков
ГОСТ Р 50571.5.52-2011	МЭК 60364-5-52-2009	Электроустановки низковольтные. Часть 5-52. Выбор и монтаж электрооборудования. Электропроводки
ГОСТ Р 50571.5.54-2011	МЭК 60364-5-54-2002	Электроустановки низковольтные. Часть 5-54. Выбор и монтаж электрооборудования. Заземляющие устройства, защитные проводники и проводники уравнивания потенциалов
ГОСТ Р 50571.11-96	МЭК 364-7-701-84	Электроустановки зданий. Часть 7. Требования к специальным электроустановкам. Раздел 701. Ванные и душевые помещения
ГОСТ Р 50571.12-96	МЭК 364-7-703-84	Электроустановки зданий. Часть 7. Требования к специальным электроустановкам. Раздел 703. Помещения, содержащие нагреватели для саун
ГОСТ Р 50571.13-96	МЭК 364-7-706-83	Электроустановки зданий. Часть 7. Требования к специальным электроустановкам. Раздел 706. Стесненные помещения с проводящим полом, стенами и потолком
ГОСТ Р 50571.14-96	МЭК 364-7-705-84	Электроустановки зданий. Часть 7. Требования к специальным электроустановкам. Раздел 705. Электроустановки сельскохозяйственных и животноводческих помещений
ГОСТ Р 50571.7.713-2011	МЭК 60364-7-713-1996	Электроустановки низковольтные. Часть 7-713. Требования к специальным установкам или местам их расположения. Мебель
ГОСТ Р 50571.7.717-2011	МЭК 60364-7-717-2009	Электроустановки низковольтные. Часть 7-717. Требования к специальным установкам или местам их расположения. Мобильные или транспортируемые модули
ГОСТ Р 50571.16-2007	МЭК 60364-6-2006	Электроустановки низковольтные. Часть 6. Испытания
ГОСТ Р 50571.17-2000	МЭК 60364-4-482-82	Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Глава 48. Выбор мер защиты в зависимости от внешних условий. Раздел 482. Защита от пожара

1 Стандарты

ГОСТ Р 50571.22-2000	МЭК 60364-7-707-84	Электроустановки зданий. Часть 7. Требования к специальным электроустановкам. Раздел 707. Заземление оборудования обработки информации
ГОСТ Р 50571.23-2000	МЭК 60364-7-704-89	Электроустановки зданий. Часть 7. Требования к специальным электроустановкам. Раздел 704. Электроустановки строительных площадок
ГОСТ Р 50571.24-2000	МЭК 60364-5-51-97	Электроустановки зданий. Часть 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Глава 51. Общие требования
ГОСТ Р 50571.25-2001	-	Электроустановки зданий. Часть 7. Требования к специальным электроустановкам. Электроустановки зданий и сооружений с электрообогреваемыми полами и поверхностями
ГОСТ Р 50571.26-2002	МЭК 60364-5-534-97	Электроустановки зданий. Часть 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Раздел 534. Устройства для защиты от импульсных перенапряжений
ГОСТ Р 50571.27-2003	МЭК 60364-7-740-2000	Электроустановки зданий. Часть 7-740. Требования к специальным установкам или местам их расположения. Временные электрические установки для сооружений, устройств для развлечений и павильонов на ярмарках, в парках развлечений и цирках
ГОСТ Р 50571.28-2006	МЭК 60364-7-710-2002	Электроустановки зданий. Часть 7-710. Требования к специальным электроустановкам. Электроустановки медицинских помещений
ГОСТ Р 50571.29-2009	МЭК 60364-5-55-2008	Электрические установки зданий. Часть 5-55. Выбор и монтаж электрооборудования. Прочее оборудование.



Часть 1

Устройства защиты и управления

Содержание

1 Устройства защиты и управления

1.1 Паспортные таблички автоматических выключателей	31
1.2 Основные определения	34
1.3 Типы расцепителей	37
1.3.1 Терромагнитные и электромагнитные расцепители	37
1.3.2 Электронные расцепители	40
1.3.3 Аппараты защиты дифференциального тока	46

2 Общие характеристики

2.1 Электрические характеристики автоматических выключателей	52
2.2 Кривые время-токовых характеристик	61
2.2.1 Программа «Curves 2.0»	61
2.2.2 Время-токовые кривые терромагнитных расцепителей	62
2.2.3 Функции защиты электронных расцепителей	67
2.3 Кривые токоограничения	92
2.4 Характеристические кривые удельной сквозной энергии	95
2.5 Изменение номинальных характеристик в зависимости от температуры	96
2.6 Изменение номинальных характеристик в зависимости от высоты размещения над уровнем моря	103
2.7 Электрические характеристики выключателей-разъединителей	104

3 Координация устройств защиты

3.1 Координация устройств защиты	110
3.2 Таблицы энергетической селективности	119
3.3 Таблицы резервирования	148
3.4 Таблицы координации между автоматическими выключателями и выключателями	154

4 Специальные области применения

4.1 Электрические сети постоянного тока	158
4.2 Электрические сети с особыми частотами 400 Гц и 16 2/3 Гц	175
4.2.1 Сети с частотой 400 Гц	175
4.2.2 Сети с частотой 16 2/3 Гц	180
4.3 Электрические сети 1000 В (пост. тока) и 1000 В (перем. тока)	185
4.4 Устройства автоматического ввода резерва (ABP)	197

5 Распределительные щиты

5.1 Электрические распределительные щиты	199
5.2 Распределительные щиты MNS	213
5.3 Распределительные щиты Striebel & John	214

Приложение А: Защита от воздействий короткого замыкания внутри низковольтных распределительных щитов 217

Приложение В: Определение повышения температуры в соответствии со Стандартом МЭК 60890 227

Приложение С: Примеры областей применения: Дополнительные функции защиты с расцепителями Ekip Hi-Touch 241

1 Устройства защиты и управления

1.1 Паспортные таблички автоматических выключателей

Автоматический выключатель в литом корпусе Tmax XT

ТИП ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ

Серия	Типоразмер	Номинальная предельная наибольшая отключающая способность при 415 В перем. тока	Номинальный ток корпуса
XT	1	B = 18 кА (для XT1)	160 А
	2	C = 25 кА (для XT1)	250 А
	3	N = 36 кА	
	4	S = 50 кА H = 70 кА L = 120 кА (для XT2-XT4) V = 150 кА (для XT2-XT4)	

Номинальное напряжение изоляции **Ui**; т.е. максимальное среднеквадратичное значение напряжения, которое может выдержать автоматический выключатель при частоте сети в установленных условиях испытания.

Номинальное импульсное выдерживаемое напряжение **Uimp**; т.е. пиковое значение импульсного напряжения, которое может выдержать автоматический выключатель в установленных условиях испытания.

Серийный номер

Номинальное рабочее напряжение **Ue**

Tmax	XT1B160	Ue=690V AC/500V DC	Ui=800V	Uimp=8kV	S/N:	
Ue (V)		230	415	525	690	250
Icu (kA)		25	18	6	3	18
Ics (%Icu)		100	100	100	100	100
Cat A		~ 50-60Hz				--- 2P in series

Номинальная предельная отключающая способность (**Icu**) и номинальная рабочая наибольшая отключающая способность (**Ics**) при разных значениях напряжения.

Согласно международному Стандарту МЭК 60947-2 (ГОСТ Р 50030.2), автоматические выключатели делятся на выключатели категории **A**, для которых не установлен номинальный кратковременно выдерживаемый ток, и выключатели категории **B**, для которых установлен номинальный кратковременно выдерживаемый ток.

Номинальный ток расцепителя защиты **In**

Соответствие международному Стандарту **МЭК 60947-2 (ГОСТ Р 50030.2)**: «Аппаратура распределения и управления низковольтная - Автоматические выключатели».

Нанесенная на автоматические выключатели АББ маркировка **CE** указывает на соответствие следующим директивам CE: «Директива по низковольтному оборудованию» (LVD) № 2006/95/CE, «Директива по электромагнитной совместимости» (EMC) № 89/336 EEC.

1 Устройства защиты и управления

Автоматический выключатель в литом корпусе Tmax T

ТИП ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ	
Серия	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <p>Номинальная предельная наибольшая отключающая способность при 415 В перем. тока</p> <p>N = 36 кА</p> <p>S = 50 кА</p> <p>H = 70 кА</p> <p>L = 120 кА (для T4-T5-T7)</p> <p>L = 100 кА (для T6)</p> <p>V = 150 кА (для T7)</p> <p>V = 200 кА</p> </div> <div> <p>Номинальный ток корпуса</p> <p>320 A</p> <p>400 A</p> <p>630 A</p> <p>800 A</p> <p>1000 A</p> <p>1250 A</p> <p>1600 A</p> </div> </div>
Типоразмер	<p>4</p> <p>5</p> <p>6</p> <p>7</p>

Tmax	T5L 630	Iu=160A	Ue=690V	Ui=800V	Uimp=8kV	I C 60947-2
Ue (V)	230	400/415	440	500	690	250
Icu (kA)	150	85	75	50	10	85
Ics (%Icu)	75	75	75	75	75	75
Cat A	~ 50-60Hz		2 P. --- 3 P in series		CE	

Номинальное напряжение изоляции **Ui**; т.е. максимальное средне-квадратичное значение напряжения, которое может выдержать автоматический выключатель при частоте сети в установленных условиях испытания.

Номинальное импульсное выдерживаемое напряжение **Uimp**; т.е. пиковое значение импульсного напряжения, которое может выдержать автоматический выключатель в установленных условиях испытания.

Номинальная предельная отключающая способность (**Icu**) и номинальная рабочая наибольшая отключающая способность (**Ics**) при разных значениях напряжения.

Согласно международному Стандарту МЭК 60947-2 (ГОСТ Р 50030.2), автоматические выключатели делятся на выключатели категории **A**, для которых не установлен номинальный кратковременно выдерживаемый ток, и выключатели категории **B**, для которых установлен номинальный кратковременно выдерживаемый ток.

Нанесенная на автоматические выключатели АББ маркировка **CE** указывает на соответствие следующим директивам CE: «Директива по низковольтному оборудованию» (LVD) № 2006/95/CE, «Директива по электромагнитной совместимости» (EMC) № 89/336 EEC.

Соответствие международному Стандарту **МЭК 60947-2 (ГОСТ Р 50030.2)**: «Аппаратура распределения и управления низковольтная - Автоматические выключатели».

Воздушный автоматический выключатель Emax 2

ТИП ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ			
Серия	Типоразмер	Номинальная предельная наибольшая отключающая способность при 415 В перем. тока	Номинальный длительный ток
Emax 2	E1.2	B = 42 кА	250 A
	E2.2	C = 50 кА (для E1.2)	630 A
	E4.2	N = 66 кА	800 A
	E6.2	S = 85 кА	1000 A
		H = 100 кА	1250 A
		L = 150 кА	1600 A
		V = 150 кА	2000 A
		X = 200 кА (для E6.2)	2500 A
			3200 A
			4000 A
			5000 A
			6300 A

Номинальный длительный ток **I_u**

Номинальное рабочее напряжение **U_e**

Номинальный кратковременный выдерживаемый ток **I_{cw}**; т.е. максимальный ток, который может выдерживать автоматический выключатель в течение установленного времени.

SACE E4.2V 32		I _u =3200A U _e =690V I _{cw} =100kA x 1s						
Cat B		~ 50-60 Hz					IEC 60947-2 made in Italy by ABB-SACE	
U _e	(V)	230	415	440	525	690		
I _{cu}	(kA)	150	150	150	100	100		
I _{cs}	(kA)	150	150	150	85	85		

Согласно международному Стандарту МЭК 60947-2 (ГОСТ Р 50030.2), автоматические выключатели делятся на выключатели категории **A**, для которых не установлен номинальный кратковременно выдерживаемый ток, и выключатели категории **B**, для которых установлен номинальный кратковременно выдерживаемый ток.

Номинальная предельная отключающая способность (**I_{cu}**) и номинальная рабочая наибольшая отключающая способность (**I_{cs}**) при разных значениях напряжения.

Нанесенная на автоматические выключатели АББ маркировка **CE** указывает на соответствие следующим директивам CE: «Директива по низковольтному оборудованию» (LVD) № 2006/95/CE, «Директива по электромагнитной совместимости» (EMC) № 89/336 EEC.

Соответствие международному Стандарту **МЭК 60947-2 (ГОСТ Р 50030.2)**: «Аппаратура распределения и управления низковольтная - Автоматические выключатели».

1 Устройства защиты и управления

1.2 Основные определения

Основные определения по низковольтным комплектным устройствам приведены в МЭК 60497-1, МЭК 60497-2 и МЭК 60497-3 (ГОСТ Р 50030.1, 50030.2 и 50030.3).

Основные характеристики

Автоматический выключатель

Контактный коммутационный аппарат, способный включать, проводить и отключать токи при нормальных условиях в цепи, а также включать, проводить в течение установленного нормированного времени и отключать токи при указанных ненормальных условиях в цепи, таких как короткое замыкание.

Токоограничивающий автоматический выключатель

Автоматический выключатель с чрезвычайно малым временем отключения, в течение которого ток короткого замыкания не успевает достичь своего максимального значения.

Втычной автоматический выключатель

Выключатель, который дополнительно к своим собственным контактам имеет комплект контактов, позволяющих снимать выключатель.

Выкатной автоматический выключатель

Автоматический выключатель, оснащенный не только отключающими контактами, но и дополнительным комплектом разъединяющих контактов, дающих возможность отсоединить этот автоматический выключатель от главной цепи в выдвинутом положении для создания воздушного зазора в соответствии с установленными требованиями.

Автоматический выключатель в литом корпусе (МССВ)

Автоматический выключатель в корпусе из формованного изоляционного материала, являющегося неотъемлемой частью выключателя.

Разъединитель

Коммутационный аппарат, который в отключенном положении удовлетворяет определенным требованиям для изолирующей функции.

Расцепитель

Устройство, механически связанное с контактными коммутационным аппаратом, которое освобождает удерживающие приспособления и тем самым допускает размыкание или замыкание коммутационного аппарата.

Типы неисправностей и токи повреждения

Перегрузка

Условия появления сверхтока в электрически не поврежденной цепи.

Короткое замыкание

Случайное или намеренное соединение резистором или импедансом со сравнительно низким сопротивлением двух или более точек в цепи, нормально находящихся под различным напряжением.

Дифференциальный ток (I)

Это векторная сумма токов, протекающих в главной цепи автоматического выключателя.

Номинальные характеристики

Напряжения и частоты

Номинальное рабочее напряжение (U_e)

Номинальное рабочее напряжение аппарата - это значение напряжения, в сочетании с номинальным рабочим током, определяющее назначение аппарата, на которые ориентируются при проведении соответствующих испытаний и установлении категории применения.

Номинальное напряжение изоляции (U_i)

Номинальное напряжение изоляции аппарата - значение напряжения, по которому определяют испытательное напряжение при испытании изоляционных свойств, расстояние утечки и воздушные зазоры. Максимальное значение номинального рабочего напряжения не должно превышать наибольшего значения номинального напряжения изоляции.

Номинальное импульсное выдерживаемое напряжение (U_{imp})

Номинальное импульсное выдерживаемое напряжение - пиковое значение импульсного напряжения заданной формы и полярности, которое может выдержать аппарат без повреждений в установленных условиях испытания и к которому отнесены значения воздушных зазоров.

Номинальная частота

Частота тока, на которую рассчитан аппарат и при которой обеспечиваются установленные характеристики.

Токи

Номинальный длительный ток (I_n)

Номинальный длительный ток аппарата — указанное изготовителем значение тока, который может проводить аппарат в продолжительном режиме.

Номинальный отключающий дифференциальный ток ($I_{\Delta n}$)

Это среднеквадратичное значение синусоидального отключающего дифференциального тока, указанное изготовителем для автоматического выключателя, при котором выключатель должен срабатывать при заданных условиях.

Характеристики в условиях короткого замыкания

Номинальная включающая способность

Номинальная включающая способность аппарата — указанное изготовителем значение тока, который аппарат может удовлетворительно включать в установленных условиях включения.

Номинальная отключающая способность

Номинальная отключающая способность аппарата — указанное изготовителем значение тока, который аппарат может удовлетворительно отключать в установленных условиях отключения.

Номинальная предельная наибольшая отключающая способность (I_{cs})

Номинальная предельная наибольшая отключающая способность - это максимальное значение тока КЗ, которое автоматический выключатель может дважды отключить (в соответствии с последовательностью откл. - время - вкл.откл.) при соответствующем номинальном рабочем напряжении. После выполнения последовательности отключения и включения от автоматического выключателя не требуется проводить его номинальный ток.

Номинальная рабочая наибольшая отключающая способность (I_{cs})

Номинальная рабочая наибольшая отключающая способность - это максимальное значение тока КЗ, которое автоматический выключатель может трижды отключить в соответствие с

1 Устройства защиты и управления

следовательностью операций отключения и включения (откл. - время - вкл.откл. - время - вкл.откл.) при определенном номинальном рабочем напряжении (U_0) и определенном коэффициенте мощности. После выполнения этой последовательности от автоматического выключателя требуется проводить его номинальный ток.

Номинальный кратковременно выдерживаемый ток (I_{cw})

Номинальный кратковременно выдерживаемый ток - это ток, который автоматический выключатель в замкнутом положении может проводить в течение установленного короткого периода времени при заданных условиях эксплуатации и режиме работы; автоматический выключатель должен быть способен проводить этот ток в течение соответствующей кратковременной выдержки для обеспечения селективности между последовательно подключенными автоматическими выключателями.

Номинальная наибольшая включающая способность (I_{cm})

Номинальная наибольшая включающая способность устройства - это значение наибольшей включающей способности, установленное изготовителем при номинальном рабочем напряжении, номинальной частоте и при определенном коэффициенте мощности для переменного тока.

Категории применения

Категория применения автоматического выключателя должна устанавливаться на основании того, специально предназначен или нет выключатель для селективности в условиях КЗ с помощью намеренной выдержки времени относительно других выключателей, установленных последовательно со стороны нагрузки (Таблица 4 МЭК 60947-2 (ГОСТ Р 50030.2)).

Категория А - выключатели, не обладающие селективностью при коротком замыкании по отношению к другим устройствам защиты от коротких замыканий, включенных последовательно на стороне нагрузки, т.е., без выдержки времени, специально предусмотренной для селективности, при коротком замыкании и без кратковременно допустимого тока.

Категория В - выключатели, обладающие селективностью при коротких замыканиях относительно других устройств, соединенных последовательно на стороне нагрузки, т.е. с установленной кратковременной выдержкой времени (она может быть регулируемой), обеспечивающей селективность при коротком замыкании. Эти выключатели имеют допустимый кратковременный ток.

Автоматический выключатель относится к категории В, если его ток I_{cw} выше, чем (Таблица 3 МЭК 60947-2 (ГОСТ Р 50030.2)):

12 In или 5 кА, (наибольшая из величин)
30 кА

для $In < 2500$ А
для $In > 2500$ А

Коммутационная и механическая износостойкость

Механическая износостойкость

Механическая износостойкость аппарата выражается количеством рабочих циклов без нагрузки (каждый рабочий цикл состоит из одной операции включения и отключения), которые могут быть выполнены до того, как потребуются обслуживание или замена механических деталей устройства (но может допускаться нормальное, по инструкции изготовителя, обслуживание).

Коммутационная износостойкость

Коммутационная износостойкость аппарата выражается количеством рабочих циклов под нагрузкой и отражает стойкость контактов к износу при искрении в рабочих условиях, установленных в соответствующем стандарте на изделие.

1 Устройства защиты и управления

1.3 Типы расцепителей

Автоматический выключатель - электрический аппарат защиты, предназначенный для отключения неисправной части электроустановки в различных аварийных режимах, в первую очередь при перегрузке и коротком замыкании. Для выполнения этой функции после обнаружения аварийного состояния через определенное время срабатывает расцепитель, отключая неисправную часть электроустановки.

Благодаря наличию возможности регулировки пороговых величин и времени срабатывания, защитные расцепители, установленные в воздушных выключателях и выключателях в литом корпусе АББ, могут обеспечить управление и защиту любой установки - от самых простых до установок с особыми требованиями.

Среди реагирующих на сверхтоки устройств можно выделить следующие типы:

- термомангнитные и электромагнитные расцепители;
- микропроцессорные расцепители;
- защитные устройства дифференциального тока.

Выбор и регулировка защитных расцепителей основаны на конкретных требованиях по защите электроустановки, а также по координации с другими устройствами; в целом, факторами, обуславливающими выбор, являются требуемая пороговая величина, время и характеристическая кривая.

1.3.1 ТЕРМОМАГНИТНЫЕ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ РАСЦЕПИТЕЛИ

В термомангнитных расцепителях для обнаружения перегрузок и коротких замыканий используются биметаллическая пластина и электромагнит. Эти расцепители могут применяться как для цепей постоянного, так и переменного тока.

В таблице ниже показаны типы термомангнитных и магнитных расцепителей для автоматических выключателей Tmax XT и Tmax T.

Tmax XT

Автоматические выключатели	Расцепители				
	MF	MA	TMD	TMA	TMG
XT1	-	-	■	-	-
XT2	■	■	■	■	■
XT3	-	■	■	-	■
XT4	-	■	■	■	-

Условные обозначения

MF	Магнитный расцепитель с фиксированной уставкой
MA	Магнитный расцепитель с регулируемой уставкой
TMG	Термомангнитный расцепитель для защиты генераторов
TMD	Термомангнитный расцепитель с регулируемой уставкой теплового порога и фиксированной уставкой магнитного порога
TMA	Термомангнитный расцепитель с регулируемыми уставками теплового и магнитного порога

1 Устройства защиты и управления

Распределительные системы

Авт. выключатели МССВ		ХТ1	ХТ2	ХТ3	ХТ4
In	Iu	160	160	250	250
1,6		TMD	TMD		
2					
2,5					
3,2					
4					
5					
6,3					
8					
10					
12,5					
16		TMD	TMD TMG		TMD
20					
25					
32					
40					
50					
63		TMD	TMA TMG	TMD TMG	TMA
80					
100					
125					
160					
200					
225				-	
250				TMD/TMG	

Защита электродвигателя

Авт. выключатели МССВ		ХТ2	ХТ3	ХТ4
In	Iu	160	250	250
1	MF			
2				
4				
8,5				
10				MA
12,5	MF			
20	MA			
32				
52				
80				
100		MA		
125				
160				
200				

Условные обозначения

- MF Магнитный расцепитель с фиксированной уставкой
- MA Магнитный расцепитель с регулируемой уставкой
- TMG Термомагнитный расцепитель для защиты генераторов
- TMD Термомагнитный расцепитель с регулируемой уставкой теплового порога и фиксированной уставкой магнитного порога
- TMA Термомагнитный расцепитель с регулируемыми уставками теплового и магнитного порога

1 Устройства защиты и управления

Tmax T

Автоматические выключатели	Расцепители					
	MF	MA	TMF	TMD	TMA	TMG
T5	-	-	-	-	■	■
T6	-	-	-	-	■	-

Распределительные системы

Автоматические выключатели МССВ		T5		T6	
In \ Iu		400	630	630	800
1,6					
2					
2,5					
3,2					
4					
5					
6,3					
8					
10					
12,5					
16					
20					
25					
32					
40					
50					
63					
80					
100					
125					
160					
200					
250					
320		TMA			
400		TMG	TMA TMG		
500					
630				TMA	
800					TMA

Условные обозначения

- MF Магнитный расцепитель с фиксированной уставкой
- MA Магнитный расцепитель с регулируемой уставкой
- TMG Термамагнитный расцепитель для защиты генераторов
- TMF Термамагнитный расцепитель с фиксированной уставкой теплового и магнитного порога
- TMD Термамагнитный расцепитель с регулируемой уставкой теплового порога и фиксированной уставкой магнитного порога
- TMA Термамагнитный расцепитель с регулируемыми уставками теплового и магнитного порога

1 Устройства защиты и управления

1.3.2 ЭЛЕКТРОННЫЕ РАСЦЕПИТЕЛИ

Расцепители подключаются к защищаемым проводникам через трансформаторы тока (три или четыре в зависимости от количества защищаемых проводов), которые расположены внутри автоматического выключателя. Эти трансформаторы выполняют двойную функцию - подают питание, необходимое для правильной работы расцепителя (автономное питание) и определяют значение тока, протекающего в рабочих проводах. Физический принцип работы трансформаторов тока ограничивает область применения этих расцепителей только цепями переменного тока.

Сигнал от трансформаторов и катушек Роговского обрабатывается электронным элементом (микропроцессором), который сравнивает его с заданными порогами. Когда сигнал превышает пороги срабатывания, автоматический выключатель приводится в действие отключающим электромагнитом, который воздействует непосредственно на исполнительный механизм автоматического выключателя.

Если для питания электронного расцепителя используется вспомогательный источник питания (помимо автономного питания от трансформаторов тока), то его напряжение должно составлять $24 \pm 20\%$ В пост. тока.

Кроме стандартных защитных функций расцепители обеспечивают следующие:

- измерение токов (Ekip LSI/LSIG + Ekip Com, Ekip M LRIU + Ekip Com, PR222 - PR232, Ekip Dip, Ekip Touch);
- измерение токов, напряжения, частоты, мощности, энергии, коэффициента мощности (Ekip E, PR223+VM210), а для Ekip E и Ekip Hi-Touch - измерение нелинейных искажений;
- цифровую связь с системами диспетчеризации (автоматизации) для полного управления электроустановкой (Ekip LSI/LSIG + Ekip Com, Ekip M LRIU + Ekip Com, PR222DS/PD, PR223, Ekip Touch, Ekip Hi-Touch + Ekip Com).

В таблице ниже показаны типы электронных расцепителей для автоматических выключателей Tmax XT, Tmax T и Emax 2.

Выключатели	Автоматические выключатели АББ с электронными расцепителями													Ekip Hi-Touch
	Ekip	Ekip G	Ekip E	PR221	PR222	PR223	PR231	PR232	PR331	PR332	Ekip Dip	Ekip Touch		
	I LSI/LSIG	LS/I	LSIG	I LSI/LSIG	LSI LSIG	LSIG	I LSI/LSIG	LSI	LSIG	LI LSI LSIG LSRc	LI LSI LSIG	LI LSI LSIG LSRc	LI LSI LSIG	
XT2	■	■	■	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
XT4	■	■	■	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
T4	-	-	-	■	■	■	-	-	-	-	-	-	-	
T5	-	-	-	■	■	■	-	-	-	-	-	-	-	
T6	-	-	-	■	■	■	-	-	-	-	-	-	-	
T7	-	-	-	-	-	-	■	■	■	■	-	-	-	
E1.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	■	■	■	
E2.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	■	■	■	
E4.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	■	■	■	
E6.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	■	■	■	

В таблице ниже показаны номинальные токи автоматических выключателей Tmax XT, Tmax T и Emax 2.

1 Устройства защиты и управления

Табл. 2.

Автомат. выключатели МССВ		ХТ2		ХТ4		Т4		Т5		Т6			Т7			
In \ Iu		160	160	250	320	400	630	630	800	1000	800	1000	1250	1600		
10		■ ⁽¹⁾	-	■	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
25		■ ⁽¹⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
40		-	■	■	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
63		■	■	■	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
100		■	■	■	■	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
160		■ ⁽¹⁾	■	■	■	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
250		-	-	■ ⁽¹⁾	■	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
320		-	-	-	■	■	■	-	-	-	-	-	-	-		
400		-	-	-	-	■	■	-	-	-	■	■	■	■		
630		-	-	-	-	-	■	■	-	-	■	■	■	■		
800		-	-	-	-	-	-	-	■	-	■	■	■	■		
1000		-	-	-	-	-	-	-	-	■	-	■	■	■		
1250		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	■	■		
1600		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	■		

(1) Недоступно для Еkip N и Еkip I; только для ХТ2 In=10 А, недоступно с Еkip G

В таблице ниже показаны номинальные токи автоматических выключателей Tmax XT и Tmax T для защиты электродвигателя.

Tmax XT				
Авт. выключатели МССВ	ХТ2 160		ХТ4 160	ХТ4 250
	Расцепители	Еkip M I	Еkip M LIU или LRIU	
In				
20		■	-	-
25		-	■	-
32		■	-	-
40		-	-	■
52		■	-	-
63		-	■	■
100		■	■	■
160		-	-	■
200		-	-	■

Tmax T		
Авт. выключатели МССВ	Т5 400	Т6 800
	Еkip M LRIU	
In		
20	-	-
25	-	-
32	-	-
40	-	-
52	-	-
63	-	-
100	-	-
160	-	-
200	-	-
320	■	-
400	■	-
630	-	■

1 Устройства защиты и управления

Авт. вы- ключате ли ACB		E2.2						E4.2		E6.2		
		E1.2										
In \ Iu		630	800	1250 ⁽²⁾	1600	2000	2500	3200	4000	4000	5000	6300
400		■	■	■	■	■	■	-	-	-	-	-
630		■	■	■	■	■	■	-	-	-	-	-
800		-	■	■	■	■	■	-	-	-	-	-
1000		-	-	■	■	■	■	-	-	-	-	-
1250		-	-	■	■	■	■	■	■	-	-	-
1600		-	-	-	■	■	■	■	■	-	-	-
2000		-	-	-	-	■	■	■	■	-	-	-
2500		-	-	-	-	-	■	■	■	-	-	-
3200		-	-	-	-	-	-	■	■	■	■	■
4000		-	-	-	-	-	-	-	■	■	■	■
5000		-	-	-	-	-	-	-	-	-	■	■
6300		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	■

1 Устройства защиты и управления

1.3.2.1 ЗАЩИТНЫЕ ФУНКЦИИ ЭЛЕКТРОННЫХ РАСЦЕПИТЕЛЕЙ

Электронные расцепители обладают следующими защитными функциями:

L - Защита от перегрузки с обратнoзависимой длительной выдержкой по времени

Функция защиты от перегрузки с обратнoзависимой длительной выдержкой по времени и постоянной удельной сквозной энергией; эту функцию нельзя отключить.

L - Защита от перегрузки в соответствии со стандартом МЭК 60255-3

Функция защиты от перегрузки с обратнoзависимой длительной выдержкой времени и кривыми срабатывания в соответствии со Стандартом МЭК 60255-3; применяется для координации с предохранителями и устройствами защиты среднего напряжения.

S - Защита от короткого замыкания с регулируемой кратковременной выдержкой по времени

Функция защиты от короткого замыкания с регулируемой выдержкой, благодаря которой эта защита становится особенно полезной, когда необходимо добиться селективности между различными аппаратами.

S2- Двойная защита S

Эта функция позволяет независимо задавать два порога срабатывания защиты S и одновременно включать ее, селективность также может быть обеспечена в особенно сложных условиях.

D - Направленная защита от короткого замыкания с регулируемой выдержкой по времени

Направленная защита, сходная с функцией S, может работать по-разному, в зависимости от направления тока КЗ; особенно полезна в узловых сетях или в сетях с несколькими параллельными линиями питания.

I - Защита от короткого замыкания с мгновенным срабатыванием

Функция мгновенной защиты от КЗ.

EFDP - Раннее обнаружение и предотвращение неисправности

Благодаря этой функции расцепитель может изолировать неисправность за более короткое время, чем имеющиеся в настоящее время на рынке расцепители, реализующие зонную (логическую) селективность.

Rc - Защита от токов утечки на землю

Защитная функция, которая особенно подходит для ситуации, когда требуется защита по дифференциальному току с низкой чувствительностью и высокочувствительная защита человека при косвенном прикосновении (G).

G - Защита от замыкания на землю с регулируемой выдержкой по времени

Функция защиты от замыканий на землю.

U - Защита от перекоса фаз

Эта защитная функция срабатывает, когда обнаруживается избыточная несимметрия между токами различных фаз.

OT - Самозащита от перегрева

Эта защитная функция управляет отключением автоматического выключателя, когда температура внутри расцепителя угрожает его работе.

UV - Защита от понижения напряжения

Эта функция служит для защиты, когда фазное напряжение падает ниже заданного порога срабатывания.

1 Устройства защиты и управления

OV - Защита от повышения напряжения

Эта функция служит для защиты, когда фазное напряжение превышает предварительно заданный порог срабатывания.

RV - Защита от остаточного напряжения

Защита по обнаружению неисправности в нейтральном проводе.

RP - Защита от изменения направления потока мощности

Эта защита срабатывает, когда направление активной мощности противоположно направлению при нормальной эксплуатации.

UF- Защита от снижения частоты

Эта частотная защита обнаруживает снижение частоты питающей сети сверх заданного порога срабатывания, подавая аварийный сигнал или отключая цепь.

OF - Защита от превышения частоты

Эта частотная защита обнаруживает повышение частоты питающей сети сверх установленного порога срабатывания, подавая аварийный сигнал или отключая цепь.

M - Температурная память

Благодаря этой функции можно учитывать нагрев элемента таким образом, что срабатывание выключателя происходит тем быстрее, чем меньше времени прошло с момента последнего отключения.

R - Защита при заклинивании ротора

Эта защитная функция срабатывает, когда обнаруживаются условия, которые могли бы привести к заклиниванию ротора электродвигателя, защищаемого автоматическим выключателем, во время его работы.

I_{inst} - Защита от короткого замыкания с мгновенным срабатыванием

Эта особая функция защиты нацелена на поддержание работоспособности автоматического выключателя и установки в случае больших токов, для которых требуются временные выдержки меньше тех, что гарантированы защитой от мгновенного КЗ. Эта защита должна устанавливаться исключительно компанией АББ, и ее нельзя исключать.

Двойная уставка

С этой функцией можно запрограммировать два разных набора параметров (LSIG), и при поступлении внешней команды переключаться между ними.

K - Управление нагрузкой

Управление нагрузкой позволяет включать/отключать отдельные нагрузки со стороны нагрузки выключателя до срабатывания защита от перегрузки L.

1 Устройства защиты и управления

В следующей таблице приведены типы электронных расцепителей и функции, которые они выполняют.

															Ekip	Tmax XT	
															Ekip G		
															Ekip N		
															PR221`	Tmax T	
															PR222		
															PR223		
															PR231		
															PR232		
															PR331	T7/X1	
															PR332		
															Ekip Dip	Emax 2	
															Ekip Touch		
															Ekip Hi-Touch		
															Защитные функции		
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	L (t=k/12)	Защита от перегрузки
																L	Стандартная кривая срабатывания согласно МЭК 60255-3
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	S1 (t=k)	Защита от короткого замыкания с выдержкой времени
■			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	S1 (t=k/12)	Защита от короткого замыкания с выдержкой времени
																S2 (t=k)	Защита от короткого замыкания с выдержкой времени
																D (t=k)	Направленная защита от короткого замыкания
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	I (t=k)	Защита от короткого замыкания с мгновенным срабатыванием
■				■	■			■	■	■	■	■	■	■	■	G (t=k)	Защита от замыкания на землю с регулируемой выдержкой
				■	■					■	■	■	■	■	■	G (t=k/12)	Защита от замыкания на землю с регулируемой выдержкой
																Gext (t=k)	Защита от замыкания на землю с регулируемой выдержкой
																Gext (t=k/12)	Защита от замыкания на землю с регулируемой выдержкой
																Gext (Idn)	Защита от замыкания на землю с регулируемой выдержкой
																Rc (t=k)	Защита от тока утечки на землю
																U (t=k)	Защита от перекоса фаз
																OT	Самозащита от перегрева
																UV (t=k)	Защита от понижения напряжения
																OV (t=k)	Защита от повышения напряжения
																RV (t=k)	Защита от остаточного напряжения
																RP (t=k)	Защита от изменения направления потока мощности
																UF	Защита от понижения частоты
																OF	Защита от повышения частоты
																linst	Мгновенная самозащита
																EF	Раннее обнаружение и предупреждение неисправностей

○ При установленном модуле измерения PR330/V или Ekip Measuring

1 Устройства защиты и управления

1.3.3 АППАРАТЫ ЗАЩИТЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ТОКА

Расцепители дифференциального тока используются в автоматических выключателях для обеспечения в одном аппарате двух основных функций:

- защита от перегрузки и короткого замыкания;
- защита от косвенных прикосновений (к открытым токопроводящим частям, оказавшимся под напряжением из-за повреждения изоляции).

Кроме того, они могут обеспечить дополнительную защиту от возгорания при возникновении короткого замыкания или из-за токов утечки, которые могут не обнаруживаться стандартными устройствами защиты от перегрузки. Расцепители дифференциального тока с номинальной величиной не выше 30 мА также используются для дополнительной защиты от прямого прикосновения в случае отказа соответствующих аппаратов защиты.

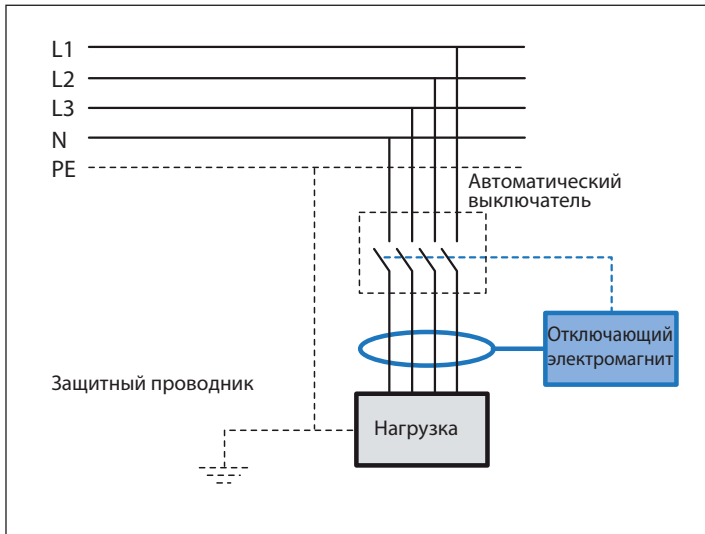
Логика работы данных расцепителей основана на обнаружении векторной суммы линейных токов через внутренний или внешний тороид.

Эта сумма равна нулю в нормальном режиме или току замыкания на землю (I_{Δ}), если такое замыкание возникло.

Когда расцепитель обнаруживает не нулевой дифференциальный ток, он размыкает автоматический выключатель с помощью отключающего электромагнита.

Как видно из схемы, представленной на рисунке ниже, необходимо установить защитный или эквипотенциальный проводник снаружи внешнего тороида.

Общая схема подключения потребителя (IT, TT, TN)








Принцип работы расцепителя дифференциального тока позволяет использовать его в распределительных системах TT, IT и TN-S. В системах TN-C использование данного расцепителя невозможно, т.к. в этих системах нейтраль используется в качестве защитного проводника, что делает обнаружение дифференциального тока невозможным (т.к. если нейтраль проходит через тороид, то векторная сумма токов всегда равна нулю).

1 Устройства защиты и управления

Одной из основных характеристик расцепителя дифференциального тока является его минимальный отключающий дифференциальный ток $I_{\Delta n}$. Это параметр чувствительности расцепителя.

По форме и характеру изменения дифференциального тока расцепители относятся к следующим классам:

- тип AC: расцепители дифференциального тока, срабатывающие при синусоидальном переменном дифференциальном токе, нарастающем медленно либо скачком, при отсутствии компонента постоянного тока;
- тип A: расцепители дифференциального тока, реагирующие на синусоидальный дифференциальный переменный ток в присутствии указанных дифференциальных пульсирующих постоянных токов, медленно нарастающих либо возникающих скачком;
- тип B: расцепители дифференциального тока, реагирующие на дифференциальные синусоидальные переменные токи в присутствии указанных дифференциальных пульсирующих токов, нарастающих медленно либо скачком, когда постоянные дифференциальные токи могут создаваться выпрямительными цепями.

	Форма дифференциального тока	Правильная работа расцепителей дифференциального тока Тип		
Синусоидальный переменный ток	 подаваемый внезапно	AC	A	B
	 плавно нарастающий			
Пульсирующий постоянный ток	 подаваемый внезапно с током 0,006 А или без		+	+
	 плавно нарастающий			
Плавно изменяющийся постоянный ток				+

При наличии электроаппаратуры с электронными элементами (компьютеры, принтеры, факсы и т.д) ток замыкания на землю может быть не синусоидальным, а пульсирующим однонаправленным постоянным током. В этих случаях необходимо использовать расцепитель дифференциального тока типа A.

При наличии выпрямляющих цепей ток замыкания на землю может принять форму однонаправленного постоянного тока. В этих случаях необходимо использовать расцепитель дифференциального тока типа B.

1 Устройства защиты и управления

Для выполнения соответствующих требований защиты от короткого замыкания на землю компания АББ разработала следующие виды защитного оборудования:

- Модульные автоматические выключатели:

- АВДТ (автоматические выключатели дифференциального тока со встроенной защитой от сверхтока), серии DS201 и DS202C с номинальным током от 1 А до 40 А;
- АВДТ (автоматические выключатели дифференциального тока со встроенной защитой от сверхтока) DS200 с номинальным током от 6 А до 63 А;
- АВДТ (автоматические выключатели дифференциального тока со встроенной защитой от сверхтока) DS800 с номинальным током 125 А;
- Блоки дифференциального тока типа DDA 200 для присоединения к автоматическим выключателям серии S200 с номинальным током от 0,5 А до 63 А;
- Блоки дифференциального тока типа DDA 60, DDA 70, DD 90 для присоединения к термомангнитным автоматическим выключателям серии S290 с номинальным током от 80 А до 100 А с характеристической кривой C;
- Блоки дифференциального тока серии DDA 800 для присоединения к термомангнитным автоматическим выключателям серии S800N и S800S с номинальным током от 100 А. Эти блоки доступны в двух типоразмерах: 63 А и 100 А;
- Выключатели дифференциального тока серии F200 с номинальным током от 16 А до 125А;
- RD2-RD3: реле дифференциального тока с креплением на DIN рейку.

- Автоматические выключатели в литом корпусе Tmax XT:

- Расцепители дифференциального тока RC Sel 200мм XT1 с регулируемым временем срабатывания шириной 200мм, устанавливаемые на автоматические выключатели X1 с номинальным током до 160 А;
- Расцепители дифференциального тока RC Sel XT1-XT3 с регулируемым временем срабатывания, устанавливаемые на автоматические выключатели XT1, XT3 с номинальным током до 160 А для XT1 и 250 А для XT3;
- Расцепители дифференциального тока RC Inst XT1-XT3 с мгновенным срабатыванием, устанавливаемые на автоматические выключатели XT1, XT3 с номинальным током до 160А;
- Расцепители дифференциального тока RC Sel XT2-XT4 с регулируемым временем срабатывания, устанавливаемые на автоматические выключатели XT2, XT4 с номинальным током до 160 А для XT2 и 250 А для XT4;
- Расцепители дифференциального тока RC тип В XT3 с регулируемым временем срабатывания, устанавливаемые на автоматические выключатели XT3 с номинальным током до 225 А;
- Электронные расцепители Ekip LSiG для автоматических выключателей XT2 и XT4 с номинальным током от 10 до 250 А.

1 Устройства защиты и управления

		RC Sel 200мм XT1	RC Inst XT1- XT3	RC Sel XT1- XT3	RC Sel XT2- XT4	RC Тип В XT3
Способ присоединения к автоматическому выключателю		L-образный			установка снизу	
Технология		Микропроцессорная				
Первичное рабочее напряжение ⁽¹⁾	[В]	85...500	85...500	85...500	85...500	85...500
Рабочая частота	[Гц]	45...66	45...66	45...66	45...66	45...66
Оперативное питание		■	■	■	■	■
Испытательный рабочий диапазон		85...500	85...500	85...500	85...500	85...500
Номинальный рабочий ток	[А]	до 160	до 160 - XT1 до 250 - XT3	до 160 - XT1 до 250 - XT3	до 160 - XT2 до 250 - XT4	до 225
Номинальная уставка дифференциального тока	[А]	0,03-0,05-0,1-0,2-0,3-0,5-1-3-5-10	0,03-0,1-0,3-0,5-1-3	0,03-0,05-0,1-0,3-0,5-1-3-5-10	0,03-0,05-0,1-0,3-0,5-1-3-5-10	0,03-0,05-0,1-0,3-0,5-1
Регулируемая выдержка до срабатывания при двойном токе небаланса	[с]	мгновенное	мгновенное	мгновенное	мгновенное	мгновенное
		0,1-0,2-0,3-0,5-1-2-3		0,1-0,2-0,3-0,5-1-2-3	0,1-0,2-0,3-0,5-1-2-3	0,1-0,2-0,3-0,5-1-2-3

		RC Sel 200mm	RC Inst	RC Sel	RC Sel	RC Тип В	Ekip LSIG
	Тип In	A	A	A	A	B	-
XT1	16÷160	■	■	■	-	-	-
XT2	1,6÷160	-	-	-	■	-	■
XT3	63÷250	-	■	■	-	■ ⁽¹⁾	-
XT4	16÷250	-	-	-	■	-	■

1 Устройства защиты и управления

⁽¹⁾ До 225 А

- Автоматические выключатели в литом корпусе Tmax T:

- Расцепители дифференциального тока RC222, устанавливаемые на автоматических выключателях Tmax T4, T5 с номинальным током от 320 А до 500 А;
- Электронные расцепители PR222DS/P, PR223 DS LSiG, устанавливаемые на автоматических выключателях T4, T5, T6 с номинальным током от 100 А до 1000 А;
- Электронные расцепители PR331, PR332 LSiG, устанавливаемые на автоматических выключателях Tmax T7 с номинальным током от 800 А до 1600 А;
- Электронные расцепители R332 со встроенным расцепителем дифференциального тока, устанавливаемые на автоматических выключателях Tmax T7 с номинальным длительным током от 800 А до 1600 А.

		RC222	RC223
Типоразмеры автоматических выключателей		T4 и T5 4p	T4 4p
Способ присоединения к автоматическому выключателю		установка снизу	
Технология		микропроцессорная	
Действие		с отключающим электромагнитом	
Первичное рабочее напряжение ⁽¹⁾	[В]	85...500	110...500
Рабочая частота	[Гц]	45...66	0-400-700-1000
Оперативное питание		■	■
Испытательный рабочий диапазон ⁽¹⁾		85...500	110...500
Номинальный рабочий ток	[А]	до 500	до 250
Номинальная уставка дифференциального тока	[А]	0,03 - 0,05 - 0,1 - 0,3 - 0,5 - 1 - 3 - 5 - 10	0,03 - 0,05 - 0,1 - 0,3 - 0,5 - 1
Выдержка времени до срабатывания		мгновенное - 0,1 - 0,2 - 0,3 - 0,5 - 1 - 2 - 3	мгновенное - 0 - 0,1 - 0,2 - 0,3 - 0,5 - 1 - 2 - 3
Допустимые отклонения времени срабатывания	[с]	±20%	±20%

⁽¹⁾ Работа при напряжении до 50 В фаза-нейтраль (55В для RC223)

		RC 221	RC 222	RC 223	PR332 LSiRc	PR222 LSiG	PR223 LSiG	PR332 LSiRc
	Тип In	A-AC	A-AC	B	A-AC	-	-	-
T4	100÷320	-	-	-	-	■	■	-
T5	320÷630	-	■	-	-	■	■	-
T6	630÷1000	-	-	-	-	■	■	-
T7	800÷1600	-	-	-	■	-	-	■

1 Устройства защиты и управления

- Воздушные автоматические выключатели Emax 2:

- Электронные расцепители Ekip Dip, Ekip Touch, Ekip Hi-Touch, устанавливаемые на автоматических выключателях Emax E1.2...E6.2 с номинальным длительным током от 250А до 6300А;

		Ekip Touch Ekip Hi-Touch LSIRc	Ekip Dip Ekip Touch Ekip Hi-Touch LSIRc
	Тип	A-AC	-
E1.2	In 250÷1600	■	■
E2.2	250÷2500	■	■
E4.2	2000÷4000	■	■
E6.2	4000÷6300	■	■

Реле дифференциального тока с внешним трансформатором

Автоматические выключатели АББ также могут работать совместно с реле дифференциального тока RCQ 020/P с внешним трансформатором для выполнения требований в случае особенных ограничений, например, если автоматические выключатели уже установлены или при ограниченном пространстве для установки и т. д.

Благодаря задаваемым характеристикам дифференциального тока и величинам времени срабатывания реле дифференциального тока с внешним трансформатором легко устанавливаются на последних этапах монтажа установки; в частности, при выборе номинального отключающего дифференциального тока $I_{\Delta n} = 0,03$ А с мгновенным срабатыванием, автоматический выключатель гарантирует защиту от косвенного прикосновения и представляет собой дополнительную защитную меру от прямого прикосновения также при наличии особо высоких значений сопротивления заземления. Такие реле дифференциального тока относятся к типу устройств непрямого действия: сигнал на отключение, подаваемый реле, должен вызывать срабатывание автоматического выключателя через независимый отключающий расцепитель, который должен быть предварительно установлен в автоматический выключатель.

Реле дифференциального тока		SACE RCQ 020/P
Напряжение питания	перем. ток [В]	115-230...415
Рабочая частота	[Гц]	45 ÷ 66
Регулировка порога срабатывания по току $I_{\Delta n}$	[А]	0,03-0,05-0,1-0,3-0,5-1-3-5-10-30
Регулировка времени срабатывания	[с]	мгновенное -0,1-0,2-0,3-0,5-0,7-1-2-3-5

2 Общие характеристики

2.1 Электрические характеристики автоматических выключателей

Модульные автоматические выключатели Pro M compact

В таблице ниже приведен обзор модульных автоматических выключателей. Для получения более подробной информации см. технический каталог.

Серия			S200	S200 M	S200 P			SH 201 L			
Характеристики			B, C, D, K, Z	B, C, D, K, Z	B, C, D, K, Z			B, C			
Номинальный ток [A]			0,5 ≤ In ≤ 63	0,5 ≤ In ≤ 63	0,2 ≤ In ≤ 25	32 ≤ In ≤ 40	50 ≤ In ≤ 63	2 ≤ In ≤ 40			
Отключающая способность [кА]											
Стандарт	Кол-во полюсов	Ue [B]									
МЭК 23-3/EN 60898 МЭК/EN 60947-2 (ГОСТ Р 50030.2)	Icn	230/400	6	10	25	15	15	4,5			
		1, 1P+N	133	20	25 ²	40	25	25	10		
	230		10	15 ²	25	15	15	6			
	2, 3, 4		230	20	25 ²	40	25	25			
	400		10	15 ²	25	15	15				
	2, 3, 4	500									
		690									
	Ics	1, 1P+N	133	15	18,7 ²	20	18,7	18,7	6		
			230	7,5	11,2 ²	12,5	11,2	7,5	4,5		
		2, 3, 4	230	15 ¹	18,7 ²	20	18,7	18,7			
			400	7,5	11,2 ²	12,5	11,2	7,5			
		500									
		690									
	МЭК/EN 60947-2 (ГОСТ Р 50030.2) Постоянный ток T=I/R≤5мс для всех серий за исклю- чением S280 UC и S800-UC, где T=I/ R≤15мс	Icu	1, 1P+N	24	20						
				60	10	10	15	10	10	10	
			2	125							
				250							
		48		20							
		125		10	10	15	10	10	10		
		250									
		500									
		3, 4	600								
			800								
			375								
			500								
			750								
			1000								
		Ics	1, 1P+N	1200							
				24	20						
				60	10	10	15	10	10	10	
				125							
			2	250							
				48	20						
				125	10	10	15	10	10	10	
				250							
			3, 4	500							
				600							
				800							
				375							
				500							
750											

¹ Только до 40 А; 10 кА до 50/63 А
² < 50 А

³ Только для характеристики D

⁴ Значения действительны не для всех номинальных токов

⁵ 3 полюса

⁶ 4 полюса

2 Общие характеристики

	S 280 UC		S 290	S800S					S800N	S800C
	B, K, Z	K, Z	C, D, K	B, C, D	K	KM	UCB	UCK	B, C, D	B, C, D, K
	$0,2 \leq I_n \leq 40$	$50 \leq I_n \leq 63$	$80 \leq I_n \leq 125$	$10 \leq I_n \leq 125$	$10 \leq I_n \leq 125$	$20 \leq I_n \leq 80$	$10 \leq I_n \leq 125$	$10 \leq I_n \leq 125$	$10 \leq I_n \leq 125$	$10 \leq I_n \leq 125$
			10	25					20	15
	10	6								
	6	4,5	20 (15) ³	50	50	50			36	
	10	6	25	50	50	50			36	25
	6	4,5	20 (15) ³	50	50	50			36	25
				15 ⁴	15 ⁴	15 ⁴			10 ⁴	25
				6 ⁴	6 ⁴	6 ⁴			4,5	
	7,5	6								
	6	4,5	10 (7,5) ³	40	40	40			30	18
	7,5	6	12,5	40	40	40			30	18
	6	4,5	10 (7,5) ³	40	40	40			30	18
				11 ⁴	11 ⁴	11 ⁴			8 ⁴	
				4 ⁴	4 ⁴	4 ⁴			3	
			25							
	6	4,5		30	30	30				
							50	50	20	10
	6	4,5		30	30	30			20	10
							50	50		
				30 ⁵	30 ⁵	30 ⁵	30 ⁵	30 ⁵	20 ⁵	10 ⁵
				30 ⁶	30 ⁶	30 ⁶	30 ⁶	30 ⁶	20 ⁶	10 ⁶
							50	50		
	6	4,5	12,5	30	30	30			20	10
							50	50		
	6	4,5		30	30	30			20	10
							50	50		
				30 ⁵	30 ⁵	30 ⁵	30 ⁵	30 ⁵	20 ⁵	10 ⁵
				30 ⁶	30 ⁶	30 ⁶	30 ⁶	30 ⁶	20 ⁶	10 ⁶
							50	50		

2 Общие характеристики

Автоматические выключатели в литом корпусе Tmax XT

		XT1				
Номинальный длительный ток	[A]	160				
Полюсы	[Кол-во]	3, 4				
Номинальное рабочее напряжение, Ue	(перем. ток) 50-60Гц	690				
	(пост. ток)	500				
Номинальное напряжение изоляции, Ui		800				
Номинальное импульсное выдерживаемое напряжение, Uimp	[kV]	8				
Исполнение		стационарное, втычное ¹⁾				
Отключающая способность		B	C	N	S	H
Номинальная предельная наибольшая отключающая способность, Icu						
(перем. ток) 50-60 Гц 220-230 В	[кА]	25	40	65	85	100
(перем. ток) 50-60 Гц 380 В	[кА]	18	25	36	50	70
(перем. ток) 50-60 Гц 415 В	[кА]	18	25	36	50	70
(перем. ток) 50-60 Гц 440 В	[кА]	15	25	36	50	65
(перем. ток) 50-60 Гц 500 В	[кА]	8	18	30	36	50
(перем. ток) 50-60 Гц 525 В	[кА]	6	8	22	35	35
(перем. ток) 50-60 Гц 690 В	[кА]	3	4	6	8	10
(пост. ток) 250 В - 2 полюса последовательно	[кА]	18	25	36	50	70
(пост. ток) 500 В - 2 полюса последовательно	[кА]	18	25	36	50	70
Номинальная рабочая наибольшая отключающая способность, Ics						
(перем. ток) 50-60 Гц 220-230 В	[кА]	100%	100%	75% (50)	75%	75%
(перем. ток) 50-60 Гц 380 В	[кА]	100%	100%	100%	100%	75%
(перем. ток) 50-60 Гц 415 В	[кА]	100%	100%	100%	75%	50% (37,5)
(перем. ток) 50-60 Гц 440 В	[кА]	75%	50%	50%	50%	50%
(перем. ток) 50-60 Гц 500 В	[кА]	100%	50%	50%	50%	50%
(перем. ток) 50-60 Гц 525 В	[кА]	100%	100%	50%	50%	50%
(перем. ток) 50-60 Гц 690 В	[кА]	100%	100%	75%	50%	50%
(пост. ток) 250 В - 2 полюса последовательно	[кА]	100%	100%	100%	75%	75%
(пост. ток) 500 В - 2 полюса последовательно	[кА]	100%	100%	100%	75%	75%
Номинальная наибольшая включающая способность, Icm						
(перем. ток) 50-60Гц 220-230 В	[кА]	52,5	84	143	187	220
(перем. ток) 50-60Гц 380 В	[кА]	36	52,5	75,6	105	154
(перем. ток) 50-60Гц 415 В	[кА]	36	52,5	75,6	105	154
(перем. ток) 50-60Гц 440 В	[кА]	30	52,5	75,6	105	143
(перем. ток) 50-60Гц 500 В	[кА]	13,6	36	63	75,6	105
(перем. ток) 50-60Гц 525 В	[кА]	9,18	13,6	46,2	73,6	73,5
(перем. ток) 50-60Гц 690 В	[кА]	4,26	5,88	9,18	13,6	17
Категория применения (МЭК 60947-2 (ГОСТ Р 50030.2))		A				
Стандарт		ГОСТ Р 50030.2				
Пригодность к разьединению		■				
Монтаж на DIN-рейку		DIN EN 50022				
Механический срок службы	[Число циклов срабатывания]	25000				
	[Число циклов срабатывания в час]	240				
Электрический срок службы	[Число циклов срабатывания]	8000				
при 415 В перем. тока	[Число циклов срабатывания в час]	120				

⁽¹⁾ XT1 во втычном исполнении только номинальный ток снижается до 144 А.

2 Общие характеристики

ХТ2					ХТ3		ХТ4				
160					250		160/250				
3, 4					3, 4		3, 4				
690					690		690				
500					500		500				
1000					800		1000				
8					8		8				
стационарное, выкатное, втычное					стационарное, втычное		стационарное, выкатное, втычное				
N	S	H	L	V	N	S	N	S	H	L	V
65	85	100	150	200	50	85	65	85	100	150	200
36	50	70	120	200	36	50	36	50	70	120	150
36	50	70	120	150	36	50	36	50	70	120	150
36	50	65	100	150	25	40	36	50	65	100	150
30	36	50	60	70	20	30	30	36	50	60	70
20	25	30	36	50	13	20	20	25	45	50	50
10	12	15	18	20	5	8	10	12	15	20	25 (90)
36	50	70	120	150	36	50	36	50	70	120	150
36	50	70	120	150	36	50	36	50	70	120	150
100%	100%	100%	100%	100%	75%	50%	100%	100%	100%	100%	100%
100%	100%	100%	100%	100%	75%	50% (27)	100%	100%	100%	100%	100%
100%	100%	100%	100%	100%	75%	50% (27)	100%	100%	100%	100%	100%
100%	100%	100%	100%	100%	75%	50%	100%	100%	100%	100%	100%
100%	100%	100%	100%	100%	75%	50%	100%	100%	100%	100%	100%
100%	100%	100%	100%	100%	75%	50%	100%	100%	100%	100%	100%
100%	100%	100%	100%	100%	75%	50%	100%	100%	100%	100%	75% (20)
100%	100%	100%	100%	100%	100%	75%	100%	100%	100%	100%	100%
100%	100%	100%	100%	100%	100%	75%	100%	100%	100%	100%	100%
143	187	220	330	440	105	187	143	187	220	330	440
75.6	105	154	264	440	75.6	105	75.6	105	154	264	330
75.6	105	154	264	330	75.6	105	75.6	105	154	264	330
75.6	105	143	220	330	52.5	84	75.6	105	143	220	330
63	75.6	105	132	154	40	63	63	75.6	105	132	154
40	52.5	63	75.6	105	26	40	40	52.5	94.5	105	105
17	24	30	36	40	7.65	13.6	17	24	84	40	52.5
A					A		A				
ГОСТ Р 50030.2					ГОСТ Р 50030.2		ГОСТ Р 50030.2				
■					■		■				
DIN EN 50022					DIN EN 50022		DIN EN 50022				
25000					25000		25000				
240					240		240				
8000					8000		8000				
120					120		120				

2 Общие характеристики

Автоматические выключатели в литом корпусе Tmax T







		Tmax T1 1P	Tmax T4				
Номинальный длительный ток	[A]	160	320				
Полюсы	[Кол-во]	1	3/4				
Номинальное рабочее напряжение, Ue	(перем. ток) 50-60 Гц	[B]	240				
	(пост. ток)	[B]	125				
Номинальное импульсное выдерживаемое напряжение, Uimp	[кВ]	8	8				
Номинальное напряжение изоляции, Ui	[В]	500	1000				
Испытательное напряжение при токе промышленной частоты в течение 1 мин.	[В]	3000	3500				
Номинальная предельная наибольшая отключающая способность, Icu		B	N	S	H	L	V
(перем. ток) 50-60 Гц 220/230 В	[кА]	25*	70	85	100	200	200
(перем. ток) 50-60 Гц 380/415 В	[кА]	-	36	50	70	120	200
(перем. ток) 50-60 Гц 440 В	[кА]	-	30	40	65	100	180
(перем. ток) 50-60 Гц 500 В	[кА]	-	25	30	50	85	150
(перем. ток) 50-60 Гц 690 В	[кА]	-	20	25	40	70	80
(пост. ток) 250 В - 2 полюса последовательно	[кА]	25 (при 125 В)	36	50	70	100	150
(пост. ток) 250 В - 3 полюса последовательно	[кА]	-	-	-	-	-	-
(пост. ток) 500 В - 2 полюса последовательно	[кА]	-	25	36	50	70	100
(пост. ток) 500 В - 3 полюса последовательно	[кА]	-	-	-	-	-	-
(пост. ток) 750 В - 3 полюса последовательно	[кА]	-	16	25	36	50	70
Номинальная рабочая наибольшая отключающая способность, Ics							
(перем. ток) 50-60 Гц 220/230 В	[%Icu]	75%	100%	100%	100%	100%	100%
(перем. ток) 50-60 Гц 380/415 В	[%Icu]	-	100%	100%	100%	100%	100%
(перем. ток) 50-60 Гц 440 В	[%Icu]	-	100%	100%	100%	100%	100%
(перем. ток) 50-60 Гц 500 В	[%Icu]	-	100%	100%	100%	100%	100%
(перем. ток) 50-60 Гц 690 В	[%Icu]	-	100%	100%	100%	100%	100%
Номинальная наибольшая включающая способность, Icm							
(перем. ток) 50-60 Гц 220/230 В	[кА]	52,5	154	187	220	440	660
(перем. ток) 50-60 Гц 380/415 В	[кА]	-	76,5	105	154	264	440
(перем. ток) 50-60 Гц 440 В	[кА]	-	63	84	143	220	396
(перем. ток) 50-60 Гц 500 В	[кА]	-	52,5	63	105	187	330
(перем. ток) 50-60 Гц 690 В	[кА]	-	40	52,5	84	154	176
Время отключения (415В)	[мс]	7	5	5	5	5	5
Категория применения (МЭК 60947-2 (ГОСТ Р 50030.2))		A					
Стандарт		ГОСТ Р 50030.2	ГОСТ Р 50030.2				
Изоляционные свойства		■	■				
Взаимозаменяемость		-	■				
Исполнения		F	F-P-W				
Механический срок службы	[Число циклов срабатывания]	25000	20000				
	[Число циклов срабатывания в час]	240	240				
Электрический срок службы	[Число циклов срабатывания]	8000	8000 (250 A) - 6000 (320 A)				
при 415 В перем. тока	[Число циклов срабатывания в час]	120	120				

F = стационарные автоматические выключатели

P = втычные автоматические выключатели

W = выкатные автоматические выключатели

2 Общие характеристики

Tmax T5					Tmax T6				Tmax T7				
400/630					630/800/1000				800/1000/1250/1600				
3/4					3/4				3/4				
690					690				690				
750					750				-				
8					8				8				
1000					1000				1000				
3500					3500				3500				
N	S	H	L	V	N	S	H	L	S	H	L	V ⁽⁶⁾	
70	85	100	200	200	70	85	100	200	85	100	200	200	
36	50	70	120	200	36	50	70	100	50	70	120	150	
30	40	65	100	180	30	45	50	80	50	65	100	130	
25	30	50	85	150	25	35	50	65	40	50	85	100	
20	25	40	70	80	20	22	25	30	30	42	50	60	
36	50	70	100	150	36	50	70	100	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
25	36	50	70	100	20	35	50	65	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
16	25	36	50	70	16	20	36	50	-	-	-	-	
100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	75%	100%	100%	100%	100%	
100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	75%	100%	100%	100%	100%	
100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	75%	100%	100%	100%	100%	
100%	100%	100%	100% ⁽¹⁾	100% ⁽²⁾	100%	100%	100%	75%	100%	100%	75%	100%	
100%	100%	100% ⁽¹⁾	100% ⁽²⁾	100% ⁽²⁾	75%	75%	75%	75%	100%	75%	75%	75%	
154	187	220	440	660	154	187	220	440	187	220	440	440	
76,5	105	154	264	440	76,5	105	154	220	105	154	264	330	
63	84	143	220	396	63	94,5	105	176	105	143	220	286	
52,5	63	105	187	330	52,5	73,5	105	143	84	105	187	220	
40	52,5	84	154	176	40	46	52,5	63	63	88,2	105	132	
6	6	6	6	6	10	9	8	7	15	10	8	8	
B (400 A) ⁽³⁾ - A (630 A)					B (630A - 800A) ⁽⁶⁾ - A (1000A)				B ⁽⁷⁾				
ГОСТ Р 50030.2					ГОСТ Р 50030.2				ГОСТ Р 50030.2				
													
													
F-P-W					F-W ⁽⁴⁾				F-W				
20000					20000				20000				
120					120				60				
7000 (400 A) - 5000 (630 A)					7000 (630A) - 5000 (800A) - 4000 (1000A)				2000 (исполнения S-H-L) - 3000 (исполнение V)				
60					60				60				

⁽¹⁾ 75% для T5 630⁽²⁾ 50% для T5 630⁽³⁾ I_{cs} = 5 кА⁽⁴⁾ Для T6 1000 А исполнение W отсутствует⁽⁵⁾ I_{cs} = 7,6 кА (630 А) - 10 кА (800 А)⁽⁶⁾ Только для T7 800/1000/1250 А⁽⁷⁾ I_{cs} = 20 кА (исполнения S, H, L) - 15 кА (исполнение V)

Примечание: во втычном исполнении T5 630 и в выкатном исполнении T5 630 максимальный номинальный ток снижается на 10% при 40 °C.

2 Общие характеристики

Воздушные автоматические выключатели Emax 2

Общие сведения

Напряжения		
Номинальное рабочее напряжение Ue	[В]	690 ~
Номинальное напряжение изоляции Ui	[В]	1000
Номинальное импульсное выдерживаемое напряжение Uimp	[кВ]	12
Рабочая температура	[°C]	-25.....+70
Температура хранения	[°C]	-40.....+70
Частота f	[Гц]	50 - 60
Количество полюсов		3 - 4
Исполнение	Стационарное - Выкатное	

Исполнения по отключающей способности	
Токи: номинальный непрерывный ток (при 40 °C) Iu	[А]
	[А]
	[А]
	[А]
	[А]
Нагрузочная способность нейтрального полюса для 4-полюсных выключателей	[% Iu]
Номинальная предельная наибольшая отключающая способность Icu	
220/230/380/400/415 В ~	[кА]
440 В ~	[кА]
500/525 В ~	[кА]
660/690 В ~	[кА]
Номинальная рабочая наибольшая отключающая способность Ics	
220/230/380/400/415 В ~	[кА]
440 В ~	[кА]
500/525 В ~	[кА]
660/690 В ~	[кА]
Номинальный кратковременно выдерживаемый ток Icw	(1с) [кА]
	(3с) [кА]
Номинальная наибольшая включающая способность (пиковое значение) Icm	
220/230/380/400/415 В ~	[кА]
440 В ~	[кА]
500/525 В ~	[кА]
660/690 В ~	[кА]
Категория применения (согласно ГОСТ Р 50030.2)	
Пригодность к разъединению (согласно ГОСТ Р 50030.2)	
Защита от сверхтоков	
Электронные расцепители для переменного тока	
Время срабатывания	
Время включения (макс.)	[мс]
Время отключения при I<Icw (макс.) ⁽¹⁾	[мс]
Время отключения при I>Icw (макс.)	[мс]

(1) Без преднамеренно установленных выдержек времени

Воздушные автоматические выключатели Emax 2

E1.2

Номинальный длительный ток (при 40 °C) Iu		250-1000	1250-1600	1250L
Механический срок службы при регулярном стандартном обслуживании	[Число циклов x 1000]	20	20	20
Частота циклов срабатывания	[Циклов/час]	60	60	60
Электрический срок службы	(440 В ~) [Число циклов x 1000]	8	8	3
	(690 В ~) [Число циклов x 1000]	8	6,5	1
Частота циклов срабатывания	[Циклов/час]	30	30	30

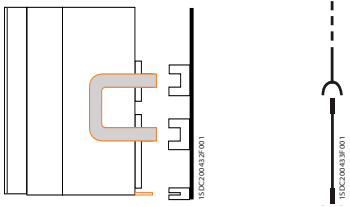
2 Общие характеристики

E1.2				E2.2				E4.2				E6.2	
B	C	N	L	B	N	S	H	N	S	H	V	H	V
630	630	250	630	1600	800	250	800	3200	3200	3200	3200	4000	4000
800	800	630	800	2000	1000	800	1000	4000	4000	4000	4000	5000	5000
1000	1000	800	1000		1250	1000	1250					6300	6300
1250	1250	1000	1250		1600	1250	1600						
1600	1600	1250			2000	1600	2000						
		1600			2500	2000	2500						
					2500								
100	100	100	100	100	100	100	100	100	50-100	50-100	50-100	50-100	50-100
42	50	66	150	42	66	85	100	66	85	100	150	100	150
42	50	66	130	42	66	85	100	66	85	100	150	100	150
42	42	50	100	42	66	66	85	66	66	85	100	100	130
42	42	50	60	42	66	66	85	66	66	85	100	100	100
42	50	66	150	42	66	85	100	66	85	100	130	100	150
42	50	66	130	42	66	85	100	66	85	100	130	100	150
42	42	50	100	42	66	66	85	66	66	85	85	100	130
42	42	50	60	42	66	66	85	66	66	85	85	100	100
42	42	50	15	42	66	66	85	66	40	85	100	100	100
24	24	36		42	50	50	66	36	25	66	75	100	100
88,2	105	145	330	88,2	145	187	220	145	187	220	330	220	330
88,2	105	145	286	88,2	145	187	220	145	187	220	330	220	330
88,2	88	105	220	88,2	145	143	187	145	145	187	220	220	286
88,2	88	105	132	88,2	145	143	187	145	145	187	220	220	220
B	B	B	A	B	B	B	A	B	B	B	B	B	B
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
25	25	25	10	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25

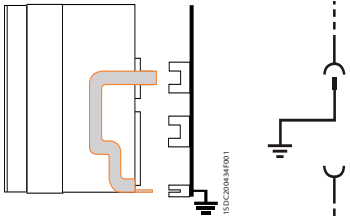
E2.2				E4.2				E6.2		
250-1250	1250-1600	2000	2500	800-2000	2500	3200	4000	4000	5000	6300
25	25	25	20	20	20	20	15	12	12	12
60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
15	12	10	8	10	8	7	5	4	3	2
15	10	8	7	10	8	7	5	4	2	2
30	30	30	30	20	20	20	20	10	10	10

2 Общие характеристики

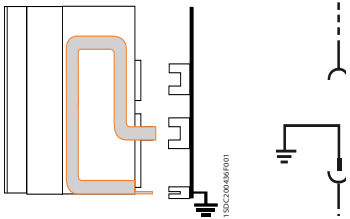
Специальные версии выключателей Emax 2



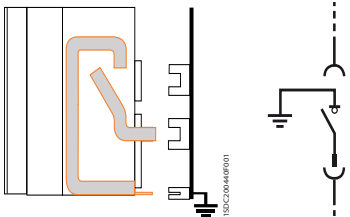
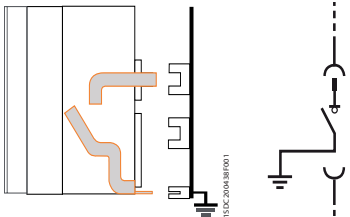
– **Выкатной разъединитель CS:** в нормальных условиях эксплуатации электрической цепи это устройство вклинено в фиксированную часть и замыкает верхние и нижние выводы силовой цепи. При необходимости проведения технического обслуживания, данный разъединитель выкатывается и часть системы, в которой он был, изолируется. Устройство может быть оснащено замком с ключом и навесными замками для блокировки в выкатанном положении.



– **Выкатной заземлитель MT:** это устройство позволяет заземлять все фазы электрической цепи, в которых должно производиться техобслуживание ¹⁾. Имеются две версии выкатного заземлителя: для заземления от верхних или нижних выводов.



– **Выкатной заземлитель с включающей способностью MTP:** подобный устройству MT, отличается наличием механизма управления, который позволяет размыкание и замыкание цепи. Имеются две версии этого заземлителя: для заземления от верхних или нижних выводов. Он может быть оснащен замком с ключом и навесными замками для блокировки в разомкнутом состоянии.



¹⁾ Цепь заземления рассчитана на кратковременный ток равный 60% от максимального тока I_{sw} автоматического выключателя, из которого он модифицирован (МЭК 60439-1).

2 Общие характеристики

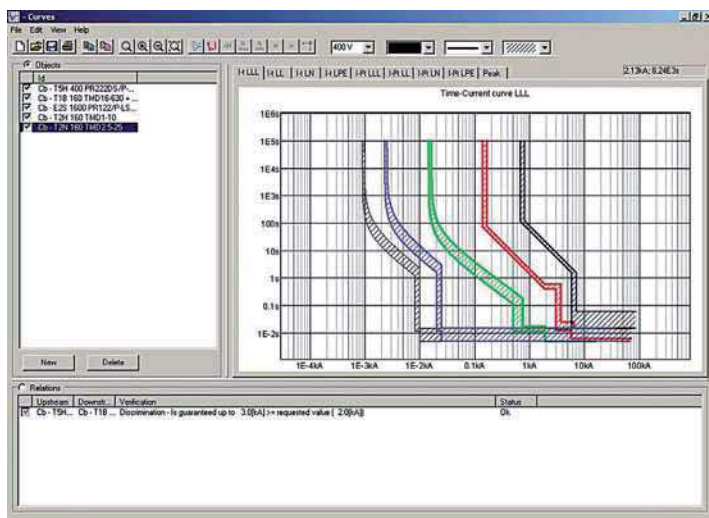
2.2 Кривые время-токовых характеристик

2.2.1 Программа «Curves 2.0»

Программа «Curves 2.0» предназначена для специалистов в области электротехники. Для получения программного обеспечения обращайтесь в компанию АББ.

Данная программа позволяет отображать:

- I-t LLL: характеристики срабатывания при трехфазных КЗ и перегрузках;
- I-t LL: характеристики срабатывания при двухфазных КЗ и перегрузках;
- I-t LN: характеристики срабатывания при однофазных КЗ и перегрузках;
- I-t LPE: характеристики срабатывания при авариях фаза-земля;
- I-I²t LLL: удельную сквозную энергию при трехфазных КЗ и перегрузках;
- I-I²t LL: удельную сквозную энергию при двухфазных КЗ и перегрузках;
- I-I²t LN: удельную сквозную энергию при однофазных КЗ и перегрузках;
- I-I²t LPE: удельную сквозную энергию при авариях фаза-земля;
- пиковое значение: токоограничивающая характеристика;
- характеристики кабелей и плавких предохранителей.



Помимо этого, программа позволяет осуществлять проверку выполнения условий по защите кабелей, защите человека и селективности. Алгоритмы проверки защиты кабелей описаны в международных стандартах. Алгоритмы проверки селективности реализуются в соответствии с нормативами, приведенными в издании «Селективность низковольтных автоматических выключателей АББ в сетях низкого напряжения». Данное издание входит в распространяемую АББ на территории России «Серию проектировщика». Программа «Curves» отображает характеристики срабатывания и предельные характеристики в соответствии с каталогами.

2 Общие характеристики

2.2.2 Время-токовые кривые термомagnetных и магнитных расцепителей

Функция защиты от перегрузки не должна размыкать выключатель в течение 2 часов, если значения тока менее 1,05 тока уставки, и должна отключать выключатель в течение 2 часов, если значения тока менее 1,3 тока уставки.

Под «отключением из холодного состояния» подразумевается то, что перегрузка происходит, когда автоматический выключатель еще не достиг нормальной рабочей температуры (до того, как возникнет аварийное условие, ток не проходит через автоматический выключатель); и наоборот, «отключение из горячего состояния» относится к автоматическому выключателю, достигшему нормальной рабочей температуры при проходящем через него номинальном токе до того, как возникнет аварийное условие. Поэтому величины времени «отключения из холодного состояния» всегда больше величин времени «отключения из горячего состояния».

Функция защиты от КЗ представлена времятоковой кривой в виде вертикальной линии, соответствующей номинальному значению порога срабатывания I_3 . В соответствии с МЭК 60947-2 (ГОСТ Р 50030.2) ток срабатывания этого порога находится в пределах $0,8 \times I_3$ и $1,2 \times I_3$. Время срабатывания этой защиты зависит от электрических характеристик КЗ и наличия других защитных устройств: в этой характеристике невозможно достаточно четко отразить все возможные ситуации, поэтому лучше использовать простую прямую линию, параллельную оси тока.

Вся информация, относящаяся к этой области отключения и полезная для выбора устройств защиты электроустановки и координации между ними, представлена на токоограничивающей кривой и на кривых удельной сквозной энергии автоматического выключателя в условиях КЗ.

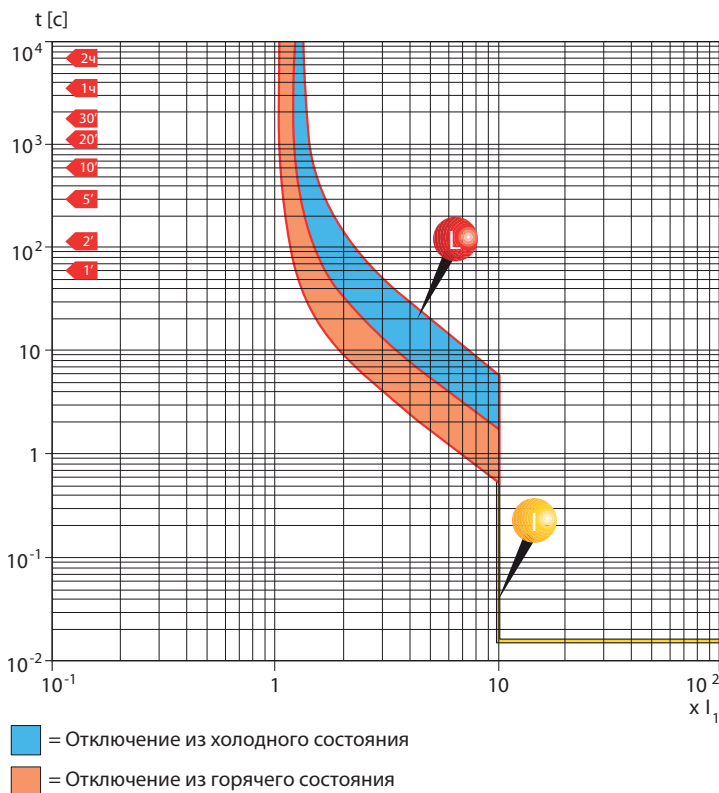
На следующих страницах даны примеры представления данных по уставкам термомagnetных расцепителей.

Для наглядности этих примеров допустимая погрешность срабатывания защитных функций не учитывается.

Для правильной настройки расцепителей необходимо учитывать допустимую погрешность для используемого типа термомagnetных расцепителей. Для получения данной информации обратитесь к техническим каталогам.

2 Общие характеристики

На следующем рисунке показана времятоковая кривая автоматического выключателя с термомангнитным расцепителем:



2 Общие характеристики

Защита от перегрузки (L)

Для правильной установки функции L расцепителя необходимо знать ток нагрузки (I_b) и разделить его на номинальный ток термомagnetного расцепителя. Уставка L должна быть больше или равна полученному значению:

$$L = \frac{I_b}{I_n}$$

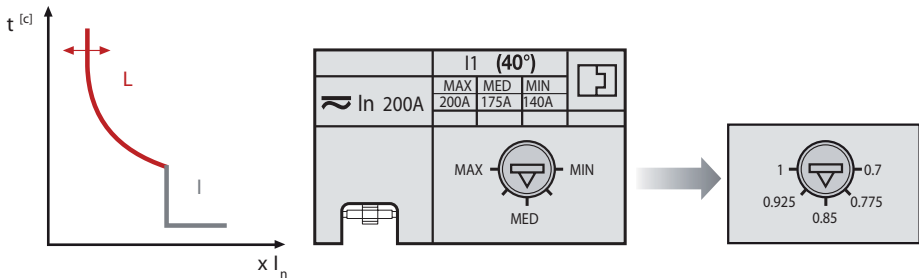
Защита кабеля реализуется при следующем условии: $I_b < I_l < I_z$, где I_z - это нагрузочная способность кабеля, а I_l - уставка тока защиты от перегрузки (ГОСТ 50030.2).

Пример:

ХТ4N 250 TMA 200 с термомagnetным расцепителем TMA (с регулируемой функцией L от 0,7 до $1 \times I_n$)

$I_b = 170 \text{ A}$

$$\text{Уставка}_L = \frac{I_b}{I_n} = \frac{170}{200} = 0.85$$



2 Общие характеристики

Защита от короткого замыкания с мгновенным срабатыванием (I)

Для настройки данной функции защиты электромагнитного расцепителя необходимо знать минимальное расчетное значение тока КЗ в установке.

Порог срабатывания I_З должен соответствовать следующему условию:

$$I_3 < I_{\text{к мин}}$$

$$I_3 = \text{уставка} \times I_n$$

Для определения уставки надо разделить ток I_{к мин} на номинальный ток расцепителя и принять значение уставки немного ниже.

$$\text{Уставка}_I = \frac{I_{\text{к мин}}}{I_n}$$

Пример:

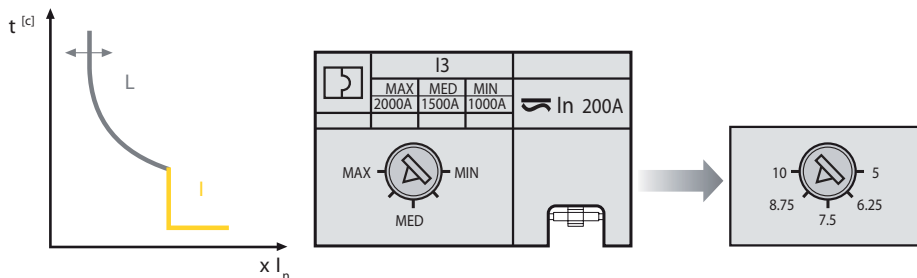
ХТ4N 250 TMA 200 с термомagnetным расцепителем TMA с регулируемой функцией мгновенного срабатывания от 5 (=1000 A) до 10 (=2000 A).

$$I_{\text{к мин}} = 1800 \text{ A}$$

$$\text{Уставка}_I = \frac{I_{\text{к мин}}}{I_n} = \frac{1800}{200} = 9$$

Необходимо выбрать: $\cong 8,75$:

$$I_3 = 8,75 \times 200 = 1750 \leq 1800 \text{ A}$$



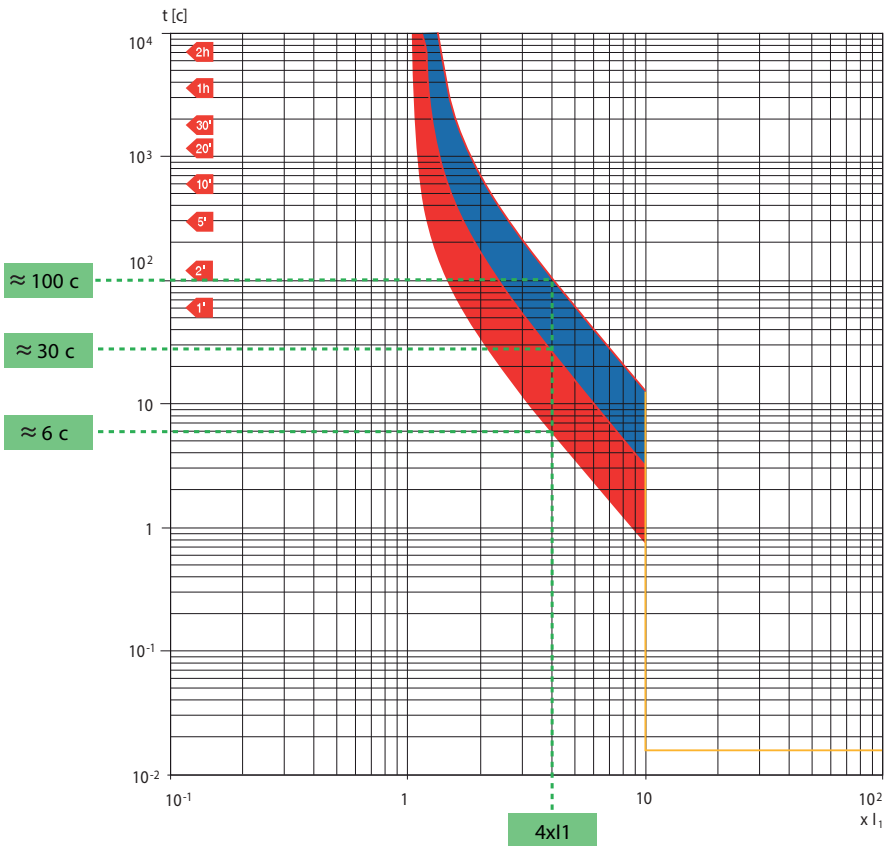
2 Общие характеристики

Пример определения уставки термомангнитного расцепителя

Предположим, что используется автоматический выключатель типа XT2 160 In 160, оснащенный регулируемым термомангнитным расцепителем. Выберем порог тока, например, 144 А, тогда порог магнитного срабатывания, установленный на $10 \times I_n$, равен 1600 А. Необходимо отметить, что в соответствии с условиями, при которых происходит перегрузка, т.е. достиг ли автоматический выключатель полной рабочей температуры или нет, срабатывание теплового расцепителя значительно изменяется. Например, для тока перегрузки 600 А, время срабатывания составляет от 6 до 30 с для отключения из горячего состояния, и от 30 до 100 с для отключения из холодного состояния.

При токах КЗ выше 1600 А автоматический выключатель срабатывает мгновенно за счет электромагнитной защиты.

Время-токовые кривые XT2 160 - In 160



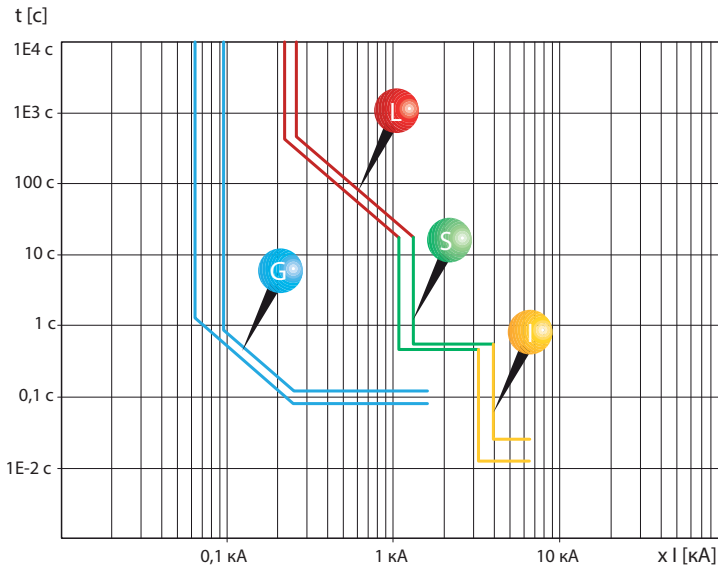
2 Общие характеристики

2.2.3 Функции защиты электронных расцепителей

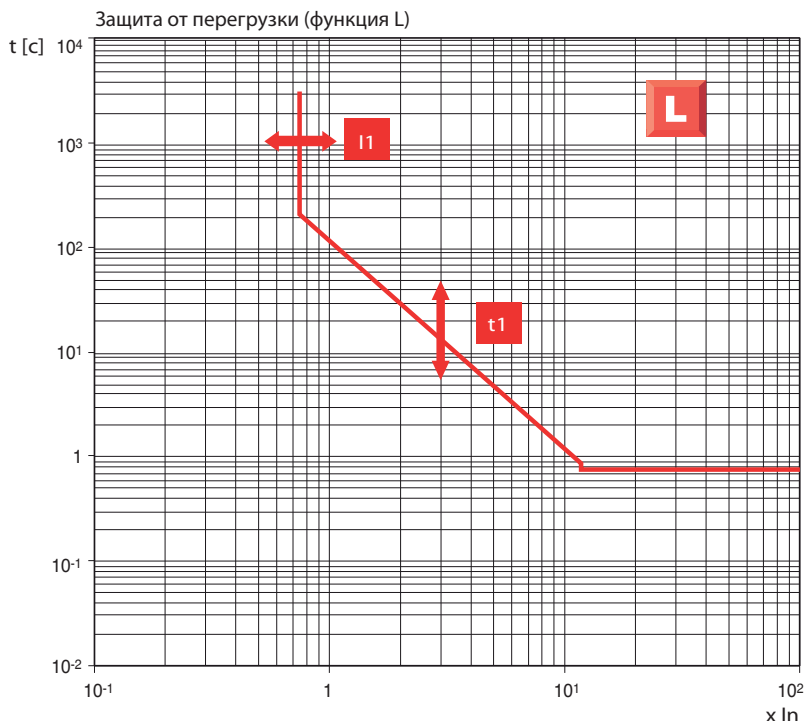
На следующих страницах показаны функции защиты электронных расцепителей для автоматических выключателей в литом корпусе и воздушных автоматических выключателей. Наличие функций защиты в разных типах расцепителей смотрите в таблице на странице 43. В этой главе приведены примеры настройки электронного расцепителя с помощью DIP-переключателя, расположенного на лицевой панели автоматического выключателя. Эту операцию можно также выполнить с помощью интерфейса ЖК-дисплея (для расцепителей PR332-Ekip Touch-Ekip Hi-Touch) или электронным методом посредством блока тестирования и настройки Ekip T&P.

Для наглядности этих примеров допустимая погрешность защитных функций не учитывается. Для правильной настройки расцепителей необходимо учитывать допустимые отклонения для различных функций защиты, относящиеся к используемому электронному расцепителю. Для получения данной информации обратитесь к техническим каталогам.

На рисунке ниже показаны времятоковые кривые срабатывания автоматического выключателя с электронным расцепителем, обладающим функциями LSIG (описанными далее):



2 Общие характеристики



Область применения этой защитной функции относится ко всем установкам, подвергающимся перегрузкам - обычно небольшим, но длительным, опасным для срока службы аппаратуры и кабелей.

Такие токи обычно развиваются в исправной цепи, в результате чего линия оказывается перегруженной. Такое событие более вероятно, чем реальное повреждение. Характеристика срабатывания этой защиты (можно отключить у аппаратов Еmax 2) определяется порогом тока I_1 и временем срабатывания t_1 . Точнее:

- I_1 - значение тока, за пределами которого функция защиты подает сигнал на размыкание автоматического выключателя в соответствии с обратозависимой временной характеристикой срабатывания, где отношение время - ток определяется:
 $I^2 t = \text{постоянная}$ (постоянная удельная сквозная энергия);
- t_1 представляет время срабатывания защиты в секундах, соответствующее вполне определенному множителю I_1 , и используется для установления определенной кривой среди других кривых расцепителя.

2 Общие характеристики

Для правильной установки порога срабатывания функции L необходимо знать ток нагрузки (I_b) и разделить его на величину тока I_n отключающего устройства. Уставка должна быть немного выше или равна полученному значению:

$$\text{Уставка}_L = \frac{I_b}{I_n}$$

Кроме того, в случае защиты кабеля должно выполняться следующее условие: $I_b < I_1 < I_z$, где I_z - это нагрузочная способность кабеля, а I_1 - это уставка защиты от перегрузки.

Пример:

XT2N 160, отключающее устройство типа Ekip LSI $I_n=100$, функция защиты L ($I_1=0,4$ при 1 x I_n с шагом 0,02) посредством ручной настройки.

$I_b = 85 \text{ A}$

$$\text{Уставка}_L = \frac{I_b}{I_n} = \frac{85}{100} = 0,85$$

Выбирается $I_1 = 0,86$.

При ручной настройке DIP-переключатели должны располагаться так, чтобы получить коэффициент, равный 0,86; этот коэффициент, умноженный на номинальный ток отключающего устройства, дает требуемое значение тока. На рисунке ниже показана правильная комбинация DIP-переключателей для получения требуемого множителя:

$I_1 = 100 \times (0,4 + 0,02 + 0,04 + 0,08 + 0,32) = 86 \text{ A}$

Время срабатывания функции L для тока перегрузки изменяется в зависимости от типа используемой характеристики.

Относительно рассматриваемого в примере расцепителя возможны 4 характеристики, каждая из которых считывается по пересечению с характеристическим множителем ($3 \times I_1$), которому соответствует различное время срабатывания ($t_1 = 3 \text{ с}, 12 \text{ с}, 36 \text{ с}, 60 \text{ с}$); поскольку это зависит с $I^2 t = \text{const}$, то после настройки t_1 можно определить множители, отличные от $3 \times I_1$. Поскольку это зависимость с постоянной $I^2 t$, условие $(3 \times I_1)^2 \times t_1 = \text{const} = I^2 t$ должно всегда проверяться.

(*) 0,4 - это фиксированное значение, которое нельзя отключить.

2 Общие характеристики

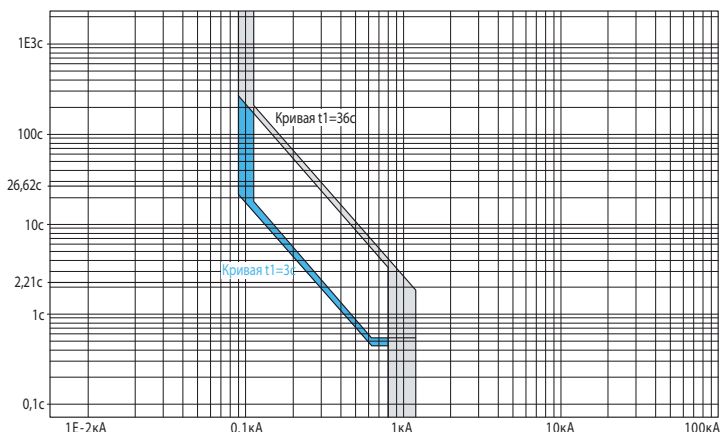
Выражение I^2t представляет произведение тока аварии в квадрате и времени, требующегося защите, чтобы произвести срабатывание.

Если предположить, что ток перегрузки составляет 300 А (I_{ol}), а время t_1 установлено на 3 с, то получится следующее:

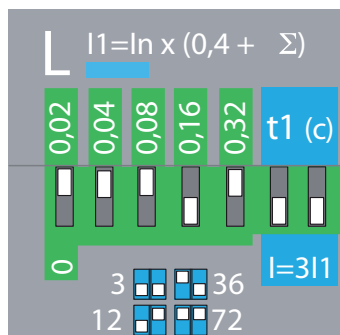
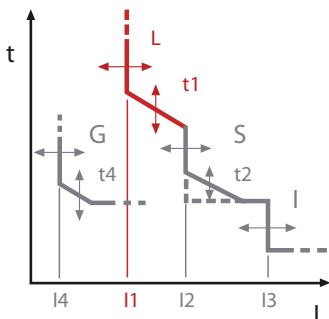
$$(3 \times I_1)^2 \times t_1 = I_{ol}^2 \times t \rightarrow t = \frac{(3 \times 86)^2 \times 3}{(300)^2} = 2,21 \text{ с}$$

При том же самом уровне перегрузки (I_{ol})=300 А, если время t_1 было установлено на 36 с, время срабатывания составило бы:

$$(3 \times I_1)^2 \times t_1 = I_{ol}^2 \times t \rightarrow t = \frac{(3 \times 86)^2 \times 36}{(300)^2} = 26,62 \text{ с}$$

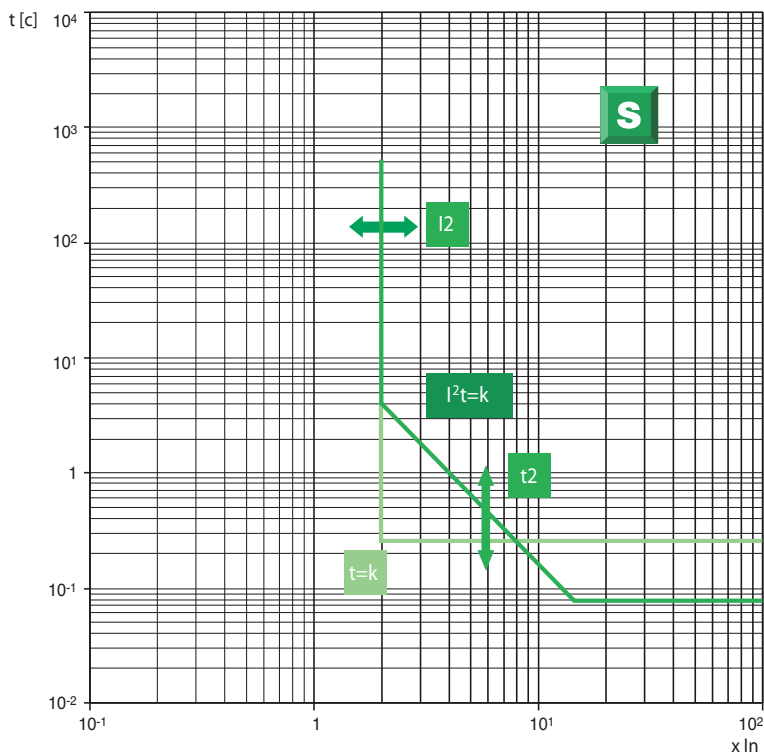


Время t_1 должно выбираться с учетом координации кабелей и других аппаратов со стороны источника или со стороны нагрузки рассматриваемого автоматического выключателя.



2 Общие характеристики

Защита от короткого замыкания с выдержкой по времени (функция S)



Эта защитная функция используется для ввода выдержки по времени срабатывания при коротком замыкании. Функция S необходима, когда требуется обеспечение временной или энергетической селективности, чтобы время срабатывания увеличивалось по мере приближения к источникам питания.

Характеристика срабатывания этой защиты (которую можно отключить) определяется порогом тока I_2 и временем срабатывания t_2 , а именно:

- I_2 представляет значение тока, за пределами которого функция защиты подает сигнал на размыкание автоматического выключателя в соответствии с одной из следующих характеристик срабатывания:
 - с обратозависимой выдержкой по времени, когда зависимость время - ток определяется соотношением $I^2 t = k$ (постоянная сквозная энергия);
 - с независимой выдержкой по времени, когда время срабатывания определяется зависимостью $t = k$ (постоянное время); в этом случае, время размыкания одинаково для любого значения тока, превышающего I_2 ;
- t_2 представляет время срабатывания защиты в секундах в соответствии с:
 - определенным множителем I_n для кривых срабатывания при $I^2 t = k$;
 - I_2 для кривой срабатывания при $t = k$.

Информация о диапазонах уставок для различных расцепителей приведена в технических каталогах.

2 Общие характеристики

Для корректной настройки функции S автоматического выключателя с электронным расцепителем разделите значение $I_{k\text{ мин}}$ (самое низкое значение тока КЗ) на значение I_n расцепителя и примите расчетное значение установки немного меньше.

$$\text{Уставка}_S = \frac{I_{k\text{ мин}}}{I_n}$$

Пример:

ХТ4N 250 с расцепителем Ekip LSIG In 250

Функция S ($I_2=1-1,5-2-2,5-3-3,5-4,5-5-5,5-6,5-7-7,5-8-8,5-9-10 \times I_n$)

$I_{k\text{ мин}} = 900 \text{ A}$

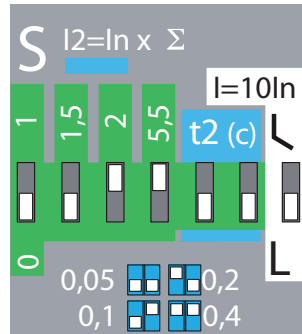
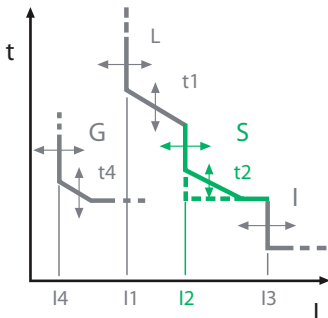
$$\text{Уставка}_S = \frac{I_{k\text{ мин}}}{I_n} = \frac{2000}{250} = 8$$

нужное значение - 7,5.

Как и в предыдущем примере, на рисунке показано правильное положение DIP-переключателей для получения требуемого множителя: $I_2 = 250 \times (2+5,5) = 1875 \text{ A} < 2000 \text{ A}$

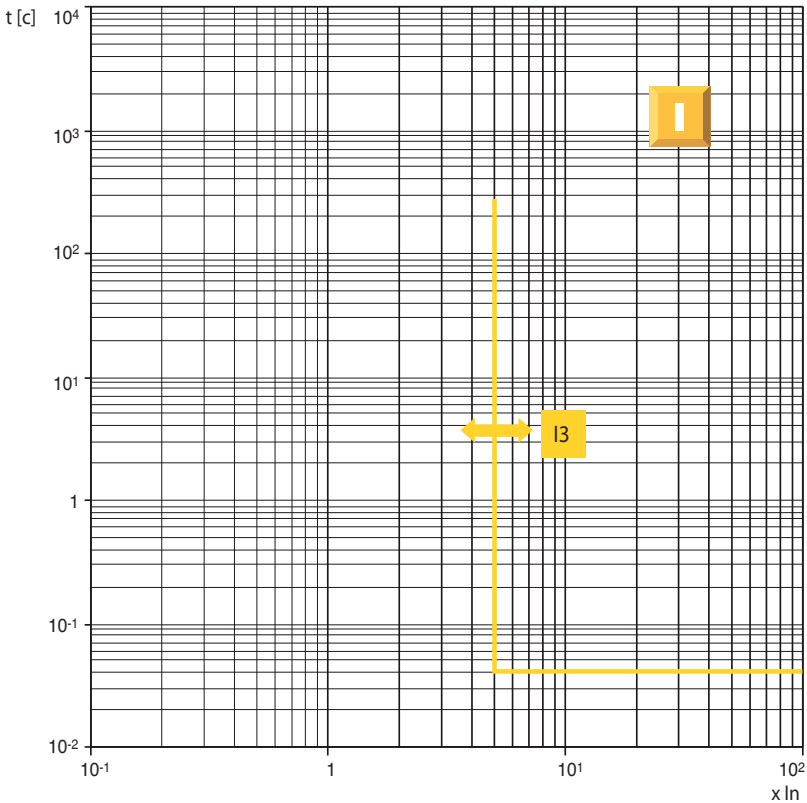
Выдержка по времени t_2 функции S изменяется согласно выбранной характеристике: $t = \text{const}$ или $I^2 t = \text{const}$.

При выборе $t_2 = \text{const}$ в случае КЗ, все сверхтоки выше или равные I_2 (в этом случае 1875 A) должны отсекаются в пределах установленного времени t_2 ; однако, при выборе характеристики с $I^2 t = \text{const}$, применимы по аналогии те же самые расчеты, сделанные для определения времени срабатывания t_1 , учитывая соответствующие пороги тока I_2 .



2 Общие характеристики

Защита от короткого замыкания с мгновенным срабатыванием (функция I)



Данная функция позволяет защите срабатывать мгновенно при коротком замыкании. Эта защита действует для токов КЗ, превышающих установленный порог тока I_3 ; время срабатывания (мгновенное) регулировать нельзя. Функцию I можно отключить.

Чтобы правильно установить порог срабатывания функции I, необходимо знать наименьший ток КЗ из тех, которые могут возникнуть в защищаемой цепи. Порог срабатывания I_3 должен соответствовать следующему условию:

$$I_3 \leq I_{\min}$$

$$I_3 = \text{уставка}_I \times I_n$$

Информация о диапазонах уставок для различных расцепителей приведена в технических каталогах.

2 Общие характеристики

Для определения значения уставки разделите ток $I_{\text{кмин}}$ на величину номинального тока I_n и примите значение уставки немного ниже.

$$\text{Уставка}_I = \frac{I_{\text{кмин}}}{I_n}$$

Пример:

ХТ4N 160 с расцепителем Ekip LSIG In100

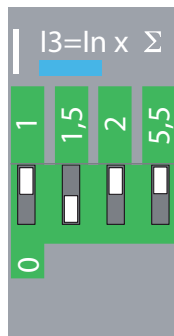
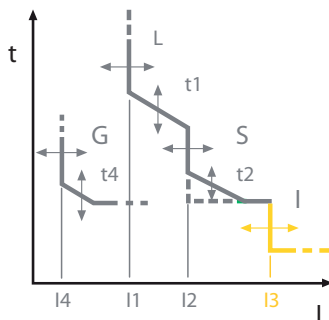
Функция I ($I_3=1-1,5-2-2,5-3-3,5-4-5-5,5-6-5,5-7-7,5-8-8,5-9-10 \times I_n$)

$I_{\text{кмин}}=900 \text{ A}$

$$\text{Уставка}_I = \frac{I_{\text{кмин}}}{I_n} = \frac{900}{100} = 9$$

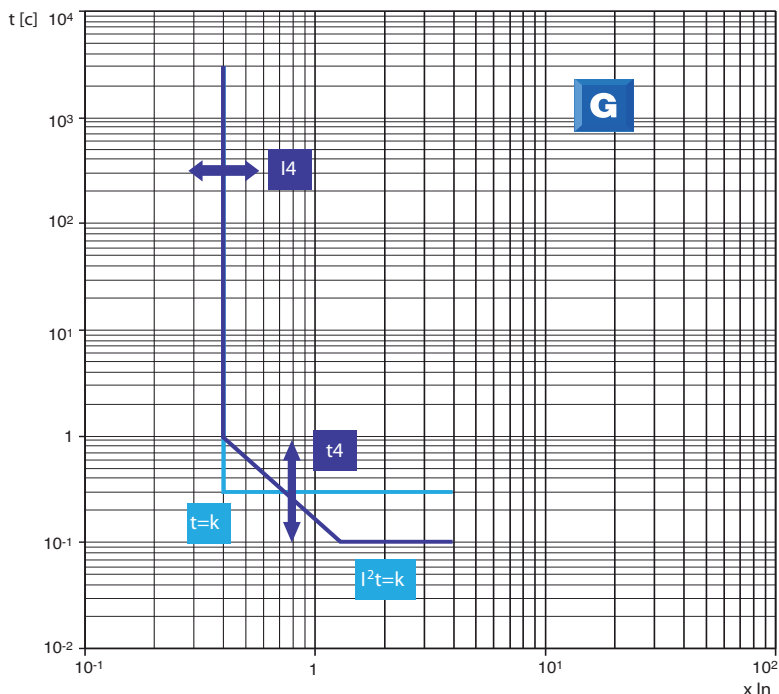
выберите значение 8,5.

Как и в предыдущем примере, на рисунке показано правильное положение DIP-переключателей для получения требуемого множителя: $I_3 = 100 \times (1+2+5,5) = 850 \text{ A} < 900$



2 Общие характеристики

Защита от замыкания на землю (функция G)



Защитная функция G определяет векторную сумму токов, проходящих по проводам четырехпроводной трехфазной системы.

В исправной цепи эта сумма равна нулю, тогда как при замыкании на землю часть тока повреждения возвращается к источнику питания через защитный проводник и(или) землю в обход рабочих проводников. Характеристика срабатывания этой защиты определяется порогом тока I_4 и временем срабатывания t_4 . Точнее:

- I_4 представляет значение тока, выше которого функция защиты подает сигнал на отключение автоматического выключателя в соответствии с одной из следующих характеристик срабатывания:
 - с обратозависимой выдержкой времени, когда зависимость время - ток определяется соотношением $I^2t = k$ (постоянная сквозная энергия);
 - с независимой выдержкой времени, когда время срабатывания определяется зависимостью $t = k$ (время постоянное); в этом случае, время срабатывания равно для любого значения тока, превышающего I_4 ;
- t_4 представляет время срабатывания защиты в секундах в соответствии с:
 - определенным множителем In для кривой срабатывания при $I^2t = k$;
 - I_4 для кривой срабатывания при $t = k$.

Информация о диапазонах уставок для различных расцепителей приведена в технических каталогах.

2 Общие характеристики

Для корректной установки тока I_d и времени t_d функции G необходимо выполнить требования, указанные в Стандарте по монтажу в главе 4 части 2 - «Защита человека».

Пример:

XT4N 250 с расцепителем Ekip LSIG In 250

функция G ($I_d=0,2-0,25-0,45-0,55-0,75-0,8-1 \times I_n$)

$I_{k_{PE}}=120 \text{ A}$

распределительная система: TN-S.

В системах распределения TN повреждение на землю на стороне нагрузки создаёт ток, аналогичный току короткого замыкания между фазой и защитным проводником (или проводниками), что не влияет на систему заземления в целом.

Зависимость $Z_s \times I_a < U_0$, относящуюся к системам распределения TN-S, можно выразить следующим образом:

$$I_a \leq \frac{U_0}{Z_s} = I_{k_{LPE}}$$

где:

- U_0 - это напряжение фаза - PE;
- Z_s - это сопротивление в контуре короткого замыкания на землю;
- I_a - это ток отключения в пределах выдержки времени, установленной Стандартом (см. Глава 4 Часть 2 - «Защита человека»).

- $I_{k_{LPE}}$ = ток КЗ фаза - PE

Поэтому можно утверждать, что защита от косвенного прикосновения обеспечивается, если ток отключения I_a ниже тока КЗ фаза - PE ($I_{k_{LPE}}$), который присутствует в открытой токопроводящей части установки, подлежащей защите. В этом случае:

$$\text{Уставка}_G = \frac{I_{k_{PE}}}{I_n} = \frac{120}{250} = 0,48$$

выбирается уставка 0,45.

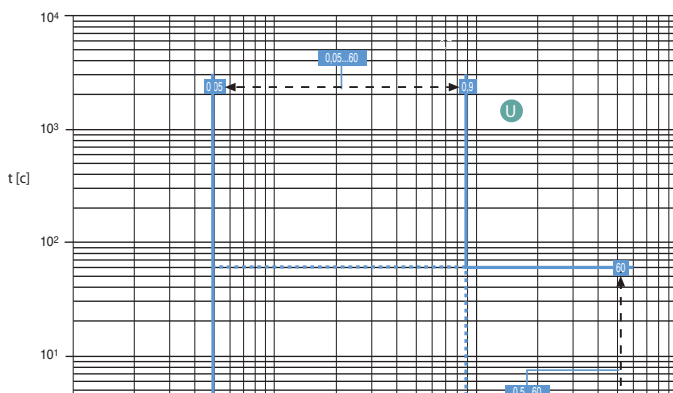
2 Общие характеристики

Как и в предыдущем примере, на рисунке ниже показано правильное положение DIP-переключателей для получения требуемого множителя:

$$I_4 = 250 \times (0,2+0,25) = 112,5 \text{ A} < 120 \text{ A}$$

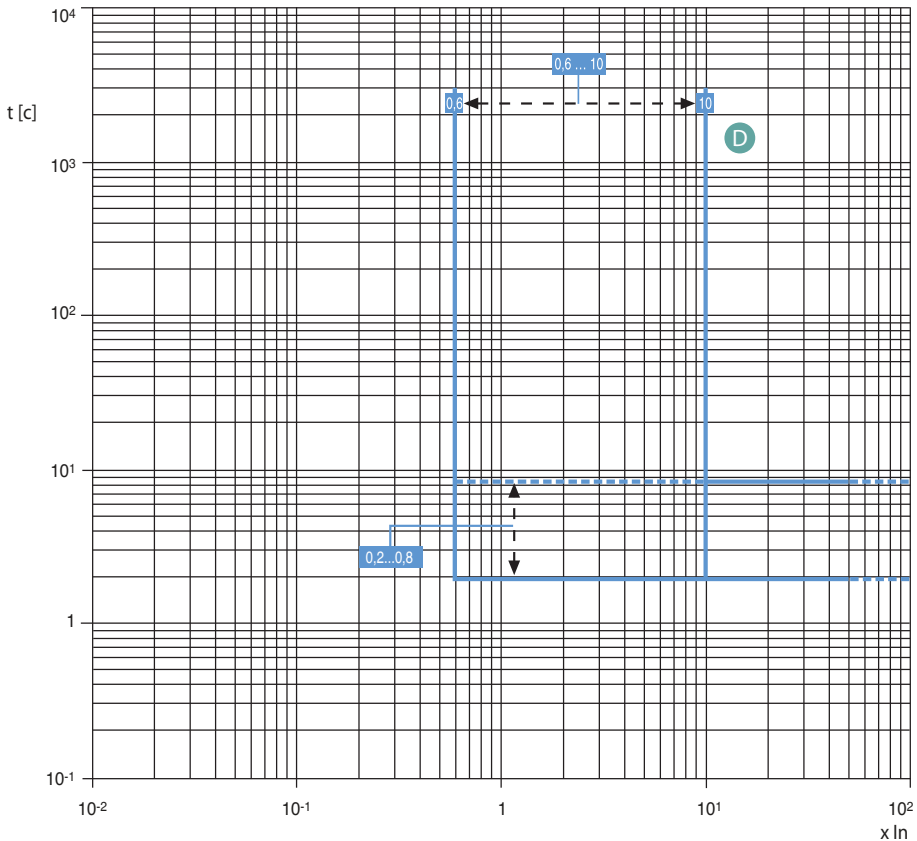
Время срабатывания t_4 выбирается в соответствии с положениями стандартов по защите, относящимися к расцепителю, характеристики которого определяют t_4 в соответствии с константой I^2t ; поэтому для определения времени срабатывания необходимо руководствоваться теми же расчетами, что использовались при определении выдержки времени t_1 , но с учетом соответствующих порогов срабатывания I_4 и соответствующих характеристических кривых (t_4).

Например, при использовании расцепителя с временем срабатывания $t_4 = \text{const}$, по достижении и превышении порога срабатывания, автоматический выключатель должен отключиться в пределах заданного времени t_4 .



2 Общие характеристики

Направленная защита от короткого замыкания с регулируемой выдержкой времени (функция D)

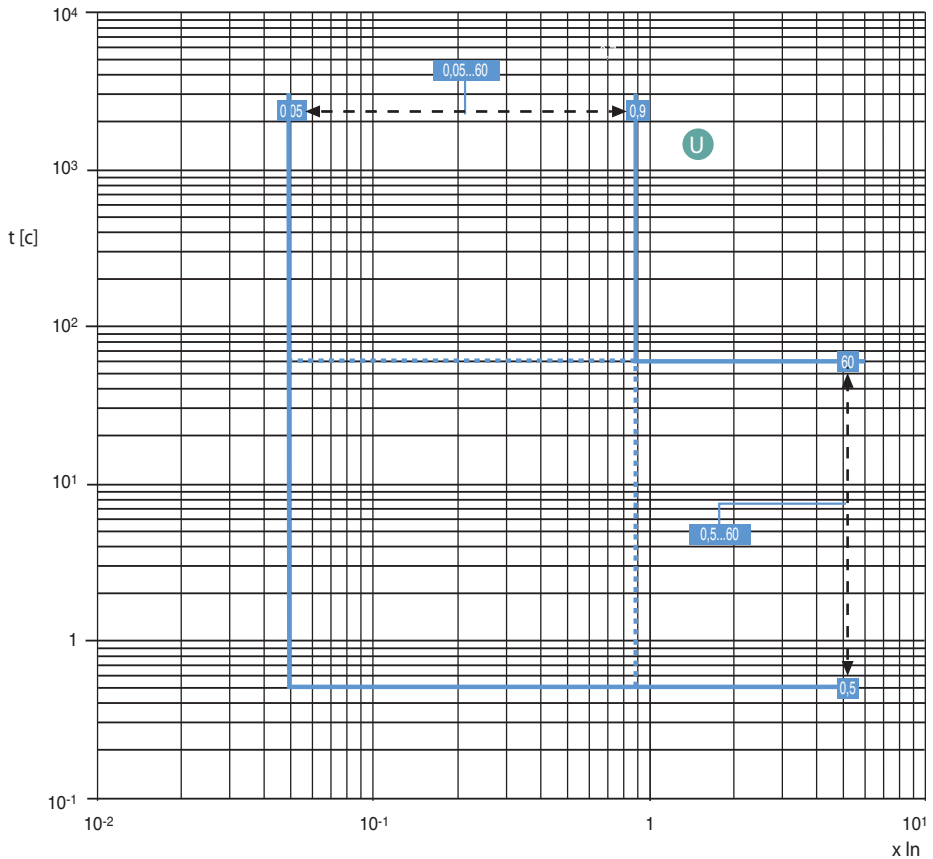


Эта защита похожа на функцию S с выдержкой по времени. Помимо величины аварийного тока, она позволяет выявить также направление энергии короткого замыкания и, следовательно, понять, где произошла неисправность - со стороны источника или нагрузки автоматического выключателя, отключив таким образом только часть установки, затронутой неисправностью. Эта защита особенно подходит для кольцевых распределительных систем и для установок с большим количеством мощных параллельных линий питания.

Диапазон уставок находится в пределах от $0,6$ до $10 \times I_n$, а время срабатывания устанавливается в диапазоне от $0,2$ до $0,8$ секунд. Функцию D можно отключить.

2 Общие характеристики

Защита от перекоса фаз (функция U)



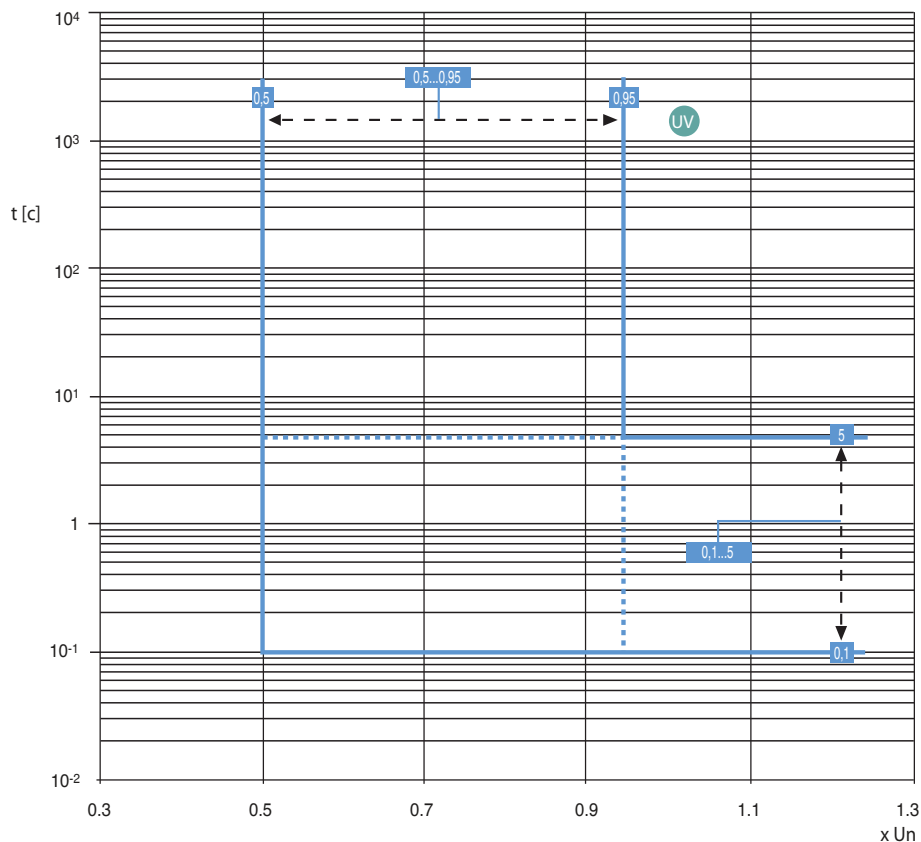
Эта защитная функция отключает автоматический выключатель, когда обнаруживается ток перекоса фазы, превышающий установленную пороговую величину.

Уставки могут составлять от 5% до 90% номинального тока, а время срабатывания устанавливается в диапазоне от 0,5 до 60 с.

Функция защиты IU используется, прежде всего, в установках с электродвигателями или электрогенераторами, где перекося фаз может оказать нежелательное воздействие на эти машины. Функцию IU можно отключить.

2 Общие характеристики

Защита от понижения напряжения (функция UV)

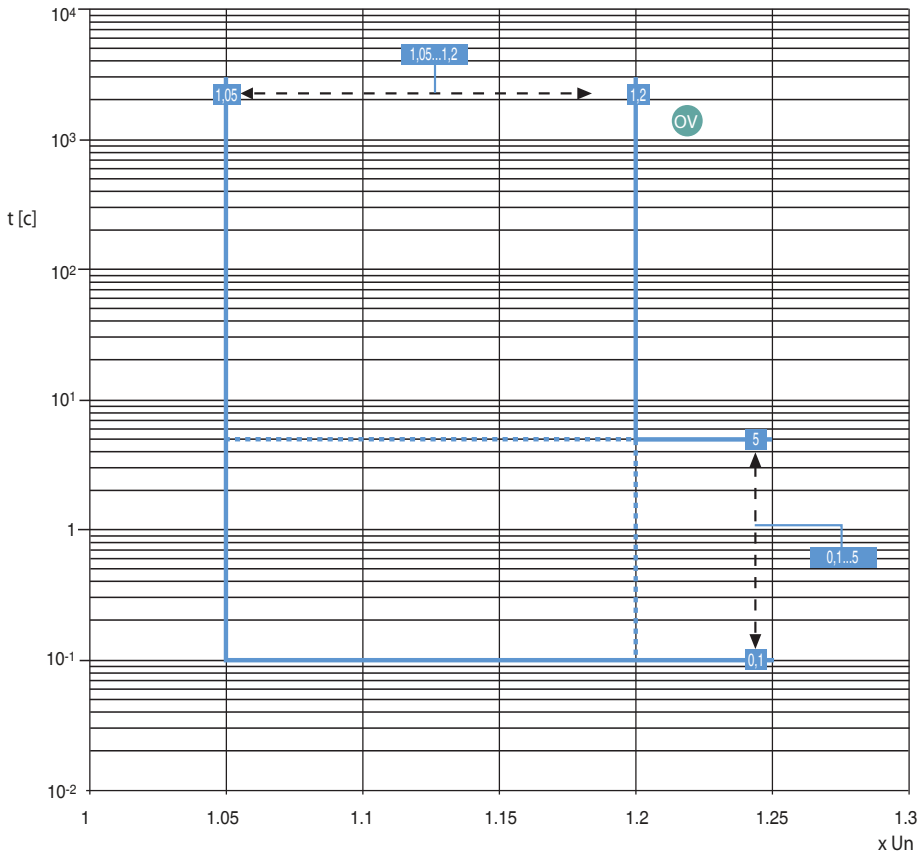


Эта защита срабатывает по истечении регулируемой выдержки повремени (t_8), когда фазное напряжение снижается ниже заданного порога U_8 .

Пороги напряжения устанавливаются в пределах от 0,5 до 0,95 $\times U_n$, а порог времени срабатывания устанавливается в диапазоне от 0,1 до 5 с. Функцию UV можно отключить.

2 Общие характеристики

Защита от повышения напряжения (функция OV)

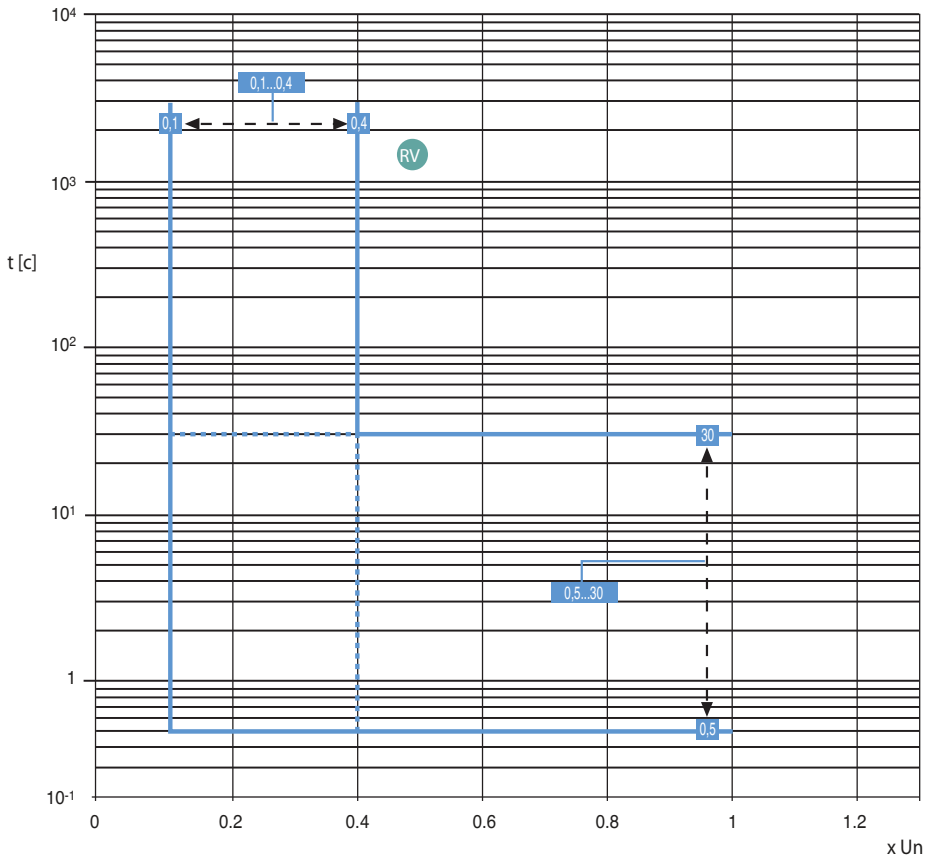


Эта защита срабатывает по истечении регулируемой выдержки по времени (t_9), когда фазное напряжение превышает установленный порог U_9 .

Порог напряжения устанавливается в пределах от 1,05 до 1,2 x U_n , а порог времени срабатывания - в диапазоне от 0,1 до 5 с. Функцию OV можно отключить.

2 Общие характеристики

Защита от остаточного напряжения (функция RV)



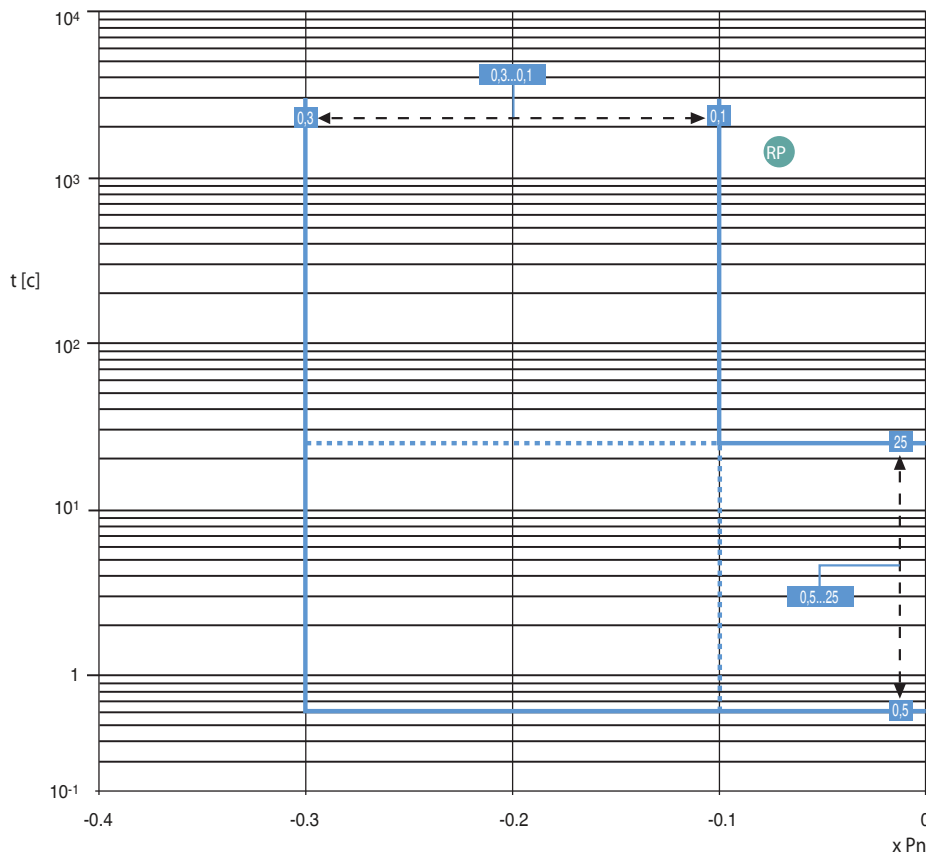
Защита от остаточного напряжения позволяет обнаружить неисправности, которые вызывают смещение нейтрали в системе с изолированной нейтралью.

Эта защита срабатывает по истечении регулируемой выдержки времени, если остаточное напряжение превысит установленный порог U_{10} .

Этот порог может быть установлен в пределах от 0 до $0,4 \times U_n$, а порог времени срабатывания - в диапазоне от 0,5 до 30 с. Функцию RV можно отключить.

2 Общие характеристики

Защита от изменения направления мощности (функция RP)



Защита от реверсирования мощности особенно подходит для защиты мощных электродвигателей и электрогенераторов.

При определенных условиях двигатель может переходить в режим генератора. Когда полная активная мощность в обратном направлении (сумма мощности трех фаз) превышает установленный порог мощности P_{11} , функция защиты срабатывает по истечении регулируемой выдержки по времени t_{11} , приводя к отключению автоматического выключателя.

2 Общие характеристики

Защита от снижения частоты (функция UF)

Эта защита срабатывает, подавая аварийный сигнал или отключая автоматический выключатель по истечении регулируемой выдержки по времени (t_{f9}), когда частота снижается ниже заданного порога f_{12} .

Прежде всего, она используется для оборудования, питаемого от автономных генераторов или установок с комбинированным циклом.

Защита от превышения частоты (функция OF)

Эта защита срабатывает, подавая аварийный сигнал или отключая автоматический выключатель по истечении регулируемой выдержки по времени (t_{f10}), когда частота превышает заданный порог f_{13} .

Прежде всего, она используется для оборудования, питаемого от автономных генераторов или установок с комбинированным циклом.

Защита от перегрева (функция OT)

Данная защита позволяет сигнализировать о присутствии аномальных температур, которые могут привести к сбоям в работе электронных компонентов расцепителя. Если температура достигает первого порога (70 °C), отключающее устройство должно сообщить об этом оператору посредством включения «предупредительного» светодиода. Если температура достигает второго порога (85 °C), помимо включения «предупредительного» и «аварийного» светодиодов, отключается автоматический выключатель.

Защита от перегрузки с характеристическими кривыми в соответствии с МЭК 60255-3

Данная функция защиты от перегрузки находит свое применение при координации с расцепителями. Можно добиться координации характеристик срабатывания автоматических выключателей, приближаясь к наклонным участкам характеристик расцепителей и предохранителей среднего напряжения, чтобы достичь времятоковой селективности между низким и средним напряжением. Кроме определения порогом тока I_1 и временем срабатывания t_1 , характеристики в соответствии со Стандартом МЭК 60255 задаются параметрами «K» и «a», определяющими их наклон. Это следующие параметры:

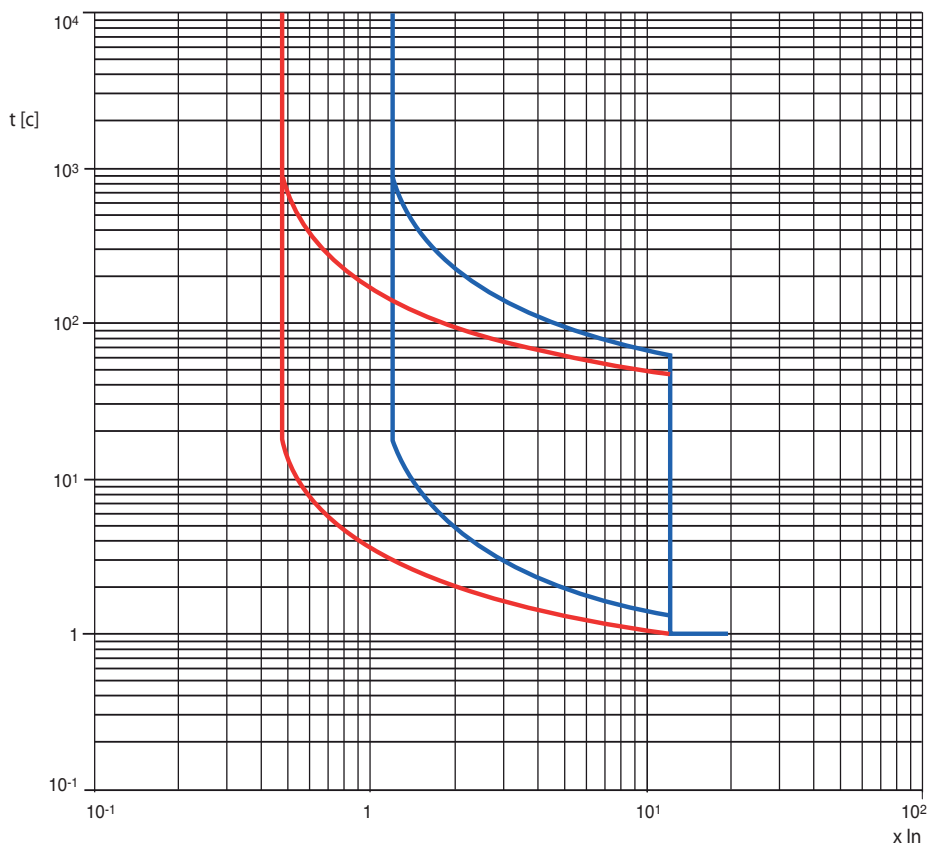
Тип характеристики			
Параметры	A	B	C
K	0,14	13,5	80,0
a	0,02	1,0	2,0

Характеристика L в соответствии со Стандартом МЭК 60255-3 применима к электронным расцепителям типа PR332-PR333 для автоматических выключателей серии T7 и к электронным расцепителям типа Ekip Touch - Ekip Hi-Touch для автоматических выключателей серии Emax 2.

2 Общие характеристики

Кривая А

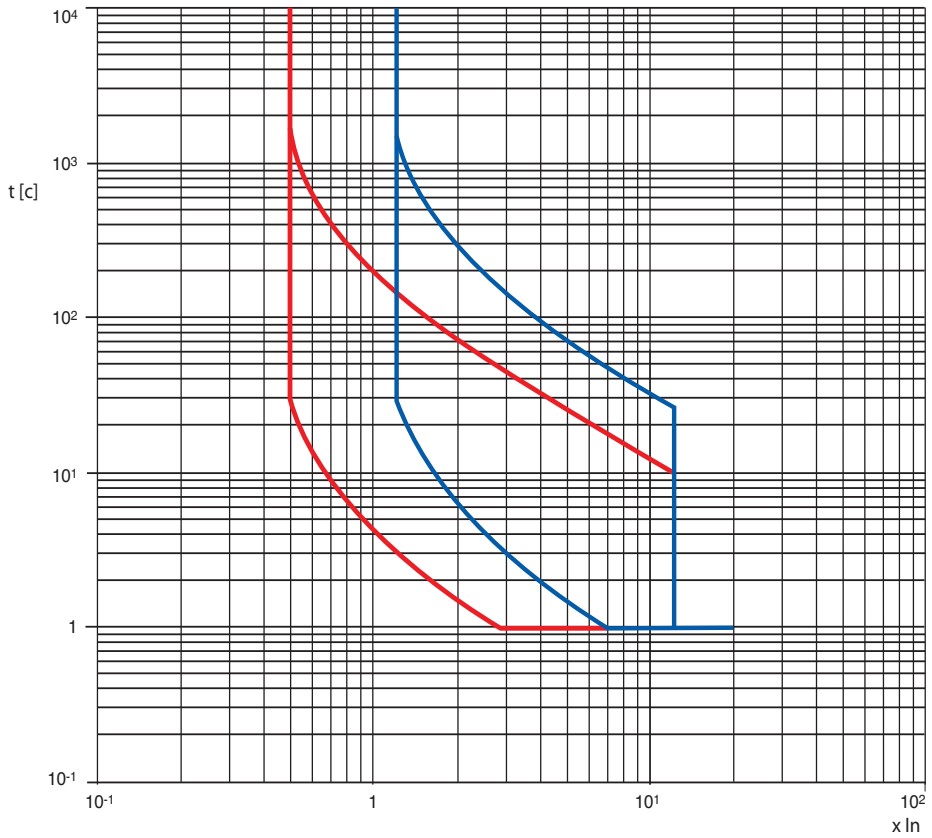
$k=0,14$ $\alpha=0,02$



2 Общие характеристики

Кривая В

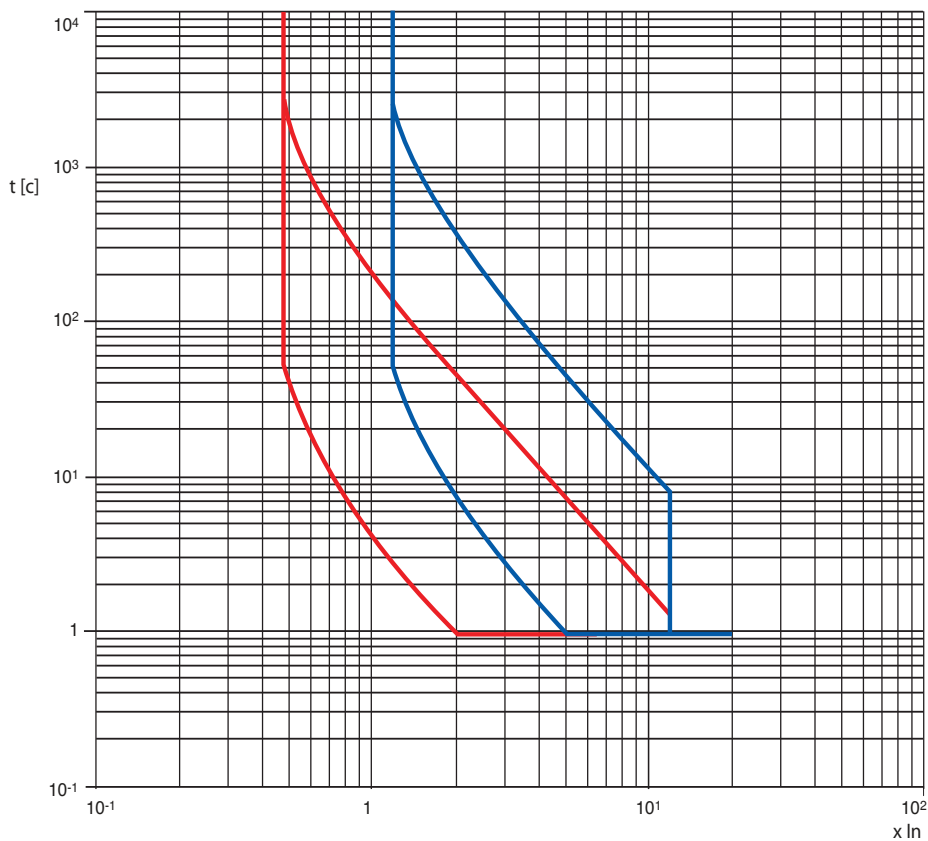
$k=13,5$ $\alpha=1$



2 Общие характеристики

Кривая С

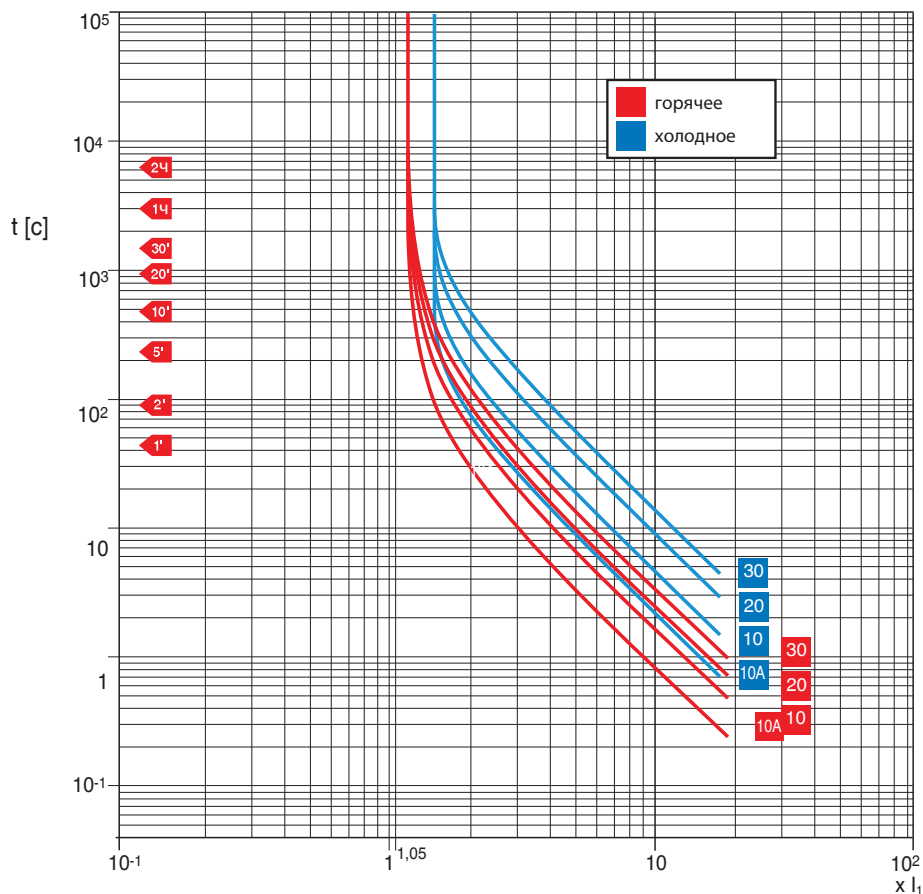
$k=80$ $\alpha=2$



2 Общие характеристики

Защита электродвигателя

L: функция защиты электродвигателя от перегрузки согласно характеристикам и классу защиты МЭК 60947-4-1 (ГОСТ Р 50030.4.1)



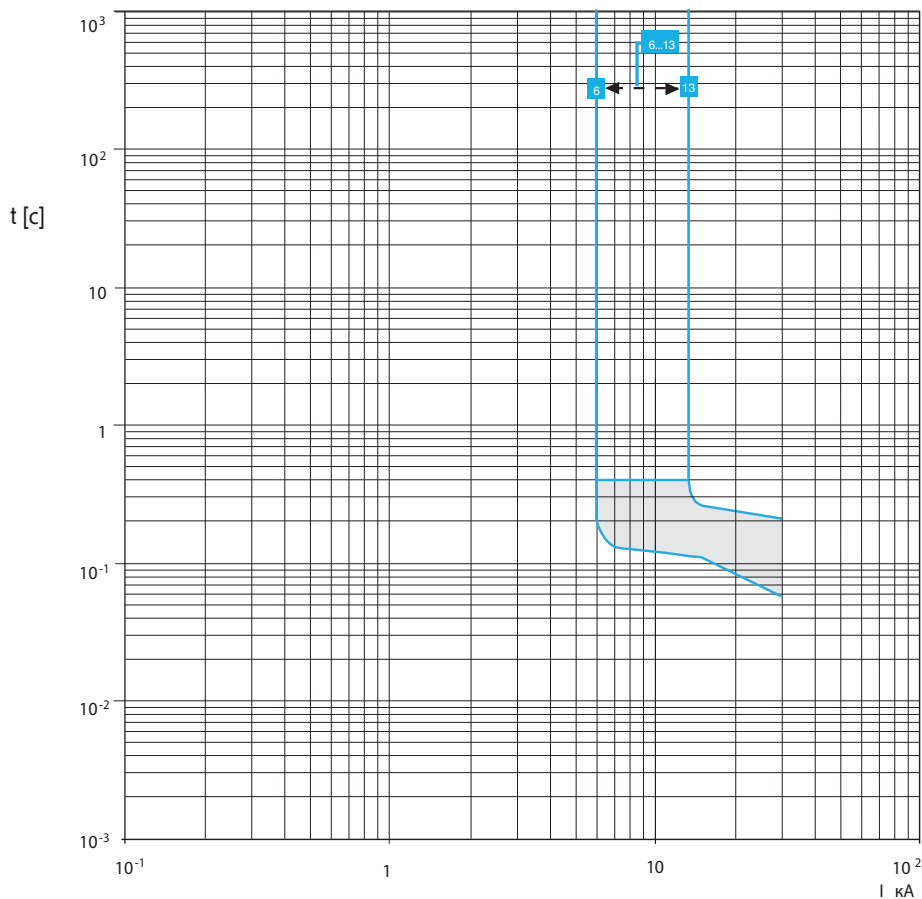
Функция *L*, реализуемая на расцепителях Екiр M-LIU и Екiр M-LRIU для защиты двигателя, защищает от перегрузок в соответствии с характеристиками и классом расцепления, определенным МЭК60947-4-1 (ГОСТ Р 50030.4.1). Эта защита основана на предварительно заданной тепловой модели, которая, имитируя перегрев медных и стальных элементов внутри двигателя, позволяет надежно защитить сам двигатель. Выдержка времени срабатывания определяется выбором класса расцепления, приведенного в вышеуказанном стандарте.

Эта функция с автоматической термокомпенсацией реагирует также на обрыв фазы. Функция *L*, которую нельзя отключить, может устанавливаться вручную, минимум от 0,4 максимум до $1 \times I_n$. Также необходимо выбрать схему пуска электродвигателя, определяющую время срабатывания с током, равным $7,2 \times I_e$ в соответствии с рекомендациями пункта 4.7.3 Стандарта МЭК 60947-4-1 (ГОСТ Р 50030.4.1). Подробности смотрите в главе 2.3 Части 2.

2 Общие характеристики

Защита электродвигателя

I: защита от короткого замыкания с мгновенным срабатыванием

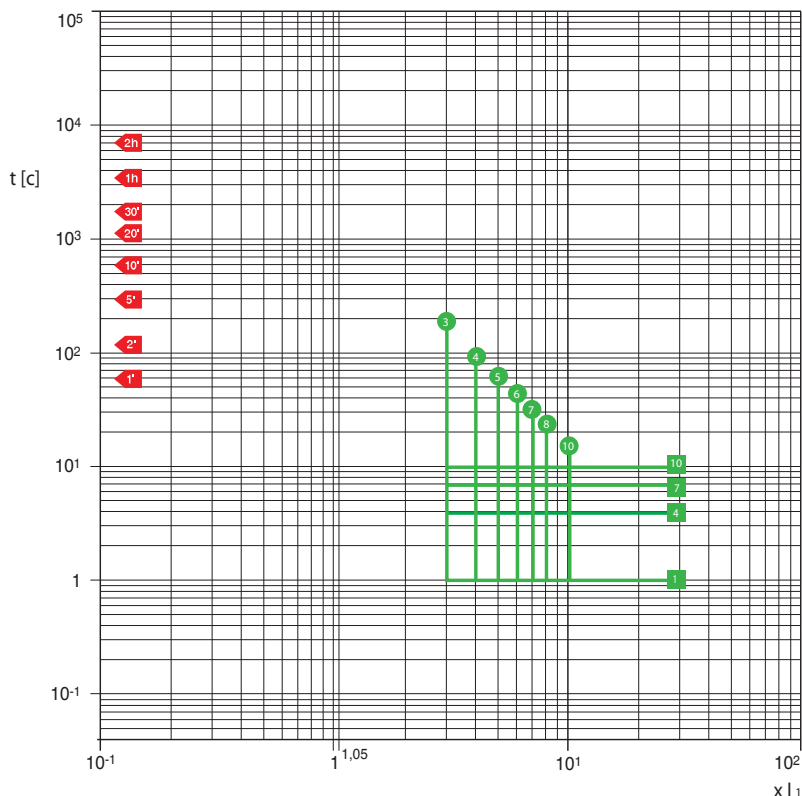


Эта защитная функция срабатывает при коротком замыкании между фазами. Для мгновенного отключения автоматического выключателя достаточно превысить установленный порог хотя бы для одной фазы. Ток срабатывания может задаваться до $13 \times I_n$.

2 Общие характеристики

Защита электродвигателя

R: защита от заклинивания ротора



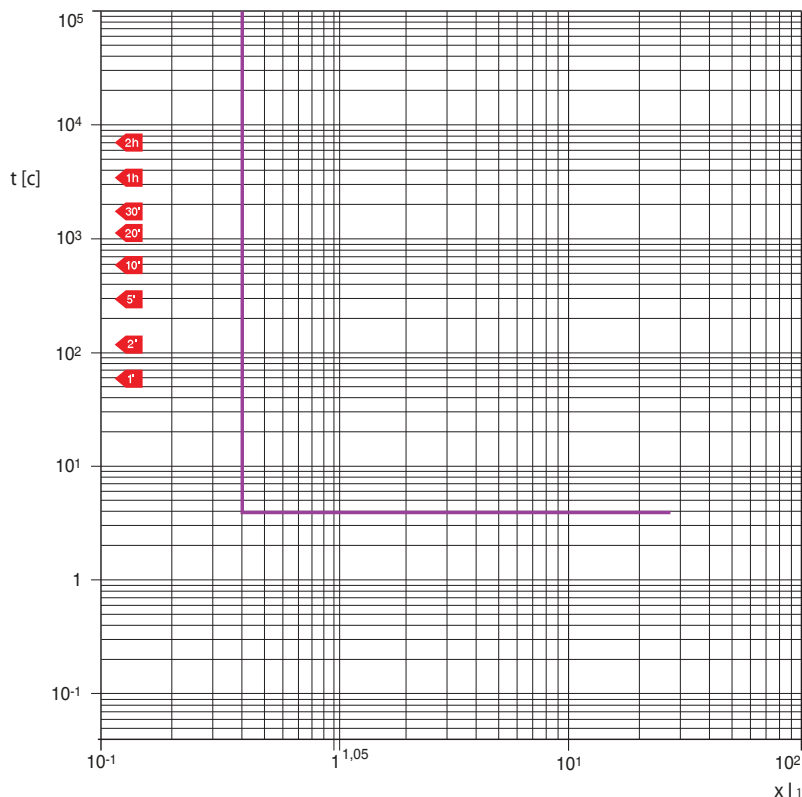
Функция R защищает электродвигатель от возможного заклинивания ротора во время работы. Она имеет два различных режима в зависимости от того, произошло ли заклинивание при пуске электродвигателя или после его выхода на нормальный режим.

В первом случае, защита R связана с защитой L для выбора времени срабатывания: если заклинивание происходит во время пуска, то срабатывание защиты R задерживается на время, установленное в соответствии с классом расцепления. Как только проходит это время, активируется защита R, вызывая срабатывание по истечении регулируемой выдержки по времени t_5 . Во втором случае, защита R уже активирована, поэтому время срабатывания защиты будет равно заданному значению t_5 . Защита R срабатывает, даже когда ток, по крайней мере, одной из фаз превышает установленный порог и остается на этом уровне в течение установленного времени t_5 .

2 Общие характеристики

Защита электродвигателя

U: Защита от перекоса фаз

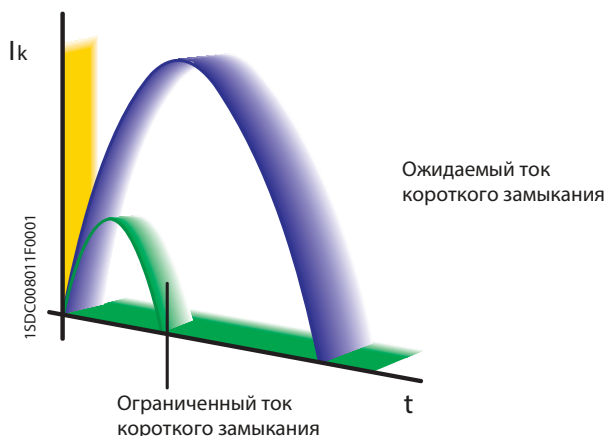


Функция U используется в тех случаях, когда требуется очень точно контролировать обрыв/перекос фаз. Срабатывание происходит только тогда, когда среднеквадратичное значение тока одной или двух фаз падает ниже уровня, равного 0,4 от значения тока I_1 , установленного для защиты L, и остается на таком уровне более 4 секунд. Эту защиту можно отключить.

2 Общие характеристики

2.3 Кривые токоограничения

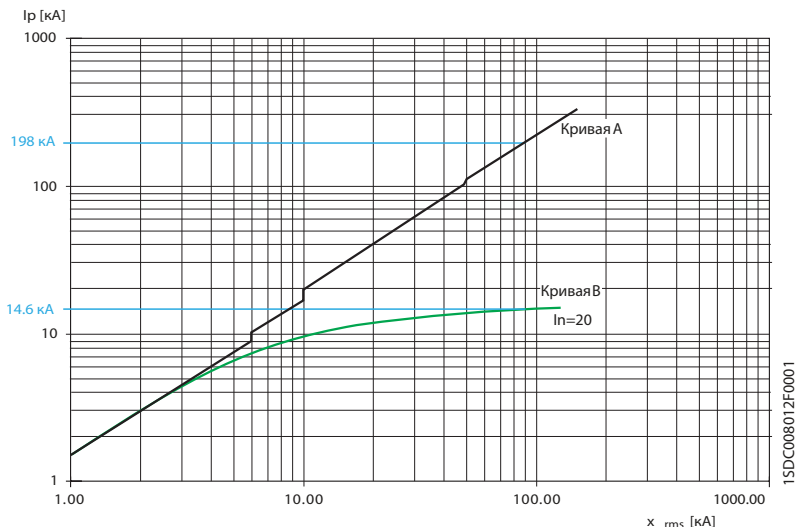
Если автоматический выключатель производит размыкание контактов после прохождения пикового значения тока КЗ или прерывание тока происходит при прохождении его через ноль, то электроустановка подвергается высоким тепловым и электродинамическим нагрузкам. Для снижения этих стрессов разработаны токоограничивающие автоматические выключатели (см. главу 1.2 «Основные определения»), которые способны инициировать операцию размыкания контактов до того, как ток КЗ достиг своего первого пикового значения, и быстро гасить дугу между контактами. На рисунке ниже показана форма волны ожидаемого тока КЗ и ограниченного тока КЗ.



На приведенном ниже графике изображены кривые токоограничения для автоматических выключателей Tmax XT2L160, $I_n = 160$ А. По оси X показаны действующие значения симметричного расчетного тока КЗ, а по оси Y показаны относительные пиковые значения. Эффект ограничения тока можно оценить путем сравнения (при одинаковых значениях симметричного тока аварии) соответствующего пикового значения расчётного ожидаемого тока КЗ (кривая A) с пиковым значением ограниченного тока КЗ (кривая B).

2 Общие характеристики

Например, автоматический выключатель ХТ2L160 с термомангнитным расцепителем In 20 при напряжении 400 В в случае тока аварии 90 кА ограничивает пиковый ток короткого замыкания до 14,6 кА, что означает значительное снижение по сравнению с пиковым значением (198 кА) при отсутствии ограничения.



Учитывая, что электродинамические и возникающие в результате механические нагрузки связаны с квадратами пиковых значений тока, применение токоограничивающих выключателей позволяет добиться уменьшения типоразмеров аппаратов защиты электроустановки. Также ограничение тока может использоваться для обеспечения резервной защиты между двумя последовательно установленными автоматическими выключателями.

2 Общие характеристики

Дополнительно к конструктивным преимуществам токоограничивающие автоматические выключатели позволяют для случаев, детально описанных в МЭК 61439-1 (ГОСТ Р 51321.1), избежать проведения испытаний на стойкость к короткому замыканию распределительных щитов. В пункте 8.2.3.1 Стандарта «Цепи НКУ, освобождаемые от проведения испытаний на стойкость к короткому замыканию» говорится, что:

«Проверка на стойкость к короткому замыканию не требуется в следующих случаях...

Для НКУ, защищенных токоограничивающими устройствами с током отсечки не более 17 кА (15 кА по ГОСТ Р 51321.1) при максимально допустимом ожидаемом токе КЗ на выводах входной цепи НКУ...»

Пример на предыдущей странице входит в число других, подпадающих под действие Стандарта: если автоматический выключатель использовался в качестве вводного выключателя в распределительном щите, устанавливаемом в какой-либо точке, где ожидаемый ток КЗ составляет 90 кА, нет необходимости в проведении испытаний на стойкость к короткому замыканию.

2 Общие характеристики

2.4 Характеристические кривые удельной сквозной энергии

В случае короткого замыкания, части установки, подвергшиеся его воздействию, испытывают тепловые нагрузки, пропорциональные квадрату действующего тока КЗ, а также времени, требуемому защитному устройству для отключения этого тока. Энергия, пропускаемая защитным устройством во время отключения, называется «удельной сквозной энергией» (I^2t), измеряется в A^2c . Знать величину удельной сквозной энергии при различных условиях аварии крайне важно для выбора устройств защиты и управления для различных частей электроустановки. Воздействие ограничения тока и сокращенное время срабатывания влияют на значение удельной сквозной энергии. Для тех значений тока, для которых срабатывание автоматического выключателя регулируется настройкой выдержки по времени срабатывания расцепителя, величина удельной сквозной энергии получается умножением квадрата действующего значения тока КЗ на время, требуемое для срабатывания защитного устройства; в других случаях величину удельной сквозной энергии можно получить по приведенным ниже графикам.

Ниже следует пример графика удельной сквозной энергии для выключателя XT2L 160 In 20 при напряжении 400 В. По оси X показаны значения расчетного тока КЗ, а по оси Y показаны величины удельной сквозной энергии, выраженные в MA^2c . При токе короткого замыкания, равном 90 кА, автоматический выключатель пропускает энергию I^2t , равную 0,218 MA^2c .

2 Общие характеристики

2.5 Изменение номинальных характеристик в зависимости от температуры

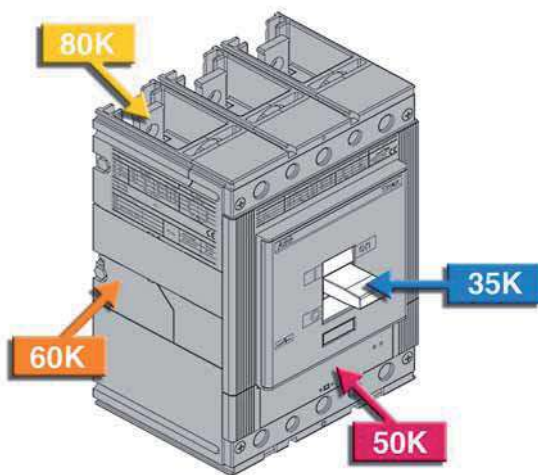
В МЭК 60947-2 (ГОСТ Р 50030.2) указано, что пределы повышения температуры для выключателей, работающих при номинальном токе, должны соответствовать пределам, указанным в таблице ниже.

Таблица 1 - Пределы повышения температуры относительно температуры окружающей среды выводов и открытых частей

Описание части*		Пределы повышения температуры, К
- Вывод для внешних подключений		80
- Ручные устройства управления:	металлические	25
	неметаллические	35
- Части, доступные для прикосновения:	металлические	40
	неметаллические	50
- Части, которых не требуется касаться при нормальной работе:	металлические	50
	неметаллические	60

* Для частей, не указанных в списке, значения не определены, но смежным частям из изоляционных материалов не должно быть нанесено повреждений.

Эти значения действительны для максимальной номинальной температуры окружающего воздуха 40°C, как указано в МЭК 60947-2 (ГОСТ Р 50030.2) пункт 6.1.1.



2 Общие характеристики

В следующей таблице приведены значения тока для температуры окружающего воздуха, отличной от 40 °C, которые автоматический выключатель может проводить непрерывно.

Автоматические выключатели Tmax XT с термомангнитными расцепителями

		30 °C		40 °C		50 °C		60 °C		70 °C	
	In [A]	МИН	МАКС	МИН	МАКС	МИН	МАКС	МИН	МАКС	МИН	МАКС
XT1	16	12	17	11,2	16	11	15	10	14	9	13
	20	15	21	14	20	13	19	12	18	11	16
	25	18	26	17,5	25	16	23	15	22	14	20
	32	24	34	22,4	32	21	30	20	28	18	26
	40	29	42	28	40	27	38	25	35	23	33
	50	37	53	35	50	33	47	31	44	28	41
	63	46	66	44,1	63	41	59	39	55	36	51
	80	59	84	56	80	53	75	49	70	46	65
	100	74	105	70	100	66	94	61	88	57	81
	125	92	131	87,5	125	82	117	77	109	71	102
	160	118	168	112	160	105	150	98	140	91	130
XT2	1,6	1,2	1,7	1,1	1,6	1,1	1,5	1	1,4	0,9	1,3
	2	1,5	2,2	1,4	2	1,3	1,9	1,2	1,7	1,1	1,6
	2,5	1,8	2,6	1,8	2,5	1,6	2,3	1,5	2,2	1,4	2
	3	2,5	3,5	2,1	3	2	2,8	1,8	2,6	1,6	2,3
	4	2,9	4,2	2,8	4	2,6	3,7	2,5	3,5	2,2	3,2
	6,3	4,6	6,6	4,4	6,3	4,1	5,9	3,9	5,5	3,6	5,1
	8	5,9	8,4	5,6	8	5,3	7,5	4,9	7	4,6	6,5
	10	7,4	10,5	7	10	6,5	9,3	6,1	8,7	5,7	8,1
	12,5	9,2	13,2	8,8	12,5	8,2	11,7	7,6	10,9	7,1	10,1
	16	11,9	17	11,2	16	10,5	15	9,8	14	9,1	13
	20	14,7	21	14	20	13,3	19	11,9	17	11,2	16
	32	23,8	34	22,4	32	21	30	19,6	28	18,2	26
	40	29,4	42	28	40	25,9	37	24,5	35	22,4	32
	50	37,1	53	35	50	32,9	47	30,1	43	28	40
	63	46,2	66	44,1	63	41,3	59	38,5	55	35,7	51
	80	58,8	84	56	80	52,5	75	49	70	45,5	65
	100	73,5	105	70	100	65,1	93	60,9	87	56,7	81
125	92,4	132	87,5	125	81,9	117	76,3	109	70,7	101	
	160	117,6	168	112	160	105	150	97,3	139	90,3	129

2 Общие характеристики

		30 °C		40 °C		50 °C		60 °C		70 °C	
	In [A]	МИН	МАКС	МИН	МАКС	МИН	МАКС	МИН	МАКС	МИН	МАКС
XT3	63	46	66	44	63	41	59	39	55	36	51
	80	59	84	56	80	53	75	48	69	45	64
	100	74	105	70	100	65	93	61	87	56	80
	125	92	132	88	125	81	116	76	108	70	100
	160	118	168	112	160	104	149	97	139	90	129
	200	148	211	140	200	130	186	121	173	113	161
	250	184	263	175	250	163	233	151	216	141	201
XT4	16	12	17	11	16	10	14	9	13	8	12
	20	16	23	14	20	12	17	11	15	9	13
	25	19	27	18	25	16	23	15	21	13	19
	32	25	36	22	32	19	27	17	24	15	21
	40	30	43	28	40	26	37	24	34	21	30
	50	38	54	35	50	32	46	29	42	27	39
	63	47	67	44	63	41	58	37	53	33	48
	80	60	86	56	80	52	74	46	66	41	58
	100	74	106	70	100	67	95	60	85	53	75
	125	94	134	88	125	81	115	74	105	67	95
	160	118	168	112	160	105	150	96	137	91	130
	200	147	210	140	200	133	190	123	175	112	160
	225	168	241	158	225	146	208	133	190	119	170
	250	183	262	175	250	168	240	161	230	154	220

2 Общие характеристики

Автоматические выключатели с электронными расцепителями

			до 40°C		50°C		60°C		70°C	
			I _{макс} (A)	I _I	I _{макс} (A)	I _I	I _{макс} (A)	I _I	I _{макс} (A)	I _I
ХТ4	стандартное исполнение	F	250	1	250	1	238	0,96	213	0,86
Т4 320	стандартное исполнение	FC	320	1	294	0,92	269	0,84	243	0,76
		F	320	1	294	0,92	269	0,84	243	0,76
		R (HR)	320	1	294	0,92	269	0,84	243	0,76
		R (VR)	320	1	307	0,96	281	0,88	256	0,8
	втычное исполнение	FC	320	1	294	0,92	268	0,84	242	0,76
		F	320	1	294	0,92	268	0,84	242	0,76
		HR	320	1	294	0,92	268	0,84	242	0,76
		VR	320	1	307	0,96	282	0,88	256	0,8
Т5 400	стандартное исполнение	FC	400	1	400	1	400	1	352	0,88
		F	400	1	400	1	400	1	352	0,88
		R (HR)	400	1	400	1	400	1	352	0,88
		R (VR)	400	1	400	1	400	1	368	0,92
	втычное исполнение	FC	400	1	400	1	368	0,92	336	0,84
		F	400	1	400	1	368	0,92	336	0,84
		R (HR)	400	1	400	1	368	0,92	336	0,84
		R (VR)	400	1	400	1	382	0,96	350	0,88
Т5 630	стандартное исполнение	FC	630	1	580	0,92	529	0,84	479	0,76
		F	630	1	580	0,92	529	0,84	479	0,76
		HR	630	1	580	0,92	529	0,84	479	0,76
		VR	630	1	605	0,96	554	0,88	504	0,80
	втычное исполнение	F	567	0,9	502	0,8	458	0,72	409	0,64
		HR	567	0,9	502	0,8	458	0,72	409	0,64
		VR	567	0,9	526	0,82	480	0,76	429	0,68

Обозначения:

F = передние выводы

FC = передние выводы для подключения кабелей

HR = задние горизонтальные выводы

VR = задние вертикальные выводы

R = задние ориентируемые выводы

EF = передние удлиненные выводы

FC Cu = передние выводы для подключения медных кабелей

FC CuAl = передние выводы для подключения медных и алюминиевых кабелей

ES = передние удлиненные расширенные выводы

2 Общие характеристики

			до 40°C		50°C		60°C		70°C	
			I _{max} (A)	I ₁	I _{max} (A)	I ₁	I _{max} (A)	I ₁	I _{max} (A)	I ₁
T6 630	стандартное исполнение	FC	630	1	630	1	598,1	1	567	0,9
		R (VR)	630	1	630	1	630	1	598,5	0,95
		R (HR)	630	1	630	1	567	0,9	504	0,8
	втычное исполнение	F	630	1	598,5	0,95	567	0,9	567	0,9
		VR	630	1	630	1	598,5	0,95	504	0,8
		HR	630	1	598,5	0,95	567	0,9	504	0,8
T6 800	стандартное исполнение	FC	800	1	800	1	760	0,95	720	0,9
		R (VR)	800	1	800	1	800	1	760	0,95
		R (HR)	800	1	800	1	720	0,9	640	0,8
	втычное исполнение	F	800	1	760	0,95	720	0,9	640	0,8
		VR	800	1	800	1	760	0,95	720	0,9
		HR	800	1	760	0,95	720	0,9	640	0,8
T6 1000	стандартное исполнение	FC	1000	1	926	0,93	877	0,88	784	0,78
		R (HR)	1000	1	926	0,93	845	0,85	756	0,76
		R (VR)	1000	1	1000	1	913	0,92	817	0,82
		ES	1000	1	900	0,9	820	0,82	720	0,72
T7 1000 V-исполнение	стандартное исполнение	VR	1000	1	1000	1	1000	1	894	0,89
		EF-HR	1000	1	1000	1	895	0,89	784	0,78
	втычное исполнение	VR	1000	1	1000	1	913	0,91	816	0,82
		EF-HR	1000	1	1000	1	895	0,89	784	0,78
T7 1250 V-исполнение	стандартное исполнение	VR	1250	1	1201	0,96	1096	0,88	981	0,78
		EF-HR	1250	1	1157	0,93	1056	0,85	945	0,76
	втычное исполнение	VR	1250	1	1157	0,93	1056	0,85	945	0,76
		EF-HR	1250	1	1000	0,8	913	0,73	816	0,65
T7 1250 S-H-L исполнение	стандартное исполнение	VR	1250	1	1250	1	1250	1	1118	0,89
		EF-HR	1250	1	1250	1	1118	0,89	980	0,78
	втычное исполнение	VR	1250	1	1250	1	1141	0,91	1021	0,82
		EF-HR	1250	1	1250	1	1118	0,89	980	0,78
T7 1600 S-H-L исполнение	стандартное исполнение	VR	1600	1	1537	0,96	1403	0,88	1255	0,78
		EF-HR	1600	1	1481	0,93	1352	0,85	1209	0,76
	втычное исполнение	VR	1600	1	1481	0,93	1352	0,85	1209	0,76
		EF-HR	1600	1	1280	0,8	1168	0,73	1045	0,65

Обозначения:

F = передние выводы

FC = передние выводы для подключения кабелей

HR = задние горизонтальные выводы

VR = задние вертикальные выводы

R = задние ориентируемые выводы

EF = передние удлиненные выводы

FC Cu = передние выводы для подключения медных кабелей

FC CuAl = передние выводы для подключения медных и алюминиевых кабелей

ES = передние удлиненные расширенные выводы

Пример:

Выбран выключатель в литом корпусе выкатного исполнения с электронным расцепителем с задними плоскими горизонтальными выводами для тока нагрузки 720 А при температуре окружающего воздуха 50°C. Из таблицы для автоматических выключателей T_{max} T6 видно, что лучше всего подходит выключатель T6 800, который можно установить на значение тока от 320 до 760 А.

2 Общие характеристики

Emax E1.2 с задними горизонтальными/вертикальными выводами

Температура [°C]	E1.2 630		E1.2 800		E1.2 1000		E1.2 1250		E1.2 1600	
	%	[A]	%	[A]	%	[A]	%	[A]	%	[A]
10	100	630	100	800	100	1000	100	1250	100	1600
20	100	630	100	800	100	1000	100	1250	100	1600
30	100	630	100	800	100	1000	100	1250	100	1600
40	100	630	100	800	100	1000	100	1250	100	1600
45	100	630	100	800	100	1000	100	1250	100	1600
50	100	630	100	800	100	1000	100	1250	100	1600
55	100	630	100	800	100	1000	100	1250	98	1570
60	100	630	100	800	100	1000	100	1250	95	1520

Emax E2.2

Температура [°C]	E2.2 800		E2.2 1000		E2.2 1250		E2.2 1600		E2.2 2000		E2.2 2500	
	%	[A]	%	[A]	%	[A]	%	[A]	%	[A]	%	[A]
10	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	100	2000	100	2500
20	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	100	2000	100	2500
30	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	100	2000	100	2500
40	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	100	2000	100	2500
45	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	100	2000	100	2500
50	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	100	2000	100	2500
55	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	100	2000	100	2500
60	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	95	1900	98	2450
65	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	91	1820	94	2350
70	100	800	100	1000	100	1250	98	1570	87	1740	90	2250

2 Общие характеристики

Еmax Е4.2

Температура [°C]	Е4.2 800		Е4.2 1000		Е4.2 1250		Е4.2 1600	
	%	[A]	%	[A]	%	[A]	%	[A]
10	100	2000	100	2500	100	3200	100	4000
20	100	2000	100	2500	100	3200	100	4000
30	100	2000	100	2500	100	3200	100	4000
40	100	2000	100	2500	100	3200	100	4000
45	100	2000	100	2500	100	3200	100	4000
50	100	2000	100	2500	97	3100	94	3760
55	100	2000	100	2500	93	2980	90	3600
60	100	2000	100	2500	89	2850	86	3440
65	100	2000	100	2500	86	2750	83	3320
70	100	2000	100	2500	82	2620	80	3200

Еmax Е6.2

Температура [C°]	Е6.2 4000		Е6.2 5000		Е6.2 6300	
	%	[A]	%	[A]	%	[A]
10	100	4000	100	5000	100	6300
20	100	4000	100	5000	100	6300
30	100	4000	100	5000	100	6300
40	100	4000	100	5000	100	6300
45	100	4000	100	5000	100	6300
50	100	4000	100	5000	95	6300
55	100	4000	100	5000	91	5730
60	100	4000	100	5000	87	5480
65	100	4000	98	4900	84	5300
70	100	4000	95	4750	81	5100

2 Общие характеристики

2.6 Изменение номинальных характеристик в зависимости от высоты размещения над уровнем моря

Для установок, размещаемых на высоте свыше 2000 м над уровнем моря, рабочие характеристики автоматических выключателей изменяются.

Обычно наблюдаются два основных явления:

- пониженная плотность воздуха снижает эффективность отвода тепла. Допустимые условия нагрева различных частей автоматического выключателя могут быть выполнены только при уменьшении значения номинального непрерывного тока;
- разреженность воздуха снижает диэлектрическую прочность, поэтому обычные изоляционные расстояния становятся недостаточными. Это приводит к снижению значения максимального номинального напряжения, при котором можно использовать аппарат.

Поправочные коэффициенты для различных типов автоматических выключателей, как в литом корпусе, так и воздушных выключателей, указаны в следующей таблице:

Номинальное рабочее напряжение U_e [В]

Высота над уровнем моря	2000[м]	3000[м]	4000[м]	5000[м]
Tmax XT	690	600	540	470
Tmax T*	690	600	500	440
E max 2	690	607	538	470

Номинальный непрерывный ток I_n [А]

Высота над уровнем моря	2000[м]	3000[м]	4000[м]	5000[м]
Tmax XT	100%	98%	93%	90%
Tmax T	100%	98%	93%	90%
E max 2	100%	98%	93%	90%

*Кроме Tmax T1P

2 Общие характеристики

2.7 Электрические характеристики выключателей-разъединителей

По определению ГОСТ Р 50030.3 выключатель-разъединитель - это механический коммутационный аппарат, который в разомкнутом состоянии выполняет функцию разъединения, создавая изоляционное расстояние (расстояние между контактами), достаточное для обеспечения безопасности. Безопасность разъединения должна гарантироваться и проверяться посредством положения органа управления, т.е. рычаг управления должен всегда показывать реальное положение подвижных контактов аппарата.

Механический коммутационный аппарат должен быть способным включать, проводить и отключать токи при нормальных условиях работы цепи, а так же проводить в течение установленного времени токи в аномальных условиях цепи, таких как, например, условия короткого замыкания.

Выключатели-разъединители часто используются как:

- основные вводные устройства распределительного щита;
- коммутационные и разъединяющие устройства для электрических линий, шин и элементов нагрузки;
- секционные выключатели.

Выключатели-разъединители должны гарантировать, что вся электроустановка или ее часть не находятся под напряжением, а безопасно отключены от источника электропитания. При использовании выключателя-разъединителя персонал может проводить работы на установке без риска поражения электрическим током.

Даже если не запрещено использовать однополюсные устройства рядом друг с другом, стандарты рекомендуют воспользоваться многополюсными устройствами, чтобы обеспечить одновременную изоляцию всех полюсов цепи.

Номинальные характеристики выключателей-разъединителей определяются ГОСТ Р 50030.3, как подробно указано ниже:

- **I_{cw} [kA]:** номинальный кратковременно выдерживаемый ток:

Ток, который выключатель способен проводить без повреждений в замкнутом положении в течение установленного времени.

- **I_{cm} [kA]:** номинальная наибольшая включающая способность:

Максимальное пиковое значение тока КЗ, который выключатель-разъединитель может включить без повреждения. Когда изготовитель не указывает это значение, его следует принимать равным, по крайней мере, значению пикового тока, соответствующего току I_{cw}. Нельзя дать определение отключающей способности I_{cu} [kA], потому что от выключателей-разъединителей не требуется прерывать токи КЗ.

- **категории применения при переменном и постоянном токе:**

Определяют вид условий применения, обозначаемых двумя буквами для указания типа цепи, в которой может устанавливаться устройство («АС» для переменного тока и «DC» для постоянного тока); двумя цифрами для типа рабочей нагрузки, для которой предназначен, и двумя дополнительными буквами (А или В), указывающими интенсивность эксплуатации.

Относительно категорий применения, стандарт на изделие определяет значения тока, который выключатель-разъединитель должен быть способен прерывать и включать в аварийных режимах.

2 Общие характеристики

Характеристики категорий применения приведены ниже в Таблице 1.

Самая требовательная категория для переменного тока - это категория AC23A, в которой устройство должно быть способным включать цепь на ток, в 10 раз превышающий номинальный ток аппарата, и отключать ток, в 8 раз превышающий номинальный ток аппарата.

По конструкции выключатели-разъединители очень простые аппараты. В состав выключателя-разъединителя не входят устройства для обнаружения сверхтока с последующим автоматическим прерыванием этого тока. Поэтому его нельзя использовать для автоматической защиты от сверхтока, который может возникнуть в случае аварии; такую защиту должен обеспечивать скоординированный автоматический выключатель. Комбинация двух устройств позволяет использовать выключатели-разъединители в системах, в которых значение тока КЗ выше электрических параметров, определяющих рабочие характеристики разъединителя (резервная защита, см. главу 3.4). Это правомерно только для выключателей-разъединителей серии Tmax и Tmax XT. Для воздушных разъединителей Emax 2/MS необходимо удостовериться, что значения параметров I_{cw} и I_{cm} выше значений тока КЗ в установке и соответствующего пикового значения.

Тип тока	Категории применения		
	Категория применения		Типовые области применения
	Часто используется	Не часто используется	
Переменный ток	AC-20A	AC-20B	Включение и отключение в условиях без нагрузки
	AC-21A	AC-21B	Коммутация активных нагрузок, включая умеренные перегрузки
	AC-22A	AC-22B	Коммутация смешанных активных и индуктивных нагрузок, включая умеренные нагрузки
	AC-23A	AC-23B	Коммутация нагрузок в виде электродвигателя или других высокоиндуктивных нагрузок
Постоянный ток	DC-20A	DC-20B	Включение и отключение в условиях без нагрузки
	DC-21A	DC-21B	Коммутация активных нагрузок, включая умеренные перегрузки
	DC-22A	DC-22B	Коммутация смешанных активных и индуктивных нагрузок, включая умеренные перегрузки (например, электродвигатели параллельного возбуждения)
	DC-23A	DC-23B	Коммутация высокоиндуктивных нагрузок

2 Общие характеристики

В Таблицах 2, 3 и 4 приводятся основные характеристики разъединителей.

Таблица 2: Выключатели-разъединители Tmax XT

Типоразмер		[A]
Номинальный рабочий ток для категории AC21, Ie		[A]
Номинальный рабочий ток для категории AC22, Ie		[A]
Номинальный рабочий ток для категории AC23, Ie		[A]
Число полюсов		[Кол-во]
Номинальное рабочее напряжение, Ue (AC)	50-60Гц	[В]
	(DC)	[В]
Номинальное напряжение изоляции, Ui		[В]
Номинальное импульсное выдерживаемое напряжение, Uimp		[кВ]
Испытательное напряжение при токе промышленной частоты в течение 1 мин.		[В]
Номинальная наибольшая включающая способность, Icm	(мин.) только выключатель-разъединитель	[кА]
	(макс.) с выключателем со стороны питания	[кА]
Номинальный кратковременный выдерживаемый ток в течение 1 с., Icw		[кА]
Исполнения		

Таблица 3: Выключатели-разъединители Tmax T

				Tmax T4D
Условный тепловой ток, Ith			[A]	320
Номинальный рабочий ток для категории AC22, Ie			[A]	320
Номинальный рабочий ток для категории AC23, Ie			[A]	250
Число полюсов			[Кол-во]	3/4
Номинальное рабочее напряжение, Ue	(AC) 50-60 Гц		[В]	690
		(DC)	[В]	750
Номинальное импульсное выдерживаемое напряжение, Uimp			[кВ]	8
Номинальное напряжение изоляции, Ui			[В]	800
Испытательное напряжение при токе промышленной частоты в течение 1 мин.			[В]	3000
Номинальная наибольшая включающая способность, Icm	(мин.) только выключатель-разъединитель		[кА]	5,3
		(макс.) с выключателем со стороны питания	[кА]	440
Номинальный кратковременный выдерживаемый ток в течение 1 с., Icw			[кА]	3,6
Стандарт				МЭК 60947-3
Исполнения				F - P - W
Выводы				F-FC CuAl-FC Cu-EF-ES-R-MC-HR-VR
Механический срок службы	[Число циклов срабатывания]			20000
	[Число циклов срабатывания в час]			120
Масса	стационарное исполнение	3/4полюса	[кг]	2,35/3,05
	втычное исполнение	3/4полюса	[кг]	3,6/4,65
	выкатное исполнение	3/4полюса	[кг]	3,85/4,9

ОБОЗНАЧЕНИЕ ИСПОЛНЕНИЙ
F = стационарный выключатель
P = втычный выключатель
W= выкатной выключатель

2 Общие характеристики

Tmax XT1D	Tmax XT3D	Tmax XT4D
160	250	250
160	250	250
160	250	250
125	200	200
3,4	3,4	3,4
690	690	690
500	500	500
800	800	800
8	8	8
3000	3000	3000
2,8	5,3	5,3
187	105	105
2	3,6	3,6
стационарное/втычное	стационарное/втычное	стационарное/выкатное/втычное

Tmax T5D	Tmax T6D	Tmax T7D
400/630	630/800/1000	1000/1250/1600
400/630	630/800/1000	1000/1250/1600
400	630/800/1000	1000/1250/1250
3/4	3/4	3/4
690	690	690
750	750	750
8	8	8
800	1000	1000
3000	3500	3000
11	30	52,5
440	440	440
6	15	20
МЭК 60947-3	МЭК 60947-3	МЭК 60947-3
F - P - W	F-W	F-W
F-FC CuAl-FC Cu-EF- ES-R-HR-VR	F-FC CuAl-EF- ES-R-RC	F-EF-ES-FC CuAl HR/VR
20000	20000	10000
120	120	60
3,25/4,15	9,5/12	9,7/12,5(ручн.)/11/14(мотор.)
5,15/6,65	-	
5,4/6,9	12,1/15,1	29,7/39,6(ручн.)/32/42,6(мотор.)

ОБОЗНАЧЕНИЕ ВЫВОДОВ
F = передние
EF = расширенные передние
ES = передние удлиненные расширенные выводы
FC CuAl = передние выводы для медных или алюминиевых кабелей
R = задние выводы с резьбой

RC = задние выводы для подключения медных или алюми-
ниевых кабелей
HR = задние плоские горизонтальные выводы под шину
VR = задние плоские вертикальные выводы под шину

2 Общие характеристики

Таблица 4: Выключатели-разъединители Emax

		E1.2B/MS	E1.2N/MS	E2.2B/MS	E2.2N/MS
Номинальный непрерывный ток (при 40 °C) I_n	[A]	630	250	1600	800
	[A]	800	630	2000	1000
	[A]	1000	800		1250
	[A]	1250	1000		1600
	[A]	1600	1250		2000
	[A]		1600		2500
Номинальное рабочее напряжение U_e	[B ~]	690	690	690	690
	[B -]	250	250	250	250
Номинальное напряжение изоляции U_i	[B ~]	1000	1000	1000	1000
Номинальное импульсное выдерживаемое напряжение U_{imp}	[кВ]	12	12	12	12
Номинальный кратковременный выдерживаемый ток I_{cw}	(1с) [кА]	42	50	42	66
	(3с) [кА]	24	36	42	50
Номинальная наибольшая включающая способность (пиковое значение) I_{cm}					
220/230/380/400/415/440 В ~	[кА]	88	105	88	145
500/660/690 В ~	[кА]	88	105	88	105

Примечание: отключающая способность I_{cu} при максимальном номинальном напряжении с внешним устройством защиты с максимальной выдержкой по времени 500 мс равна значению I_{cw} (1с.).

2 Общие характеристики

E2.2H/MS	E4.2N/MS	E4.2H/fMS	E4.2V/MS	E6.2H/MS	E6.2X MS
800	3200	3200	2000	4000	4000
1000	4000	4000	2500	5000	5000
1250			3200	6300	6300
1600			4000		
2000					
2500					
690	690	690	690	690	690
250	250	250	250	250	250
1000	1000	1000	1000	1000	1000
12	12	12	12	12	12
85	66	85	100	100	120
66	36	66	75	100	100
187	145	187	220	220	240
145	165	145	220	220	220

3 Координация устройств защиты

3.1 Координация устройств защиты

Проектирование системы защиты электросети является крайне важным, как в целях обеспечения правильной эксплуатации всей установки с экономической и функциональной точек зрения, так и для сведения к минимуму проблем, вызываемых работой установки в аварийных режимах и(или) ее отказами.

В данном разделе рассматривается координация между различными аппаратами, предназначенными для защиты зон и определенных устройств с целью:

- обеспечения безопасности людей и установки в любой момент времени;
- определения и быстрого исключения только той зоны, в которой возникла аварийная ситуация, вместо того, чтобы совершать беспорядочные отключения, снижая таким образом поступление энергии в остальную часть электросети;
- исключения воздействия аварии на другие неповрежденные части электрической сети (протекание напряжения, нестабильность работы электрических машин);
- снижения нагрузки на компоненты и предупреждение повреждений электроустройств в зоне аварии;
- обеспечения непрерывности эксплуатации с подачей напряжения питания надлежащего качества;
- осуществления соответствующего резервирования в случае какой-либо неисправности защитного устройства, отвечающего за отключение цепи;
- предоставления персоналу и системам управления необходимой информации для восстановления нормальной эксплуатации в максимально короткие сроки с минимальным вмешательством в остальную часть электросети;
- достижения оптимального компромисса между надежностью, простотой и экономической эффективностью.

Таким образом, правильно спроектированная система защиты должна:

- распознавать, какое и где случилось событие, проводя различие между критичными и некритичными авариями, избегая неоправданных срабатываний и последствий неоправданных отключений исправной части системы;
- максимально быстро срабатывать для локализации повреждения (исключения разрушения, ускоренного изнашивания и т.д.), поддерживая непрерывность и стабильность подачи электропитания.

Наиболее качественное решение основано на компромиссе между двумя противоположными потребностями - точное выявление повреждения и быстрое вмешательство, и предпочтение отдается одному из требований в зависимости от его приоритета.

Координация сверхтоков

Влияние электрических параметров сети (номинальный ток и ток короткого замыкания)

Стратегия, используемая для координации защитных устройств, главным образом, зависит от значений номинального тока (I_n) и тока короткого замыкания (I_k) в рассматриваемой точке сети. В целом, можно выделить следующие типы координации:

- временная селективность (или время-токовая);
- зонная (или логическая) селективность;
- энергетическая селективность;
- резервирование.

3 Координация устройств защиты

Определение селективности

Селективность по сверхтоку определяется как «координация рабочих характеристик двух или нескольких устройств для защиты от сверхтоков с таким расчетом, чтобы в случае возникновения сверхтоков в пределах указанного диапазона срабатывало только устройство, предназначенное для оперирования в данном диапазоне, а прочие не срабатывали» (ГОСТ Р 50030.1, п. 2.5.23).

Необходимо различать между собой:

- **полную селективность**, определяемую как «селективность по сверхтокам, когда при последовательном двух аппаратов защиты от сверхтоков аппарат со стороны нагрузки осуществляет защиту без срабатывания второго защитного аппарата» (ГОСТ Р 50030.2, п. 2.17.2);
- **частичную селективность**, которая означает «селективность по сверхтокам, когда при последовательном соединении двух аппаратов защиты от сверхтоков аппарат со стороны нагрузки осуществляет защиту до определенного уровня сверхтока без срабатывания второго защитного аппарата» (ГОСТ Р 50030.2, п. 2.17.3); такой предел сверхтока называется «предельным током селективности I_s » (ГОСТ Р 50030.2, п. 2.17.4).

Токовая селективность

Этот тип селективности основан на допущении, что чем ближе место аварии расположено к источнику питания, тем больше ток КЗ. Поэтому мы можем точно отделить зону, где произошло повреждение, просто путем уставки защиты без выдержки по времени расположенного выше устройства на предельное значение, превышающее ток аварии, который приводит к срабатыванию нижерасположенного устройства.

Полная селективность обычно достигается только в тех случаях, когда аварийный ток невысокий (и сравним с номинальным током устройства), или когда между двумя устройствами защиты имеется элемент с высоким полным электрическим сопротивлением (трансформатор, очень длинный или с малым сечением кабель и т.д.) и, следовательно, возникает большая разница между значениями тока КЗ.

Поэтому данный тип координации используется, в первую очередь, во вторичных распределительных сетях (с низкими значениями номинального тока и тока КЗ и высоким полным электрическим сопротивлением соединительных кабелей).

Для анализа обычно используются времятоковые кривые срабатывания устройства. Данное решение является:

- быстрым;
- простым в реализации;
- и недорогим.

С другой стороны:

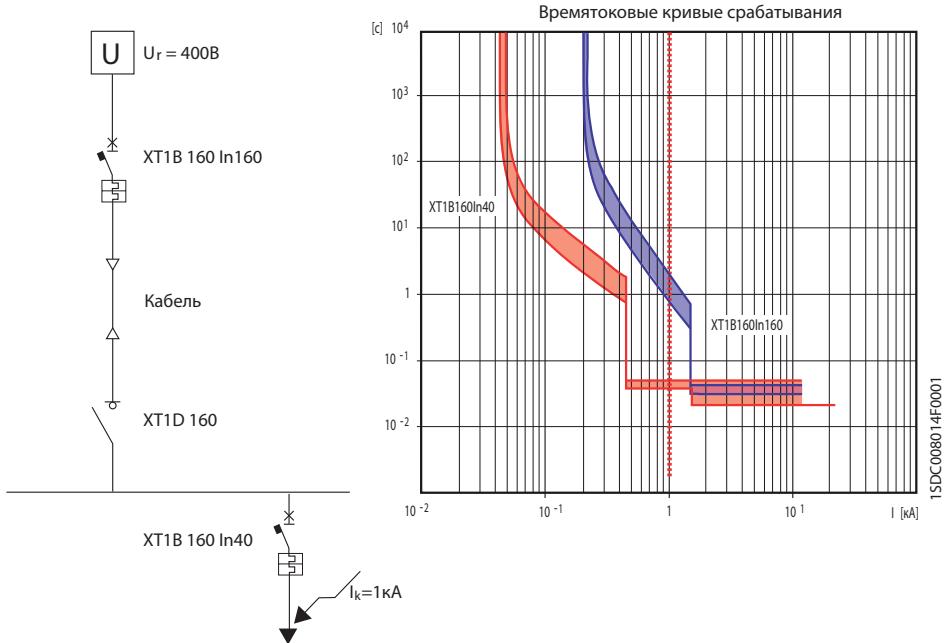
- уровни селективности обычно низкие;
- повышение уровней селективности приводит к быстрому увеличению типоразмеров устройств.

В следующем примере показано типичное применение токовой селективности на основе различных пороговых значений мгновенного срабатывания рассматриваемых автоматических выключателей.

3 Координация устройств защиты

Рассмотрим точку на схеме ниже, в которой ток КЗ равен 1000 А. В данном случае координация достигается применением автоматических выключателей согласно кривым срабатывания защитных устройств.

Предел селективности задается уставкой магнитного расцепителя расположенного выше автоматического выключателя ХТ1В160 In160.



Временная селективность

Данный тип селективности представляет собой развитие предыдущего. Поэтому концепция задания уставки заключается в постепенном повышении пороговых значений тока и выдержки по времени срабатывания по мере приближения защитных устройств к источнику питания. Как и в случае с токовой селективностью, анализ проводится путем сравнения времятоковых кривых срабатывания защитных устройств.

Данный тип координации является:

- простым для анализа и реализации;
- относительно недорогим;
- позволяет добиться высоких уровней селективности в зависимости оттока I_{sw} вышестоящего устройства;
- позволяет реализовывать резервирование защитных функций и посылать данные о действующих значениях в систему управления,

но имеет следующие недостатки:

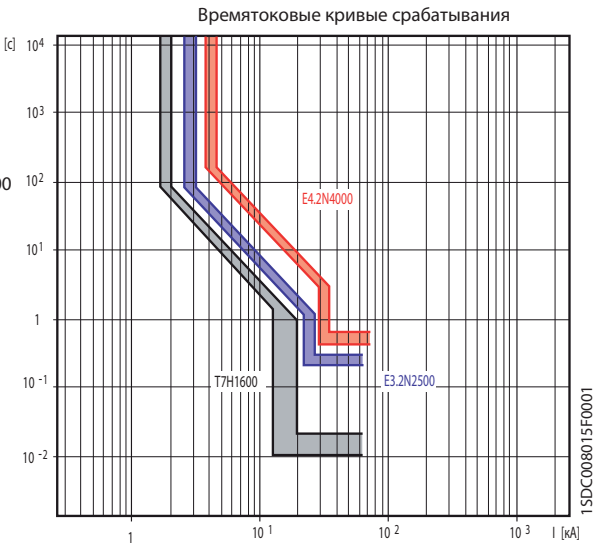
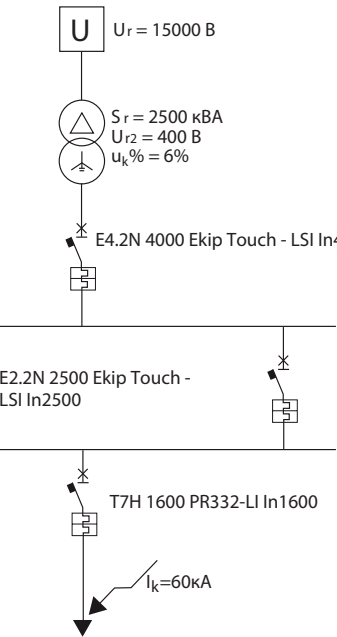
- высокие времена срабатывания и уровни энергии, пропускаемые защитными устройствами (особенно теми, которые расположены ближе к источникам питания), что создает большую нагрузку на элементы системы электроснабжения, даже которые не расположены в зоне неисправности;

3 Координация устройств защиты

- токоограничивающие автоматические выключатели могут использоваться только на более низких иерархических уровнях вниз по цепи; другие автоматические выключатели должны быть способны выдерживать тепловые и электродинамические нагрузки, связанные с прохождением тока аварии в течение заданной выдержки по времени. Чтобы гарантировать достаточно высокий кратковременно выдерживаемый ток, надо использовать селективные автоматические выключатели, часто воздушного типа, для различных уровней;
- длительность отклонений напряжения источника питания, вызываемых током КЗ в зонах, не затронутых повреждением, может отрицательно влиять на электронные и электромеханические устройства (с напряжением ниже значения электромагнитного расцепителя);
- количество уровней селективности ограничено максимальным временем, в течение которого электрическая сеть может противостоять КЗ без потери устойчивости.

В следующем примере показано типичное применение временной селективности, достигаемой установкой различных времен срабатывания различных защитных устройств.

Электронный расцепитель	L (длительная выдержка по времени)	S (кратковременная выдержка по времени)	I (мгновенное срабатывание)
E4.2N 4000 Ekip Touch - LSI In4000	Уставка: 0,93 Кривая: 36 с	Уставка: 10 Кривая: 0,5 с	Откл.
E2.2N 2500 Ekip Touch - LSI In2500	Уставка: 1 Кривая: 24 с	Уставка: 10 Кривая: 0,2 с	Откл.
T7H 1600 PR332-LI In1600	Уставка: 1 Кривая: 18 с		Уставка: 10



3 Координация устройств защиты

Зонная (или логическая) селективность

Зонную селективность можно получить с автоматическими выключателями в литом корпусе MCCB (Т4 L-T5 L-T6 L с расцепителем PR223EF и Т7 с расцепителем PR332/P) и воздушными автоматическими выключателями ACB Emax 2 (с расцепителями Ekip Touch и Ekip Hi-Touch).

Данный тип координации реализуется путем обмена данными между токоизмерительными устройствами, которые при обнаружении превышения заданного порога, позволяют правильно определить неисправность и отключить только зону, затронутую аварией. На практике данная селективность реализуется двумя способами:

- расцепители посылают информацию контрольному устройству о том, что заданная уставка тока оказалась превышенной, и последнее решает, какое защитное устройство должно сработать;
- когда значения тока превышают заданную уставку, каждое защитное устройство посылает блокирующий сигнал через прямое подключение или шину к защитному устройству более высокой иерархии (т.е. вверх относительно направления потока энергии), и, прежде чем оно сработает, проверяет, что такой же блокирующий сигнал не поступил от расположенного ниже защитного устройства; таким образом срабатывает только ближайшее расположенное выше защитное устройство.

В первом режиме время срабатывания составляет примерно одну секунду, и этот режим, в основном, используется в случае не особенно высоких токов КЗ, когда направление потока энергии точно не определено.

Во втором режиме время срабатывания значительно короче: по сравнению с временной селективностью, больше нет необходимости увеличивать выдержку по времени по мере приближения к источнику питания. Максимальная выдержка зависит от времени, необходимого для обнаружения присутствия сигнала блокировки от расположенного ниже защитного устройства.

Преимущества:

- снижается время срабатывания и повышается уровень надежности;
- снижаются как повреждения, вызываемые аварией, так и нарушения в сети электропитания;
- снижаются тепловые и динамические нагрузки на автоматические выключатели и компоненты системы;
- реализуется большое количество уровней селективности;
- гарантируется резервирование защитных устройств: в случае неправильного срабатывания зонной селективности отключение обеспечивается уставками других защитных функций автоматических выключателей. Например, можно настроить функции защиты от КЗ с выдержкой времени, увеличивая временные уставки по мере приближения защитных устройств к источнику питания.

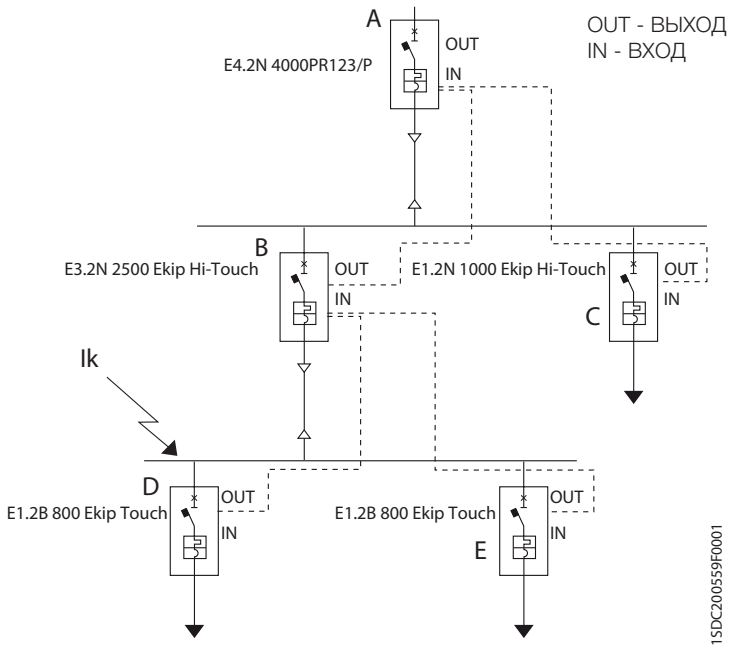
Недостатки:

- более высокая стоимость;
- более сложная система (специальные компоненты, дополнительная проводка, вспомогательные источники питания,...).

Поэтому данное решение, в основном, используется в системах с высоким номинальным током и высокими значениями тока КЗ, с обязательными требованиями в отношении как безопасности, так и бесперебойности эксплуатации: в частности, можно привести много примеров логической селективности в первичных коммутационно-распределительных устройствах, ближайших установленным ниже по потоку относительно трансформаторов и генераторов, а также в узловых сетях.

3 Координация устройств защиты

Зонная селективность с автоматическим выключателем Emax 2



На схеме выше показана электроустановка, в которой для обеспечения зонной селективности используются автоматические выключатели Emax 2 с расцепителями Ekip Touch и Ekip Hi-Touch. Каждый автоматический выключатель, обнаруживающий повреждение, немедленно посылает сигнал на выключатель со стороны питания по проводу связи; автоматический выключатель, который не получает сообщения от выключателей на стороне нагрузки, подает сигнал на отключение. В данном примере с неисправностью, расположенной в указанной точке, автоматические выключатели D и E не обнаруживают эту неисправность, и поэтому они не сообщают о ней выключателю со стороны питания (автоматический выключатель B), который должен подать сигнал на отключение в пределах заданного времени селективности от 40 до 200 мс.

Для правильной реализации зонной селективности предлагаются следующие уставки:

S	$t_2 \geq \text{время селективности} + 70\text{мс}$
I	$I_3 = \text{OFF (ОТКЛ.)}$
G	$t_4 \geq \text{время селективности} + 70\text{мс}$
Время селективности	одинаковые уставки для каждого автоматического выключателя

3 Координация устройств защиты

Энергетическая селективность

Энергетическая координация является специфическим типом селективности, в котором используются токоограничивающие характеристики автоматических выключателей в литом корпусе. Важно помнить, что токоограничивающий автоматический выключатель является «автоматическим выключателем с чрезвычайно малым временем отключения, в течение которого ток короткого замыкания не успевает достичь своего максимального значения» (МЭК 60947-2 (ГОСТ Р 50030.2, п.2.4)). На практике автоматические выключатели в литом корпусе серии Tmax XT и Tmax T в условиях КЗ срабатывают очень быстро (время срабатывания несколько миллисекунд), и поэтому для анализа координации нельзя воспользоваться времятоковыми кривыми.

Эти явления, в основном, динамические (и поэтому пропорциональны квадрату мгновенного значения тока), которые можно описать с помощью характеристических кривых удельной сквозной энергии. Как правило, необходимо удостовериться, что сквозная энергия расположенного ниже автоматического выключателя меньше значения энергии, необходимой для отключения расположенного выше автоматического выключателя.

Данный тип селективности определенно сложнее для рассмотрения, чем предыдущие, поскольку он во многом зависит от взаимодействия между двумя последовательными устройствами и требует доступа к данным, часто не имеющихся у конечного пользователя. АББ предоставляет таблицы, счетные линейки и программы расчета, в которых минимальные пределы селективности приведены для различных комбинаций автоматических выключателей.

Преимущества:

- быстрое отключение с временами срабатывания, которые уменьшаются по мере возрастания тока КЗ;
- снижение ущерба от аварии (тепловые и динамические нагрузки), снижение помех в системе электропитания, сокращение расходов ...;
- уровень селективности больше не ограничен значением кратковременного выдерживаемого тока I_{cw} , который устройства могут выдержать;
- большое количество уровней селективности;
- возможность координации различных токоограничивающих устройств (предохранители, автоматические выключатели и т.д.), даже когда они расположены в промежуточном положении по цепи.

Недостатки:

- сложность координации автоматических выключателей одинакового типоразмера.

Данный тип координации используется для вторичного и конечного распределения токов с номинальным значением менее 1600 А.

Резервная защита

Резервная защита означает «координацию по сверхтокам устройств для защиты от сверхтоков, соединенных последовательно, когда защитное устройство, расположенное, как правило, но не обязательно на входной стороне, осуществляет защиту от сверхтока с помощью или без помощи второго защитного устройства, предотвращая его чрезмерную нагрузку» (ГОСТ Р 50030.1, п. 2.5.24).

Кроме того, в Стандарте МЭК 60364-4-43, 434.5.1 говорится: «... допускается более низкая отключающая способность, если со стороны питания установлено еще одно защитное устройство необходимой отключающей способности. В таком случае, характеристики этих устройств должны быть скоординированы таким образом, чтобы энергия, пропускаемая этими двумя устройствами, не превышала энергию, выдерживаемую без повреждения устройством на стороне нагрузки проводами, защищенными этими устройствами.»

3 Координация устройств защиты

Преимущества:

- экономичное решение;
- очень быстрое срабатывание.

Недостатки:

- очень низкие значения селективности;
- должны сработать, по крайней мере, два последовательных автоматических выключателя.

Координация между автоматическим выключателем и выключателем-разъединителем

Выключатель-разъединитель

Выключатели-разъединители базируются на соответствующих автоматических выключателях с сохранением габаритов, способов крепления и возможности монтажа всех принадлежностей, предусмотренных для основных исполнений. Эти устройства могут включать, проводить и отключать токи при нормальных рабочих условиях цепи.

Они могут применяться в качестве универсальных выключателей во вспомогательных распределительных щитах, в качестве секционных выключателей или отключать части установки, как, например, линии, шины или группы нагрузок.

При разомкнутых контактах выключатели обеспечивают разъединение цепи, поскольку их контакты на соответствующем расстоянии препятствуют возникновению дуги, в соответствии с предписаниями стандартов в отношении изоляционной способности.

Защита выключателей-разъединителей

Каждый выключатель-разъединитель должен защищаться скоординированным устройством, которое защищает его от сверхтоков, - обычно это автоматический выключатель, способный ограничивать ток КЗ и сквозную энергию до приемлемых для выключателя-разъединителя уровней. В отношении защиты от перегрузки номинальный ток автоматического выключателя должен быть ниже или равен величине тока защищаемого выключателя-разъединителя.

В отношении выключателей-разъединителей серии Tmax XT и Tmax T в «Таблицах координации аппаратов защиты и управления» перечислены автоматические выключатели, которые способны защитить их от указанных значений расчетных токов КЗ.

Что касается выключателей-разъединителей серии Emax, для них необходимо удостовериться, что значение тока КЗ в точке установки ниже значения кратковременно выдерживаемого тока I_{cw} выключателя-разъединителя, и пиковое значение ниже тока номинальной включающей способности (I_{cm}).

3 Координация устройств защиты

3.2 Таблицы энергетической селективности

В таблицах, приведенных в настоящем разделе, даны значения токов КЗ (в кА), для которых обеспечивается селективность для предварительно выбранной комбинации автоматических выключателей с напряжением от 230/240 до 415 В, в соответствии с Приложением А Стандарта МЭК 60947-2 (ГОСТ Р 50030.2). В таблицах приведены возможные комбинации серии воздушных выключателей Emax, автоматических выключателей в литом корпусе Tmax XT и Tmax T и модульных автоматических выключателей АББ. Эти значения указаны для конкретных условий, которые, при несоблюдении, могут давать значения селективности, в некоторых случаях гораздо ниже указанных.

Общие положения:

- функция I электронных расцепителей вышестоящих выключателей должна быть отключена (I3 в положении OFF (ОТКЛ.));
- магнитное срабатывание термомангнитных (ТМ) или магнитных (МА-МФ) расцепителей вышестоящих автоматических выключателей должно быть $> 10 \cdot I_n$ и устанавливаться на максимальный порог;
- очень важно проверить, что уставки, выполненные пользователем для электронных и термомангнитных расцепителей выключателей и вышестоящих, и нижестоящих в результате дают соответствующим образом разнесенные времятоковые кривые.

Примечания для правильного пользования таблицами координации:

Предельное значение селективности получается с учетом меньшего из приведенных значений отключающей способности автоматического выключателя со стороны питания и отключающей способности автоматического выключателя со стороны нагрузки.
Буква Т означает полную селективность для данной комбинации; соответствующее значение в кА соответствует меньшему значению отключающей способности комбинации выключателей (Icu).

В следующих таблицах приводятся значения отключающей способности при напряжении 415 В (перем. тока) для автоматических выключателей Emax, Tmax XT и Tmax T.

Tmax XT при 415 В перем. тока	
Исполнение	Icu [кА]
B	18
C	25
N	36
S	50
H	70
L	120
V	150

Tmax T при 415 В перем. тока	
Исполнение	Icu [кА]
N	36
S	50
H	70
L (для T4-T5-T7)	120
L (для T6)	100
V (для T7)	150
V	200

Emax при 415 В перем. тока	
Исполнение	Icu [кА]
B	42
C	25
N	65
S	85
H	100
L	150
X	200

Обозначения

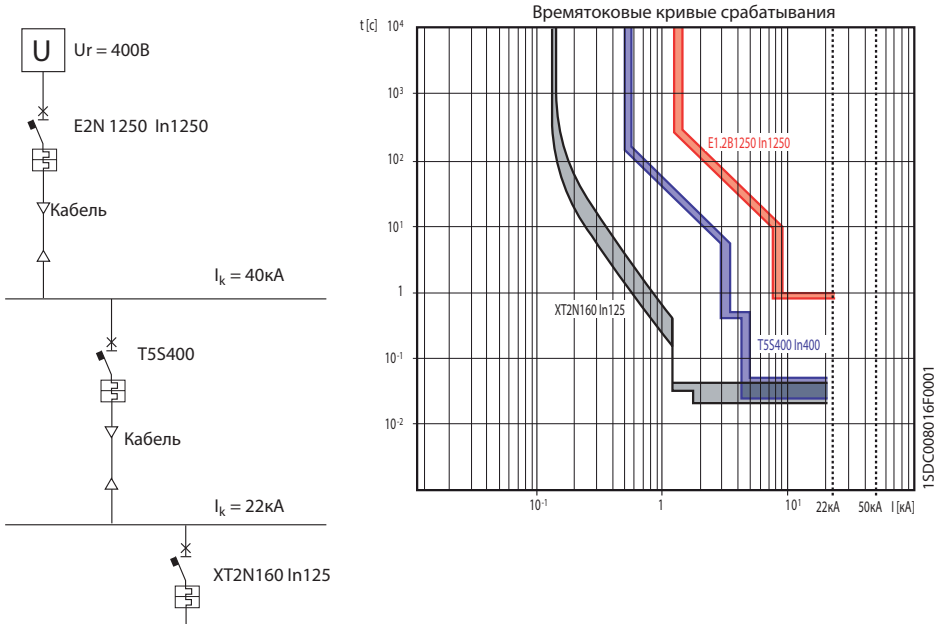
MCCB - автоматический выключатель в литом корпусе ACB - воздушный автоматический выключатель ТМ = термомангнитный расцепитель - TMD (Tmax) - TMA (Tmax) М = магнитный расцепитель - MF (Tmax) - МА (Tmax) EL = электронный расцепитель	МСВ - модульный автоматический выключатель: В = характеристика срабатывания (I3=3...5In) С = характеристика срабатывания (I3=5...10In) D = характеристика срабатывания (I3=10...20In) K = характеристика срабатывания (I3=8...14In) Z = характеристика срабатывания (I3=2...3In)
--	---

3 Координация устройств защиты

Пример:

Рассмотрим рисунок, приведенный ниже, и таблицу селективности на странице 154. Согласно таблице выключатели EE1.2B 1250 и T5S400, правильно настроенные, имеют селективность до 42 кА (выше тока КЗ в шине).

Из таблицы селективности на странице 149 видно, что между выключателями T5S400 и XT2N160 In125 обеспечивается полная селективность; это означает селективность до отключающей способности XT2N и, следовательно, до 36 кА (выше тока КЗ в шине).



Из анализа кривых видно, что между выключателями E1.2B1250 и T5S400 существует временная селективность, а между выключателями T5S400 и XT2N160 - энергетическая селективность.

3 Координация устройств защиты

Содержание таблиц селективности

MCB-MCB (415B)

MCB-S2..B	122
MCB-S2..C	122
MCB-S2..D	124
MCB-S2..K	124
MCB-S2..Z	126

MCCB-MCB (415B)

MCC-S800	128
MCCB-S2..B	130
MCCB-S2..C	132
MCCB-S2..D	134
MCCB-S2..K	136
MCCB-S2..Z	138

MCCB-MCCB (415B)

MCCB-XT1	140
MCCB-XT2	142
MCCB-XT3	144
MCCB-XT4-T4	144
MCCB-T5	145
MCCB-T6	145

ACB-MCCB (415B)

MCCB-MCCB (400/415B)


3 Координация устройств защиты

MCB - S2.. В при 415 В

				Сторона питания	S 290		S 800N-S							
Характеристика срабатывания					D		B							
					I _{cu} [кА]		15		36-50					
		10	15	25	I _n [A]	80	100	40	50	63	80	100	125	
Сторона нагрузки	B	-	-	-	≤2									
		-	-	-	3									
		-	-	-	4									
		S200	S200M	S200P	6	10,5	T	0,4	0,5	0,7	1	1,5	2,6	
		S200	S200M	S200P	8	10,5	T		0,4	0,6	0,7	1	1,4	
		S200	S200M	S200P	10	5	8		0,4	0,6	0,7	1	1,4	
		S200	S200M	S200P	13	4,5	7			0,5	0,7	0,9	1,3	
		S200	S200M	S200P	16	4,5	7				0,7	0,9	1,3	
		S200	S200M	S200P	20	3,5	5					0,9	1,3	
		S200	S200M	S200P	25	3,5	5					0,9	1,3	
		S200	S200M-S200P	-	32		4,5					0,8	1,1	
		S200	S200M-S200P	-	40							0,8	1,1	
		S200	S200M-S200P	-	50								1	
		S200	S200M-S200P	-	63								0,9	

MCB - S2.. С при 415 В

				Сторона питания	S 290		S 800N-S								
Характеристика срабатывания					D		B								
					I _{cu} [кА]		15		36-50						
		10	15	25	I _n [A]	80	100	32	40	50	63	80	100	125	
Сторона нагрузки	C	S200	S200M	S200P	≤2	T	T	0,7	1,3	T	T	T	T	T	T
		S200	S200M	S200P	3	T	T		0,6	0,7	1,1	2,6	8,8	T	
		S200	S200M	S200P	4	T	T		0,6	0,7	1	1,7	3,1	7	
		S200	S200M	S200P	6	10,5	T		0,4	0,5	0,7	1	1,5	2,6	
		S200	S200M	S200P	8	10,5	T			0,4	0,6	0,7	1	1,4	
		S200	S200M	S200P	10	5	8			0,4	0,6	0,7	1	1,4	
		S200	S200M	S200P	13	4,5	7			0,5	0,7	0,9	1,3		
		S200	S200M	S200P	16	4,5	7				0,7	0,9	1,3		
		S200	S200M	S200P	20	3,5	5					0,9	1,3		
		S200	S200M	S200P	25	3,5	5					0,9	1,3		
		S200	S200M-S200P	-	32		4,5					0,8	1,1		
		S200	S200M-S200P	-	40							0,8	1,1		
		S200	S200M-S200P	-	50								1		
		S200	S200M-S200P	-	63								0,9		

S800N-S						S800N-S								
C						D								
36-50						36-50								
40	50	63	80	100	125	25	32	40	50	63	80	100	125	
0,4	0,5	0,7	1	1,5	2,6	0,5	1	1,2	2	2,8	9,9	21,3		
	0,4	0,6	0,7	1	1,4	0,4	0,6	0,8	1,1	1,4	2,8	3,9	7,4	
	0,4	0,6	0,7	1	1,4	0,4	0,6	0,8	1,1	1,4	2,8	3,9	7,4	
		0,5	0,7	0,9	1,3	0,4	0,6	0,8	1,1	1,4	2,5	3,3	5,6	
			0,7	0,9	1,3		0,6	0,8	1,1	1,4	2,5	3,3	5,6	
				0,9	1,3			0,8	1,1	1,3	2,3	3	4,7	
				0,9	1,3			0,8	1,1	1,3	2,3	3	4,7	
				0,8	1,1				0,9	1,1	1,9	2,4	3,7	
				0,8	1,1					1,1	1,9	2,4	3,7	
					1						1,5	1,9	2,3	
					0,9							1,7	2,3	

S800N-S							S800N-S							
C							D							
36-50							36-50							
32	40	50	63	80	100	125	25	32	40	50	63	80	100	125
0,7	1,3	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	0,6	0,7	1,1	2,6	8,8	T	0,7	2,2	4,4	T	T	T	T	T
	0,6	0,7	1	1,7	3,1	7	0,7	1,3	2,2	4,4	7,7	T	T	T
	0,4	0,5	0,7	1	1,5	2,6	0,5	1	1,2	2	2,8	9,9	22	T
		0,4	0,6	0,7	1	1,4	0,4	0,6	0,8	1,1	1,4	2,8	3,9	7,4
		0,4	0,6	0,7	1	1,4	0,4	0,6	0,8	1,1	1,4	2,8	3,9	7,4
			0,5	0,7	0,9	1,3	0,4	0,6	0,8	1,1	1,4	2,5	3,3	5,6
				0,7	0,9	1,3		0,6	0,8	1,1	1,4	2,5	3,3	5,6
					0,9	1,3			0,8	1,1	1,3	2,3	3	4,7
					0,9	1,3			0,8	1,1	1,3	2,3	3	4,7
					0,8	1,1				0,9	1,1	1,9	2,4	3,7
					0,8	1,1					1,1	1,9	2,4	3,7
						1						1,5	1,9	2,3
						0,9							1,7	2,3

3 Координация устройств защиты

MCB - S2.. D при 415 В

				Сторона питания	S 290		S 800N-S							
Характеристика срабатывания					D		B							
I _{cu} [кА]					15		36-50							
10	15	25	I _n [А]		80	100	32	40	50	63	80	100	125	
Сторона нагрузки	D	S200	-	S200P	≤2	Т	Т	0,5	0,7	2,1	Т	Т	Т	Т
		S200	-	S200P	3	Т	Т		0,5	0,7	1,2	2,5	8,6	Т
		S200	-	S200P	4	Т	Т		0,4	0,7	1	1,7	3	7,7
		S200	-	S200P	6	10,5	Т			0,6	0,8	1,2	2	3,6
		S200	-	S200P	8	10,5	Т				0,7	0,9	1,3	2
		S200	-	S200P	10	5	8					0,9	1,3	2
		S200	-	S200P	13	3	5						1	1,5
		S200	-	S200P	16	3	5							1,5
		S200	-	S200P	20	3	5							
		S200	-	S200P	25		4							
		S200	S200P	-	32									
		S200	S200P	-	40									
		S200	S200P	-	50									
		S200	S200P	-	63									

MCB - S2.. К при 415 В

				Сторона питания	S 290		S 800N-S							
Характеристика срабатывания					D		B							
I _{cu} [кА]					15		36-50							
10	15	25	I _n [А]		80	100	32	40	50	63	80	100	125	
Сторона нагрузки	K	S200	-	S200P	≤2	Т	Т	0,5	0,7	2,1	Т	Т	Т	Т
		S200	-	S200P	3	Т	Т		0,5	0,7	1,2	2,5	8,6	Т
		S200	-	S200P	4	Т	Т		0,4	0,7	1	1,7	3	7,7
		S200	-	S200P	6	10,5	Т			0,6	0,8	1,2	2	3,6
		S200	-	S200P	8	10,5	Т				0,7	0,9	1,3	2
		S200	-	S200P	10	5	8					0,9	1,3	2
		-	-	S200P	13	3	5						1	1,5
		S200	-	S200P	16	3	5							1,5
		S200	-	S200P	20	3	5							
		S200	-	S200P	25		4							
		S200	S200P	-	32									
		S200	S200P	-	40									
		S200	S200P	-	50									
		S200	S200P	-	63									

3 Координация устройств защиты

S800N-S								S800N-S							
C								D							
36-50								36-50							
32	40	50	63	80	100	125		25	32	40	50	63	80	100	125
0,5	0,7	2,1	T	T	T	T		2,3	T	T	T	T	T	T	T
	0,5	0,7	1,2	2,5	8,6	T		0,7	1,3	4,4	T	T	T	T	T
	0,4	0,7	1	1,7	3	7,7		0,7	1	2,2	4,4	7,7	T	T	T
		0,6	0,8	1,2	2	3,6		0,6	0,8	1,5	2,5	3,6	12,1	24,2	T
			0,7	0,9	1,3	2		0,5	0,7	1,1	1,5	2	4	5,5	9,9
				0,9	1,3	2		0,5	0,7	1,1	1,5	2	4	5,5	9,9
					1	1,5			0,6	0,9	1,2	1,5	2,6	3,4	5,2
						1,5				0,9	1,2	1,5	2,6	3,4	5,2
											0,9	1,1	1,8	2,2	3,2
												1,1	1,8	2,2	3,2
													1,7	2	2,9
														1,9	2,6
															2,2

S800N-S								S800N-S							
C								D							
36-50								36-50							
32	40	50	63	80	100	125		25	32	40	50	63	80	100	125
0,5	0,7	2,1	T	T	T	T		2,3	T	T	T	T	T	T	T
	0,5	0,7	1,2	2,5	8,6	T		0,7	1,3	4,4	T	T	T	T	T
	0,4	0,7	1	1,7	3	7,7		0,7	1	2,2	4,4	7,7	T	T	T
		0,6	0,8	1,2	2	3,6		0,6	0,8	1,5	2,5	3,6	12,1	24,2	T
			0,7	0,9	1,3	2		0,5	0,7	1,1	1,5	2	4	5,5	9,9
				0,9	1,3	2		0,5	0,7	1,1	1,5	2	4	5,5	9,9
					1	1,5			0,6	0,9	1,2	1,5	2,6	3,4	5,2
						1,5				0,9	1,2	1,5	2,6	3,4	5,2
											0,9	1,1	1,8	2,2	3,2
												1,1	1,8	2,2	3,2
													1,7	2	2,9
														1,9	2,6
															2,2

3 Координация устройств защиты

MCB - S2.. Z при 415 В



















































































				Сторона питания	S 290		S 800N-S							
Характеристика срабатывания					D		B							
					I _{cu} [kA]		15		36-50					
		10	15	25	I _n [A]	80	100	32	40	50	63	80	100	125
Сторона нагрузки	Z	S200	-	S200P	≤2	T	T	0,7	1,3	T	T	T	T	T
		S200	-	S200P	3	T	T		0,6	0,7	1,1	2,6	8,8	T
		S200	-	S200P	4	T	T		0,6	0,7	1	1,7	3,1	7
		S200	-	S200P	6	10,5	T		0,4	0,5	0,7	1	1,5	2,6
		S200	-	S200P	8	10,5	T			0,4	0,6	0,7	1	1,4
		S200	-	S200P	10	5	8			0,4	0,6	0,7	1	1,4
		-	-	S200P	13	4,5	7					0,7	0,9	1,3
		S200	-	S200P	16	4,5	7					0,7	0,9	1,3
		S200	-	S200P	20	3,5	5						0,9	1,3
		S200	-	S200P	25	3,5	5						0,9	1,3
		S200	S200P	-	32	3	4,5						0,8	1,1
		S200	S200P	-	40	3	4,5						0,8	1,1
		S200	S200P	-	50		3							1
		S200	S200P	-	63									0,9

3 Координация устройств защиты

S800N-S							S800N-S							
C							D							
36-50							36-50							
32	40	50	63	80	100	125	25	32	40	50	63	80	100	125
0,7	1,3	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	0,6	0,7	1,1	2,6	8,8	T	0,7	2,2	4,4	T	T	T	T	T
	0,6	0,7	1	1,7	3,1	7	0,7	1,3	2,2	4,4	7,7	T	T	T
	0,4	0,5	0,7	1	1,5	2,6	0,5	1	1,2	2	2,8	9,9	22	T
		0,4	0,6	0,7	1	1,4	0,4	0,6	0,8	1,1	1,4	2,8	3,9	7,4
		0,4	0,6	0,7	1	1,4	0,4	0,6	0,8	1,1	1,4	2,8	3,9	7,4
				0,7	0,9	1,3		0,6	0,8	1,1	1,4	2,5	3,3	5,6
				0,7	0,9	1,3		0,6	0,8	1,1	1,4	2,5	3,3	5,6
					0,9	1,3			0,8	1,1	1,3	2,3	3	4,7
					0,9	1,3			0,8	1,1	1,3	2,3	3	4,7
					0,8	1,1				0,9	1,1	1,9	2,4	3,7
					0,8	1,1					1,1	1,9	2,4	3,7
						1						1,5	1,9	2,3
						0,9							1,7	2,3

3 Координация устройств защиты

МССВ - S800 при 415 В

			Сторона питания	XT1 160											XT3 250							
				Исполнение											N, S							
				Расцепитель											ТМ							
Сторона нагрузки	Характ. срабат.	I _{cu} [кА]	I _n [А]	25	32	40	50	63	80	100	125	160	63	80	100	125	160	200	250			
				10	4,5	4,5	4,5	4,5	8	10	20 ¹	25 ¹			8	10	20 ¹	25 ¹				
				13		4,5	4,5	4,5	7,5	10	15	25 ¹			7,5	10	15	25 ¹				
				16			4,5	4,5	7,5	10	15	25 ¹			7,5	10	15	25 ¹				
				20				4,5	7,5	10	15	25 ¹			7,5	10	15	25 ¹				
				25					6	10	15	20 ¹			6	10	15	20 ¹				
				32						7,5	10	20 ¹				7,5	10	20 ¹				
				40							10	20 ¹					10	20 ¹				
				50								15						15				
				63																		
				80											²							
				100																		
				125																		
S800S	B C D K	50	10	4,5	4,5	4,5	4,5	8	10	20 ¹	25 ¹			8	10	20 ¹	25 ¹	36	36			
			13		4,5	4,5	4,5	7,5	10	15	25 ¹			7,5	10	15	25 ¹	36	36			
			16			4,5	4,5	7,5	10	15	25 ¹			7,5	10	15	25 ¹	36	36			
			20				4,5	7,5	10	15	25 ¹			7,5	10	15	25 ¹	36	36			
			25					6	10	15	20 ¹			6	10	15	20 ¹	36	36			
			32						7,5	10	20 ¹				7,5	10	20 ¹	36	36			
			40							10	20 ¹					10	20 ¹	36	36			
			50								15						15	36	36			
			63															36	36			
			80											²					36			
			100																			
			125																			

¹ Выберите наименьшее из указанных значений с учетом отключающей способности для автоматического выключателя со стороны питания

² Значение действительно только с характеристикой срабатывания В или С S800N/S

3 Координация устройств защиты

МССВ-S800 при 415 В

			Сторона питания	XT4													T4 - T5		
			Исполнение	N, S, H, L, V															
			Расцепитель	TM											EL				
Сторона нагрузки	Характ. срабат.	I _{cu} [kA]	I _n [A]	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200÷250	40÷63	100÷250	100÷630		
S800 N/S	B	36-50	10	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	11					6,5				
			13	6,5	5	6,5	6,5	6,5	6,5	11					6,5				
			16		5	6,5	6,5	6,5	6,5	11					6,5				
			20			6,5 ¹	6,5	6,5	6,5	11					6,5				
			25				6,5	6,5	6,5	11					6,5				
			32					6,5	6,5	8					6,5				
			40					5 ¹		6,5									
			50						5 ¹	7,5									
			63							5 ¹	7								
			80																
			100																
			125																
	C	36-50	10	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	11					6,5				
			13	6,5	5	6,5	6,5	6,5	6,5	11					6,5				
			16	5 ¹	5	6,5	6,5	6,5	6,5	11					6,5				
			20			6,5 ¹	6,5	6,5	6,5	11					6,5				
			25				6,5	6,5	6,5	11					6,5				
			32					6,5	6,5	8					6,5				
			40							6,5									
			50						5 ¹	7,5									
			63							6,5 ¹	7								
			80								6,5 ¹	6,5							
			100									5 ¹	6,5						
			125																
	D	36-50	10	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	11					6,5				
			13	6,5	5	6,5	6,5	6,5	6,5	11					6,5				
			16				6,5	6,5	6,5	11					6,5				
			20							11									
			25							11									
			32																
			40																
			50																
			63																
			80																
			100																
			125																
	K	36-50	10	6,5 ¹		6,5	6,5	6,5	6,5	11					6,5				
			13	5 ¹		5 ¹	6,5	6,5	6,5	11					6,5				
			16					6,5	6,5	11					6,5				
			20					6,5	6,5	11					6,5				
			25					6,5 ¹		11 ¹									
			32							8 ¹									
			40						6,5 ¹										
			50							7,5 ¹									
			63								7 ¹								
			80																
			100																
			125											6,5 ¹					

¹ Значение действительно, только если со стороны питания установлен автоматический выключатель с магнитным расцепителем (для I_n = 50 A обратите внимание на автоматический выключатель MA52)

² Значение действительно, только если со стороны питания установлен автоматический выключатель T4 I_n = 100 A с магнитным расцепителем

³ Значение действительно, только если со стороны питания установлен автоматический выключатель T4 I_n = 160 A с магнитным расцепителем

3 Координация устройств защиты

MCCB - S2.. В при 415 В

					Сторона питания		XT2		XT1 - XT2					XT1 - XT2 - XT3					XT3		
Характ. срабат.	I _{cu} [kA]				Исполнение																
					B, C, N, S, H, L, V																
					Расцепитель																
					TM																
					I _n [A]	12,5	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250		
Сторона нагрузки	B	S200	S200M	S200P	6	5,5 ¹	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	10,5	T	T	T	T	T	T	T	
		S200	S200M	S200P	10			3 ¹	3	3	3	4,5	7,5	8,5	17	T	T	T	T	T	
		S200	S200M	S200P	13			3 ¹		3	3	4,5	7,5	7,5	12	20	T	T	T	T	
		S200	S200M	S200P	16					3 ¹	3	4,5	5	7,5	12	20	T	T	T	T	
		S200	S200M	S200P	20					3 ¹		3	5	6	10	15	T	T	T	T	
		S200	S200M	S200P	25							3 ¹	5	6	10	15	T	T	T	T	
		S200	S200M-S200P	-	32							3 ¹		6	7,5	12	T	T	T	T	
		S200	S200M-S200P	-	40									5,5 ¹	7,5	12	T	T	T	T	
		S200	S200M-S200P	-	50									3 ¹	5 ²	7,5	10,5	T	T	T	
		S200	S200M-S200P	-	63										5 ²	6 ³	10,5	T	T	T	
		-	-	-	80																
		-	-	-	100																
		-	-	-	125																

¹ Значение действительно, только если со стороны питания установлен автоматический выключатель XT2 с магнитным расцепителем

² Значение действительно, только если со стороны питания установлены автоматические выключатели XT2-XT3 с магнитным расцепителем

³ Значение действительно, только если со стороны питания установлен автоматический выключатель XT3 с магнитным расцепителем

⁴ Значение действительно, только если со стороны питания установлен автоматический выключатель XT4 с магнитным расцепителем



3 Координация устройств защиты

МССВ - S2.. С при 415 В

				Сторона питания	ХТ2	ХТ1 - ХТ2					ХТ1 - ХТ2 - ХТ3					ХТ3				
				Исполнение	В, С, N, S, H, L, V															
Характ. срабат.	I _{cu} [kA]			Расцепитель	ТМ															
		10	15		25	I _n [A]	12,5	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Сторона нагрузки	С	S200	S200M	S200P	≤2	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т
		S200	S200M	S200P	3	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т
		S200	S200M	S200P	4	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т
		S200	S200M	S200P	6	5,5 ¹	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	10,5	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т
		S200	S200M	S200P	8			5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	10,5	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т
		S200	S200M	S200P	10			3 ¹	3	3	3	4,5	7,5	8,5	17	Т	Т	Т	Т	Т
		S200	S200M	S200P	13			3 ¹		3	3	4,5	7,5	7,5	12	20	Т	Т	Т	Т
		S200	S200M	S200P	16					3 ¹	3	4,5	5	7,5	12	20	Т	Т	Т	Т
		S200	S200M	S200P	20					3 ¹		3	5	6	10	15	Т	Т	Т	Т
		S200	S200M	S200P	25							3 ¹	5	6	10	15	Т	Т	Т	Т
		S200	S200M-S200P	-	32							3 ¹		6	7,5	12	Т	Т	Т	Т
		S200	S200M-S200P	-	40									5,5 ¹	7,5	12	Т	Т	Т	Т
		S200	S200M-S200P	-	50									3 ¹	5 ²	7,5	10,5	Т	Т	Т
		S200	S200M-S200P	-	63										5 ²	6 ³	10,5	Т	Т	Т
		-	S290	-	80														10	15
		-	S290	-	100														7,5 ³	15
		-	S290	-	125														7,5 ³	

¹ Значение действительно, только если со стороны питания установлен автоматический выключатель ХТ2 с магнитным расцепителем

² Значение действительно, только если со стороны питания установлены автоматические выключатели ХТ2-ХТ3 с магнитным расцепителем

³ Значение действительно, только если со стороны питания установлен автоматический выключатель ХТ3 с магнитным расцепителем

⁴ Значение действительно, только если со стороны питания установлен автоматический выключатель ХТ4 с магнитным расцепителем

⁵ Значение действительно, только если со стороны питания установлен автоматический выключатель ХТ4 In160 с магнитным расцепителем

3 Координация устройств защиты

XT4														T5	XT2						XT4				T4	T5	
B, C, N, S, H, L, V																											
TM														EL													
	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	225	250	320÷500	10	25	63	100	160	40	63	100, 160	250	320	320÷630		
	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T		
	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T		
	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T		
	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	10,5	T	T	T	T	T	T	T	T		T	T	T	T	T	T	T	T	T	T		
	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	10,5	T	T	T	T	T	T	T	T		T	T	T	T	T	T	T	T	T	T		
	5	5	5	5	6,5	7,5	9	T	T	T	T	T	T	T		T	T	T	T	T	T	T	T	T	T		
		5	5	5	6,5	7,5	8	T	T	T	T	T	T	T			T	T	T	T	T	T	T	T	T		
		3	5	5	6,5	5	8	T	T	T	T	T	T	T			T	T	T	T	T	T	T	T	T		
				5	5	5	7,5	T	T	T	T	T	T	T			T	T	T	T	T	T	T	T	T		
					5	5	7,5	T	T	T	T	T	T	T			T	T	T		T	T	T	T	T		
					5 ⁴	5	7,5	T	T	T	T	T	T	T			T	T	T		T	T	T	T	T		
						6,5	T	T	T	T	T	T	T	T				T	T			T	T	T	T		
						5 ⁴	T	T	T	T	T	T	T	T					T			T	T	T	T		
							T ⁴	T ⁴	T	T	T	T	T	T					10,5	10,5			T	T	T		
									5	11	T	T	T	T					4			T ⁵	T	T	T		
									5 ⁴	8	T	T	T	T					4			12 ⁴	T	T	T		
										8 ⁴	12 ⁴	12	T	T					4				T	T	T		

3 Координация устройств защиты

МCCB - S2.. D при 415 В

					Сторона питания	XT2		XT1 - XT2						XT1 - XT2 - XT3						XT3			
Характ. срабат.	I _{cu} [кА]				Исполнение	B, C, N, S, H, L, V																	
		10	15	25	Расцепитель	TM																	
					I _n [A]	12,5	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250				
Сторона нагрузки	D	S200	S200M	S200P	≤2	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T			
		S200	S200M	S200P	3	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T			
		S200	S200M	S200P	4	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T			
		S200	S200M	S200P	6	5,5 ¹	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	10,5	T	T	T	T	T	T	T			
		S200	S200M	S200P	8			5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	10,5	12	T	T	T	T	T	T			
		S200	S200M	S200P	10			3	3	3	3	3	5	8,5	17	T	T	T	T	T			
		S200	S200M	S200P	13					2 ¹	2	2	3	5	8	13,5	T	T	T	T			
		S200	S200M	S200P	16					2 ¹	2	2	3	5	8	13,5	T	T	T	T			
		S200	S200M	S200P	20					2 ¹		2	3	4,5	6,5	11	T	T	T	T			
		S200	S200M	S200P	25							2 ¹	2,5	4	6	9,5	T	T	T	T			
		S200	S200M-S200P	-	32										4	6	9,5	T	T	T			
		S200	S200M-S200P	-	40										3 ¹	5 ²	8	T	T	T			
		S200	S200M-S200P	-	50										2 ¹	3 ²	5	9,5	T	T			
		S200	S200M-S200P	-	63											3 ²	5 ³	9,5	T	T			
		-	S290	-	80														4 ³	10	15		
		-	S290	-	100														4 ³	7,5 ³	15		
		-	-	-	125																		

¹ Значение действительно, только если со стороны питания установлен автоматический выключатель XT2 с магнитным расцепителем

² Значение действительно, только если со стороны питания установлены автоматические выключатели XT2-XT3 с магнитным расцепителем

³ Значение действительно, только если со стороны питания установлен автоматический выключатель XT3 с магнитным расцепителем

⁴ Значение действительно, только если со стороны питания установлен автоматический выключатель XT4 с магнитным расцепителем

⁵ Значение действительно, только если со стороны питания установлен автоматический выключатель XT4 In160 с магнитным расцепителем

3 Координация устройств защиты

XT4														T5	XT2					XT4					T4	T5	
B, C, N, S, H, L, V																											
TM														EL													
20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	225	250	320÷500	10	25	63	100	160	40	63	100, 160	250	320	320÷630			
T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T			
T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T			
T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T			
7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	T	T	T	T	T	T	T		T	T	T	T	T	T	T	T	T	T			
7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	T	T	T	T	T	T	T		T	T	T	T	T	T	T	T	T	T			
5 ⁴	5	5	5	5	6	9	T	T	T	T	T	T	T		T	T	T	T	T	T	T	T	T	T			
	5 ⁴		5	4	5	5,5	T	T	T	T	T	T	T			T	T	T	T	T	T	T	T	T			
			5 ⁴	4	5	5,5	T	T	T	T	T	T	T			T	T	T	T	T	T	T	T	T			
			5 ⁴	4 ⁴	5	5	T	T	T	T	T	T	T			T	T	T	T	T	T	T	T	T			
				4 ⁴	4 ⁴	4,5	T	T	T	T	T	T	T			T	T	T		T	T	T	T	T			
					5 ⁴	4,5 ⁴	T	T	T	T	T	T	T			T	T	T		T	T	T	T	T			
					4,5 ⁴								T				T	T			T	T	T	T			
						T ⁴	T	T	T	T	T	T	T				9,5	9,5			T	T	T	T			
							T ⁴	T ⁴	T	T	T	T	T				9,5				T	T	T	T			
								5	11	T	T	T	T				4				T ⁵	T	T	T			
									8	T	T	T	T				4				12 ⁵	T	T	T			

3 Координация устройств защиты

МССВ - S2.. К при 415 В

				Сторона питания	XT2	XT1 - XT2								XT1 - XT2 - XT3						XT3			
Характ. срабат.	I _{cu} [кА]				Исполнение	B, C, N, S, H, L, V																	
					Расцепитель	TM																	
		10	15	25		I _n [A]	12,5	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250			
Сторона нагрузки	К	S200	S200M	S200P	≤2	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T		
		S200	S200M	S200P	3	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T		
		S200	S200M	S200P	4	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T		
		S200	S200M	S200P	6	5,5 ¹	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	10,5	T	T	T	T	T	T	T	T		
		S200	S200M	S200P	8			5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	10,5	12	T	T	T	T	T	T	T		
		S200	S200M	S200P	10			3 ¹	3	3	3	3	5	8,5	17	T	T	T	T	T	T		
		S200	S200M	S200P	13					2 ¹	3	3	5	7,5	10	13,5	T	T	T	T	T		
		S200	S200M	S200P	16					2 ¹	3	3	4,5	7,5	10	13,5	T	T	T	T	T		
		S200	S200M	S200P	20					2 ¹		3	3,5	5,5	6,5	11	T	T	T	T	T		
		S200	S200M	S200P	25							2 ¹	3,5	5,5	6	9,5	T	T	T	T	T		
		S200	S200M-S200P	-	32									4,5	6	9,5	T	T	T	T	T		
		S200	S200M-S200P	-	40									3 ¹	5	8	T	T	T	T	T		
		S200	S200M-S200P	-	50									2 ¹	3 ²	6	9,5	T	T	T	T		
		S200	S200M-S200P	-	63										3 ²	5 ³	9,5	T	T	T	T		
		-	S290	-	80													4 ³	10	15			
-	S290	-	100													4 ³	7,5 ³	15					
-	-	-	125																				

¹ Значение действительно, только если со стороны питания установлен автоматический выключатель XT2 с магнитным расцепителем

² Значение действительно, только если со стороны питания установлены автоматические выключатели XT2-XT3 с магнитным расцепителем

³ Значение действительно, только если со стороны питания установлен автоматический выключатель XT3 с магнитным расцепителем

⁴ Значение действительно, только если со стороны питания установлен автоматический выключатель XT4 с магнитным расцепителем

⁵ Значение действительно, только если со стороны питания установлен автоматический выключатель XT4 In160 с магнитным расцепителем

3 Координация устройств защиты

XT4														T5	XT2						XT4				T4	T5
B, C, N, S, H, L, V																										
TM														EL												
20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	225	250	320÷500	10	25	63	100	160	40	63	100, 160	250	320	320÷630		
7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	8																					
7,5 ⁴	7,5	7,5	7,5	7,5	8																					
	5 ⁴	5	5	5	7,5	9																				
	5 ⁴	5	5	5	7,5	8																				
	5 ⁴		5 ⁴	5	6	8																				
				5	6	6																				
				5 ⁴	5,5 ⁴	6 ⁴																				
				5 ⁴	5 ⁴	6 ⁴																				
					5 ⁴	5,5 ⁴																				
						5 ⁴											9,5	9,5								
																		9,5								
									5	11								4								
									5 ⁴	8								4			12 ⁵					

3 Координация устройств защиты

МССВ - S2.. Z при 415 В

				Сторона питания	XT2	XT1 - XT2								XT1 - XT2 - XT3						XT3		
				Исполнение	В, С, N, S, H, L, V																	
Характ. срабат.	I _{cu} [кА]			Расцепитель	ТМ																	
	10	15	25		I _n [А]	12,5	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250			
Сторона нагрузки	Z	S200	S200M	S200P	≤2	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т		
		S200	S200M	S200P	3	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т		
		S200	S200M	S200P	4	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т		
		S200	S200M	S200P	6	5,5 ¹	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	10,5	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т		
		S200	S200M	S200P	8			5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	10,5	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т		
		S200	S200M	S200P	10			3 ¹	3	3	3	4,5	8	8,5	17	Т	Т	Т	Т	Т		
		S200	S200M	S200P	16					3 ¹	3	4,5	5	7,5	12	20	Т	Т	Т	Т		
		S200	S200M	S200P	20					3 ¹		3	5	6	10	15	Т	Т	Т	Т		
		S200	S200M	S200P	25							3 ¹	5	6	10	15	Т	Т	Т	Т		
		S200	S200M-S200P	-	32							3 ¹		6	7,5	12	Т	Т	Т	Т		
		S200	S200M-S200P	-	40									5,5 ¹	7,5	12	Т	Т	Т	Т		
		S200	S200M-S200P	-	50									4 ¹	5 ²	7,5	10,5	Т	Т	Т		
		S200	S200M-S200P	-	63										5 ²	6 ³	10,5	Т	Т	Т		
		-	-	-	80																	
		-	-	-	100																	
		-	-	-	125																	

¹ Значение действительно, только если со стороны питания установлен автоматический выключатель XT2 с магнитным расцепителем

² Значение действительно, только если со стороны питания установлены автоматические выключатели XT2-XT3 с магнитным расцепителем

³ Значение действительно, только если со стороны питания установлен автоматический выключатель XT3 с магнитным расцепителем

⁴ Значение действительно, только если со стороны питания установлен автоматический выключатель XT4 с магнитным расцепителем

3 Координация устройств защиты

XT4														T5		XT2						XT4				T4	T5
B, C, N, S, H, L, V																											
TM														EL													
	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	225	250	320÷500	10	25	63	100	160	40	63	100, 160	250	320	320÷630		
	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T		
	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T		
	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T		
	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	T	T	T	T	T	T	T	T		T	T	T	T	T	T	T	T	T	T		
	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	T	T	T	T	T	T	T	T		T	T	T	T	T	T	T	T	T	T		
	5	7,5	5	5	6,5	6,5	9	T	T	T	T	T	T	T		T	T	T	T	T	T	T	T	T	T		
		7,5 ⁴	4,5	5	6,5	6,5	8	T	T	T	T	T	T	T			T	T	T	T	T	T	T	T	T		
				5	5	5	6,5	T	T	T	T	T	T	T			T	T	T	T	T	T	T	T	T		
					5	5	6,5	T	T	T	T	T	T	T			T	T	T		T	T	T	T	T		
					5	5	6,5	T	T	T	T	T	T	T			T	T	T		T	T	T	T	T		
						5 ⁴	5	T	T	T	T	T	T	T				T	T			T	T	T	T		
							3,5 ⁴	T	T	T	T	T	T	T				10,5	10,5			T	T	T	T		
								T ⁴	T	T	T	T	T	T				10,5				T	T	T	T		

3 Координация устройств защиты

МССВ - XT1 при 415 В

		Сторона питания		XT1		XT2					XT3			XT4								
Исполнение		Расцепитель		B, C N, S H		N, S, H, L, V					N, S			N, S, H, L, V								
				TM		TM, M		EL			TM, M			TM								
		Типоразмер		160		160					250			160				250				
Сторона нагрузки			I _n [A]	160	160	25	63	100	160	160	200	250	63	80	100	125	160	200	225	250		
XT1	B	TM	160	16	3	3		3	3	3	3	4	5	10	10	10	10	10	10	10		
	B, C			20	3	3		3	3	3	3	4	5	10	10	10	10	10	10	10		
	B, C, N			25	3	3		3	3	3	3	4	5	10	10	10	10	10	10	10		
				32	3	3			3	3	3	4	5		10	10	10	10	10	10		
	B, C, N S, H			40	3	3			3	3	3	4	5			10	10	10	10	10	10	
				50	3	3			3	3	3	4	5			10 ¹	10	10	10	10	10	
				63	3	3				3	3	4	5				10 ¹	10	10	10	10	
				80						3		4	5					10	10	10	10	
				100									5					10 ¹	10	10	10	
				125															10 ¹	10 ¹	10	
160																						

¹ Значение действительно, только если со стороны питания установлены автоматические выключатели с магнитным расцепителем

² Значение действительно только для расцепителей PR232/P, PR331/P и PR332/P

³ Доступно только при I_n ≤ 1250 А

3 Координация устройств защиты

XT4				T4	T5						T6					T7			
N, S, H, L, V				N, S, H, L, V	N, S, H, L, V						N, S, H, L					S, H, L, V ³			
EL					TM			EL			TM, M		EL			EL			
250			320		400		630	400		630	630	800	630	800	1000	800	1000	1250	1600
100	160	250	320	320	320	400	500	320	400	630	630	800	630	800	1000	800 ²	1000 ²	1250 ²	1600 ²
10	10	10	10	36	36	36	36	36	36	36									
10	10	10	10	36	36	36	36	36	36	36									
10	10	10	10	36	36	36	36	36	36	36									
10	10	10	10	36	36	36	36	36	36	36									
10	10	10	10	36	36	36	36	36	36	36									
10	10	10	10	36	36	36	36	36	36	36									
10	10	10	10	36	36	36	36	36	36	36									
		10	10	36	36	36	36	36	36	36									
		10	10	36	36	36	36	36	36	36									
			10	36	36	36	36	36	36	36									
			10	36	36	36	36	36	36	36									

3 Координация устройств защиты

МССВ - XT2 при 415 В

		Исполнение		Сторона питания		XT1	XT2						XT3			XT4									
				B, C N, S H	N, S, H, L, V						N, S			N, S, H, L, V											
Расцепитель		TM	TM, M	EL						TM, M			TM, M												
		Типоразмер	160	160						250			160					250							
Сторона нагрузки			I _n [A]	160	160	25	63	100	160	160	200	250	50	63	80	100	125	160	200	225	250				
XT2	N S H L V	TM	160	1,6-2,5	T	T	T	T	T	T	T	T	T	85	85	85	85	85	85	85	85				
				3,2	T	T	T	T	T	T	T	T	T	85	85	85	85	85	85	85	85	85			
				4-5	T	T	T	T	T	T	T	T	T	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85		
				6,3	10	10	10	10	10	10	10	10	15	40	85	85	85	85	85	85	85	85	85		
				8	10	10	10	10	10	10	10	10	15	40	85	85	85	85	85	85	85	85	85		
				10	10	10	10	10	10	10	10	10	15	40	85	85	85	85	85	85	85	85	85		
				12,5	3	3		3	3	3	3	3	4	5	85	85	85	85	85	85	85	85	85		
				16	3	3		3	3	3	3	3	4	5			70	70	70	70	70	70	70		
				20	3	3		3	3	3	3	3	4	5			55 ¹	55	55	55	55	55	55		
				25	3	3		3	3	3	3	3	4	5			50 ¹	50	50	50	50	50	50		
				32	3	3			3	3	3	3	4	5			50 ¹	50	50	50	50	50	50		
				40	3	3			3	3	3	3	4	5			50 ¹	50 ¹	50	50	50	50	50		
				50	3	3			3	3	3	3	4	5			50 ¹	50 ¹	50	50	50	50	50		
				63	3	3				3	3	3	4	5			50 ¹	50 ¹	50 ¹	50	50	50	50		
				80						3	3 ¹	4	5				50 ¹	50 ¹	50 ¹	50	50	50	50		
				100								4	5						50 ¹	50 ¹	50 ¹	50 ¹	50		
				125																50 ¹	50 ¹	50 ¹	50		
				160																	50 ¹	50 ¹	50		
	EL	160	10								3	4	50	50	50	50	50	50	50	50	50				
			25								3	4		50	50	50	50	50	50	50	50				
			63								3	4						50	50	50	50				
			100								3	4									50				
			160								3	4									50				

¹ Значение действительно, только если со стороны питания установлены автоматические выключатели с магнитным расцепителем

² Значение действительно только для расцепителей PR232/P, PR331/P и PR332/P

³ Доступно только при I_n ≤ 1250 А

1001

3 Координация устройств защиты

МССВ - XT3 при 415 В

				Сторона питания	XT3			XT4				XT4			T4			
Исполнение				N, S			N, S, H, L, V				N, S, H, L, V			N, S, H, L, V		N, S, H, L, V		
Расцепитель				TM, M			TM, M				EL			EL				
Сторона нагрузки	Типоразмер			250			160		250			160		250	320			
				I _n [A]	160	200	250	125	160	200	225	250	100	160	250	320		
	XT3	N S	TM	250	63	3	4	5	7 ¹	7	7	7	7	7	7	7		
					80	3 ¹	4	5		7 ¹	7	7	7		7	7	7	
					100		4 ¹	5		7 ¹	7 ¹	7 ¹	7		7	7	7	
					125					7 ¹	7 ¹				7	7		
					160											7	7	
					200												7	
250																		

¹ Значение действительно, только если со стороны питания установлены автоматические выключатели с магнитным расцепителем

² Значение действительно только для расцепителей PR232/P, PR331/P и PR332/P

³ Доступно только при I_n ≤ 1250 A

МССВ - XT4 - T4 при 415 В

				Сторона питания	T5						T6						T7												
Исполнение				Расцепитель				N, S, H, L, V						N, S, H, L						S, H, L, V ¹									
								TM			EL			TM, M			EL			EL									
Сторона нагрузки	Типоразмер			400		630		400		630		630		800		630		800		1000		800		1000		1250		1600	
				320	400	500	320	400	630	630	800	630	800	1000	800 ²	1000 ²	1250 ²	1600 ²											
XT4	N S H L V	TM	160	n [A]	320	400	500	320	400	630	630	800	630	800	1000	800 ²	1000 ²	1250 ²	1600 ²										
				16																									
				20																									
				25																									
				32																									
				40																									
				50																									
				63																									
				80																									
				100		50		50	50																				
				125				50	50																				
				160				50	50																				
		250	200	200				50	50																				
				225	225					50																			
					250	250					50																		
EL	160	40	50	50		50	50																						
			63	50	50		50	50																					
				100	50	50		50	50																				
					160	50	50		50	50																			
T4	250	320	320				50																						

¹ Доступно только при I_n ≤ 1250 A

² Значение действительно только для расцепителей PR232/P, PR331/P и PR332/P

3 Координация устройств защиты

T5						T6					T7			
N, S, H, L, V						N, S, H, L					S, H, L, V ¹			
TM			EL			TM, M		EL			EL			
400	630		400	630		630	800	630	800	1000	800	1000	1250	1600
320	400	500	320	400	630	630	800	630	800	1000	800 ²	1000 ²	1250 ²	1600 ²
25	25	25	25	25	25	T	T	T	T	T	T	T	T	T
25	25	25	25	25	25	T	T	T	T	T	T	T	T	T
25	25	25	25	25	25	40	T	40	T	T	T	T	T	T
20	20	20	20	20	20	36	T	36	T	T	T	T	T	T
		20	20	20	20	36	T	36	T	T	T	T	T	T
			20	20	20	30	T	30	T	T	T	T	T	T
			20	20	20	30	40	30	40	40	T	T	T	T

МССВ - T5 при 415 В

		Сторона питания		T6					T7			
		Исполнение		N, S, H, L					S, H, L, V ¹			
		Расцепитель		TM, M		EL			EL			
		Типоразмер		630	800	630	800	1000	800	1000	1250	1600
Сторона нагрузки		I _n [A]		630	800	630	800	1000	800 ²	1000 ²	1250 ²	1600 ²
T5	N S H L V	TM	400	320	30	30	30	30	T	T	T	T
				400		30		30	T	T	T	T
			630	500				30	T	T	T	T
		EL	400	320	30	30	30	30	T	T	T	T
				400	30	30	30	30	T	T	T	T
			630	630				30	T	T	T	T

¹ Доступно только при I_n ≤ 1250 А

² Значение действительно только для расцепителей PR232/P, PR331/P и PR332/P

МССВ - T6 при 415 В

			Сторона питания		T7			
Исполнитель					S, H, L, V ¹			
			Расцепитель		EL			
			Типоразмер		800	1000	1250	1600
Сторона нагрузки			I _n [A]		800 ²	1000 ²	1250 ²	1600 ²
T6	N S H L V	TM	630	630			40	40
			800	800			40	40
		EL	630	630	40	40	40	40
			800	800	40	40	40	40
			1000	1000			40	40

¹ Доступно только при I_n ≤ 1250 А, максимальное значение тока селективности: 15 кА

² Значение действительно только для расцепителей PR232/P, PR331/P и PR332/P

3 Координация устройств защиты

ACB - MCCB при 415 В

Сторона питания		E1.2			E2.2				E4.2			E6.2	
Исполнение		B	N	L	B	N	S	H	S	H	V	H	V
Сторона нагрузки	Расцепитель		EL			EL				EL			
	Типоразмер	800 1000 1250 1600	800 1000 1250 1600	1000 1250 1600 2000 2500	1600 2000 2500	1000 1250 1600 2000 2500	800 1000 1250 1600 2000 2500	800 1000 1250 1600 2000 2500	4000 4000	3200 4000	3200 4000	4000 5000 6300	3200 4000 5000 6300
XT1	B	TM	160	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	C			T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	N			T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	S			T	42	T	T	T	T	T	T	T	T
	H			T	42	T	T	55	65	T	T	T	T
XT2	N	TM,EL	160	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	S			T	42	T	T	T	T	T	T	T	T
	H			T	42	T	T	55	65	T	T	T	T
	L			T	42	T	T	55	65	100	T	100	100
	V			T	42	T	T	55	65	100	T	100	100
XT3	N	TM	250	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	S			T	42	T	T	T	T	T	T	T	T
XT4	N	TM,EL	160 250	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	S			T	42	T	T	T	T	T	T	T	T
	H			T	42	T	T	55	65	T	T	T	T
	L			T	42	T	T	55	65	100	T	100	100
	V			T	42	T	T	55	65	100	T	100	100
T4	N	TM,EL	320	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	S			T	42	T	T	T	T	T	T	T	T
	H			T	42	T	T	55	65	T	T	T	T
	L			T	42	T	T	55	65	100	T	100	100
	V			T	42	T	T	55	65	100	T	100	100
T5	N	TM,EL	400 630	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	S			T	42	T	T	T	T	T	T	T	T
	H			T	42	T	T	55	65	T	T	T	T
	L			T	42	T	T	55	65	100	T	100	100
	V			T	42	T	T	55	65	100	T	100	100
T6	N	TM,EL	630 800 1000	T	T	15	T	T	T	T	T	T	T
	S			T	42	15	T	T	T	T	T	T	T
	H			T	42	15	T	55	65	T	T	T	T
	L			T	42	15	T	55	65	T	T	T	T
	V			T	42	15	T	55	65	T	T	T	T
T7	S	EL	800 1000 1250 1600	T	42	15	T	55	65	T	T	T	T
	H			T	42	15	T	55	65	T	T	T	T
	L			T	42	15	T	55	65	100	T	100	100
	V			T	42	15	T	55	65	100	T	100	100
	V ²			T	42	15	T	55	65	100	T	100	100







Значения в таблице действительны только для автоматических выключателей с расцепителями PR121/P, PR122/P и PR123/P

¹ Автоматический выключатель Emax L только с расцепителями PR122/P and PR123/P

² Доступно только при $I_n \leq 1250$ A

3 Координация устройств защиты

MCCB - Tmax XT1, XT2 при 400/415 В

				Сторона питания	T4			T5			T6			
Исполнение		Расцепитель	L											
			Типоразмер	PR 223EF ¹						PR223EF				
				250	320	400		630	800					
Сторона нагрузки				I _n [A]	160	250	320	320	400	630	630	800		
	XT1	B, C, N	TM	160	16-100	50	50	50	50	50	50			
125						50	50	50	50	50				
160						50	50	50	50	50				
	XT2	N,S,H,L	TM, EL	160	10-100	75 ²	75 ²	75 ²	85	85	85	85	85	
					125		75 ²	75 ²	85	85	85	85	85	85
					160		75 ²	75 ²	85	85	85	85	85	85

¹ Расцепитель должен иметь вспомогательное питание и задержка срабатывания должна быть включена (положение ON).

² Выберите наименьшее значение из указанных в зависимости от отключающей способности автоматического выключателя со стороны питания.

MCCB - Tmax T4, T5, T6 при 400/415 В

				Сторона питания	T4		T5			T6					
Исполнение				Расцепитель		L									
						PR223EF									
				Типоразмер		250		320		400		630		800	
Сторона нагрузки				I _n [A]		250	320	320	400	630	630	800	800		
T4	L	PR223EF	250	160											
				250											
				320											
T5	L	PR223EF	400	320											
				400											
				630											
T6	L	PR223EF	630												
			800												

Таблица действительна для расцепителей со вспомогательным источником питания, подключенным через экранированную витую пару.

3 Координация устройств защиты

3.1 Таблицы резервирования

В приведенных в данном разделе таблицах указано значение тока КЗ (в кА), до которого обеспечивается резервная защита для выбранной комбинации автоматических выключателей в диапазоне напряжений от 240 до 415 В. В данных таблицах рассматриваются все возможные комбинации автоматических выключателей в литом корпусе Tmax XT/Tmax T, а также комбинации вышеупомянутых автоматических выключателей и модульных выключателей АББ.

Примечания для правильного применения таблиц координации:

Tmax XT при 415В перем. тока	
Исполнение	Icu [кА]
B	18
C	25
N	36
S	50
H	70
L	120
V	150

Tmax XT при 415В перем. тока	
Исполнение	Icu [кА]
B	16
C	25
N	36
S	50
H	70
L (для T2)	85
L (для T4-T5)	120
L (для T6)	100
V (для T7)	150

V 200	
Emax при 415В перем. тока	
Исполнение	Icu [кА]
B	42
C	25
N	65
S	75
H	100
L	150
X	200

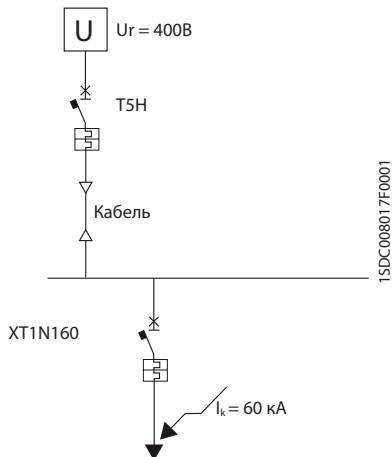
Обозначения

МССВ - автоматический выключатель в литом корпусе АСВ - воздушный автоматический выключатель ТМ = термоманитный расцепитель -ТМД (Tmax) -ТМА (Tmax) М = магнитный расцепитель - MF (Tmax) - MA (Tmax) EL = электронный расцепитель	МСВ - модульный автоматический выключатель: В = характеристика срабатывания ($I_3=3...5I_n$) С = характеристика срабатывания ($I_3=5...10I_n$) D = характеристика срабатывания ($I_3=10...20I_n$) K = характеристика срабатывания ($I_3=8...14I_n$) Z = характеристика срабатывания ($I_3=2...3I_n$)
--	---

3 Координация устройств защиты

Пример:

Из таблицы координации на странице 148 можно сделать следующий вывод: автоматические выключатели типа T5H и XT1N скоординированы в резервной защите до значения 65 кА (более высокое значение, чем значение тока КЗ, измеренное в точке подключения, как показано на рисунке), хотя максимальная отключающая способность автоматического выключателя T1N при напряжении 415 В составляет 36 кА.



3 Координация устройств защиты

MCB - MCB при 240 В (двухполюсные автоматические выключатели)

Сторона нагрузки	Характеристика срабатывания	I _{cu} [kA]	Сторона питания	S200	S200M	S200P		S280	S290	S800
				B - C	B - C	B - C		B - C	C	B - C
				I _n [A]	I _n [A]	0,5..25	32..63	80, 100	80..125	10..125
SN201L	B,C	6	2..40	20	25	40	25	15	15	100
SN201	B,C,D	10	2..40	20	25	40	25	15	15	100
SN201M	B,C	10	2..40	20	25	40	25	15	15	100
S200	B,C,K,Z	20	0,5..63		25	40	25			100
S200M	B,C	25	0,5..63			40				100
S200P	B,C, D,K,Z	40	0,5..25							100
		25	32..63							100
S280	B,C	20	80, 100							
S290	C,D	25	80..125							

MCCB при 415 В - MCB при 240 В

Сторона нагрузки	Характеристика срабатывания	I _{cu} [kA]	Сторона питания	S200	S200M	S200P		S280	S290	S800N	S800S
				B - C	B - C	B - C		B - C	C	B - C - D	B - C - D - K
				I _n [A]	I _n [A]	0,5..25	32..63	80, 100	80..125	25..125	25..125
S200	B,C,K,Z	10	0,5..63		15	25	15		15	36	50
S200M	B,C	15	0,5..63			25				36	50
S200P	B,C, D,K,Z	25	0,5..25							36	50
		15	32..63							36	50
S800N	B,C,D	36	25..125								
S800S	B,C,D,K	50	25..125								

3 Координация устройств защиты

МССВ - МСВ при 415 В

			Сторона питания	ХТ1		ХТ2	ХТ3	ХТ4	ХТ1	ХТ2	ХТ3	ХТ4	ХТ1	ХТ2	ХТ4	ХТ2	ХТ4	ХТ2	ХТ4
Сторона нагрузки	Характ. срабатыв.	I _n [A]	I _{cu} [кА]	В	С	N			S				H			L		V	
				18	25	36			50				70			120		150	
S200	B,C,K,Z	0,5..10 13..63	10	18	25	30	36	36 16	36	30	36	40 16	40	30	40	40	40	40	40
S200M	B,C, D,K,Z	0,5..10 13..63	15	18	25	30	36	36 25	36	30	50	40 25	40	30	70 60	40	85 60	40	85 60
S200P	B,C, D,K,Z	0,5..10	25			30	36	36	36	30	50	40	40	30	70	40	85	40	85
		13..25				30	36	30	36	30	50	30	40	30	60	40	60	40	60
		32..63		15	18	25	30	36	25	36	30	50	25	40	30	60	40	60	40
S 800N	B,C,D	10..125	36												70	70	85	120	85
S 800S	B,C,D,K	10..125	50												70	70	85	120	85

3 Координация устройств защиты

МССВ - МССВ при 415 В

		Сторона питания	XT1	XT2	XT3	XT4	T5	T6	XT1	XT2	XT3	XT4	T5	T6	T7	
		Исполнение	C	N						S						
Сторона нагрузки	Характ. срабат.	I _{сш} [кА]	25	36						50						
XT1	B	16	25	36	36	36	36	30	30	36	50	50	50	36	36	36
XT1	C	25		36	36	36	36	36	36	40	50	50	50	50	50	50
XT1	N	36								50	50	50	50	50	50	50
XT2											50	50	50	50	50	50
XT3												50	50	50	50	50
XT4													50	50	50	40
T5														50	50	50
T6															50	40
XT1	S	50														
XT2																
XT3																
XT4																
T5																
T6																
XT1	H	70														
XT2																
XT4																
T5																
T6																
XT2																
XT4	L	85														
T5		120														

¹ 120 кА для Т7

3 Координация устройств защиты

	XT1	XT2	XT4	T5	T6	T7	XT2	XT4	T5	T6	T7	XT2	XT4	T5
	H						L					V		
	70						120			100 ¹		150		200
	40	70	50	40	40	40	70	65	50	50		70	70	70
	50	70	65	65	65	50	70	70	70	70	50	70	70	70
	65	70	65	65	65	50	70	70	70	70	70	70	70	70
		70	65	65	65	65	100	100	100	85	85	120	120	120
			65	65	65	50		100	100	100	50		120	120
			65	65	65	50		100	100	65	65		120	120
				65	65	50			100	85	65			120
					65	40				70	50			
	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
			70	70	70	70	100	100	100	85	85	150	130	130
			70	70	70			100	100	100			150	150
			70	70	70	70		100	100	85	85		150	150
				70	70	70			100	85	85			150
					70					85	85			
							120	120	120	85	85	150	150	150
								120	120	100	100		150	150
									120	100	100		180	180
										100	85			
												150	150	150
													150	150
														200

3 Координация устройств защиты

3.4 Таблицы координации между автоматическими выключателями и выключателями-разъединителями

В приведенных таблицах указано значение тока КЗ (в кА), до которого выполняется условие резервирования защиты для предварительно выбранной комбинации автоматического выключателя и выключателя-разъединителя в диапазоне напряжений от 380 до 415 В. В данных таблицах рассматриваются возможные комбинации автоматических выключателей в литом корпусе серии Tmax XT и Tmax T и представленных выше выключателей-разъединителей.

			Сторона нагрузки	XT1D	XT3D	XT4D	T4D	T5D		T6D	
			I _{cw} [кА]	2	3,6	3,6	3,6	6		15	
Сторона питания	Исполнение	I _{cu}	I _{th} I _{lu}								
XT1	B	18	160	18	18	18	18	18	18	18	
	C	25		25	25	25	25	25	25	25	
	N	36		36	36	36	36	36	36	36	
	S	50		50	50	50	50	50	50	50	
	H	70		70	70	70	70	70	70	70	
XT2	N	36	160	36	36	36	36	36	36	36	
	S	50		50	50	50	50	50	50	50	
	H	70		70	70	70	70	70	70	70	
	L	120		120	120	120	120	120	120	120	
	V	200		150	150	150	150	150	150	150	
XT3	N	36	250		36	36	36	36	36	36	
	S	50			50	50	50	50	50	50	
XT4	N	36	160 250		36	36	36	36	36	36	
	S	50			50	50	50	50	50	50	
	H	70			70	70	70	70	70	70	
	L	120			120	120	120	120	120	120	
	V	150			150	150	150	150	150	150	
T4	N	36	320		36 ¹	36 ¹	36	36	36	36	
	S	50			50 ¹	50 ¹	50	50	50	50	
	H	70			70 ¹	70 ¹	70	70	70	70	
	L	120			120 ¹	120 ¹	120	120	120	120	
	V	200			200 ¹	200 ¹	200	200	200	200	
T5	N	36	400 630					36 ¹	36	36	
	S	50						50 ¹	50	50	
	H	70						70 ¹	70	70	
	L	120						120 ¹	120	120	
	V	200						200 ¹	200	200	
T6	N	36	630 800 1000							36 ¹	36 ¹
	S	50								50 ¹	50 ¹
	H	70								70 ¹	70 ¹
	L	100								100 ¹	100 ¹
T7	S	50	800 1000 1250 1600								
	H	70									
	L	120									
	V ²	150									

¹ Значение действительно только при I1 (MCCB) ≤ I_{th} (MCS)

² Только для T7 1000 и T7 1250

3 Координация устройств защиты

Примечания для правильного применения таблиц координации:

Тmax ХТ при 415В перем. тока	
Исполнение	Icu [кА]
B	18
C	25
N	36
S	50
H	70
L	120
V	150

Тmax ХТ при 415В перем. тока	
Исполнение	Icu [кА]
B	16
C	25
N	36
S	50
H	70
L (для T2)	85
L (для T4-T5)	120
L (для T6)	100
V (для T7)	150
V	200

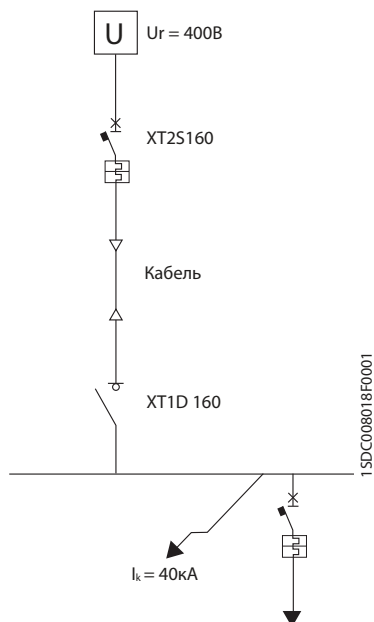
	T7D		
	20		
	1000	1250	1600
	18	18	18
	25	25	25
	36	36	36
	50	50	50
	70	70	70
	36	36	36
	50	50	50
	70	70	70
	120	120	120
	150	150	150
	36	36	36
	50	50	50
	36	36	36
	50	50	50
	70	70	70
	120	120	120
	150	150	150
	36	36	36
	50	50	50
	70	70	70
	120	120	120
	200	200	200
	36	36	36
	50	50	50
	70	70	70
	120	120	120
	200	200	200
	36	36	36
	50	50	50
	70	70	70
	100	100	100
	50	50	50
	70	70	70
	120	120	120
	150 ²	150 ²	150 ²

1SDC008037R0201

3 Координация устройств защиты

Пример:

Из таблицы координации на странице 154-155 видно, что автоматический выключатель XT2S160 способен защитить выключатель-разъединитель XT1D160 от тока КЗ до 50 кА (более высокое значение, чем значение тока КЗ в указанной на рисунке точке КЗ). Также выполняется условие защиты от перегрузки, поскольку номинальный ток автоматического выключателя не превышает ток выключателя-разъединителя.



3 Координация устройств защиты

Пример:

Чтобы сделать правильный выбор устройств защиты, выключатель-разъединитель надо защитить от перегрузок аппаратом с номинальным током не больше тока выключателя-разъединителя, а в условиях КЗ необходимо удостовериться, что:

$$I_{cw} \geq I_k$$

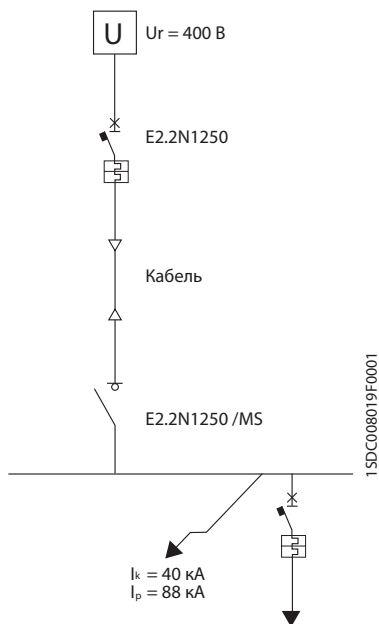
$$I_{cm} \geq I_p.$$

Поэтому, с учетом электрических параметров отдельных аппаратов, выбирается выключатель-разъединитель Emax E2N1250/MS и автоматический выключатель E1.2B1250.

Т.е.:

$$I_{cw}(E2.2N /MS) = 66 \text{ кА} > 45 \text{ кА}$$

$$I_{cm}(E2.2N /MS) = 145 \text{ кА} > 100 \text{ кА}$$



4 Специальные области применения

4.1 Электрические сети постоянного тока

Основные области применения сетей постоянного тока:

- Аварийное электропитание или вспомогательные системы:
постоянный ток применяется из-за необходимости использования резервного источника энергии, который позволяет питать такие важные системы, как системы защиты, вспомогательного освещения, аварийной сигнализации, больничные и промышленные системы, системы центров обработки данных и т.д., например, от аккумуляторных батарей.
- Электрическая тяга:
преимущества, предлагаемые при использовании двигателей постоянного тока, такие как автоматическое регулирование и одиночные линии питания, приводят к широкому применению постоянного тока в сети железных дорог, подземных рельсовых путей, трамваях, лифтах и общественном транспорте в целом.
- Промышленные установки особого назначения:
существует ряд электролитических технологических установок и систем, для которых необходимо электроснабжение постоянного тока. Типичное применение автоматических выключателей включает защиту кабелей, аппаратов и работу электродвигателей.

Факторы, учитываемые при отключении постоянного тока

Отключение мощных сетей постоянного тока является более сложной задачей, чем сетей переменного тока. Переменный ток уменьшается до нуля каждый полупериод, что соответствует самопроизвольному гашению дуги, возникающей при размыкании цепи. Постоянный ток не обладает такой характеристикой, и поэтому для гашения дуги необходимо уменьшить ток до нуля.

Время гашения постоянного тока, при всех прочих равных условиях, пропорционально постоянной времени для цепи $T = L/R$.

Отключение тока должно происходить постепенно без его резкого разрыва, что может вызвать большие перенапряжения. Этого можно добиться, растянув и охладив дугу так, чтобы ввести более высокое сопротивление в цепь.

Для увеличения эффективности применения автоматических выключателей при возникновении КЗ применяют схемы с последовательным соединением полюсов выключателей, учитывая напряжение установки и электрические характеристики цепи. Отключающая способность коммутирующего аппарата повышается с увеличением количества отключающих цепь контактов, и поэтому сопротивление дуги становится больше. Это также означает, что при возрастании напряжения питания установки должно возрастать и количество выключателей тока, а значит, последовательно подключенных выключателей.

4 Специальные области применения

Расчет тока короткого замыкания аккумуляторной батареи

Ток короткого замыкания на выводах аккумуляторной батареи может быть указан изготовителем батареи или рассчитан по следующей формуле:

$$I_k = \frac{U_{\text{Max}}}{R_i}$$

где:

- U_{Max} - максимальное напряжение заряженной батареи (напряжение холостого хода);
- R_i - внутреннее сопротивление элементов батареи.

Внутреннее сопротивление обычно указывается изготовителем, но его можно рассчитать по разрядным характеристикам, получаемым посредством испытания, как подробно описано в Стандарте МЭК 60896 - 1 или МЭК 60896 - 2.

Например, батарея напряжением 12,84 В и внутренним сопротивлением 0,005 Ом создает на выводах ток КЗ 2568 А.

В условиях короткого замыкания ток КЗ в начальные моменты возрастает очень быстро, достигает пикового значения и затем снижается вместе с разрядным напряжением батареи. Естественно, что такое высокое значение тока КЗ вызывает сильный нагрев внутри батареи из-за внутреннего сопротивления, что может привести к взрыву. Поэтому очень важно предотвратить и/или свести к минимуму токи КЗ в системах постоянного тока, питаемых от аккумуляторных батарей.

Критерии выбора автоматических выключателей

Для правильного выбора автоматического выключателя с целью защиты сети постоянного тока необходимо учесть следующие факторы:

- 1 ток нагрузки, согласно которому может быть определен размер выключателя, и уставка срабатывания по сверхтоку термоманитного расцепителя;
- 2 номинальное напряжение установки, согласно которому определяется количество подключаемых последовательно полюсов, позволяя таким образом повысить отключающую способность аппарата;
- 3 на выбор выключателя влияет ожидаемый ток короткого замыкания в установке;
- 4 тип электрической сети, особенно тип заземления.

Примечание: при использовании четырехполюсных автоматических выключателей нейтраль должна иметь уставку на 100%.

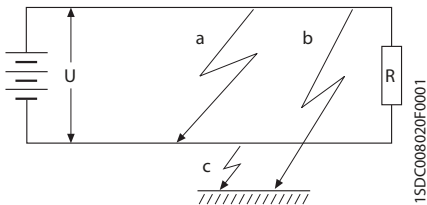
Типы электрических сетей постоянного тока

Сети постоянного тока могут быть реализованы:

- с двумя полюсами, изолированными от земли;
- с одним полюсом, подключенным к земле;
- со средней точкой, подключенной к земле.

4 Специальные области применения

Сеть с двумя полюсами, изолированными от земли



- Короткое замыкание а: короткое замыкание с пренебрежимо малым полным сопротивлением между двумя полюсами создает ток КЗ, согласно которому оба полюса вносят свой вклад в полное напряжение, по которому должна выбираться отключающая способность автоматического выключателя.
- Короткое замыкание b: короткое замыкание между полюсом и землей не имеет последствий с точки зрения работы установки.
- Короткое замыкание с: вновь короткое замыкание между полюсом и землей не имеет последствий с точки зрения работы установки.

В изолированных сетях необходимо установить устройство, способное сигнализировать о наличии короткого замыкания полюса на землю для его ликвидации. В худшем случае, когда происходит короткое замыкание второго полюса, выключатель, возможно, должен будет отключить ток КЗ при полном напряжении, приложенном к одному полюсу, и поэтому его отключающей способности может быть недостаточно. В сетях с двумя полюсами, изолированными от земли, уместно разделить количество полюсов выключателя, необходимых для отключения тока в цепи каждого полюса (положительного и отрицательного) таким образом, чтобы получить независимые цепи.

Необходимо использовать следующие схемы подключения:

Модульные автоматические выключатели S800 UC - S280 UC

ИЗОЛИРОВАННАЯ СЕТЬ			
Номинальное напряжение (Un)		≤ 500	≤ 750
Защита + функция отключения			
S800S UC	In = 10...125 A	50	50

ИЗОЛИРОВАННАЯ СЕТЬ			
Номинальное напряжение (Un)		≤ 440	
Защита + функция отключения			
S280 UC	In = 0,5...2 A	50	
	In = 3...40 A	6	
	In = 50...63 A	4,5	

4 Специальные области применения

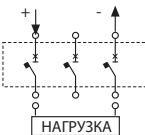
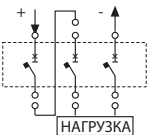

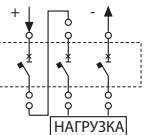
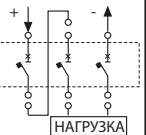
Автоматические выключатели в литом корпусе Tmax XT

ИЗОЛИРОВАННАЯ СЕТЬ*		
Номинальное напряжение (Un)		
		≤ 250
Защита + функция отключения		
		≤ 500
XT1	B	18
	C	25
	N	36
	S	50
	H	70
XT2	N	36
	S	50
	H	70
	L	120
	V	150
XT3	N	36
	S	50
XT4	N	36
	S	50
	H	70
	L	120
	V	150

*Для подобного типа соединения полюсов возможность двойного замыкания на землю считается маловероятной.

4 Специальные области применения

Автоматические выключатели в литом корпусе Tmax T

ИЗОЛИРОВАННАЯ СЕТЬ						
Номинальное напряжение (Un)		≤ 250		≤ 500		≤ 750
Защита + функция отключения						
T5 400/630	N	36		25		16
	S	50		36		25
	H	70		50		36
	L	100		70		50
	V	150		100		70
T6 630/800	N	36		20	16	
	S	50		35	20	
	H	70		50	36	
	L	100		65	50	

Полярность подключения источника к автоматическому выключателю не имеет значения.

* для подобного типа соединения полюсов возможность двойного замыкания на землю считается маловероятной.

4 Специальные области применения

Воздушные автоматические выключатели Emax

ИЗОЛИРОВАННАЯ СЕТЬ ⁽¹⁾						
Номинальное напряжение (Un)			≤ 500	≤ 750	≤ 1000	≤ 1000
Функция отключения			■	■	■	■
Защита			■	■	■	■
PR122/DC			■	■	■	■
PR123/DC			■	■	■	■
Icu ⁽²⁾			(кА)	(кА)	(кА)	(кА)
E2	B	800	35	25	25	25
		1000				
		1250				
		1600				
E3	N	1600	50	25	40	25
		800				
		1000				
		1250				
		1600				
	H	2000	65 ⁽³⁾	40	50	40
		2500				
		2500				
E4	S	1600	75	65	65	50
		2000				
		2500				
		3200				
	H	3200	100	65	65	65
E6	H	3200	100	65	65	65
		4000				
		5000				

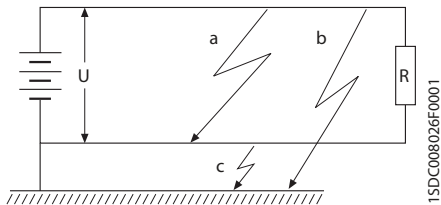
⁽¹⁾ для подобного типа соединения полюсов возможность двойного замыкания на землю считается маловероятной.

⁽²⁾ Icu с L/R = 15 мс согласно Стандарту МЭК 60946-2. Для получения информации о Icu с L/R = 5 мс и L/R = 30 мс обратитесь в компанию АББ.

⁽³⁾ 85 кА только при подключении питания к нижним выводам автоматического выключателя.

4 Специальные области применения

Сеть с одним полюсом, подключенным к земле



- Короткое замыкание а: короткое замыкание между двумя полюсами создает ток КЗ, формируемый обоими полюсами источника с полным напряжением U, по которому выбирается отключающая способность выключателя.
- Короткое замыкание b: короткое замыкание на одном полюсе, не подключенном к земле, создает ток КЗ, который вызывает срабатывание защиты от сверхтока, величина тока определяется сопротивлением заземления.
- Короткое замыкание с: короткое замыкание между полюсом, подключенным к земле, и землей не имеет последствий с точки зрения работы установки.

В сети с одним полюсом, подключенным к земле, все полюсы выключателя, нуждающиеся в защите, должны быть подключены последовательно на незаземленной полярности. Если требуется полное отключение, следует выделить еще один полюс выключателя для заземленного полюса.

Необходимо использовать следующие схемы подключения с разделением цепей:

- Модульные автоматические выключатели S800 UC - S280 UC

СЕТЬ С ОДНИМ ЗАЗЕМЛЕННЫМ ПОЛЮСОМ				
Номинальное напряжение (Un)		≤ 250	≤ 500	≤ 750
Функция защиты				
S800S UC	In = 10...125 A	50	50	50

СЕТЬ С ОДНИМ ЗАЗЕМЛЕННЫМ ПОЛЮСОМ				
Номинальное напряжение (Un)		≤ 220	≤ 440	
Функция защиты				
Защита + функция отключения				
S280 UC	In = 0,5...2 A	50	50	50
	In = 3...40 A	6	10	6
	In = 50...63 A	4,5	6	4,5

4 Специальные области применения

Автоматические выключатели в литом корпусе Tmax XT

СЕТЬ С ОДНИМ ЗАЗЕМЛЕННЫМ ПОЛЮСОМ		
Номинальное напряжение (Un)		
		≤ 250
		≤ 500
Защита + функция отключения		
Функция защиты		
XT1	B	18
	C	25
	N	36
	S	50
	H	70
XT2	N	36
	S	50
	H	70
	L	120
	V	150
XT3	N	36
	S	50
XT4	N	36
	S	50
	H	70
	L	120
	V	150

4 Специальные области применения

- Автоматические выключатели в литом корпусе Tmax T

СЕТЬ С ОДНИМ ПОЛЮСОМ, ПОДКЛЮЧЕННЫМ К ЗЕМЛЕ						
Номинальное напряжение (Un)		≤ 250		≤ 500		≤ 750
Защита + функция отключения						
Функция отключения						
T5 400/630	N	36		25		16
	S	50		36		25
	H	70		50		36
	L	100		70		50
	V	150		100		70
T6 630/800	N	36		20		16
	S	50		35		20
	H	70		50		36
	L	100		65		50

4 Специальные области применения

- Воздушные автоматические выключатели Emax

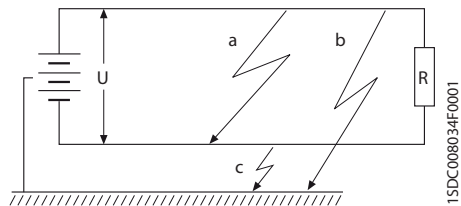
СЕТЬ С ЗАЗЕМЛЕННЫМ ПОЛЮСОМ ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ПОЛЯРНОСТИ ⁽¹⁾						
Номинальное напряжение (Un)			≤ 500 ⁽²⁾			
Функция отключения			■		■	
Защита			■		■	
PR122/DC			■		■	
PR123/DC			■		■	
Тип КЗ			a	b	a	b
Последовательность полюсов, затронутых КЗ			3	2	4	3
Icu ⁽³⁾			(кА)	(кА)	(кА)	(кА)
E2	B	800	35	20	35	35
		1000				
		1250				
		1600				
	N	1600	50	25	50	50
E3	N	800	60	30	60	60
		1000				
		1250				
		1600				
		2000				
		2500				
	H	1600	65 ⁽⁴⁾	40	65 ⁽⁴⁾	65 ⁽⁴⁾
		2000				
		2500				
E4	S	1600	75	50	100	100
		2000				
		2500				
		3200				
	H	3200	100	65	100	100
E6	H	3200	100	65	100	100
		4000				
		5000				

(1) для получения информации о сетях с заземлением полюса с положительной полярностью обратитесь в компанию АББ.
(2) для получения данных по более высоким значениям напряжения обратитесь в компанию АББ.
(3) Icu с L/R = 15 мс в соответствии со Стандартом МЭК 60946-2. Для получения информации о Icu с L/R = 5 мс и L/R = 30 мс обратитесь в компанию АББ.
(4) 85 кА только при подаче питания к нижним выводам автоматического выключателя.

Заземление осуществляется со стороны выводов автоматического выключателя, на которые подается питание.

4 Специальные области применения

Сеть со средней точкой, подключенной к земле



- Короткое замыкание а: короткое замыкание между двумя полюсами создает ток КЗ, формируемый обоими полюсами источника с полным напряжением U , по которому выбирается отключающая способность выключателя.
- Короткое замыкание b: короткое замыкание между полюсом и землей создает ток КЗ меньший, чем ток КЗ между двумя полюсами, поскольку к нему прикладывается напряжение, равное $0,5 U$.
- Короткое замыкание с: короткое замыкание в этом случае аналогично предыдущему случаю, но относится к полюсу с отрицательной полярностью.

В сети со средней точкой, подключенной к земле, оба полюса должны проходить через автоматический выключатель.

Необходимо использовать следующие схемы подключения:

- Модульные автоматические выключатели S280 UC

СЕТЬ СО СРЕДНЕЙ ТОЧКОЙ, ПОДКЛЮЧЕННОЙ К ЗЕМЛЕ		
Номинальное напряжение (U_n)	≤ 220	
Защита + функция отключения		
S280 UC	$I_n = 0,5 \dots 2 \text{ A}$	50
	$I_n = 3 \dots 40 \text{ A}$	10
	$I_n = 50 \dots 63 \text{ A}$	6

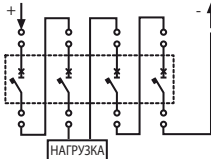
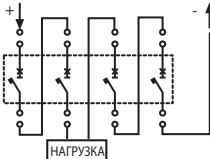
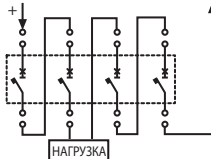
4 Специальные области применения

- Автоматические выключатели в литом корпусе Tmax XT

СЕТЬ СО СРЕДНЕЙ ТОЧКОЙ, ПОДКЛЮЧЕННОЙ К ЗЕМЛЕ			
Номинальное напряжение (Un)		≤ 250	≤ 500
Защита + функция отключения			
XT1	B	18	18
	C	25	25
	N	36	36
	S	50	50
	H	70	70
XT2	N	36	36
	S	50	50
	H	70	70
	L	120	120
	V	150	150
XT3	N	36	36
	S	50	50
XT4	N	36	36
	S	50	50
	H	70	70
	L	120	120
	V	150	150

4 Специальные области применения

- Автоматические выключатели в литом корпусе Tmax XT

СЕТЬ СО СРЕДНЕЙ ТОЧКОЙ, ПОДКЛЮЧЕННОЙ К ЗЕМЛЕ				
Номинальное напряжение (Un)		≤ 250*	≤ 500**	≤ 750
Защита + функция отключения				
T5 400/630	N	36	25	16
	S	50	36	25
	H	70	50	36
	L	100	70	50
	V	100	100	70
T6 630/800	N	36	20	16
	S	50	35	20
	H	70	50	36
	L	100	65	50

*для получения информации о применении трехфазных автоматических выключателей обратитесь в компанию АББ.
**для получения информации о применении трехфазных автоматических выключателей (T4-T5-T6) обратитесь в компанию АББ.

4 Специальные области применения

- Воздушные автоматические выключатели Emax

СЕТЬ СО СРЕДНЕЙ ТОЧКОЙ, ПОДКЛЮЧЕННОЙ К ЗЕМЛЕ														
Номинальное напряжение (Ue)			≤ 500			≤ 500			≤ 750			≤ 1000		
PR 122/DC			-			-			-			-		
PR 123/DC			■			■			■			■		
Тип КЗ			a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
Последовательные полюса, затронутые КЗ			3	2 (U/2)	1 (U/2)	4	2 (U/2)	2 (U/2)	4	2 (U/2)	2 (U/2)	4	2 (U/2)	2 (U/2)
Icu ⁽¹⁾			кА			кА			кА			кА		
E2	B	800	35	35	18	35	35	35	25	25	25	25	25	25
		1000												
		1250												
		1600												
	N	1600	50	50	25	50	50	50	40	40	40	25	25	25
25	N	800	60	60	30	60	60	60	50	50	50	35	35	35
		1000												
		1250												
		1600												
		2000												
		2500												
	H	1600	65 ⁽²⁾	65	40	65 ⁽²⁾	65 ⁽²⁾	65 ⁽²⁾	50	50	50	40	40	40
	2000													
	2500													
E4	S	1600	75	75	35	75	75	75	65	65	65	50	50	50
		2000												
		2500												
		3200												
	H	3200	100	100	50	100	100	100	65	65	65	65	65	65
E6	H	3200	100	100	65	100	100	100	65	65	65	65	65	65
		4000												
		5000												

(1) Icu с L/R = 15 мс в соответствии со Стандартом МЭК 60946-2. Для получения информации о Icu с L/R = 5 мс и L/R = 30 мс обратитесь в компанию АББ.
(2) 85 кА только при подаче питания к нижним выводам автоматического выключателя.

4 Специальные области применения

Использование коммутирующих устройств при постоянном токе

Параллельное соединение полюсов выключателя

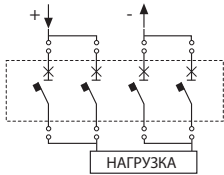
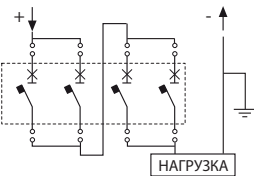
В соответствии с количеством параллельно соединенных полюсов необходимо применять коэффициенты, приведенные в следующей таблице:

Таблица 1: Поправочные коэффициенты для параллельно соединенных полюсов

количество параллельных полюсов	2	3	4 (нейтраль 100%)
понижающий коэффициент нагрузочной способности по постоянному току	0,9	0,8	0,7
нагрузочная способность по току выключателя	$1,8 \times I_n$	$2,4 \times I_n$	$2,8 \times I_n$

Внешние соединения от выводов выключателя должны выполняться пользователем таким образом, чтобы обеспечить идентичные условия протекания тока через каждый из полюсов.

В таблице ниже показано параллельное соединение полюсов с соответствующими понижающими и рабочими характеристиками в условиях КЗ для определенного типа применяемой сети.

ИЗОЛИРОВАННАЯ СЕТЬ	
параллельное соединение полюсов	электрические характеристики
	<p>Для получения данного соединения используйте четырехполюсный автоматический выключатель с расцепителями, установленными во всех полюсах.</p> <p>Для автоматического выключателя Т6 800 доступны следующие настройки:</p> <ul style="list-style-type: none">-максимальный ток в полюсе автоматического выключателя = 1440 А-мгновенное срабатывание = 14400 А (±20% допуск) <p>Максимальное напряжение установки для данного типа соединения не должно превышать 500 В пост. тока.</p> <p>Отключающая способности для разных вариантов исполнения:</p> <ul style="list-style-type: none">N= 36кА при Un< 250 В пост. тока - 20кА при Un< 500 В пост. токаS= 50кА при Un< 250 В пост. тока - 35кА при Un< 500 В пост. токаH= 70кА при Un< 250 В пост. тока - 50кА при Un< 500 В пост. токаL= 100кА при Un< 250 В пост. тока- 65кА при Un< 500 В пост. тока
СЕТЬ С ОДНИМ ПОЛЮСОМ, ПОДКЛЮЧЕННЫМ К ЗЕМЛЕ	
функция защиты без отключения земли	электрические характеристики
	<p>Для получения данного соединения используйте четырехполюсный автоматический выключатель с расцепителями, установленными во всех полюсах.</p> <p>Для автоматического выключателя Т6 800 доступны следующие настройки:</p> <ul style="list-style-type: none">-максимальный ток в полюсе автоматического выключателя = 1440 А-мгновенное срабатывание = 12960 А (±20% допуск) <p>Максимальное напряжение установки для данного типа соединения не должно превышать 500 В пост. тока.</p> <p>Отключающая способности для разных вариантов исполнения:</p> <ul style="list-style-type: none">N= 36кА при Un< 250 В пост. тока - 20кА при Un< 500 В пост. токаS= 50кА при Un< 250 В пост. тока - 35кА при Un< 500 В пост. токаH= 70кА при Un< 250 В пост. тока - 50кА при Un< 500 В пост. токаL= 100кА при Un< 250 В пост. тока- 65кА при Un< 500 В пост. тока

4 Специальные области применения


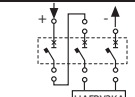
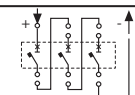
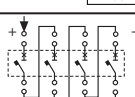
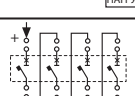

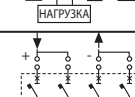
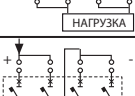
Характеристики тепловых расцепителей

Поскольку принцип действия этих расцепителей основан на явлении выделения тепла при прохождении тока через проводник, то их можно использовать как на переменном, так и на постоянном токе, при этом их характеристики на постоянном и переменном токе идентичны.

Характеристики магнитных расцепителей

Значения порога срабатывания магнитных расцепителей переменного тока, используемых для постоянного тока, надо умножить на следующий коэффициент (k_m) в зависимости от выключателя и схемы соединения:

Таблица 2: Значения коэффициента k_m

Способы соединения						
	ХТ1	ХТ2	ХТ3	ХТ4	Т5	Т6
	1,3	1,3	1,3	1,3	1,1	1,1
	1	1,15	1,15	1,15	1	1
	1	1,15	1,15	1,15	1	1
	-	-	-	-	0,9	0,9
	-	-	-	-	0,9	0,9
	-	-	-	-	0,9	0,9
	-	-	-	-	-	1
	-	-	-	-	-	0,9

4 Специальные области применения

Пример

Исходные данные:

- Сеть постоянного тока, подключенная к земле;
- Номинальное напряжение $U_r = 250$ В;
- Ток короткого замыкания $I_k = 32$ кА;
- Ток нагрузки $I_b = 230$ А.

Из Таблицы на стр. 175 выберем трехполюсный выключатель Тmax ХТЗN250 $I_n = 250$ (с двумя последовательно соединенными полюсами для полюса источника, не подключенного к земле, и один полюс для полюса источника, подключенного к земле).

Из Таблицы 2 в соответствии с выбранной схемой и выключателем Тmax ХТЗ выбираем коэффициент $k_m = 1,15$; поэтому номинальное срабатывание магнитного расцепителя произойдет при токе 2875 А (с учетом допускаемого отклонения срабатывание произойдет при значении тока между 2300 А и 3450 А).

4 Специальные области применения

4.2 Электрические сети с особыми частотами: 400 Гц и 16 2/3 Гц

При использовании стандартных серийных выключателей с переменным током с частотой, отличной от 50/60 Гц (частоты, к которым относятся номинальные характеристики устройства переменного тока) необходимо применять коэффициенты снижения номинальных параметров.

4.2.1 Электрические сети с частотой 400 Гц

При высоких частотах рабочие характеристики автоматических выключателей повторно классифицируются для учета следующих явлений:

- усиление скин-эффекта, приводящего к дополнительному нагреву проводников;
- увеличение индуктивного сопротивления, вносящего дополнительное падение напряжения на полюсах коммутационного аппарата;
- изменение частотного цикла перемагничивания (гистерезиса) и, как следствие, изменение соотношений между током катушки и создаваемого расцепителем механического усилия.

Как правило, эти явления оказывают влияние на характеристики термомангнитных расцепителей и частей автоматического выключателя, предназначенных для прерывания тока.

Для защиты сетей с частотой 400 Гц компания АББ разработала новую линейку электронных расцепителей Ekir LS/E, LSI и LSiG, которые предназначены для совместной работы с автоматическими выключателями Tmax XT.

Таблицы ниже относятся к автоматическим выключателям с термомангнитными расцепителями с отключающей способностью менее 36 кА. Как правило, это значение более чем достаточно для защиты использующих такую частоту установок, обычно характеризующихся довольно низкими токами короткого замыкания.

Как видно из приведенных данных, порог срабатывания теплового элемента (I_n) уменьшается при увеличении частоты из-за пониженной проводимости материалов и усиления сопутствующих тепловых явлений; как правило, снижение номинальных параметров составляет 10%.

И наоборот, порог срабатывания магнитного расцепителя (I_Δ) увеличивается при увеличении частоты.

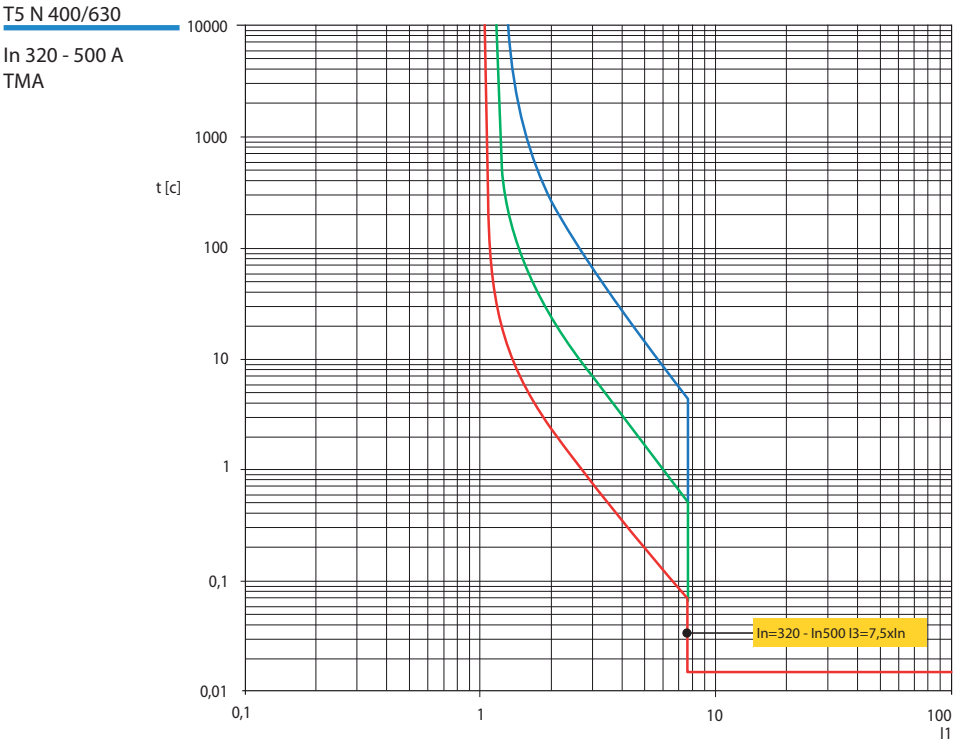
4 Специальные области применения

Таблица 1: Рабочие характеристики выключателей Tmax T5N 320-500 А TMA

T5N400/630	I1 (400Гц)			Уставка I3 (МИН = 5xIn)		
	МИН.	СРЕД.	МАКС.	I3при5xIn(50Гц)	K _m	I3при5xIn (400 Гц)
In320	201	244	288	1600	1,5	2400
In400	252	306	360	2000	1,5	3000
In500	315	382	450	2500	1,5	3750

K_m = множитель для I3 для индуцированных электромагнитных полей

Характеристические кривые срабатывания термомангнитного расцепителя



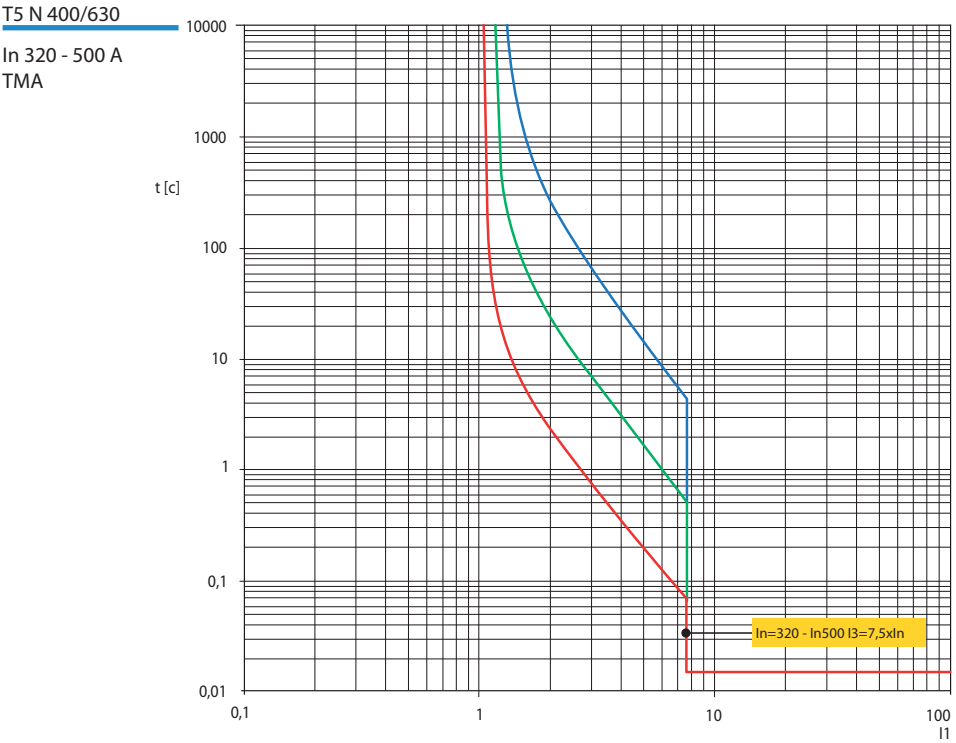
4 Специальные области применения

Таблица 2: Рабочие характеристики выключателей Tmax T5N 320-500 А TMG

T5N400/630	I1 (400Гц)			Уставка I3 (2,5...5xIn)		
	МИН.	СРЕД.	МАКС.	I3 при 2,5..5xIn (50Гц)	K _m	I3 при 2,5..5xIn (400Гц)
In320	201	244	288	800...1600	1,5	1200 ...2400
In400	252	306	360	1000...2000	1,5	1500 ...3000
In500	315	382	450	1250...2500	1,5	1875 ...3750

K_m = множитель для I3 для индуцированных электромагнитных полей

Характеристические кривые срабатывания термомангнитного расцепителя



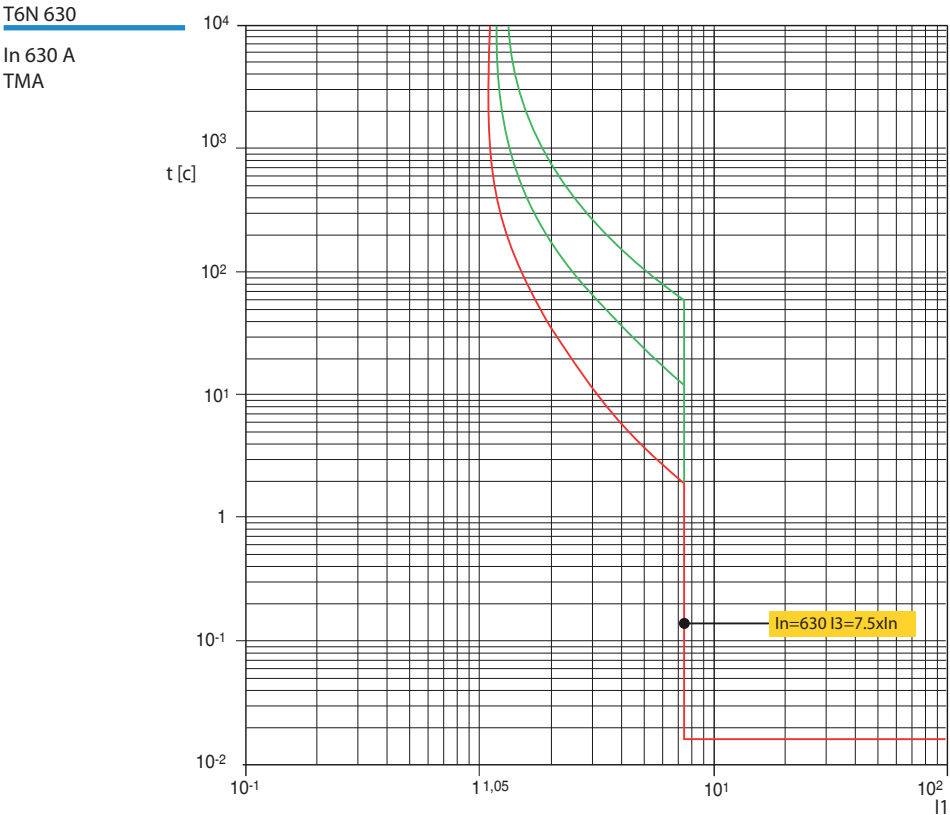
4 Специальные области применения

Таблица 3: Рабочие характеристики выключателей Tmax T6N 630 A TMA

T6N630	In630	I1 (400Гц)			I3 = 5 √10In (уставка I3=5In)		
		МИН.	СРЕД.	МАКС.	I3 (50Гц)	K _m	I3 (400Гц)
		397	482	567	3150	1,5	4725

K_m = множитель для I3 для индуцированных электромагнитных полей

Характеристические кривые срабатывания терромагнитного расцепителя



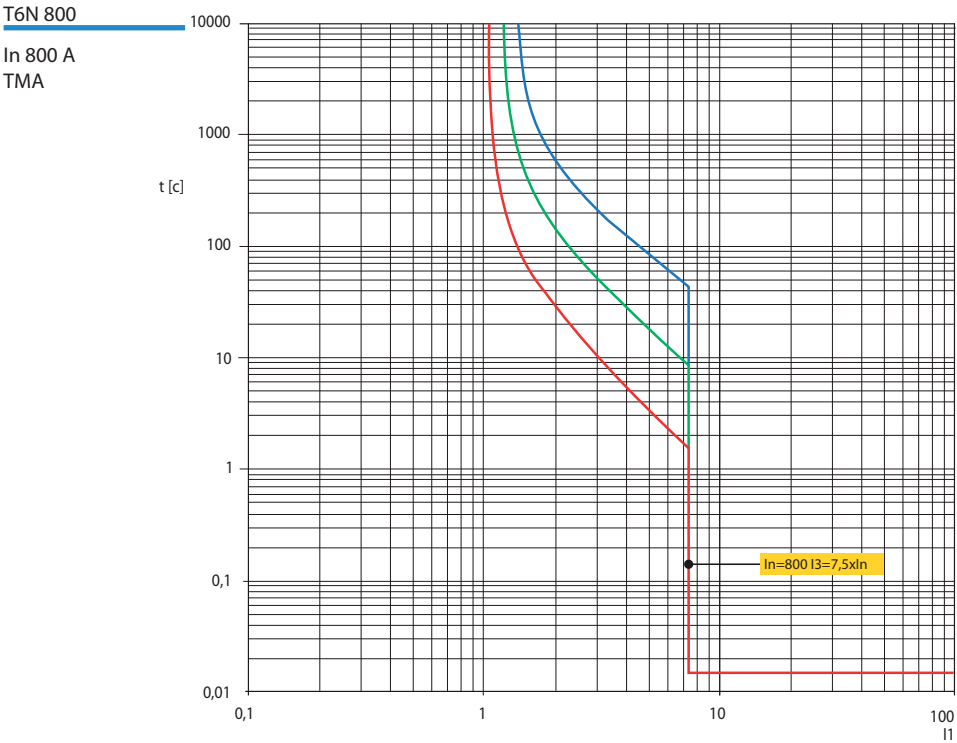
4 Специальные области применения

Таблица 4: Рабочие характеристики выключателей Tmax T6N 800 A TMA

		I1 (400Гц)			I3 = 5-10In (уставка I3=5In)		
T6N 800	In800	МИН.	СРЕД.	МАКС.	I3 (50Гц)	K _m	I3 (400Гц)
		504	602	720	4000	1,5	6000

K_m = множитель для I3 для индуцированных электромагнитных полей

Характеристические кривые срабатывания терромагнитного расцепителя



4 Специальные области применения

4.2.2 Сети с частотой 16 2/3 Гц

Распределение однофазного тока с частотой 16 2/3 Гц разработано для систем электрической тяги в качестве альтернативы системам трехфазного тока с частотой 50 Гц и системам постоянного тока. При низких частотах порог теплового срабатывания не подвержен ухудшению, в то время как порог магнитного срабатывания требует введения поправочного коэффициента k_m , значения которого приведены в Таблице 2.

В сетях с частотой 16 2/3 Гц можно использовать автоматические выключатели серии Tmax в литом корпусе с термомангнитным расцепителем. Их электрические характеристики и соответствующие схемы соединений приводятся ниже.

Таблица 1: Отключающая способность [кА]

Автоматический выключатель	Номинальный ток [A]	Отключающая способность [кА] при номинальном напряжении			
		250 В	500 В	750 В	1000 В ⁽¹⁾
XT1B160	16 ÷ 160	16 (2P) 20 (3P)	16 (3P)	-	-
XT1C160	25 ÷ 160	25 (2P) 30 (3P)	25 (3P)	-	-
XT1N160	32 ÷ 160	36 (2P) 40 (3P)	36 (3P)	-	-
XT2N160	1,6 ÷ 160	36 (2P) 40 (3P)	36 (3P)	-	-
XT2S160	1,6 ÷ 160	50 (2P) 55 (3P)	50 (3P)	-	-
XT2H160	1,6 ÷ 160	70 (2P) 85 (3P)	70 (3P)	-	-
XT2L160	1,6 ÷ 160	85 (2P) 100 (3P)	85 (3P)	50 (4P) ⁽²⁾	-
XT3N250	63 ÷ 250	36 (2P) 40 (3P)	36 (3P)	-	-
XT3S250	63 ÷ 250	50 (2P) 55 (3P)	50 (3P)	-	-
XT4N250/T4320	20 ÷ 250	36 (2P)	25 (2P)	16 (3P)	-
XT4S250/T4320	20 ÷ 250	50 (2P)	36 (2P)	25 (3P)	-
XT4H250/T4320	20 ÷ 250	70 (2P)	50 (2P)	36 (3P)	-
XT4L250/T4320	20 ÷ 250	100 (2P)	70 (2P)	50 (3P)	-
XT4V250/T4320	20 ÷ 250	150 (2P)	100 (2P)	70 (3P)	-
XT4V250	32 ÷ 250				40 (4P)
T5N400/630	320 ÷ 500	36 (2P)	25 (2P)	16 (3P)	-
T5S400/630	320 ÷ 500	50 (2P)	36 (2P)	25 (3P)	-
T5H400/630	320 ÷ 500	70 (2P)	50 (2P)	36 (3P)	-
T5L400/630	320 ÷ 500	100 (2P)	70 (2P)	50 (3P)	-
T5V400/630	320 ÷ 500	150 (2P)	100 (2P)	70 (3P)	-
T5V400/630	400 ÷ 500				40 (4P)
T6N630/800	630 ÷ 800	36 (2P)	20 (2P)	16 (3P)	-
T6S630/800	630 ÷ 800	50 (2P)	35 (2P)	20 (3P)	-
T6H630/800	630 ÷ 800	70 (2P)	50 (2P)	36 (3P)	-
T6L630/800	630 ÷ 800	100 (2P)	70 (2P)	50 (3P)	40 (4P)

T5V400/630 400 ÷ 500 40 (4P)

⁽¹⁾ Автоматические выключатели на 1000 В постоянного тока с уставкой защиты нейтрали на 100%.

⁽²⁾ Автоматические выключатели с уставкой защиты нейтрали 100%.

4 Специальные области применения

Таблица 2: k_m коэффициент

	Схема А	Схема В-С	Схема D-E-F
ХТ1	1	1	-
ХТ2	0,9	0,9	0,9
ХТ3	0,9	0,9	-
ХТ4	0,9	0,9	0,9
ХТ5	0,9	0,9	0,9
ХТ6	0,9	0,9	0,9

Таблица 3: Возможные соединения в зависимости от напряжения, типа распределения и типа КЗ

	Нейтраль не заземлена	Нейтраль заземлена*	
		КЗ фаза-нейтраль (L-N)	КЗ фаза-земля (L-E)
250 В, 2 последовательно соединенных полюса	A1	A2	B2
250 В, 3 последовательно соединенных полюса**	B1	B2, C	B3
500 В, 2 последовательно соединенных полюса	A1	A2, B2	B2, C
500 В, 3 последовательно соединенных полюса**	B1	B2, C	C
750 В, 3 последовательно соединенных полюса	B1	B2, C	C
750 В, 4 последовательно соединенных полюса**	E-F	E1, D	E1
1000 В, 4 последовательно соединенных полюса	E-F	E1, C3	E1

*Если единственно возможным КЗ является КЗ фаза-нейтраль L-N или фаза-земля L-E (E=Земля) без значительного полного сопротивления, воспользуйтесь приведенными ниже схемами. Если возможны оба случая КЗ, воспользуйтесь схемами, действующими для КЗ фаза-земля L-E.

** только ХТ1, ХТ2, ХТ3,

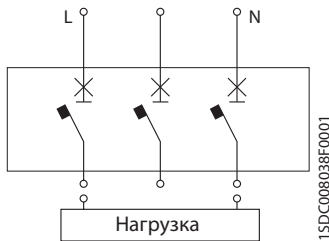
*** только ХТ2.

Схемы соединений

Схема А1

Конфигурация с двумя последовательно соединенными полюсами (нейтраль не заземлена)

- Прерывание при КЗ фаза-нейтраль: 2 последовательно соединенных полюса
 - Прерывание при КЗ фаза-земля: не рассматривается
- (Принцип работы установки должен быть таким, чтобы практически исключить возможность второго замыкания на землю).



4 Специальные области применения

Схема А2

Конфигурация с двумя последовательно соединенными полюсами (нейтраль заземлена)

- Прерывание при КЗ фаза-нейтраль: 2 последовательно соединенных полюса
- Прерывание при КЗ фаза-земля: один полюс (такой же способности, что и два последовательно соединенных полюса, но с напряжением, ограниченным до 125 В).

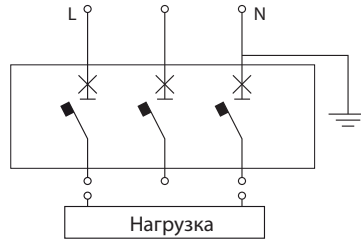


Схема В1

Конфигурация с тремя последовательно соединенными полюсами (нейтраль не заземлена)

- Прерывание при КЗ фаза-нейтраль: 3 последовательно соединенных полюса
- Прерывание при КЗ фаза-земля: не рассматривается

(Принцип работы установки должен быть таким, чтобы практически исключить возможность второго замыкания на землю).

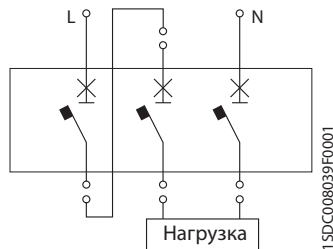
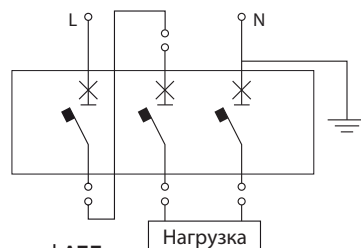


Схема В2

Конфигурация с тремя последовательно соединенными полюсами (нейтраль заземлена и может быть отключена)

- Прерывание при КЗ фаза-нейтраль: 3 последовательно соединенных полюса
- Прерывание при КЗ фаза-земля: 2 последовательно соединенных полюса



4 Специальные области применения

Схема С

Конфигурация с тремя последовательно соединенными полюсами (нейтраль заземлена, но не может быть отключена)

- Прерывание при КЗ фаза-нейтраль: 3 последовательно соединенных полюса
- Прерывание при КЗ фаза-земля: 3 последовательно соединенных полюса

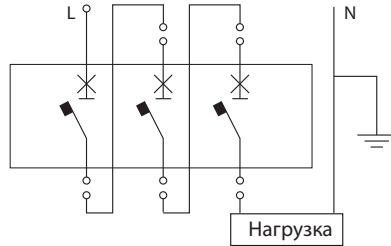
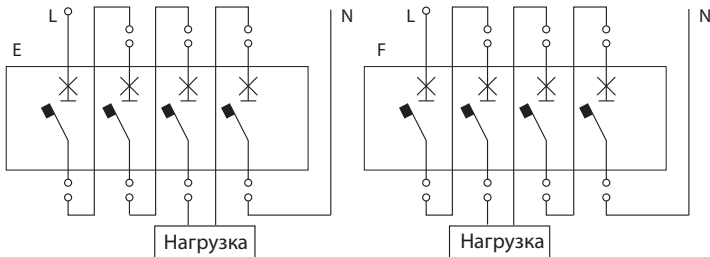


Схема E-F

Конфигурация с четырьмя последовательно соединенными полюсами (нейтраль не заземлена)

- Прерывание при КЗ фаза-нейтраль: 4 последовательно соединенных полюса
- Прерывание при КЗ фаза-земля: не рассматривается

(Принцип работы установки должен быть таким, чтобы практически исключить возможность второго замыкания на землю).

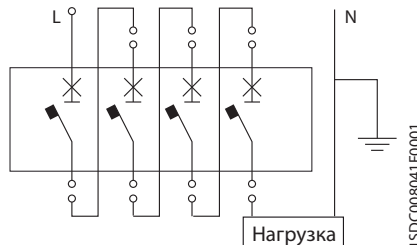


1SDC008042F0001

Схема D

Конфигурация с четырьмя последовательно соединенными полюсами на одной полярности (нейтраль заземлена и не отключена)

- Прерывание при КЗ фаза-нейтраль: 4 последовательно соединенных полюса
- Прерывание при КЗ фаза-земля: 4 последовательно соединенных полюса



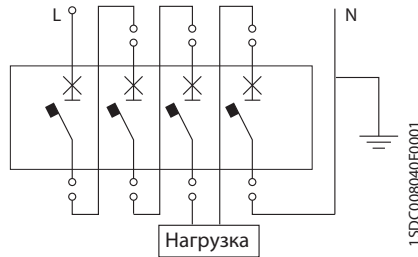
1SDC008041F0001

4 Специальные области применения

Схема Е1

Отключение с четырьмя последовательно соединенными полюсами (нейтраль заземлена и может быть отключена)

- Прерывание при КЗ фаза-нейтраль: 4 последовательно соединенных полюса
- Прерывание при КЗ фаза-земля: 3 последовательно соединенных полюса



Пример:

Параметры сети: Номинальное напряжение 250 В

Номинальная частота 16 2/3 Гц

Ток нагрузки 120 А

Ток КЗ фаза-нейтраль 45 кА

Нейтраль заземлена

На основании предположения, что вероятность КЗ фаза-земля пренебрежительно мала из таблицы 3 следует, что можно применить схемы соединения А2, В2 или В3. Поэтому выбираем автоматический выключатель TmaxT2S160 In125 с соединением, показанным на схеме А2 (два последовательно соединенных полюса), с отключающей способностью 50 кА, а в случае соединения по схеме В2 или В3 (три последовательно соединенных полюса) - с отключающей способностью 55 кА (таблица 1). Для определения срабатывания магнитного расцепителя следует выбрать коэффициент k_m по таблице 2. Порог срабатывания магнитного расцепителя составит: $I_3 = 1250 \cdot 0,9 = 1125$ А при любой используемой схеме.

Если КЗ на землю может произойти без значительного полного сопротивления, то применимы только схема В2 или В3 (таблица 3). В частности, из схемы В2 видно, что только 2 полюса работают последовательно, при этом отключающая способность составит 50 кА (Таблица 1), а в схеме В3 с тремя последовательно соединенными полюсами отключающая способность составит 55 кА.

4 Специальные области применения

4.3 Электрические сети 1000 В (пост. тока) и 1000 В (перем. тока)

Автоматические выключатели Tmax и Emax 2 /E 1000 В и 1150 В находят важное применение в электрических установках шахт, нефтехимических заводов и коммуникаций, подключенных к электрической тяге (освещение туннелей).

4.3.1 Электрические сети 1000 В (пост. ток)

Автоматические выключатели в литом корпусе для напряжения 1000 В (пост. тока)

Общие характеристики

Серия автоматических выключателей в литом корпусе Tmax для использования в установках с номинальным напряжением до 1000 В (пост. ток) соответствует МЭК 60947-2 (ГОСТ Р 50030.2). Эта серия выключателей снабжена регулируемыми термоманитными расцепителями, соответствует всем требованиям монтажа и имеет уставки в диапазоне от 32 А до 800 А. Благодаря последовательному соединению полюсов четырехполюсные выключатели позволяют достичь высокого уровня эффективности.

Автоматические выключатели серии Tmax 1000 В имеют те же самые размеры и точки крепления, что и стандартные выключатели.

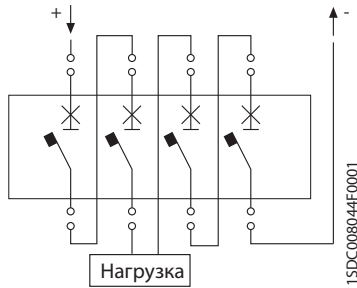
Эти автоматические выключатели также могут быть оснащены соответствующей серией стандартных аксессуаров, за исключением расцепителей дифференциального тока для выключателей Tmax. Например, можно использовать комплекты для преобразования выключателей фиксированного исполнения во втычное и выкатное и различные комплекты выводов.

Схемы соединений

Электрические сети, изолированные от земли

USDC008043F0001

4 Специальные области применения



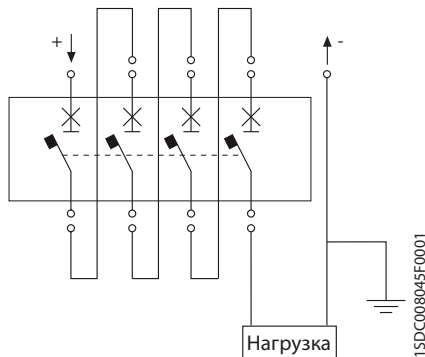
В) 2 + 2 последовательно соединенных полюса (1000 В пост. тока)

Когда первое КЗ случается выше выключателя на одном полюсе, а второе КЗ - ниже того же самого коммутационного аппарата на другом полюсе, то двойное замыкание на землю считается маловероятным.

При таком условии ток КЗ, который может достигать больших значений, воздействует только на некоторые из 4 полюсов, необходимых для обеспечения отключающей способности. Можно предотвратить вероятность возникновения двойного короткого замыкания на землю, установив устройство контроля изоляции, определяющее положение первого короткого замыкания на землю, что позволит быстро его устранить.

Электрические сети с одним полюсом источника питания, подключенным к земле

Поскольку подключаемый к земле полюс не должен отключаться (в примере предполагается, что подключенный к земле полюс отрицательный, хотя то же самое действительно и для противоположного полюса), можно использовать схему, на которой показано последовательное соединение 4 полюсов на полюс, не подключенный к земле.

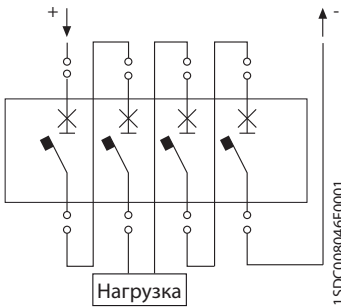


В) 4 последовательно соединенных полюса (1000 В пост. тока)

4 Специальные области применения

Электрические сети со средней точкой источника питания, подключенной к земле

При КЗ на землю положительного или отрицательного полюса, затронутые КЗ полюсы работают при напряжении $U/2$ (500 В); схема соединений должна быть следующей:



D) 2+2 последовательно соединенных полюса (1000 В пост. тока)

Поправочный коэффициент для порогов срабатывания

Для защиты от перегрузки поправочный коэффициент не применяется. Но для пороговых значений магнитного расцепителя в сетях напряжением 1000 В пост. тока в вышеописанных схемах необходимо взять соответствующие значения для переменного тока и умножить их на поправочные коэффициенты, приведенные в таблице ниже:

Автоматический выключатель	k_m
T4V	1
T5V	0,9
T6L	0,9

Автоматические выключатели с термомангнитными расцепителями для постоянного тока

I_n [A]	32 ⁽¹⁾	50 ⁽¹⁾	80 ⁽²⁾	100 ⁽²⁾	125 ⁽²⁾	160 ⁽²⁾	200 ⁽²⁾	250 ⁽²⁾	320 ⁽²⁾	400 ⁽²⁾	500 ⁽²⁾	630 ⁽²⁾	800 ⁽²⁾
T4V 250	■	■	■	■	■	■	■	■	-	-	-	-	-
T5V 400	-	-	-	-	-	-	-	-	■	■	-	-	-
T5V 630	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	■	-	-
T6L 630	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	■	-
T6L 800	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	■
$I_3 = (10 \times I_n)$ [A]	320	500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$I_3 = (5 \times 10 \times I_n)$ [A]	-	-	400÷800	500÷1000	625÷1250	800÷1600	1000÷2000	1250÷2500	1600÷3200	2000÷4000	2500÷5000	3150÷6300	4000÷8000

⁽¹⁾ Порог срабатывания теплового элемента регулируется от 0,7 до 1 $\times I_n$; порог срабатывания магнитного элемента - фиксированный

⁽²⁾ Порог срабатывания теплового элемента регулируется от 0,7 and 1 $\times I_n$; порог срабатывания магнитного элемента регулируется между 5 и 10 $\times I_n$.

4 Специальные области применения

Пример

Для защиты потребителя, получающего питание от сети со следующими характеристиками:

Номинальное напряжение $U_r = 1000$ В пост. тока

Ток короткого замыкания $I_k = 18$ кА

Ток нагрузки $I_b = 420$ А

Сеть с двумя полюсами, изолированными от земли.

Согласно таблице имеющихся уставок следует выбрать автоматический выключатель:

T5V 630 $I_n = 500$, четырехполюсный, I_{cu} при 1000 В пост. тока = 40 кА.

Порог срабатывания теплового элемента, регулируемый от $(0,7-1) \times I_n$ и, следовательно, от 350 А до 500 А надо установить на 0,84.

Порог срабатывания магнитного элемента, регулируемый от $(5-10) \times I_n$, для которого поправочный коэффициент $K_m = 0,9$ дает следующий диапазон настройки: от 2250 А до 4500 А. Порог срабатывания магнитного элемента будет выбран, исходя из условий защиты кабеля. Полюсы должны соединяться, как указано на схеме А или В.

Должно быть установлено устройство, сигнализирующее о первом коротком замыкании на землю. При тех же самых параметрах системы, если электрическая однополюсная сеть подключена к земле, автоматический выключатель должен подключаться, как показано на схеме С.

4 Специальные области применения

Воздушные выключатели-разъединители для напряжения 1000 В (пост. тока)

Воздушные выключатели-разъединители, выполненные на базе воздушных автоматических выключателей Emax 2, обозначаются кодом серии стандартных выключателей совместно с кодом «/E MS». Они отвечают международному Стандарту МЭК 60947-3 (ГОСТ Р 50030.3) и находят важное применение в качестве секционных выключателей или главных выключателей-разъединителей (рубильников) в установках постоянного тока, например, в оборудовании электрической тяги. Габаритные размеры и точки подключения остаются теми же самыми, что и для стандартных выключателей, и к ним подходят все комплекты выводов и аксессуаров для выключателей серии Emax 2. Воздушные выключатели-разъединители могут быть выкатного и фиксированного исполнения, в трехполюсном исполнении (до 750 В пост. тока) и четырехполюсном (до 1000 В пост. тока). Выкатные выключатели собираются со специальными фиксированными частями для применения в установках, рассчитанных на напряжение 750/1000 В пост. тока.

Эта серия учитывает все требования установок до 1000 В пост. тока / 6300 А или до 750 В пост. тока / 6300 А.

Выключатели имеют отключающую способность, равную номинальному кратковременно выдерживаемому току, если они защищены соответствующим внешним автоматическим выключателем.

В таблице ниже показаны имеющиеся типы воздушных выключателей-разъединителей и их соответствующие электрические характеристики:

Номинальный ток (при 40° C) I_n

		E1.2N DC/E MS		E2.2S DC/E MS		E4.2H DC/E MS		E6.2X DC/E MS	
	[A]	800		1250		1250		4000	
	[A]	1250		1600		1600		5000	
	[A]			2000		2000		6300	
	[A]			2500		2500			
	[A]					3200			
	[A]					4000			
Число полюсов		3	4	3	4	3	4	3	4
Номинальное рабочее напряжение, U _e	[B]	750	1000	750	1000	750	1000	750	1000
Номинальное напряжение изоляции, U _i	[B]	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Номинальное импульсное выдерживаемое напряжение, U _{imp}	[кВ]	12	12	12	12	12	12	12	12
Номинальный кратковременный выдерживаемый ток, I _{cw} (1с)	[кА]	20	20	25	25	40	40	65	65
Номинальная наибольшая включающая способность, I _{cm}	750 В пост. тока [кА]	42	42	53	53	84	84	143	143
	1000 В пост. тока	-	42	-	53	-	84	-	143

Примечание: Отключающая способность I_{cu}, обеспечиваемая внешним автоматическим выключателем с максимальным временем выдержки 500 мс, равна значению I_{cw} (1с).

4 Специальные области применения

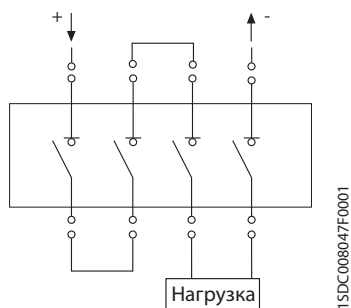
Схемы соединений

Ниже приводятся схемы соединений, которые следует использовать в зависимости от типа распределительной системы.

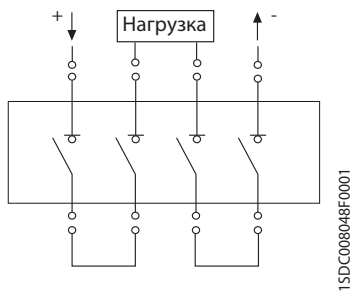
Предполагается, что риск двойного замыкания на землю на разных полюсах равен нулю, и следовательно, ток аварии затрагивает только часть полюсов выключателя.

Электрические сети, изолированные от земли

Можно использовать следующую схему соединений (полярность может быть противоположной).

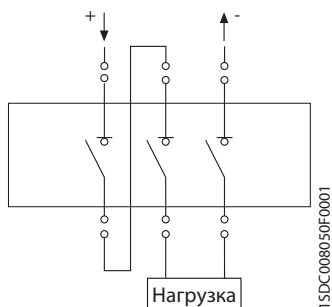


Е) 3+1 последовательно соединенных полюса (1000 В пост. тока)



Ф) 2+2 последовательно соединенных полюса (1000 В пост. тока)

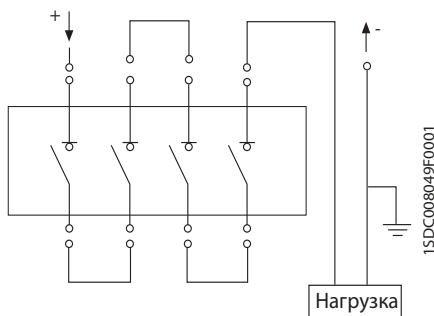
4 Специальные области применения



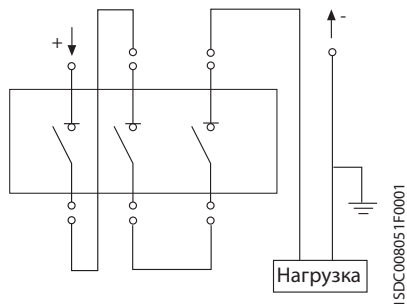
G) 2+1 последовательно соединенных полюса (750 В пост. тока)

Электрические сети с одним полюсом источника питания, подключенным к земле

Если подключенный к земле полюс не должен отключаться (в примерах предполагается, что к земле подключен отрицательный полюс):



H) 4 последовательно соединенных полюса (1000 В пост. тока)



I) 3 последовательно соединенных полюса (750 В пост. тока)

Электрические сети со средней точкой источника питания, подключенной к земле

Только четырехполюсные выключатели могут использоваться в конфигурации, показанной на рисунке. Для устройств защиты и управления

4 Специальные области применения

4.3.2 Электрические сети 1000 В переменного тока

Автоматические выключатели в литом корпусе для напряжения до 1150 В перем. тока

Общие характеристики

Автоматические выключатели серии Tmax для напряжения до 1150 В соответствуют международному Стандарту МЭК 60947-2.

Эти автоматические выключатели могут иметь термомагнитные (для меньших типоразмеров) и электронные расцепители. Все предъявляемые к установке требования могут быть удовлетворены в диапазоне уставок от 32 А до 800 А и с отключающей способностью до 20 кА при напряжении 1150 В перем. тока.

Автоматические выключатели в литом корпусе для напряжения до 1150 В перем. тока

Номинальный длительный ток, I _n	[А]
Число полюсов	Кол-во
Номинальное рабочее напряжение, U _e (перем. ток) 50-60 Гц	[В]
Номинальное импульсное выдерживаемое напряжение, U _{imp}	[кВ]
Номинальное напряжение изоляции, U _i	[В]
Испытание напряжением промышленной частоты в течение 1 мин	[В]
Номинальная предельная наибольшая отключающая способность, I _{cu}	
	(перем. ток) 50-60 Гц 1000 В [кА]
	(перем. ток) 50-60 Гц 1150 В [кА]
Номинальная рабочая наибольшая отключающая способность, I _{cs}	
	(перем. ток) 50-60 Гц 1000 В [кА]
	(перем. ток) 50-60 Гц 1150 В [кА]
Номинальная наибольшая включающая способность, I _{cm}	
	(перем. ток) 50-60 Гц 1000 В [кА]
	(перем. ток) 50-60 Гц 1150 В [кА]
Категория применения (EN 60947-2)	
Способность разъединять цепь	
Стандарт	
Термомагнитные расцепители	TMD
	TMA
Электронные расцепители	PR221DS/LS
	PR221DS/I
	PR222DS/P-LSI
	PR222DS/P-LSIG
	PR222DS/PD-LSI
	PR222DS/PD-LSIG
	PR222MP
Выводы	
Исполнение	
Механическая стойкость	[Кол-во операций]
	[Кол-во операций в час]
Габаритные размеры-стационарное исполнение ⁽⁵⁾	3 полюса Ш [мм]
	4 полюса Ш [мм]
	Г [мм]
	В [мм]
Масса	стационарный 3/4 полюса [кг]
	втычной 3/4 полюса [кг]
	выкатной 3/4 полюса [кг]

⁽¹⁾ Питание только сверху

⁽²⁾ I_{cw}=5кА

⁽³⁾ I_{cw}=7,6кА (630А) - 10кА (800А)

⁽⁴⁾ Выключатель Tmax T5630 имеется только в стационарном исполнении

⁽⁵⁾ Автоматический выключатель без высоких крышек

4 Специальные области применения

Автоматические выключатели в диапазоне до 1150 В имеют те же самые размеры, что и стандартные автоматические выключатели.

Эти выключатели также оснащаются соответствующей серией стандартных аксессуаров за исключением расцепителей дифференциального тока.

В приведенной ниже таблице указаны электрические характеристики выключателей серии:

T4		T5		T6	
250		400/630		630/800	
3, 4		3, 4		3, 4	
1000	1150	1000	1150	1000	1150
8		8		8	
1000	1150	1000	1150	1000	1150
3500		3500		3500	
L	V	L	V ⁽¹⁾	L ⁽¹⁾	
12	20	12	20	12	
	12		12		
12	12	10	10	6	
	6		6		
24	40	24	40	24	
	24		24		
A		B (400 A) ⁽²⁾ A (630 A)		B ⁽³⁾	
■		■		■	
МЭК 60947-2		МЭК 60947-2		МЭК 60947-2	
-	■	-	-	-	■
-	■	-	■	-	■
■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■
■	-	■	-	-	-
FC Cu		FC Cu		F-FC CuAl-R	
F, P, W	F	F, P, W ⁽⁴⁾	F	F	
20000		20000		20000	
240		120		120	
105		140		210	
140		184		280	
103,5		103,5		103,5	
205		205		268	
2,35/3,05	2,35/3,05	3,25/4,15	3,25/4,15	9,5/12	
3,6/4,65		5,15/6,65			
3,85/4,9		5,4/6,9			

ОБОЗНАЧЕНИЯ ВЫВОДОВ

F = Передний вывод

R = Задний вывод

FC CuAl = Передний вывод для подключения медных/алюминиевых кабелей

FC Cu = Передний вывод для подключения медных кабелей

4 Специальные области применения

В таблице ниже приводятся доступные расцепители

Автоматические выключатели с электронными расцепителями для переменного тока

	In100	In250	In320	In400	In630	In800
T4 250	■	■	-	-	-	-
T5 400	-	-	■	■	-	-
T5 630	-	-	-	-	■	-
T6L 630	-	-	-	-	■	-
T6L 800	-	-	-	-	-	■
$I_3 (1 \div 10 \times I_n)$ [A] ⁽¹⁾	100÷1000	250÷2500	320÷3200	400÷4000	630÷6300	800÷8000
$I_3 (1.5 \div 12 \times I_n)$ [A] ⁽²⁾	150÷1200	375÷3000	480÷3840	600÷4800	945÷7560	1200÷9600

⁽¹⁾ PR221

⁽²⁾ PR222

Автоматические выключатели с термомангнитными расцепителями для переменного тока

In [A]	32 ⁽¹⁾	50 ⁽¹⁾	80 ⁽²⁾	100 ⁽²⁾	125 ⁽²⁾	160 ⁽²⁾	200 ⁽²⁾	250 ⁽²⁾	320 ⁽²⁾	400 ⁽²⁾	500 ⁽²⁾	630 ⁽²⁾	800 ⁽²⁾
T4V 250	■	■	■	■	■	■	■	■	-	-	-	-	-
T5V 400	-	-	-	-	-	-	-	-	■	■	-	-	-
T5V 630	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	■	-	-
T6L 630	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	■	-
T6L 800	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	■
$I_3 = (10 \times I_n)$ [A]	320	500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$I_3 = (5 \div 10 \times I_n)$ [A]	-	-	400÷800	500÷1000	625÷1250	800÷1600	1000÷2000	1250÷2500	1600÷3200	2000÷4000	2500÷5000	31500÷6300	4000÷8000

⁽¹⁾ Порог срабатывания теплового элемента регулируется от 0,7 до 1 x In; порог срабатывания магнитного элемента фиксированный

⁽²⁾ Порог срабатывания теплового элемента регулируется от 0,7 до 1 x In; порог срабатывания магнитного элемента регулируется между 5 и 10 x In.

Автоматические выключатели и выключатели-разъединители для напряжения до 1150 В переменного тока

Для установок переменного тока, рассчитанных на напряжение 1150 В переменного тока, предлагаются следующие аппараты:

- **Автоматические выключатели** в соответствии со Стандартом МЭК 60947-2 (ГОСТ Р 50030.2) Автоматические выключатели специального исполнения для напряжения до 1150В (перем. тока) обозначаются кодом серии стандартных выключателей совместно с суффиксом "E". Эти выключатели выполнены на базе соответствующих стандартных выключателей серии Emax 2 и выпускаются в таких же исполнениях, таких же габаритных размеров и с такими же аксессуарами. Автоматические выключатели серии Emax 2 выпускаются фиксированного и выкатного исполнения, с тремя и четырьмя полюсами и могут оснащаться аксессуарами, а также оборудоваться полным диапазоном электронных расцепителей (Ekip Touch и Ekip Hi-Touch).
- **Выключатели-разъединители** в соответствии со Стандартом МЭК 60947-3 (ГОСТ Р 50030.3) Эти выключатели-разъединители обозначаются кодом серии стандартных выключателей, на базе которых они выполнены, совместно с суффиксом "E MS". Выпускаются трехполюсные и четырехполюсные выключатели фиксированного и выкатного исполнения такие же размеров, с такими же характеристиками аксессуаров и установкой, как и стандартные выключатели-разъединители.

4 Специальные области применения

В приведенной ниже таблице указаны электрические характеристики аппаратов

Воздушные автоматические выключатели (для напряжения до 1150 В перем. тока)

	E1.2N/E	E2.2H/E					E4.2H/E		E6.2X/E		
Номинальный длительный ток (при 40 °C) <i>Iu</i>	630/800 1000/1250 1600 [A]	1000 1250 1600 2000 2500					3200 4000		4000 5000 6300		
Номинальное рабочее напряжение <i>Ue</i>	[В~] 1150	1150	1150	1150	1150	1150	1150	1150	1150	1150	1150
Номинальное напряжение изоляции <i>Ui</i>	[В~] 1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250
Номинальная предельная наибольшая отключающая способность <i>Icu</i>											
1000 В [кА]	30	30	30	30	30	30	50	50	65	65	65
1150 В [кА]	25	30	30	30	30	30	30	30	65	65	65
Номинальная рабочая наибольшая отключающая способность <i>Ics</i>											
1000 В [кА]	30	30	30	30	30	30	50	50	65	65	65
1150 В [кА]	25	30	30	30	30	30	30	30	65	65	65
Номинальный кратковременно выдерживаемый ток <i>Icw</i>	[кА] 25	30	30	30	30	30	50	50	65	65	65
Номинальная наибольшая включающая способность (пиковое значение) <i>Icm</i>											
1000 В [кА]	63	63	63	63	63	63	105	105	143	143	143
1150 В [кА]	53	63	63	63	63	63	105	105	143	143	143

Воздушные выключатели-разъединители (для напряжения до 1150 В перем. тока)

	E1.2N/E MS	E2.2HH/E MS	E4.2H/E MS	E6.2X/E MS
Номинальный ток (при 40 °C) <i>Iu</i>	[A] 630	1000	3200	4000
	[A] 800	1250	4000	5000
	[A] 1000	1600		6300
	[A] 1250	2000		
	[A] 1600	2500		
Число полюсов	3/4	3/4	3/4	3/4
Номинальное рабочее напряжение <i>Ue</i>	[В] 1150	1150	1150	1150
Номинальное напряжение изоляции <i>Ui</i>	[В] 1250	1250	1250	1250
Номинальное импульсное выдерживаемое напряжение <i>Uimp</i>	[кВ] 12	12	12	12
Номинальный кратковременно выдерживаемый ток <i>Icw</i> (1с)	[кА] 25	30	50	65
Номинальная наибольшая включающая способность (пиковое значение) <i>Icm</i>	[кА] 53	63	110	143

Примечание: Отключающая способность *Icu*, обеспечиваемая с помощью внешнего автоматического выключателя с максимальной выдержкой времени 500 мс, равна значению тока *Icw* (1с).

4 Специальные области применения

4.4 Устройства автоматического ввода резерва

Во всех случаях, где требуется высокая надежность системы электропитания (например, если технологический процесс нельзя прерывать или риск недостатка питания неприемлем), обязательно должен присутствовать резервный источник электропитания, чтобы избежать потери большого количества данных, нарушения рабочих процессов, остановки предприятия и т. д. Поэтому устройства автоматического включения резерва, главным образом, используются для электроснабжения:

- гостиниц и аэропортов;
- операционных и служб первой помощи в больницах;
- источников бесперебойного электропитания;
- банков данных, телекоммуникационных систем, вычислительных центров;
- промышленных линий с непрерывными технологическими процессами.

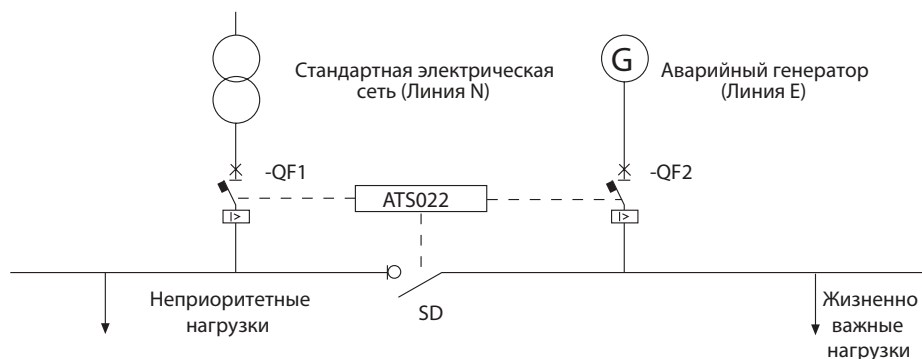
Блоки ABP ATS021 и ATS022 являются решением в области резервного электропитания, предлагаемым АББ: это устройство автоматического включения резерва с микропроцессорной технологией, которое позволяет переключаться с основной линии электропитания на резервную, если в главной электросети возникнет одна из следующих неисправностей:

- повышения или провалы напряжения;
- обрыв одной из фаз;
- фазовые асимметрии;
- выход частоты из заданного диапазона.

Затем, когда стандартные параметры сети восстановятся, система снова переключится с резервного питания на основное.

Устройства ATS021 или ATS022 используется в системах с двумя различными линиями электропитания, подключенными к одной системе шин и работающими независимо: первая линия используется как основная линия питания, а вторая - как резервная линия от генератора. Также возможно оборудовать систему устройством, которое будет отключать неприоритетные нагрузки, когда питание осуществляется от резервной линии.

На схеме ниже показана установка со схемой автоматического ввода резерва (ABP):



4 Специальные области применения

С помощью соответствующих выводов устройства ATS021 и ATS022 обеспечивают связь с:

- защитными автоматическими выключателями на линиях основного и резервного питания, снабженных моторными приводами и механическими блокировками для определения их состояния и отправки сигналов на размыкание или замыкание выключателей в соответствии с установленной выдержкой времени;
- платой управления генераторной установкой для контроля ее состояния и отправки команд пуска или останова;
- установкой, по посылаемым ею другим сигналам, для блокировки коммутирующей логики;
- линией основного питания для обнаружения возможных неисправностей и линией резервного питания для проверки наличия напряжения;
- дополнительным устройством для отключения неприоритетных нагрузок;
- вспомогательным источником питания 24 В пост. тока $\pm 20\%$ (или 48 В пост. тока $\pm 10\%$). Этот источник питания должен также иметься на случай отсутствия напряжения в обеих линиях (нормального и резервного питания).

5 Распределительные щиты

5.1 Электрические распределительные щиты

Электрический распределительный щит - это комбинация одного или более низковольтных устройств коммутации, защиты и других устройств, смонтированных в одном или более корпусах. Распределительный щит состоит из корпуса, называемого оболочкой в соответствующих стандартах (выполняющего роль опоры и механической защиты содержащихся в нем компонентов), и электрического оборудования, включающего устройства, внутренние соединения, а также входные и выходные выводы для подключения к системе. Электрические распределительные щиты, как и все остальные комплектующие электроустановки, должны отвечать требованиям соответствующих стандартов.

При замене предыдущего Стандарта МЭК 60439-1 новыми Стандартами МЭК 61439-1 и МЭК 61439-2 были внесены изменения и уточнения в концепцию НКУ распределения и управления, которая по сути не менялась с 1990 года, когда понятие "Комплектные распределительные устройства заводской сборки" было заменено на «Устройства, испытанные полностью или частично». Как и прежде, согласно новому Стандарту распределительный щит является стандартным компонентом электроустановки, таким же как и автоматический выключатель или штепсельное соединение, только состоящим из комбинации нескольких устройств, смонтированных в одном или более прилегающих корпусах.

Стандартами на электрические распределительные щиты являются Стандарты МЭК 61439-1 и 2, недавно вступившие в силу на международном уровне. Эти Стандарты распространяются на низковольтные комплектные устройства, номинальное напряжение которых не превышает 1000 В для переменного тока и 1500 В для постоянного тока.

В Стандарте МЭК 61439-1 описываются общие требования к НКУ, в то время как в других частях рассматриваются особые типы НКУ, и их необходимо применять совместно с первой частью стандарта. Ниже перечислены последующие части Стандарта:

- МЭК 61439-2: «Низковольтные комплектные устройства и щиты управления»;
- МЭК 61439-3: «Распределительные щиты» (заменяет МЭК 60439-3);
- МЭК 61439-4: «Устройства для строительных площадок» (заменяет МЭК 60439-4);
- МЭК 61439-5: «Устройства для распределения электроэнергии в сетях общественного назначения» (заменяет МЭК 60439-5);
- МЭК 61439-6: «Системы магистральных шинопроводов» (заменяет МЭК 60439-2).

Двумя дополнительными документами для НКУ распределения и управления, опубликованными МЭК, являются:

- Стандарт МЭК 60890 «Узлы низковольтной аппаратуры и механизмов управления, частично подвергшиеся типовым испытаниям. Методы оценки повышения температуры с помощью экстраполяции.»
- МЭК 61117 «Оценка стойкости при коротком замыкании узлов, частично подвергнутых типовым испытаниям».

5 Распределительные щиты

Стандарт МЭК 61439-1

Как сказано выше, новый комплект Стандартов, определенных кодом МЭК 61439, состоит из основного Стандарта 61439-1 и отдельных Стандартов, применяемых в соответствии с типом НКУ. В первом стандарте описываются номинальные характеристики, свойства и требования, применяемые ко всем типам НКУ, которые в дальнейшем рассматриваются детально в отдельных стандартах.

На данный момент Стандарт МЭК 61439 состоит из следующих частей:

- 1) МЭК 61439-1: «Устройства комплектные низковольтные распределения и управления - Часть 1: «Общие требования»;
- 2) МЭК 61439-2: «Низковольтные комплектные устройства и щиты управления»;
- 3) МЭК 61439-3: «Распределительные шкафы»;
- 4) МЭК 61439-4: «Устройства распределения и управления для строительных площадок»;
- 5) МЭК 61439-5: «Устройства для распределения электроэнергии в сетях общественного назначения»;
- 6) МЭК 61439-6: «Системы магистральных шинопроводов».

Что касается декларации соответствия, НКУ каждого типа должно соответствовать определенному стандарту, т.е. НКУ и щиты управления должны соответствовать Стандарту МЭК 61439-2; распределительные шкафы - Стандарту МЭК 61439-3.

Переход от прошлого Стандарта МЭК 60439 к новому МЭК 61439 должен происходить следующим образом:

Для низковольтных комплектных устройств и щитов управления «старый» Стандарт МЭК 60439-1 должен быть постепенно заменен новыми уже опубликованными Стандартами 61439-1 и 2, но пока остается в силе до 31 октября 2014 г. После этой даты новые НКУ и щиты управления должны соответствовать новым Стандартам. Срок действия Стандарта МЭК 60439-1 и других Стандартов 60439-X для устройств для строительных площадок и других особых устройств (строительные площадки, системы магистральных шинопроводов, распределительные шкафы и т.д.) продлонгируется до 2014 года, так как на данный момент новые стандарты только рассматриваются и запланированы к выпуску, но не изданы.

5 Распределительные щиты

Основной стандарт устанавливает требования, относящиеся к конструкции, безопасности и ремонтнопригодности электрических распределительных щитов и определяет их номинальные характеристики, внешние рабочие условия, механические и электрические требования и правила эксплуатации.

В предыдущем Стандарте МЭК 60439-1 (ГОСТ Р 51321.1), выпущенном в 1990 г., различаются два типа распределительных щитов: ПИ НКУ (низковольтные комплектные устройства, прошедшие полные типовые испытания) и ЧИ НКУ (низковольтные комплектные устройства, прошедшие частичные типовые испытания). По новому Стандарту эти термины заменяются понятием «соответствия» устройства правилам проектирования, предписанным Стандартом. Для этого в Стандарте представлены следующие 3 различные, но эквивалентные типа проверки на соответствие НКУ требованиям Стандарта:

- 1) лабораторные испытания (прежний термин «типовые испытания» заменен на термин «проверка испытанием»);
- 2) проверка расчетом (при помощи старых и новых алгоритмов);
- 3) проверка на соответствие правилам проектирования (анализ и оценка, независимые от испытаний; проверка по механическим или аналитическим показателям или конструктивные заключения).

Для проверки и подтверждения различных параметров (превышение температуры, изоляция, коррозионная стойкость) можно применять любой из трех методов; выбор какого-либо варианта проверки для подтверждения соответствия стандарту является несущественным.

Так как определение одного из трех методов не всегда представляется возможным, в таблице D.1 Приложения D Стандарта (таблица приведена на следующей странице данного справочника) перечислены типы проверок, применяемые для каждого параметра.

5 Распределительные щиты

№	Характеристики, подлежащие проверке	Пункты или подпункты	Доступные варианты проверки		
			Проверка испытанием	Проверка расчетом	Проверка на соответствие правилам проектирования
1	Прочность материалов и частей устройства	10.2			
	Коррозионная стойкость	10.2.2	ДА	НЕТ	НЕТ
	Свойства изоляционных материалов:	10.2.3			
	Тепловая стойкость	10.2.3.1	ДА	НЕТ	НЕТ
	Стойкость изоляционных материалов к нормальной температуре	10.2.3.2	ДА	НЕТ	НЕТ
	Стойкость изоляционных материалов к аномальному нагреву и огню, возникших в результате электромагнитных процессов	10.2.3.3	ДА	НЕТ	НЕТ
	Стойкость к ультрафиолетовому излучению (УФ)				
	Нагрузочная способность	10.2.4	ДА	НЕТ	НЕТ
	Механическое воздействие	10.2.4	ДА	НЕТ	НЕТ
	Маркировка	10.2.6	ДА	НЕТ	НЕТ
		10.2.7	ДА	НЕТ	НЕТ
2	Степень защиты оболочек	10.3	ДА	НЕТ	ДА
3	Зазоры и длины путей утечки	10.4	ДА	ДА	ДА
4	Защита от поражения электрическим током и непрерывность цепей защиты:	10.5			
	Непрерывность электрической цепи между открытыми проводящими частями НКУ и цепями защиты	10.5.2	ДА	НЕТ	НЕТ
	Стойкость НКУ к внешним воздействиям	10.5.3	ДА	ДА	ДА
5	Установка коммутационных аппаратов и комплектующих элементов	10.6	НЕТ	НЕТ	ДА
6	Внутренние электрические цепи и соединения	10.7	НЕТ	НЕТ	ДА
7	Зажимы для внешних проводников	10.8	НЕТ	НЕТ	ДА
8	Диэлектрические свойства	10.9			
	Выдерживаемое напряжение промышленной частоты	10.9.2	ДА	НЕТ	НЕТ
	Импульсное выдерживаемое напряжение	10.9.3	ДА	НЕТ	ДА
9	Предельные значения превышения температуры	10.10	ДА	ДА	ДА
10	Стойкость к токам короткого замыкания	10.11	ДА	ДА	ДА
11	Электромагнитная совместимость (ЭМС)	10.12	ДА	НЕТ	ДА
12	Механическая работоспособность	10.13	ДА	НЕТ	НЕТ

5 Распределительные щиты

Как видно из таблицы, для некоторых характеристик, таких как коррозионная стойкость или механическое воздействие, допустима только проверка испытанием; и наоборот, для таких характеристик, как превышение температуры и стойкость к токам короткого замыкания, приемлимы все три варианта проверки: испытание, проверка расчетом и проверка на соответствие правилам проектирования. Еще одно важное отличие нового Стандарта заключается в более четком определении данных производителя, т.е. введены два определения: производитель оборудования и изготовитель щитов. К первой категории относятся производители, разработавшие оригинальную конструкцию серии НКУ для сборки, и проводящие с этой целью проверку конструкции (ранее типовые испытания), расчеты отклонений или проверку на соответствие правилам проектирования, применяя все допустимо возможные варианты проверки НКУ.

Очевидно, что чем выше эксплуатационные качества, которые оригинальный производитель подверг проверке, «стандартизировал» и предлагает, тем больше вероятность того, что именно его продукцию выберет изготовитель НКУ для сборки и, производитель получит прибыль. Ко второй категории относятся так называемые изготовители «щитов» - компании, которые занимаются непосредственно сборкой НКУ, т.е. получают различные комплектующие и компоненты и монтируют их в соответствии с правилами, тем самым изготавливая смонтированное НКУ с проведенной проводкой, следуя одному из перечисленных вариантов проектирования, создавая готовый к использованию щит, предлагаемый производителем оборудования.

Стандарт все же допускает осуществление некоторых этапов монтажа НКУ вне лаборатории или цехе производителя (на строительной площадке или площадке с оборудованием), но строго в соответствии с требованиями Стандарта. С функциональной точки зрения производители оборудования и изготовители щитов, т.е. конечные производители, могут, как и прежде, использовать при сборке продукцию в комплектах, описание которой приведено в каталогах производителей оборудования, в соответствии с требуемой конструкцией.

Обобщая вышесказанное, производитель оборудования должен:

- спроектировать (рассчитать, спроектировать и выпустить) требуемую линейку НКУ;
- провести испытание нескольких прототипов, принадлежащих данной линейке НКУ;
- провести данные испытания для демонстрации соответствия обязательным требованиям Стандарта;
- вывести в результате испытаний другие конфигурации путем расчета или другие характеристики и измерения;
- добавить другие конфигурации, полученные без испытаний, согласно соответствующим «правилам проектирования»;
- собрать всю вышеперечисленную информацию и донести ее до конечного производителя через каталоги, линейки или программное обеспечение, чтобы он мог собрать новое НКУ, а также смонтировать и эксплуатировать его максимально эффективно, осуществляя соответствующие меры по эксплуатации и техническому обслуживанию.

Перечень параметров, подлежащих проверке на соответствие правилам проектирования согласно Стандарту производителем оборудования, который может выбрать в соответствии с данными из таблицы на стр. 218 метод проверки, включает в себя:

Проверка характеристик конструкции:

- Прочность материалов и компонентов НКУ;
- Степень защиты IP НКУ;
- Воздушные зазоры и пути утечки;
- Защита от поражения электрическим током и непрерывность цепей защиты;
- Установка коммутационных устройств и компонентов;
- Внутренние электрические цепи и соединения;
- Выводы для внешних проводников.

5 Распределительные щиты

Проверка рабочих характеристик:

- Диэлектрические свойства (выдерживаемое напряжение промышленной частоты при 50 Гц и импульсное выдерживаемое напряжение);
- Проверка предельных значений превышения температуры;
- Стойкость к короткому замыканию;
- Электромагнитная совместимость (ЭМС);
- Механическая работоспособность.

В свою очередь изготовитель щитов несет ответственность за:

- подбор и установку компонентов в полном соответствии с предоставленным руководством;
- проведение типовой проверки каждого произведенного щита;
- сертификацию НКУ.

Перечень типовых испытаний, проводимых изготовителем щитов согласно Стандарту, включает в себя:

Характеристики конструкции:

- Степень защиты IP оболочки;
- Воздушные зазоры и пути утечки;
- Защита от поражения электрическим током и непрерывность цепей защиты;
- Установка коммутационных устройств и компонентов;
- Внутренние электрические цепи и соединения;
- Выводы для внешних проводников;
- Механическая работоспособность.

Рабочие характеристики:

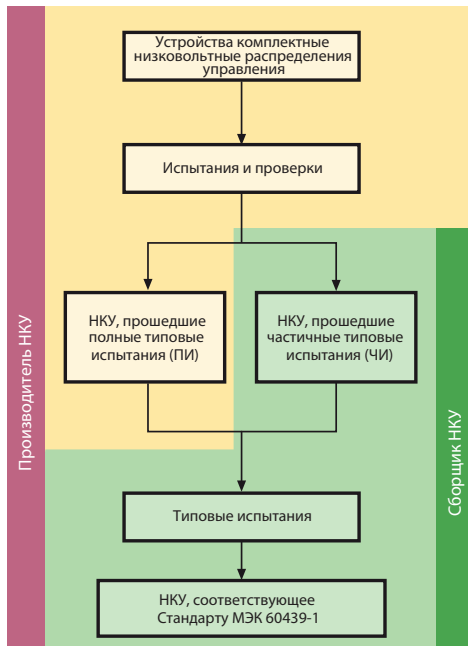
- Диэлектрические свойства (выдерживаемое напряжение промышленной частоты при 50 Гц и импульсное выдерживаемое напряжение);
- Прокладка проводников и работоспособность.

Данные проверки могут осуществляться в любой последовательности. Факт проведения типовой проверки изготовителем щитов не освобождает сборщика от проверки НКУ после его транспортировки и установки.

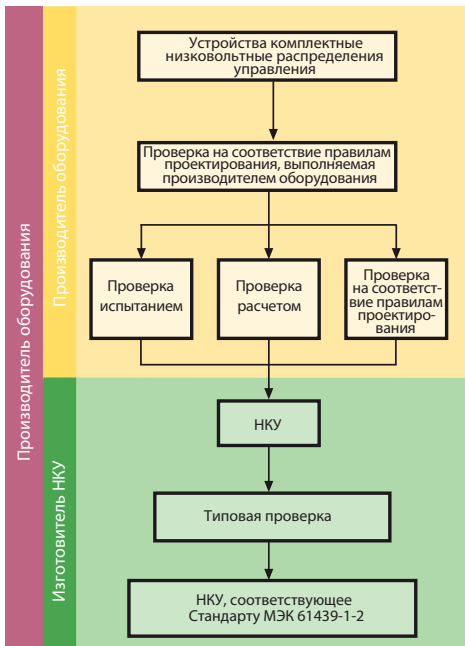
Основные отличия и нововведения Стандарта МЭК 61439 от прежнего Стандарта 60439, представлены на схемах на рисунке ниже.

5 Распределительные щиты

Стандарт МЭК 60439-1



Стандарт МЭК 61439-1-2



5 Распределительные щиты

Степени защиты

Степень защиты IP указывает на уровень защиты, обеспечиваемый НКУ в отношении доступа или контакта с частями под напряжением, проникновения твердых посторонних предметов и влаги. Код IP - это система, используемая для определения степени защиты в соответствии с требованиями Стандарта МЭК 60529. Если только изготовителем не указано иначе, степень защиты применяется ко всему распределительному щиту, собранному и установленному для эксплуатации в нормальных условиях (с закрытыми дверцами).

Изготовитель также должен указывать степень защиты, применимую к конкретным конфигурациям, которые могут появиться в процессе эксплуатации, как например, степень защиты с открытыми дверцами или удаленными или выдвинутыми устройствами.

Элементы кода IP и их значения

Элемент	Цифры или буквы	Значение для защиты оборудования	Значение для защиты персонала	Ссылка
Буквы кода	IP			
Первая характеристическая цифра		От проникновения твердых посторонних объектов	От доступа к опасным частям	П. 5
	0	(не защищено)	(не защищено)	
	1	≥ 50 мм в диаметре	тыльной стороной ладони	
	2	≥ 12,5 мм в диаметре	пальцем	
	3	≥ 2,5 мм в диаметре	инструментом	
	4	≥ 1,0 мм в диаметре	проволокой	
	5	пылезащищенное	проволокой	
Вторая характеристическая цифра	6	пыленепроницаемое	проволокой	П. 6
		От проникновения влаги с вредным воздействием		
	0	(не защищено)		
	1	вертикальные падающие капли		
	2	падающие капли (под углом 15°)		
	3	вода в виде дождя		
	4	брызги		
	5	струя		
Дополнительная буква (опциональная)	6	мощная струя		
	7	временное погружение		
	8	постоянное погружение		
		От доступа к опасным частям	От доступа к опасным частям	П. 7
	A		тыльной стороной ладони	
Дополнительная буква (опциональная)	B		пальцем	
	C		инструментом	
	D		проволокой	
Дополнительная буква (опциональная)		Дополнительная информация для:		П. 8
	H	Высоковольтное оборудование		
	M	Подвижно во время испытаний на проникновение воды		
	S	Подвижные части неподвижны при испытаниях на проникновение воды		
	W	Погодные условия		

5 Распределительные щиты

Формы секционирования и классификация распределительных щитов

Формы внутреннего разделения

Под формой разделения подразумевается тип секционирования в пределах распределительного щита. Секционирование с помощью ограждений или перегородок (металлических или изоляционных) может выполнять функцию:

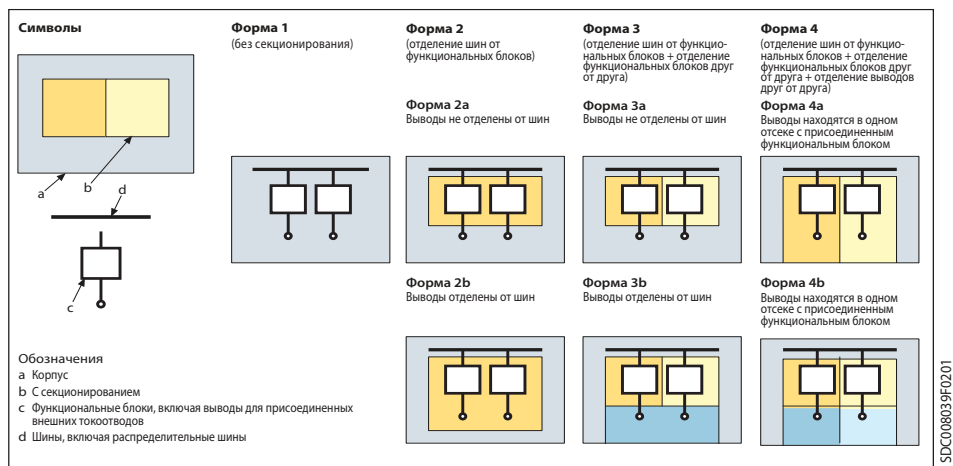
- обеспечения защиты от прямого контакта (как минимум IPXXB) в случае доступа к части щита, которая не находится под напряжением, когда остальная его часть остается под напряжением;
- снижения риска возникновения и распространения внутренней дуги;
- преграды для попадания твердых объектов между разными частями распределительного щита (минимальная степень защиты IP2X).

Перегорodka - это разделительный элемент между двумя частями, а ограждение - это элемент, защищающий оператора от прямого контакта и воздействия дуги, возникающей от любого коммутирующего устройства, в направлении обычного доступа.

В следующей таблице из Стандарта МЭК 61439-1-2 представлены типичные виды секционирования, которые можно получить с помощью ограждений или перегородок:

Основные критерии	Подкритерии	Форма
Без секционирования		Форма 1
Отделение шин от функциональных блоков	Выводы для внешних проводников, не отделенных от шин	Форма 2a
	Выводы для внешних проводников, отделенных от шин	Форма 2b
Отделение шин от функциональных блоков и отделение всех функциональных блоков друг от друга. Отделение выводов для внешних проводников от функциональных проводников, но не друг от друга	Выводы для внешних проводников, не отделенных от шин	Форма 3a
	Выводы для внешних проводников, отделенных от шин	Форма 3b
Отделение шин от функциональных блоков и отделение всех функциональных блоков друг от друга, включая выводы для внешних проводников, которые являются неотъемлемой частью функционального блока	Выводы для внешних проводников в том же отсеке, что и связанный функциональный блок	Форма 4a
	Выводы для внешних проводников, не в том же отсеке, что и связанный функциональный блок, но в индивидуальном, отдельном огороженном защищенном объеме или отсеке	Форма 4b

5 Распределительные щиты



Классификация:

В зависимости от ряда факторов существуют различные классификации электрических распределительных щитов.

В соответствии с МЭК 61439-1 (ГОСТ Р 51321.1) по конструкции НКУ подразделяются на открытые НКУ и НКУ, защищенные оболочками.

Распределительный щит защищен оболочкой, когда у него есть защитные панели со всех сторон, что обеспечивает степень защиты от прямого контакта, как минимум, IPXXB. Распределительные щиты, работающие в нормальной окружающей среде, должны быть защищены оболочкой.

Открытые распределительные щиты с передней крышкой или без нее имеют доступные части под напряжением. Такие распределительные щиты могут использоваться только в электроустановках, доступных квалифицированному персоналу.

По внешней конструкции распределительные щиты делятся на следующие категории:

- НКУ ящичного типа

Используемое для крупного оборудования управления и распределения энергии, многоящичное комплектное устройство может быть получено размещением ящиков рядом друг с другом.

- НКУ пультового типа

Используется для управления машинами или комплексными системами в машиностроительной, чугуно- и сталелитейной, а также химической промышленности.

- НКУ шкафного типа

Характеризуемое монтажом у стены, устанавливается на стене или заподлицо со стеной; эти распределительные щиты, как правило, используются для распределения энергии на уровне подразделения или участка в промышленных условиях или секторах третьего уровня.

5 Распределительные щиты

- НКУ многошкафного типа

Каждый шкаф, как правило, защищенный, содержит один функциональный блок, который может быть автоматическим выключателем, пускателем, гнездом с блокирующим или автоматическим выключателем.

По своей функции распределительные щиты делятся на следующие типы:

- Главные распределительные щиты

Главные распределительные щиты, как правило, устанавливаются сразу же после трансформаторов среднего/низкого напряжения или генераторов, и могут входить в состав комплектных трансформаторных подстанций. Главные распределительные щиты состоят из одного или более блоков ввода, шинных соединителей и относительно небольшого количества блоков вывода.

- Вторичные распределительные щиты

Вторичные распределительные щиты включают широкий диапазон распределительных щитов для распределения энергии и оборудуются одним блоком ввода и несколькими блоками вывода.

- Щиты для управления двигателями

Щиты для управления двигателями предназначены для управления и централизованной защиты двигателей: поэтому они состоят из соответствующих скоординированных устройств для работы и защиты, а также вспомогательных устройств управления и сигнализации.

- Щиты управления, измерения и защиты

Щиты управления, измерения и защиты обычно состоят из пультов, содержащих, главным образом, аппаратуру управления, контроля и измерений для производственных процессов и систем.

- Станочные распределительные щиты

Станочные распределительные щиты по своим функциям похожи на вышеописанные щиты; их роль - обеспечить взаимодействие между станком, источником питания и оператором.

- НКУ для строительных площадок (НКУСП)

НКУ для строительных площадок могут быть различных размеров - от простого комплекта вилок с розеткой до настоящего распределительного щита в оболочке из металла или изоляционного материала. Они, как правило, переносные или, в любом случае, передвижные.

Проверка пределов превышения температуры внутри НКУ

Введение

Проверка пределов превышения температуры, установленная Стандартом МЭК 61439-1, может проводиться одним из следующих методов:

- проверочное испытание током в лаборатории;
- заключение из правил проектирования;
- математическое моделирование.

Предельные значения превышения температуры при проведении испытаний согласно новому Стандарту МЭК 61439-1 совпадают с предельными значениями, предписанными в предыдущей версии Стандарта. Предельные значения превышения температуры рассчитываются при условии того, что температура окружающей среды не превышает $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$, и ее среднее значение в течение 24 часов не должно превышать $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$.

5 Распределительные щиты

В таблице ниже приведены предельные значения превышения температуры для различных компонентов НКУ, предписанные Стандартом.

Элементы НКУ	Предельные значения превышения температуры
Встроенные комплектующие элементы ¹⁾	В соответствии с требованиями к отдельным комплектующим элементам, установленным в стандарте или инструкции ²⁾ изготовителя комплектующих элементов с учетом температуры внутри НКУ.
Зажимы для внешних изолированных проводников	70°C ³⁾
Шины и проводники, втычные контакты выдвигаемых или съемных частей, соединяющихся шинами	Ограничено: <ul style="list-style-type: none"> - механической прочностью проводящего материала⁷⁾; - возможным влиянием на близлежащую аппаратуру; - допустимой температурой изолирующих материалов, находящихся в контакте с проводником; - влиянием температуры проводника на аппарат, к которому он присоединен; - свойствами и обработкой поверхности материала контакта (для втычных контактов)
Средства ручного управления:	
- из металла	15°C ³⁾
- из изолирующего материала	25°C ³⁾
Доступные наружные оболочки и элементы оболочек:	
- металлические поверхности	30°C ⁴⁾
- изолирующие поверхности	40°C ⁴⁾
Отдельно расположенные устройства разъёмного типа (вилка-розетка)	Определяется предельной температурой элементов оборудования, частью которого они являются ⁵⁾

¹⁾ Термин «встроенные комплектующие элементы» означает:

- обычную коммутационную и управляющую аппаратуру;
- электронные блоки (например, выпрямительный мост, печатная схема);
- части оборудования (например, регулятор, стабилизированный источник питания, операционный усилитель).

²⁾ Указано предельное значение температуры нагрева 70°C для проводников с ПВХ изоляцией, которое не должно превышаться при испытаниях, проводимых в соответствии с 10.10. НКУ, эксплуатируемое и испытываемое в конкретных условиях эксплуатации, может иметь соединения, тип, характер и расположение, отличные от принятых при проведении испытаний, и полученная температура нагрева зажимов может иметь значение, которое необходимо принять в качестве предельной. В тех случаях, когда выводы внутренних компонентов НКУ являются также выводами внешних изолированных проводников, соответствующая наименьшая предельная температура нагрева должна быть принята в качестве предельной для этой части НКУ.

³⁾ Для органов ручного управления внутри НКУ, доступ к которым возможен только после открывания НКУ, например для рукояток аварийного отключения, рукояток, предназначенных для выдвигания блоков, которыми редко пользуются, допускается устанавливать более высокое значение превышения температуры 25°C.

⁴⁾ Если нет других указаний относительно оболочки и ее элементов, к которым имеется открытый доступ, но которых нет необходимости касаться во время нормальной эксплуатации, то допускается принимать предельные значения превышения температуры на 10°C выше установленной.

⁵⁾ Данное положение позволяет проявлять определенную гибкость в отношении выбора оборудования (например электронных устройств), у которого предельные значения превышения температуры отличаются от предельных значений, как правило, устанавливаемых для аппаратуры распределения и управления.

⁶⁾ Предельные значения превышения температуры для проверки по 10.10 устанавливает производитель оборудования, принимая во внимание дополнительные измерительные точки и предельные значения, указанные изготовителем комплектующих элементов.

⁷⁾ Если предположить, что для перечисленных ниже критериев это допустимо, максимальное превышение температуры для неизолированных медных шин и проводников не должно превышать 105°C.

Примечание: 105°C - температура, превышение которой может привести к отжигу меди, что может изменить механические и электрические свойства медных элементов. Для других материалов предельные значения превышения температуры могут отличаться.

5 Распределительные щиты

Проверка предельных значений превышения температуры НКУ

Для проверки предельных значений превышения температуры при проведении сертификации НКУ можно выбрать один из трех нижеперечисленных методов:

1) проверочное испытание (ранее типовое) номинальным током в лаборатории, в ходе которого измеряется температура в определенных точках внутри опытного образца НКУ. После чего полученные значения сравниваются с допустимыми (см. в таблице на стр. 226); если измеренные значения меньше или равны допустимым, испытание считается пройденным при данных значениях тока и при определенных условиях окружающей среды (температура окружающей среды, влажность и т.д.);

2) вывод аналогичных результатов (на основе испытанного НКУ с проложенной проводкой); этот метод используется для проверки соответствия образцов, ранее не подвергавшихся испытаниям, но имеющих те же сравнительные характеристики конструкции, что и НКУ, прошедшие испытания при наличии данных по результатам испытаний.

Проверяемые таким методом НКУ считаются аналогичными испытанным НКУ при выполнении следующих условий:

- функциональные блоки того же типа (например: одинаковые электрические схемы, устройства одинакового размера, одинаковое расположение и метод крепления, аналогичная конструкция НКУ, аналогичные кабели и их прокладка), что и блоки испытанного НКУ;
- аналогичный тип конструкции;
- аналогичные или увеличенные габариты по сравнению с испытанными НКУ;
- аналогичные или увеличенные условия охлаждения по сравнению с условиями при проведении испытания (принудительное или естественное охлаждение, такие же или увеличенные вентиляционные отверстия);
- аналогичное или уменьшенное внутреннее разделение, как и при испытании (при наличии такового);
- аналогичные или уменьшенные потери мощности, как и при испытании;
- аналогичное или меньшее количество отходящих линий для каждой секции.

3) проверка предельных значений превышения температуры посредством математического моделирования. В этом случае не рассматриваются лабораторные испытания и применяются математические алгоритмы термодинамического типа, используемые производителями уже в течение многих лет. Следующие два отличных и независимых друг от друга метода расчета представляют собой альтернативу испытаниям:

а) так называемый "метод потери мощности" основан на непревышении верхнего предельного значения потерь тепловой мощности в определенной оболочке. Для определения значения потерь мощности превышение температуры в пустой оболочке моделируется установкой регулируемых тепловых резисторов, которые позволяют достичь постоянной температуры в оболочке. После достижения установившейся температуры и уточнения диапазона предельных значений превышения температуры для каждой оболочки можно получить максимальное значение тепловой потери мощности. Этот метод имеет некоторые ограничения и, как правило, применяется к распределительным щитам:

- 1) с одним отсеком и током не более 630 А;
- 2) с равномерным распределением внутренних потерь;
- 3) в которых конструктивные части и оборудование расположены так, что нет существенных затруднений циркуляции воздуха;
- 4) проводники, проводящие ток свыше 200 А, и конструктивные части расположены так, что потери на вихревые токи пренебрежимо малы;
- 5) в которых установленное оборудование эксплуатируется при токах, не превышающих номинальные значения тока термической стойкости при естественном воздушном охлаждении.

5 Распределительные щиты

b) алгоритм расчета по Стандарту МЭК 60890 применяется к многошкафному НКУ с номинальным током до 1600 А (ранее до 3150 А). В данном случае применяется математическое моделирование без учета данных, полученных в результате испытаний. Эта процедура расчета заключается в составлении вертикальной тепловой карты НКУ при установившихся условиях в соответствии со значениями температуры, постепенно возрастающими и достигающими максимального значения в верхней части НКУ. В результате расчетов через определение потерь мощности можно получить значения температуры.

Согласно Стандартам МЭК 60890 и МЭК 61439-1 данный метод расчета применяется при соблюдении следующих условий:

- номинальный ток цепей НКУ не должен превышать 80% номинального тока (на открытом воздухе) номинального тока устройств защиты и электрических компонентов, установленных в этих цепях;
- распределение потерь мощности внутри оболочки происходит равномерно и без преград, препятствующих их распространению за пределы НКУ;
- НКУ спроектировано таким образом, что циркуляция воздуха практически не затруднена;
- установленное НКУ разработано для постоянного и переменного токов с частотой не более 60Гц с общим током питания не более 1600 А;
- проводники с током свыше 200 А и конструктивные части расположены таким образом, что потери на вихревые токи в конструкциях НКУ пренебрежимо малы;
- для оболочек с вентиляционными отверстиями поперечное сечение отверстий для выхода воздуха составляет по крайней мере 1,1 поперечного сечения отверстий для входа воздуха;
- каждая секция НКУ содержит не более трех горизонтальных перегородок;
- в тех местах, где оболочки имеют внешние вентиляционные отверстия, поверхность вентиляционных отверстий в каждой горизонтальной перегородке должна составлять, по крайней мере, 50% от горизонтального поперечного сечения отсека.

При соблюдении данных условий Стандарта для расчета превышения температуры воздуха внутри оболочки требуются следующие параметры:

- габариты оболочки;
- тип установки оболочки;
- расположены ли все поверхности оболочки на открытом воздухе;
- является ли оболочка настенной;
- предназначена ли оболочка для эксплуатации в тяжелых условиях;
- является ли оболочка внутренней в многосекционном НКУ;
- наличие вентиляционных отверстий и их размеры;
- количество горизонтальных внутренних разделителей;
- потери мощности установленного в оболочке оборудования и проводников, установленных внутри щита или отсека.

Стандарт допускает проведение расчета превышения температуры воздуха в средней или высшей точке щита. После составления тепловой карты НКУ вертикальная проверка НКУ проводится при условии, что рассчитанная температура воздуха на уровне монтажа каждого из устройств не превышает допустимую заявленную производителем температуру воздуха окружающей среды. Для коммутационных устройств и электрического оборудования в главных цепях это означает, что непрерывная нагрузка не превышает допустимую нагрузку для рассчитанной температуры окружающего воздуха и не превышает 80% номинального тока. В Приложении В подробно поясняется метод расчета, описанный в Стандарте. Компания АББ предоставляет клиентам ПО для быстрого и точного расчета предельных значений превышения температуры внутри НКУ.

5 Распределительные щиты

5.2 Распределительные щиты MNS

MNS-системы применяются во всех областях, связанных с выработкой, распределением и использованием электроэнергии; например, они могут применяться в качестве:

- главных и вспомогательных распределительных щитов;
- источника электропитания станции управления двигателями;
- распределительных щитов для систем автоматики.

MNS-система представляет собой рамную конструкцию с не требующими обслуживания болтовыми соединениями, оснащенную соответствующими стандартизованными компонентами, которую можно приспособить к любой области применения. Последовательное использование модульного принципа в электрической и механической конструкции позволяет выбрать конструктивное решение, внутреннюю компоновку и степень защиты в соответствии условиями эксплуатации. Конструкция и материалы, применяемые в MNS-системах, в значительной степени предотвращают возникновение электрической дуги или обеспечивают ее быстрое гашение.

MNS-система соответствует требованиям, установленным в документе VDE0660 Часть 500, а также в Стандарте МЭК 61641 и, кроме того, она подвергалась всесторонним испытаниям на возможность случайного возникновения дуги в независимом институте.

MNS-система предлагает пользователю множество альтернативных решений и имеет заметные преимущества по сравнению с установками традиционного типа:

- компактная, занимающая мало место конструкция;
- вдвоенная компоновка;
- оптимальное распределение энергии в отсеках;
- простая конструкция и детальная разработка, благодаря использованию стандартизированных компонентов;
- полный диапазон стандартизированных модулей;
- различные уровни конструкции, в зависимости от рабочих и внешних условий;
- простая комбинация различных систем оборудования, таких как стационарные и выдвижные модули в одном отсеке;
- вариант дугозащитной конструкции (стандартная конструкция со стационарными модулями);
- вариант сейсмостойкой, вибростойкой и ударопрочной конструкции;
- простая сборка, не требующая специальных инструментов;
- простая модернизация и модификация;
- почти не требуется техобслуживание;
- высокая эксплуатационная надежность;
- высокий уровень безопасности для эксплуатационного персонала.

Основными элементами рамы служат С-образные секции с отверстиями с интервалом 25 мм согласно Стандарту DIN 43660. Все части рамы соединяются не требующими обслуживания самонарезающими винтами или винтами ESLOK. На базе решетки с основным размером 25 мм, рамы собираются для ящиков различных типов без каких-либо специальных инструментов. Одно- или многосекционные НКУ могут собираться для работы с фронтальной или с фронтальной и тыльной стороны. Имеются различные конструкции, в зависимости от требований к оболочке:

- с одной дверцей для отсека оборудования;
- с двойной дверцей для отсека оборудования;
- с дверцей для отсеков оборудования и кабелей;
- с дверцами для модулей и/или крышками для выдвижных модулей и дверцей для отсека кабелей.

Днище отсека может быть оборудовано напольными плитами. С помощью листов с гнутой кромкой выполняются кабельные каналы, соответствующие всем требованиям. Дверцы и оболочка могут иметь одно или несколько вентиляционных отверстий, верхние крышки могут быть снабжены металлической решеткой (IP 30 — IP40) или вентиляционной вытяжной трубой (IP 40, 41, 42).

5 Распределительные щиты

В зависимости от предъявляемых требований рамная конструкция может подразделяться на следующие отсеки (функциональные зоны):

- отсек оборудования;
- отсек шин;
- отсек кабелей.

Отсек оборудования содержит модули оборудования, отсек шин - шины и распределительную арматуру, отсек кабелей вмещает входящие и выходящие кабели (сверху или снизу) с проводкой для соединения модулей и опорных устройств (кабельные монтажные рейки, соединительные детали кабелей, параллельные соединения, каналы для проводки и т.д.) Функциональные отсеки ящика, а также сами ящики разделяются перегородками. Между отсеками также могут помещаться горизонтальные перегородки с вентиляционными отверстиями или без них.

В состав всех ящиков с входящими/выходящими фидерами и шинными соединителями входит одно коммутирующее устройство. Такими устройствами могут быть стационарные выключатели-разъединители, стационарные или выдвижные воздушные или в литом корпусе автоматические выключатели.

Ячейки этого типа подразделяются на отсеки оборудования и отсеки шин; их размеры (В x Ш) составляют 2200 мм x 400 мм / 1200 мм x 600 мм, а ширина зависит от размеров используемого распределительного щита.

Ящики с воздушными автоматическими выключателями до 2000 А могут поставляться в исполнении с уменьшенными размерами (Ш = 400 мм).

Можно соединить ящики, чтобы получились оптимальные блоки максимальной ширины 3000 мм.

5.3 Распределительные щиты Striebel & John

Системы распределения электроэнергии Striebel & John¹ отвечают всем требованиям, обеспечивающим им успешное будущее в строительстве и промышленности. Широкий спектр модульных настенных и напольных распределительных шкафов позволяет любому пользователю выбрать индивидуальную и экономичную конфигурацию.

Низковольтные комплектные устройства, прошедшие типовые испытания (ПИ НКУ), рассчитанные для тока до 4000 А, гарантируют очень высокие стандарты безопасности персонала и установки. Компания Striebel & John успешно реализовала принцип модульности: модульная система предлагает неограниченные возможности конфигураций, создаваемых из легко собираемых изделий. Striebel & John также предлагает особые варианты устройств для распределения электроэнергии, получаемых на основе специальных конструкций для индивидуальных решений, разработанных в соответствии с требованием клиента.

Настенные и напольные шкафы

Striebel & John предлагает заземленные или изолированные, настенные или напольные шкафы для всех областей применения. Чтобы обеспечить универсальность модульной конструкции шкафов, Striebel & John предлагает разнообразную и хорошо масштабируемую систему, а также универсальную систему внутренней электропроводки, включая необходимые принадлежности. Настенные шкафы серии В и настенные и напольные шкафы серий Н, G, С и W представляют собой заземленные шкафы класса защиты 1 для номинального тока до 850 А. Настенные шкафы серий U и А, а также настенные и напольные шкафы серий HS, FS и WS - это изолированные шкафы для номинальных токов до 630 А. Настенные и напольные шкафы указанных серий, а также серий А и В, FS и G, WS и W (заземленные или изолированные) можно комбинировать друг с другом. Конфигурации из этих систем модульных шкафов создаются очень просто, благодаря тщательно продуманной системе быстрой установки EDF. Система впечатляет своей быстрой и рациональной установкой, а также легко комбинируемыми модулями. Она одинаково просто реализуется для настенных, напольных шкафов комплектных устройств, а также для распределительных щитов в шкафах системы пожарной безопасности.

¹ Striebel & John - завод концерна АББ, расположенный в Германии
214 - устройства защиты и управления | АББ

5 Распределительные щиты

Щафы системы пожарной безопасности

Striebel & John разработала широкий спектр настенных и напольных шкафов, кожухов и кабельных шкафов, а также противопожарных дверей с рамной конструкцией и распределительных щитов с предупредительной противопожарной защитой.

Щафы системы пожарной безопасности испытаны в соответствии с DIN 4102 часть 11 для проверки выдерживаемой при пожаре нагрузки (130/190) или DIN 4102 часть 12 для проверки функциональной способности (E 30/E 90). В зависимости от модели, шкафы гарантируют выдерживаемую нагрузку при пожаре в течение 30 или 90 минут (I 30/I 90) или сохранение функциональной способности (E30/E 90). Новый материал невоспламеняющийся и относится к классу материалов A2. Внутренние панели распределительного щита испытаны в соответствии со Стандартом МЭК61439-1 (ГОСТ Р 51321.1).

В них также используется система быстрой установки EDF. Также Striebel & John предлагает широкий спектр противопожарных дверей, которые обеспечивают огнестойкость в соответствии с DIN 4102 часть 2 (F 30/F 90), гарантируют выдерживаемую нагрузку при пожаре (I 30/I 90) и функциональную способность (E30/E90).

Щафы распределительных устройств TriLine-R

Марка TriLine-R означает простые, быстро собираемые и безопасные в использовании системы. Система шкафов НКУ TriLine-R представляет собой перспективную разработку. Система имеет модульную конструкцию и одинаково хорошо приспособлена для работы во всех областях, связанных с передачей и распределением электроэнергии, а также без ограничений может использоваться в системах управления. TriLine-R - это системное решение, которое удовлетворяет всем техническим требованиям и учитывает все экономические аспекты. Профиль шкафа, изготовленный из оцинкованной стали, выполнен с фальцевкой 36, что, вместе с вновь разработанными угловыми элементами, обеспечивает прочную основу для высочайшего уровня устойчивости и сопротивления кручению. Этот профиль разработан в результате проведения полной серии компьютерного моделирования, расчетов и экспериментов. Размеры профильной решетки, в соответствии со Стандартом DIN 43660 (25 мм и 12,5 мм), и размеры внутренней решетки, в соответствии со Стандартом DIN 43870 (B=150мм/Ш = 250 мм), позволяют без ограничений осуществлять монтаж оборудования в любом положении. Все компоненты системы разработаны для универсального использования; по оптимизированной технологии, позволяющей максимально упростить установку. Стандартная внешняя оболочка, а также дверцы с защитным стеклом или секционные двери различных размеров обеспечивают оптимальное удобство эксплуатации.

Гарантия безопасного и надежного электропитания является центральным требованием для комбинаций низковольтных комплектных устройств, а также общей предпосылкой хороших технико-экономических показателей.

Высокий уровень безопасности - главная особенность всех систем распределительных устройств TriLine-R. При разработке учитывались пожелания заказчиков и требования рынка, в результате чего была создана система комплектных устройств, прошедшая типовые испытания и соответствующая техническим условиям Стандарта DIN EN 60439-1 для номинального тока до 4000 А.

Все типовые испытания проводились независимым научно-исследовательским институтом. Результаты и условия испытаний подтверждаются протоколами испытаний и являются предварительным условием производства низковольтных комплектных устройств, прошедших типовые испытания (ПИ НКУ).

5 Распределительные щиты

Такие ПИ НКУ обеспечивают инженеров-технологов, монтажников, инженеров и операторов в промышленном секторе и секторе обслуживания системой высочайшего уровня безопасности для установки и персонала.

Кроме того, можно и дальше повышать безопасность системы и персонала, формируя внутреннее разделение в комплектных распределительных устройствах в защищенных оболочках. Мы предлагаем ряд комплектов для расширения системы TriLine-R до варианта верхнего уровня - формы 4b.

Приложение А: Защита от воздействий короткого замыкания внутри низковольтных распределительных щитов

Стандарт МЭК 61439-1 (ГОСТ Р 51321.1) определяет, что комплектные устройства (далее распределительные щиты) должны проектироваться так, чтобы они могли выдерживать тепловые и динамически нагрузки, создаваемые токами КЗ в пределах номинальных значений. Кроме того, распределительные щиты должны быть защищены от токов КЗ автоматическими выключателями, плавкими предохранителями или их комбинацией, которые могут встраиваться в распределительный щит или устанавливаться перед ним.

Заказывая распределительный щит, пользователь должен указать условия короткого замыкания в точке установки.

В этой главе рассматриваются следующие аспекты:

- необходимость проверки на прочность при КЗ распределительных щитов или отсутствие такой необходимости;
- пригодность распределительного щита для установки, в зависимости от ожидаемого тока короткого замыкания установки и параметров КЗ распределительного щита;
- пригодность системы шин, в зависимости от тока короткого замыкания и защитных устройств.
- проверка НКУ на прочность при КЗ по нормам проектирования, определенным в Стандарте МЭК 61439-1.

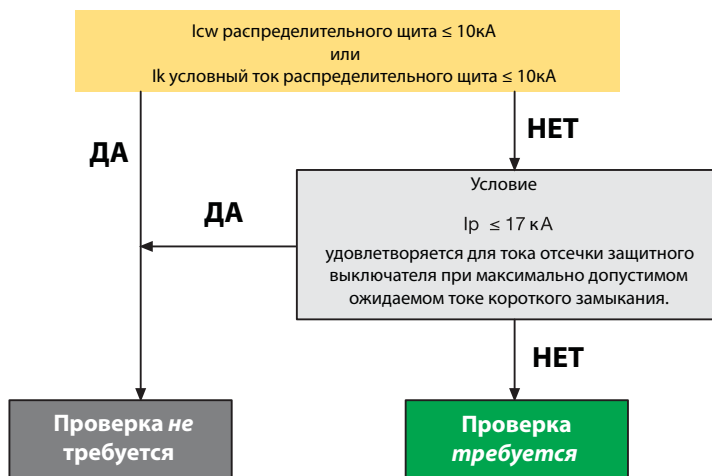
Приложение А: Защита от воздействий короткого замыкания внутри низковольтных распределительных щитов

Проверка прочности при КЗ

Проверка прочности при КЗ описана в Стандарте МЭК 61439-1 (ГОСТ Р 51321.1), где, в частности, указываются случаи, требующие проверки и различные типы проверок. Проверка на прочность при КЗ не требуется, если выполняются следующие условия:

- Распределительные щиты имеют номинальный кратковременно выдерживаемый ток (I_{cw}) или номинальный условный ток (I_k), не превышающий 10 кА.
- Распределительные щиты защищены токоограничивающими устройствами с током отсечки не более 17 кА при максимально допустимом ожидаемом токе КЗ на выводах входящей цепи распределительного щита.
- Вспомогательные цепи распределительных щитов предназначены для подключения к трансформаторам, чья номинальная мощность не превышает 10 кВА для номинального напряжения вторичной обмотки не менее 110 В или 1,6 кВА для номинального напряжения вторичной обмотки менее 110 В и напряжения КЗ не менее 4%.

Поэтому, с технической точки зрения, необходимость проверки на прочность при КЗ можно рассматривать следующим образом:



В отношении деталей технических характеристик испытаний необходимо ссылаться непосредственно на Стандарт МЭК 61439-1 (ГОСТ Р 51321.1).

Приложение А: Защита от воздействий короткого замыкания внутри низковольтных распределительных щитов

Ток короткого замыкания и определение возможности установки распределительного щита в конкретной точке системы

Проверка на прочность при КЗ основана на одном из двух значений, указываемых изготовителем по своему усмотрению:

- номинальный кратковременно выдерживаемый ток I_{cw} ;
- номинальный условный ток короткого замыкания I_k .

На основе этих двух значений можно определить, подходит ли распределительный щит для установки в конкретной точке системы.

Необходимо проверить, что отключающие способности аппаратов внутри распределительного щита соответствуют значениям токов КЗ системы.

Номинальный кратковременно выдерживаемый ток I_{cw} - это предварительно определенное среднеквадратичное значение испытательного тока, которому соответствует определенное значение пикового тока, прикладываемого к испытуемой цепи распределительного щита в течение заданного времени (обычно 1 с). Для разных значений времени (0,2 с., 3 с.) в НКУ можно определить различные значения I_{cw} . Распределительный щит должен выдерживать тепловые и электродинамические нагрузки без повреждений или деформаций, которые могли бы мешать работе системы. Из этого испытания (если оно прошло успешно) можно получить значение удельной сквозной энергии (I^2t), которую может проводить распределительный щит:

$$I^2t = I_{cw}^2t$$

Испытание должно проводиться с коэффициентом мощности, указанным ниже в Таблице 4 Стандарта МЭК 61439-1 (ГОСТ Р 51321.1). Коэффициент «n», соответствующий значению $\cos\varphi$, позволяет определить пиковое значение тока КЗ, выдерживаемого распределительным щитом, по следующей формуле:

$$I_p = I_{cw} \cdot n$$

Таблица 4

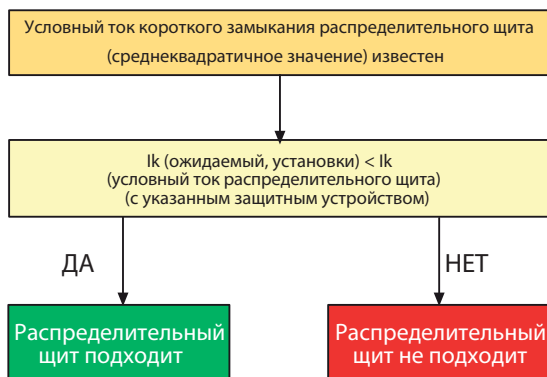
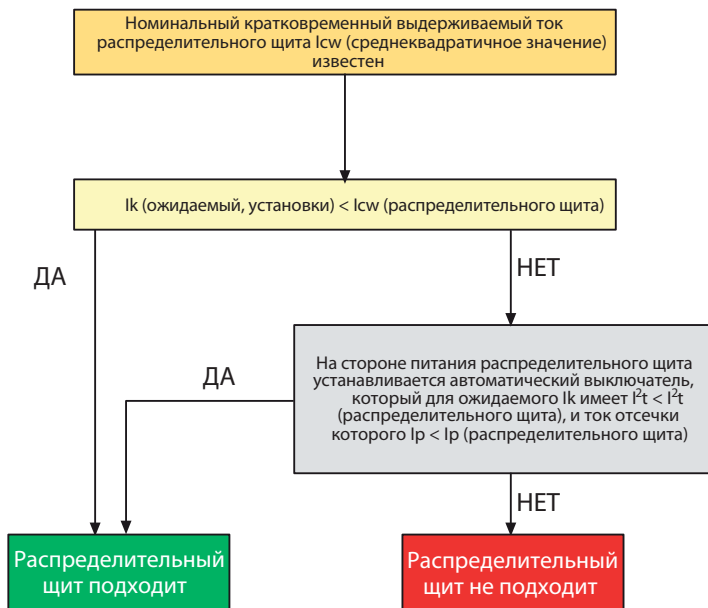
среднеквадратичное значение тока короткого замыкания, кА	коэффициент мощности $\cos\varphi$	n
$I \leq 5$	0,7	1,5
$5 < I \leq 10$	0,5	1,7
$10 < I \leq 20$	0,3	2
$20 < I \leq 50$	0,25	2,1
$50 < I$	0,2	2,2

Значения, приведенные в данной таблице, представляют большую часть областей применения. В некоторых местах, например, вблизи трансформаторов или генераторов, можно обнаружить более низкие значения коэффициента мощности, поэтому максимальный ожидаемый пиковый ток может принимать предельное значение вместо среднеквадратичного значения тока КЗ.

Условный ток короткого замыкания - это предварительно определенное среднеквадратичное значение испытательного тока, которому соответствует определенное значение пикового тока, и который распределительный щит может выдерживать в течение времени действия установленного защитного устройства. Этим устройством обычно служит главный автоматический выключатель распределительного щита.

Путем сравнения этих двух значений I_{cw} и I_p с ожидаемым током КЗ установки можно определить, подходит ли распределительный щит для установки в определенной точке системы. На следующих схемах показан метод определения возможности установки распределительного щита в конкретной точке системы.

Приложение А: Защита от воздействий короткого замыкания внутри низковольтных распределительных щитов



Отключающие способности аппаратов внутри распределительного щита необходимо проверить на совместимость со значениями токов КЗ установки.

Приложение А: Защита от воздействий короткого замыкания внутри низковольтных распределительных щитов

Пример

Параметры установки: Номинальное напряжение $U_r=400$ В
 Номинальная частота $f_r=50$ Гц
 Ток короткого замыкания $I_k=35$ кА

Предположим, что в существующей системе установлен распределительный щит с током I_{sw} , равным 35 кА, и в точке установки распределительного щита ожидаемый ток КЗ равен 35 кА.

Теперь предположим, что ожидается увеличение мощности источника питания, и значение КЗ возрастает до 60 кА.

Параметры установки после увеличения мощности источника питания:

Номинальное напряжение $U_r=400$ В
 Номинальная частота $f_r=50$ Гц
 Ток короткого замыкания $I_k=60$ кА

Поскольку ток I_{sw} распределительного щита ниже тока КЗ системы, то для того чтобы проверить, что имеющийся щит по-прежнему подходит, необходимо:

- определить значения тока I^2t и I_p , пропускаемые автоматическим выключателем со стороны питания распределительного щита;
- проверить, что защитные устройства, установленные в распределительном щите, обладают достаточной отключающей способностью (по отдельности или в резервировании).

$I_{sw} = 35$ кА, из чего следует:

$$I^2_{t_{распр. щит}} = 35^2 \times 1 = 1225 \text{ MA}^2\text{c}$$

$$I_{p_{распр. щит}} \sim 73,5 \text{ кА (согласно Таблице 4)}$$

Предположив, что со стороны питания распределительного щита установлен автоматический выключатель типа TmaxT5H (**$I_{cu}=70$ кА при 415 В**)

$$I^2_{t_{AB}} < 4 \text{ MA}^2\text{c}$$

$$I_{p_{AB}} < 40 \text{ кА}$$

поскольку

$$I^2_{t_{распр. щит}} > I^2_{t_{AB}}$$

$$I_{p_{распр. щит}} > I_{p_{AB}}$$

откуда следует, что распределительный щит (конструкция и система шин) подходит.

Предположим, что в распределительном щите установлены автоматические выключатели типа ХТ1, ХТ2 и ХТ3 исполнения N с **$I_{cu}=36$ кА при 415 В**. Из таблиц резервирования (см. главу 3.3) следует, что автоматические выключатели в распределительном щите подходят для установки, поскольку их отключающая способность увеличивается до 65 кА, благодаря автоматическому выключателю типа Т5Н со стороны подключения питающей сети.

Приложение А: Защита от воздействий короткого замыкания внутри низковольтных распределительных щитов

Выбор системы распределения в зависимости от прочности при КЗ

Параметры системы распределения щита определяются с учетом проходящего через него номинального тока и ожидаемого тока КЗ установки.

Изготовитель обычно предоставляет таблицы, позволяющие выбрать поперечное сечение шины в зависимости от номинального тока и определить монтажные размеры шинных опор для обеспечения прочности при коротком замыкании.

Для выбора распределительной системы, совместимой с параметрами короткого замыкания установки, необходимо следовать одной из процедур:

• Если известно защитное устройство со стороны питания распределительной системы

На основании значения I_{sw} распределительной системы получается:

$I_{k_{сист}} = I_{sw} \cdot n$, где n - это коэффициент, выведенный из Таблицы 4

$I^2 t_{сист} = I_{sw}^2 \cdot t$, где t равно 1 с

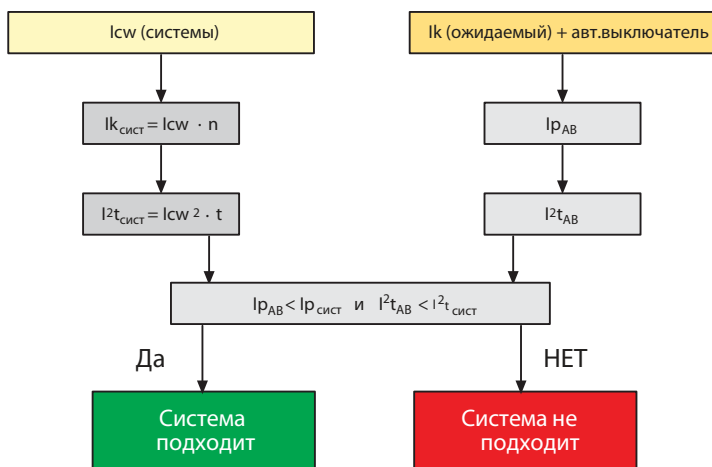
В соответствии со значением ожидаемого тока КЗ установки можно определить следующие значения:

ток отключения автоматического выключателя

удельная сквозная энергия автоматического выключателя

Если $I_{p_{AB}} < I_{p_{сист}}$ и $I^2 t_{AB} < I^2 t_{сист}$, то распределительная система подходит.

$I_{p_{AB}}$
 $I^2 t_{AB}$



• Если защитное устройство со стороны питания распределительной системы неизвестно

Должно выполняться следующее условие:

$I_{k \text{ ожидаемый}} < I_{sw \text{ системы}}$

Приложение А: Защита от воздействий короткого замыкания внутри низковольтных распределительных щитов

Пример

Параметры установки: Номинальное напряжение $U_r=400$ В
 Номинальная частота $f_r=50$ Гц
 Ток короткого замыкания $I_k=65$ кА

С учетом необходимости использовать систему формованных шин 400 А, каталог АББ «Шкафы и боксы для средств автоматизации» предоставляет следующий выбор: ВА0400 $I_n=400$ А (IP65) $I_{cw}=35$ кА.

Предположим, что со стороны питания системы шин установлен автоматический выключатель в литом корпусе типа:

АББ Tmax T5400 $I_n=400$

на основании значения I_{cw} системы шин получается:

$$I_{p_{\text{сист}}} = I_{cw} \cdot n = 35 \cdot 2,1 = 73,5 \quad [\text{кА}]$$

$$I^2 t_{\text{сист}} = I_{cw}^2 \cdot t = 35^2 \cdot 1 = 1225 \quad [(\text{кА})^2 \text{ с}]$$

На основании характеристических кривых

- I_k 65 кА соответствует приблизительно $I_{p_{AB}} = 35$ кА
- I_k 65 кА соответствует приблизительно $I^2 t_{AB} = 4 [(\text{кА})^2 \text{ с}] = 4 [\text{МА}^2 \text{ с}]$

Таким образом, поскольку $I_{p_{AB}} < I_{p_{\text{сист}}}$

$$\text{и } I^2 t_{AB} < I^2 t_{\text{сист}}$$

следует, что система шин совместима с распределительным щитом.

Приложение А: Защита от воздействий короткого замыкания внутри низковольтных распределительных щитов

Выбор проводников со стороны питания защитных устройств

Стандарт МЭК 61439-1 предписывает, что в распределительном щите типоразмеры проводников, находящихся под напряжением (включая распределительные шины), расположенных между главными шинами и стороной питания одноцелевых блоков и их конструктивных компонентов, можно определять в соответствии со значениями тока КЗ, создаваемыми со стороны нагрузки устройствами защиты от КЗ этих блоков.

Это возможно, если проводники установлены в распределительном щите таким образом, что при нормальных рабочих условиях внутреннее межфазное КЗ и/или КЗ фаза-на-землю - лишь маловероятное событие. Рекомендуется, чтобы такие проводники были сплошными и жесткими. В качестве примера в Стандарте приводятся типы проводников и инструкции по их монтажу, которые рассматривают межфазное КЗ и/или КЗ фаза-на-землю исключительно как маловероятное событие.

Тип проводника	Требования
Неизолированные или одножильные проводники с главной изоляцией, как, например, кабели согласно Стандарту МЭК 60227-3.	Необходимо избегать взаимных контактов или контактов с проводящими частями, например, установив разделители.
Одножильные проводники с главной изоляцией и максимально допустимой рабочей температурой свыше 90°C, например, кабели согласно Стандарту МЭК 60245-3, или теплостойкие кабели с ПВХ-изоляцией согласно Стандарту МЭК 60227-3.	Взаимные контакты или контакты с проводящими частями допускаются там, где нет внешнего давления. Необходимо избегать контактов с острыми краями. Необходимо избегать риска механического повреждения. Нагрузка на эти кабели допускается только при рабочей температуре не выше 70°C.
Проводники с главной изоляцией, как, например, кабели согласно Стандарту МЭК 60227-3 с дополнительной вторичной изоляцией как, например, отдельно закрытые кабели с дающей усадку оплеткой или отдельно проходящие кабели в пластиковых изоляционных кабелепроводах.	Дополнительные требования отсутствуют, если отсутствует риск механического повреждения.
Проводники, изолированные материалом с очень высокой механической прочностью, таким как, например, изоляция FTFE или проводники с двойной изоляцией с усиленной внешней оболочкой для напряжения 3 кВ или кабели согласно Стандарту МЭК 60502.	
Одножильные или многожильные кабели в оболочках, как, например, кабели согласно Стандарту МЭК 60245-4 или 60227-4.	

При таких условиях или когда полное КЗ, рассматривается как маловероятное событие, надо следовать вышеописанной процедуре для проверки соответствия распределительной системы условиям КЗ, определяемым в зависимости от характеристик автоматического выключателя, установленного со стороны нагрузки шины.

Приложение А: Защита от воздействий короткого замыкания внутри низковольтных распределительных щитов

Пример

Параметры установки:

Номинальное напряжение $U_r=400$ В

Номинальная частота $f_r=50$ Гц

Ток короткого замыкания $I_k=45$ кА

В распределительном щите, показанном на рисунке, вертикальные шины распределения отходят от главных шин. Это 800 А шины с фасонным профилем и следующими характеристиками:

I_n (IP65) = 800 А,

$I_{cw \max} = 35$ кА

Поскольку это «жесткая» система с разделителями согласно Стандарту МЭК 61439-1 (ГОСТ Р 51321.1), короткое замыкание между шинами - событие маловероятное. Однако требуется проверка, что механические усилия при КЗ, снижаемые автоматическими выключателями со стороны нагрузки системы, совместимы с системой.

Предположим, что в ящиках распределительного устройства установлены следующие автоматические выключатели:

T_{\max} XT3S250

T_{\max} XT2S160

Необходимо проверить, что в случае КЗ на каком-нибудь выходящем проводнике, ограничения, создаваемые автоматическим выключателем, соответствуют шинной системе. Для выполнения этого требования при максимально допустимом ожидаемом токе КЗ автоматический выключатель с более высоким значением отключаемого тока и сквозной энергии должен иметь соответствующую для шинной системы токоограничивающую способность.

В данном случае это автоматический выключатель T_{\max} XT3S250 I_n250 . Проверка должна проводиться, как указано в предыдущем параграфе:

На основании значения I_{cw} системы шин получается:

$$I_{p_{\text{сист}}} = I_{cw} \cdot n = 35 \cdot 2,1 = 73,5 \text{ [кА]}$$

$$I^2 t_{\text{сист}} = I_{cw}^2 \cdot t = 35^2 \cdot 1 = 1225 \text{ [(кА)}^2\text{с]}$$

Из токоограничивающих характеристик и характеристик удельной сквозной энергии

- $I_k = 45$ кА соответствует приблизительно

$$I_{p_{AB}} = 30 \text{ кА}$$

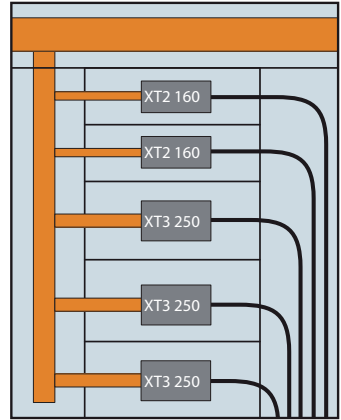
- $I_k = 45$ кА соответствует приблизительно

$$I^2 t_{AB} = 3 \text{ [(кА)}^2\text{с]}$$

Таким образом, поскольку $I_{p_{AB}} < I_{p_{\text{сист}}}$

$$I^2 t_{AB} < I^2 t_{\text{сист}}$$

следует, что шинная система совместима с распределительным щитом.



Приложение А: Защита от воздействий короткого замыкания внутри низковольтных распределительных щитов

Проверка прочности при КЗ в соответствии с правилами проектирования

Согласно новому Стандарту МЭК 61439-1 соответствие НКУ в условиях короткого замыкания можно проверить не только испытаниями в лаборатории (Iscw), но и применяя соответствующие правила, перечисленные в таблице ниже (Таблица 13 Стандарта МЭК 61439-1).

Поз.	Рассматриваемые требования	Да	Нет
1	Является ли выдерживаемый ток КЗ каждой цепи рассматриваемого НКУ меньше или равным току испытанного НКУ?		
2	Являются ли размеры поперечного сечения шинных систем и соединений каждой цепи рассматриваемого НКУ больше или равными размерам испытанного НКУ?		
3	Являются ли промежутки между шинами и соединениями каждой цепи рассматриваемого НКУ больше или равными промежуткам испытанного НКУ?		
4	Имеют ли шинодержатели каждой цепи рассматриваемого НКУ тот же тип, форму, промежутки, длину и изготовлены ли они из того же материала, что и шинодержатели испытанного НКУ?		
5	Является ли материал и свойства материала каждой цепи рассматриваемого НКУ аналогичными материалу и его свойствам испытанного НКУ?		
6	Являются ли устройства защиты от КЗ каждой цепи рассматриваемого НКУ аналогичными по конструкции, той же серии (с аналогичными или улучшенными характеристиками срабатывания (I^2t , I_{pk}) по данным производителя) и с тем же расположением, что и устройства испытанного НКУ?		
7	Является ли длина незащищенных открытых проводников в соответствии с п. 8.6.4 каждой незащищенной цепи рассматриваемого НКУ меньше или равной длине тех же проводников в испытанном НКУ?		
8	Содержит ли конструкция НКУ оболочку, и содержал ли испытанный образец НКУ оболочку при проведении испытания?		
9	Является ли оболочка рассматриваемого НКУ аналогичной оболочке испытанного образца НКУ по конструкции, типу и габаритам?		
10	Являются ли механические характеристики секций каждой цепи спроектированными аналогично испытанному образцу НКУ?		
«ДА» для всех требований - проведение дальнейшей проверки не требуется. «НЕТ» для любого из требований – требуется проведение дальнейшей проверки, см. п. 10.11.4 и 10.11.5 Стандарта.			
а) Устройства защиты от КЗ, выпущенные одним производителем, но в разных сериях, считаются эквивалентными, если производитель заявляет, что эксплуатационные характеристики являются аналогичными или улучшенными по всем параметрам серии, используемой при испытании, например, отключающая способность, характеристики срабатывания (I^2t , I_{pk}) и критические расстояния.			

Приложение В: Определение повышения температуры в соответствии со Стандартом МЭК 60890

Метод расчета, предлагаемый в Стандарте МЭК 60890, позволяет определить повышение температуры внутри НКУ. Согласно Стандартам МЭК 60890 и МЭК 61439-1 данный метод применим только при выполнении следующих условий:

- номинальный ток цепей НКУ не должен превышать 80% номинального тока (на открытом воздухе) устройств защиты и электрических компонентов, установленных в этих цепях;
- приблизительно равное распределение потерь мощности внутри оболочки и отсутствие преград, затрудняющих их распространение за пределы НКУ;
- оборудование размещено так, что циркуляция воздуха затруднена незначительно;
- оборудование предназначено для постоянного или переменного тока до 60 Гц включительно, с полным током питания не более 1600 А;
- проводники, проводящие ток свыше 200 А, и конструктивные части расположены так, что потери на вихревые токи пренебрежимо малы;
- для оболочек с вентиляционными отверстиями поперечное сечение воздуховыпускных отверстий составляет, по крайней мере, 1,1 поперечного сечения воздуховпускных отверстий;
- в каждой секции НКУ имеется не более трех горизонтальных перегородок;
- в тех местах, где оболочки имеют внешние вентиляционные отверстия, поверхность вентиляционных отверстий в каждой горизонтальной перегородке должна составлять, по крайней мере, 50% от горизонтального поперечного сечения отсека.

Для проведения расчетов необходимы следующие параметры:

- размеры оболочки: высота, ширина, глубина;
- тип установки оболочки (см. Таблицу 8);
- наличие вентиляционных отверстий;
- количество горизонтальных внутренних перегородок;
- потери мощности установленного в оболочке оборудования (см. Таблицу 13 и 14);
- потери мощности проводников внутри оболочки, равные сумме потерь мощности каждого проводника в соответствии с Таблицами 1, 2 и 3.

Для оборудования и проводников с неполной нагрузкой можно определить потери мощности по следующей формуле:

$$P = P_n \left(\frac{I_b}{I_n} \right)^2 \quad (1)$$

где:

P - потери активной мощности;

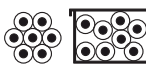
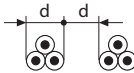
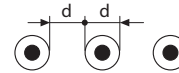
P_n - потери номинальной мощности (при I_n);

I_b - действительное значение тока;

I_n - номинальный ток.

Приложение В: Определение превышения температуры в соответствии со Стандартом МЭК 60890

Таблица 1: Рабочий ток и потери мощности изолированных проводников

Поперечное сечение (Cu)	Максимально допустимая температура проводника 70°C											
	 1)											
	Температура воздуха внутри оболочки вокруг проводников											
	35 °C		55 °C		35 °C		55 °C		35 °C		55 °C	
	рабочий ток	потери мощности 2)	рабочий ток	потери мощности 2)	рабочий ток	потери мощности 2)	рабочий ток	потери мощности 2)	рабочий ток	потери мощности 2)	рабочий ток	потери мощности 2)
мм ²	A	Вт/м	A	Вт/м	A	Вт/м	A	Вт/м	A	Вт/м	A	Вт/м
1,5	12	2,1	8	0,9	12	2,1	8	0,9	12	2,1	8	0,9
2,5	17	2,5	11	1,1	20	3,5	12	1,3	20	3,5	12	1,3
4	22	2,6	14	1,1	25	3,4	18	1,8	25	3,4	20	2,2
6	28	2,8	18	1,2	32	3,7	23	1,9	32	3,7	25	2,3
10	38	3,0	25	1,3	48	4,8	31	2,0	50	5,2	32	2,1
16	52	3,7	34	1,6	64	5,6	42	2,4	65	5,8	50	3,4
25					85	6,3	55	2,6	85	6,3	65	3,7
35					104	7,5	67	3,1	115	7,9	85	5,0
50					130	7,9	85	3,4	150	10,5	115	6,2
70					161	8,4	105	3,6	175	9,9	149	7,2
95					192	8,7	125	3,7	225	11,9	175	7,2
120					226	9,6	147	4,1	250	11,7	210	8,3
150					275	11,7	167	4,3	275	11,7	239	8,8
185					295	10,9	191	4,6	350	15,4	273	9,4
240					347	12,0	225	5,0	400	15,9	322	10,3
300					400	13,2	260	5,6	460	17,5	371	11,4
Проводники для дополнительных цепей												
												Диам.
0,12	2,6	1,2	1,7	0,5								0,4
0,14	2,9	1,3	1,9	0,6								-
0,20	3,2	1,1	2,1	0,5								-
0,22	3,6	1,3	2,3	0,5								0,5
0,30	4,4	1,4	2,9	0,6								0,6
0,34	4,7	1,4	3,1	0,6								0,6
0,50	6,4	1,8	4,2	0,8								0,8
0,56		1,6		0,7								-
0,75	8,2	1,9	5,4	0,8								1,0
1,00	9,3	1,8	6,1	0,8								-
1) Возможна любая требуемая компоновка, указанные значения относятся к шестизильному проводнику в многожильном пучке с одновременной нагрузкой 100%												
2) длина одножильного проводника												

1SDC008040F0201

Приложение В: Определение превышения температуры в соответствии со Стандартом МЭК 60890

Таблица 2: Рабочий ток и потери мощности неизолированных проводников при вертикальной компоновке при отсутствии прямого подключения к аппаратуре

Ширина х Толщина	Поперечное сечение (Cu)	Максимально допустимая температура проводника 85 °C															
		Температура воздуха внутри оболочки вокруг проводников 35 °C								Температура воздуха внутри оболочки вокруг проводников 55 °C							
		От 50 Гц до 60 Гц переменного тока				Пост. и перем. ток до 16 2/3 Гц				От 50 Гц до 60 Гц переменного тока				Пост. и перем. ток до 16 2/3 Гц			
		рабочий ток	потери мощности ¹⁾	рабочий ток	потери мощности ¹⁾	рабочий ток	потери мощности ¹⁾	рабочий ток	потери мощности ¹⁾	рабочий ток	потери мощности ¹⁾	рабочий ток	потери мощности ¹⁾	рабочий ток	потери мощности ¹⁾	рабочий ток	потери мощности ¹⁾
мм x мм	мм ²	A*	Вт/м	A**	Вт/м	A*	Вт/м	A**	Вт/м	A*	Вт/м	A**	Вт/м	A*	Вт/м	A**	Вт/м
12 x 2	23,5	144	19,5	242	27,5	144	19,5	242	27,5	105	10,4	177	14,7	105	10,4	177	14,7
15 x 2	29,5	170	21,7	282	29,9	170	21,7	282	29,9	124	11,6	206	16,0	124	11,6	206	16,0
15 x 3	44,5	215	23,1	375	35,2	215	23,1	375	35,2	157	12,3	274	18,8	157	12,3	274	18,8
20 x 2	39,5	215	26,1	351	34,8	215	26,1	354	35,4	157	13,9	256	18,5	157	12,3	258	18,8
20 x 3	59,5	271	27,6	463	40,2	271	27,6	463	40,2	198	14,7	338	21,4	198	14,7	338	21,4
20 x 5	99,1	364	29,9	665	49,8	364	29,9	668	50,3	266	16,0	485	26,5	266	16,0	487	26,7
20 x 10	199	568	36,9	1097	69,2	569	36,7	1107	69,6	414	19,6	800	36,8	415	19,5	807	37,0
25 x 5	124	435	34,1	779	55,4	435	34,1	78	55,6	317	18,1	568	29,5	317	18,1	572	29,5
30 x 5	149	504	38,4	894	60,6	505	38,2	899	60,7	368	20,5	652	32,3	369	20,4	656	32,3
30 x 10	299	762	44,4	1410	77,9	770	44,8	1436	77,8	556	27,7	1028	41,4	562	23,9	1048	41,5
40 x 5	199	641	47,0	1112	72,5	644	47,0	1128	72,3	468	25,0	811	38,5	469	24,9	586	38,5
40 x 10	399	951	52,7	1716	88,9	968	52,6	1796	90,5	694	28,1	1251	47,3	706	28,0	1310	48,1
50 x 5	249	775	55,7	1322	82,9	782	55,4	1357	83,4	566	29,7	964	44,1	570	29,4	989	44,3
50 x 10	499	1133	60,9	2008	102,9	1164	61,4	2141	103,8	826	32,3	1465	54,8	849	32,7	1562	55,3
60 x 5	299	915	64,1	1530	94,2	926	64,7	1583	94,6	667	34,1	1116	50,1	675	34,4	1154	50,3
60 x 10	599	1310	68,5	2288	116,2	1357	69,5	2487	117,8	955	36,4	1668	62,0	989	36,9	1814	62,7
80 x 5	399	1170	80,7	1929	116,4	1200	80,8	2035	116,1	858	42,9	1407	61,9	875	42,9	1484	61,8
80 x 10	799	1649	85,0	2806	138,7	1742	85,1	3165	140,4	1203	45,3	2047	73,8	1271	45,3	1756	74,8
100 x 5	499	1436	100,1	2301	137,0	1476	98,7	2407	121,2	1048	53,3	1678	72,9	1077	52,5	1756	69,8
100 x 10	999	1982	111,7	3298	164,2	2128	102,6	3844	169,9	1445	54,0	2406	84,4	1552	54,6	2803	90,4
120 x 10	1200	2314	115,5	3804	187,3	2514	115,9	4509	189,9	1688	61,5	2774	99,6	1833	61,6	3288	101,0
*) один проводник на фазу		**) два проводника на фазу								1) длина одножильного проводника							

15DC008041F0201

Приложение В: Определение превышения температуры в соответствии со Стандартом МЭК 60890

Таблица 3: Рабочий ток и потери мощности неизолированных проводников, используемых в соединениях между аппаратурой и шинами

Ширина х Толщина	Поперечное сечение (Cu)	Максимально допустимая температура проводника 65 °C							
		Температура воздуха внутри оболочки вокруг проводников 35 °C				Температура воздуха внутри оболочки вокруг проводников 55 °C			
		От 50 Гц до 60 Гц перем. и пост. тока				От 50 Гц до 60 Гц перем. и пост. тока			
		рабочий ток	потери мощности ¹⁾	рабочий ток	потери мощности ¹⁾	рабочий ток	потери мощности ¹⁾	рабочий ток	потери мощности ¹⁾
мм x мм	мм ²	A*	Вт/м	A**	Вт/м	A*	Вт/м	A**	Вт/м
12 x 2	23,5	82	5,9	130	7,4	69	4,2	105	4,9
15 x 2	29,5	96	6,4	150	7,8	88	5,4	124	5,4
15 x 3	44,5	124	7,1	202	9,5	102	4,8	162	6,1
20 x 2	39,5	115	6,9	184	8,9	93	4,5	172	7,7
20 x 3	59,5	152	8,0	249	10,8	125	5,4	198	6,8
20 x 5	99,1	218	9,9	348	12,7	174	6,3	284	8,4
20 x 10	199	348	12,8	648	22,3	284	8,6	532	15,0
25 x 5	124	253	10,7	413	14,2	204	7,0	338	9,5
30 x 5	149	288	11,6	492	16,9	233	7,6	402	11,3
30 x 10	299	482	17,2	960	32,7	402	11,5	780	21,6
40 x 5	199	348	12,8	648	22,3	284	8,6	532	15,0
40 x 10	399	648	22,7	1245	41,9	532	15,3	1032	28,8
50 x 5	249	413	14,7	805	27,9	338	9,8	655	18,5
50 x 10	499	805	28,5	1560	53,5	660	19,2	1280	36,0
60 x 5	299	492	17,2	960	32,7	402	11,5	780	21,6
60 x 10	599	960	34,1	1848	63,2	780	22,5	1524	43,0
80 x 5	399	648	22,7	1256	42,6	532	15,3	1032	28,8
80 x 10	799	1256	45,8	2432	85,8	1032	30,9	1920	53,5
100 x 5	499	805	29,2	1560	54,8	660	19,6	1280	36,9
100 x 10	999	1560	58,4	2680	86,2	1280	39,3	2180	57,0
120 x 10	1200	1848	68,3	2928	85,7	1524	46,5	2400	57,6

*) один проводник на фазу

**) два проводника на фазу

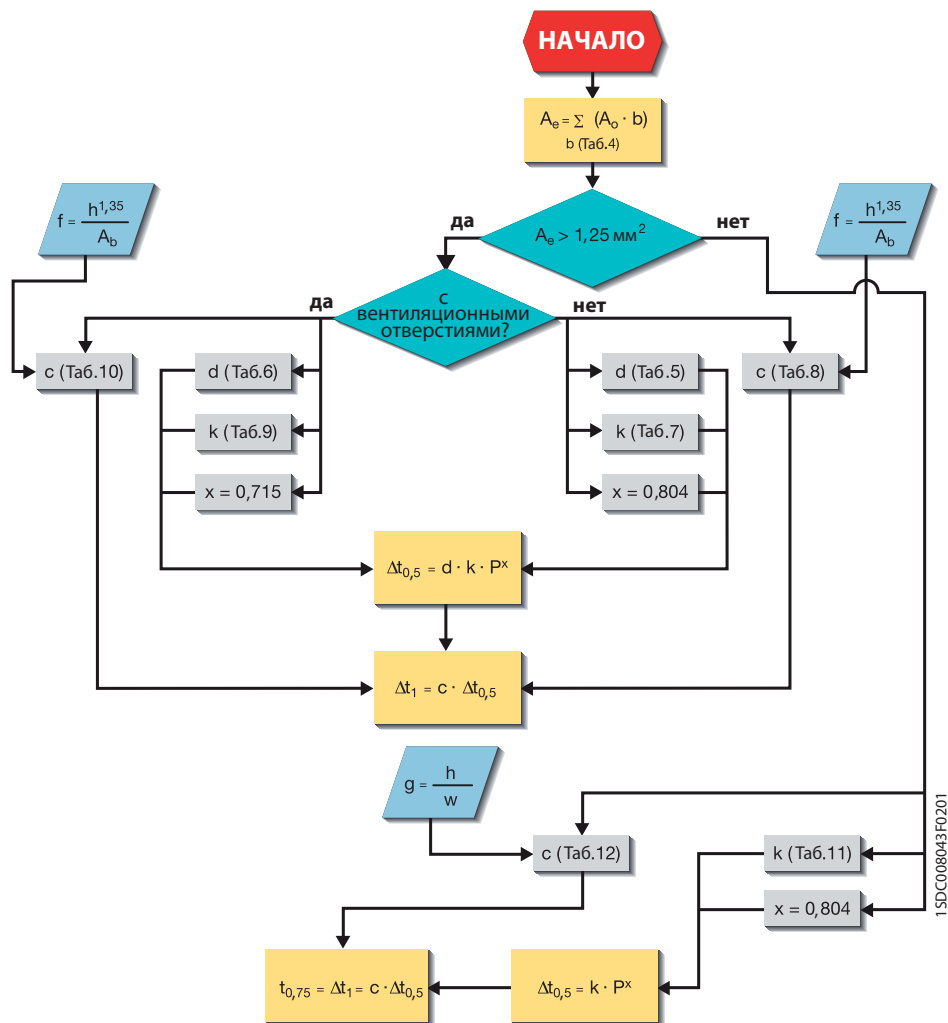
1) длина одножильного проводника

13DC08042F0201

Приложение В: Определение превышения температуры в соответствии со Стандартом МЭК 60890

Оболочки без вертикальных перегородок или отдельных секций с поверхностью эффективного охлаждения более 11,5 м² или шириной решетки более 1,5 м для расчетов следует разделить на условные секции с размерами, приблизительно равными вышеупомянутым.

На следующей схеме показана процедура определения повышения температуры.



Приложение В: Определение превышения температуры в соответствии со Стандартом МЭК 60890

Таблица 4: Коэффициент поверхности b в соответствии с типом установки

Тип установки	Коэффициент поверхности b
Открытая верхняя поверхность	1,4
Закрытая верхняя поверхность, например, встроенных оболочек	0,7
Открытые боковые поверхности, например, передняя, задняя и боковые стенки	0,9
Закрытые боковые поверхности, например, задняя поверхность оболочек, смонтированных на стене	0,5
Боковые поверхности центральных оболочек	0,5
Коэффициент поверхности	Не учитывается

Не учитываются условные боковые поверхности секций, которые были введены только для расчетов.

Таблица 5: Коэффициент d для оболочек без вентиляционных отверстий и с эффективной поверхностью охлаждения $A_e > 1,25 \text{ м}^2$

Количество горизонтальных перегородок n	Коэффициент d
0	1
1	1,05
2	1,15
3	1,3

Таблица 6: Коэффициент для оболочек с вентиляционными отверстиями и эффективной поверхностью охлаждения $A_e > 1,25 \text{ м}^2$

Количество горизонтальных перегородок n	Коэффициент d
0	1
1	1,05
2	1,1
3	1,15

Таблица 7: Константа оболочки k для оболочек без вентиляционных отверстий, с эффективной поверхностью охлаждения $A_e > 1,25 \text{ м}^2$

$A_e [\text{м}^2]$	k	$A_e [\text{м}^2]$	k
1,25	0,524	6,5	0,135
1,5	0,45	7	0,13
2	0,35	7,5	0,125
2,5	0,275	8	0,12
3	0,225	8,5	0,115
3,5	0,2	9	0,11
4	0,185	9,5	0,105
4,5	0,17	10	0,1
5	0,16	10,5	0,095
5,5	0,15	11	0,09
6	0,14	11,5	0,085

Приложение В: Определение превышения температуры в соответствии со Стандартом МЭК 60890

Таблица 8: Коэффициент распределения температуры с для оболочек без вентиляционных отверстий, с эффективной поверхностью охлаждения $A_e > 1,25 \text{ м}^2$

$f = \frac{h^{1,35}}{A_b}$	Тип установки					
	1	2	3	4	5	
0,6	1,225	1,21	1,19	1,17	1,113	
1	1,24	1,225	1,21	1,185	1,14	
1,5	1,265	1,245	1,23	1,21	1,17	
2	1,285	1,27	1,25	1,23	1,19	
2,5	1,31	1,29	1,275	1,25	1,21	
3	1,325	1,31	1,295	1,27	1,23	
3,5	1,35	1,33	1,315	1,29	1,255	
4	1,37	1,355	1,34	1,32	1,275	
4,5	1,395	1,375	1,36	1,34	1,295	
5	1,415	1,395	1,38	1,36	1,32	
5,5	1,435	1,415	1,4	1,38	1,34	
6	1,45	1,435	1,42	1,395	1,355	
6,5	1,47	1,45	1,435	1,41	1,37	
7	1,48	1,47	1,45	1,43	1,39	
7,5	1,495	1,48	1,465	1,44	1,4	
8	1,51	1,49	1,475	1,455	1,415	
8,5	1,52	1,505	1,49	1,47	1,43	
9	1,535	1,52	1,5	1,48	1,44	
9,5	1,55	1,53	1,515	1,49	1,455	
10	1,56	1,54	1,52	1,5	1,47	
10,5	1,57	1,55	1,535	1,51	1,475	
11	1,575	1,565	1,549	1,52	1,485	
11,5	1,585	1,57	1,55	1,525	1,49	
12	1,59	1,58	1,56	1,535	1,5	
12,5	1,6	1,585	1,57	1,54	1,51	

где h - высота оболочки, а A_b - площадь основания.
Для «Типа установки»:

Тип установки n°	
1	Обособленная оболочка, отделенная со всех сторон
2	Первая или последняя оболочка отдельного типа
3	Обособленная оболочка для настенного монтажа
	Центральная оболочка отдельного типа
4	Первая или последняя секция для настенного монтажа
	Центральная оболочка для настенного монтажа и с закрытой верхней поверхностью
5	Центральная оболочка для настенного монтажа

1SDC008069F0001

Приложение В: Определение превышения температуры в соответствии со Стандартом МЭК 60890

Таблица 9: Коэффициент k для оболочек с вентиляционными отверстиями и эффективной поверхностью охлаждения $A_e > 1,25 \text{ м}^2$

Вентиляционное отверстие в см ²	A _в [м ²]													
	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6	7	8	10	12	14	
50	0,36	0,33	0,3	0,28	0,26	0,24	0,22	0,208	0,194	0,18	0,165	0,145	0,135	
100	0,293	0,27	0,25	0,233	0,22	0,203	0,187	0,175	0,165	0,153	0,14	0,128	0,119	
150	0,247	0,227	0,21	0,198	0,187	0,173	0,16	0,15	0,143	0,135	0,123	0,114	0,107	
200	0,213	0,196	0,184	0,174	0,164	0,152	0,143	0,135	0,127	0,12	0,11	0,103	0,097	
250	0,19	0,175	0,165	0,155	0,147	0,138	0,13	0,121	0,116	0,11	0,1	0,095	0,09	
300	0,17	0,157	0,148	0,14	0,133	0,125	0,118	0,115	0,106	0,1	0,093	0,088	0,084	
350	0,152	0,141	0,135	0,128	0,121	0,115	0,109	0,103	0,098	0,093	0,087	0,082	0,079	
400	0,138	0,129	0,121	0,117	0,11	0,106	0,1	0,096	0,091	0,088	0,081	0,078	0,075	
450	0,126	0,119	0,111	0,108	0,103	0,099	0,094	0,09	0,086	0,083	0,078	0,074	0,07	
500	0,116	0,11	0,104	0,1	0,096	0,092	0,088	0,085	0,082	0,078	0,073	0,07	0,067	
550	0,107	0,102	0,097	0,093	0,09	0,087	0,083	0,08	0,078	0,075	0,07	0,068	0,065	
600	0,1	0,095	0,09	0,088	0,085	0,082	0,079	0,076	0,073	0,07	0,067	0,065	0,063	
650	0,094	0,09	0,086	0,083	0,08	0,077	0,075	0,072	0,07	0,068	0,065	0,063	0,061	
700	0,089	0,085	0,08	0,078	0,076	0,074	0,072	0,07	0,068	0,066	0,064	0,062	0,06	

Таблица 10: Коэффициент распределения температуры f для оболочек с вентиляционными отверстиями и эффективной поверхностью охлаждения

Вентиляционное отверстие в см^2	$f = \frac{h^{1,35}}{A_b}$									
	1,5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
50	1,3	1,35	1,43	1,5	1,57	1,63	1,68	1,74	1,78	1,83
100	1,41	1,46	1,55	1,62	1,68	1,74	1,79	1,84	1,88	1,92
150	1,5	1,55	1,63	1,69	1,75	1,8	1,85	1,9	1,94	1,97
200	1,56	1,61	1,67	1,75	1,8	1,85	1,9	1,94	1,97	2,01
250	1,61	1,65	1,73	1,78	1,84	1,88	1,93	1,97	2,01	2,04
300	1,65	1,69	1,75	1,82	1,86	1,92	1,96	2	2,03	2,06
350	1,68	1,72	1,78	1,85	1,9	1,94	1,97	2,02	2,05	2,08
400	1,71	1,75	1,81	1,87	1,92	1,96	2	2,04	2,07	2,1
450	1,74	1,77	1,83	1,88	1,94	1,97	2,02	2,05	2,08	2,12
500	1,76	1,79	1,85	1,9	1,95	1,99	2,04	2,06	2,1	2,13
550	1,77	1,82	1,88	1,93	1,97	2,01	2,05	2,08	2,11	2,14
600	1,8	1,83	1,88	1,94	1,98	2,02	2,06	2,09	2,12	2,15
650	1,81	1,85	1,9	1,95	1,99	2,04	2,07	2,1	2,14	2,17
700	1,83	1,87	1,92	1,96	2	2,05	2,08	2,12	2,15	2,18

Приложение В: Определение превышения температуры в соответствии со Стандартом МЭК 60890

Таблица 11: Константа оболочки k для оболочек без вентиляционных отверстий и с эффективной поверхностью охлаждения $A_e < 1,25 \text{ м}^2$

$A_e [\text{м}^2]$	k	$A_e [\text{м}^2]$	k
0,08	3,973	0,65	0,848
0,09	3,643	0,7	0,803
0,1	3,371	0,75	0,764
0,15	2,5	0,8	0,728
0,2	2,022	0,85	0,696
0,25	1,716	0,9	0,668
0,3	1,5	0,95	0,641
0,35	1,339	1	0,618
0,4	1,213	1,05	0,596
0,45	1,113	1,1	0,576
0,5	1,029	1,15	0,557
0,55	0,960	1,2	0,540
0,6	0,9	1,25	0,524

Таблица 12: Коэффициент распределения температуры s для оболочек без вентиляционных отверстий и с эффективной поверхностью охлаждения $A_e < 1,25 \text{ м}^2$

0	1	1,5	1,231
0,1	1,02	1,6	1,237
0,2	1,04	1,7	1,24
0,3	1,06	1,8	1,244
0,4	1,078	1,9	1,246
0,5	1,097	2	1,249
0,6	1,118	2,1	1,251
0,7	1,137	2,2	1,253
0,8	1,156	2,3	1,254
0,9	1,174	2,4	1,255
1	1,188	2,5	1,256
1,1	1,2	2,6	1,257
1,2	1,21	2,7	1,258
1,3	1,22	2,8	1,259
1,4	1,226		

где g - это отношение высоты оболочки к ее ширине.

Приложение В: Определение превышения температуры в соответствии со Стандартом МЭК 60890

Общие (3/4 полюса)
потери мощности в Вт

Таблица 13: Потери мощности автоматическими выключателями МСБВ

Расцепители	In[A]	XT1		XT2		XT3		XT4		T11P	T4		T5		T6		T7 S,H,L		T7 V	
		F	P	F	P/W	F	P	F	P/W	F	F	P/W	F	P/W	F	W	F	W	F	W
TMF TMD TMA MF MA	1																			
	1,6			6	7,14															
	2			7,14	8,28															
	2,5			7,41	8,55															
	3			8,28	9,69															
	3,2																			
	4			7,41	8,55															
	5																			
	6,3			9,99	11,7															
	8			7,71	0,12															
	10			8,85	10,26															
	12,5			3,15	3,72															
	16	4,5	4,5	3,99	4,56					1,5										
	20	5,4	6	4,86	5,7					1,8										
	25	6	8,4							2										
	32	6,3	9,6	7,71	9,12			13,32	13,32	2,1										
	40	7,8	13,8	11,13	13,11			13,47	14,16	2,6										
	50	11,1	15	12,27	14,25			14,04	14,76	3,7										
	63	12,9	18	14,55	17,1	12,9	15,3	15,9	17,28	4,3										
	80	14,4	21,6	17,4	20,52	14,4	17,4	16,56	18	4,8										
	100	21	30	24,24	28,5	16,8	20,4	18,72	20,88	7										
	125	32,1	44,1	34,2	41,91	19,8	23,7	22,32	25,92	10,7										
	160	45	60	48,45	57	23,7	28,5	26,64	32,4	15										
	200					39,6	47,4	35,64	44,64											
	250					53,4	64,2	49,32	63,36											
	320												40,8	62,7						
	400												58,5	93						
	500												86,4	110,1						
	630														91,8	90				
	800														93	118,8				
Ekip PR22... PR33...	10																			
	25			2,5	2,52															
	40							2,1	2,28											
	63			4,1	5			5,2	5,67											
	100			10,2	12,7			13,11	14,28											
	160			26,2	32,6			33,55	36,56											
	250							81,9	89,25											
	320										52,8	72	31,8	53,7						
	400												49,5	84			15	27	24	36
	630												123	160,8	90	115	36	66	60	90
	800														96	124,8	57,9	105,9	96	144
	1000														150		90	165	150	225
	1250																141	258	234,9	351,9
	1600																231	423		

Указанные в таблице значения относятся к симметричным нагрузкам с током, равным In, и действительны как для автоматических выключателей, так и для выключателей-разъединителей трехполюсного и четырехполюсного исполнений. Для последних ток нейтрали равен нулю по определению.

Приложение В: Определение превышения температуры в соответствии со Стандартом МЭК 60890

Таблица 14: Потери мощности автоматическими выключателями серии Emax

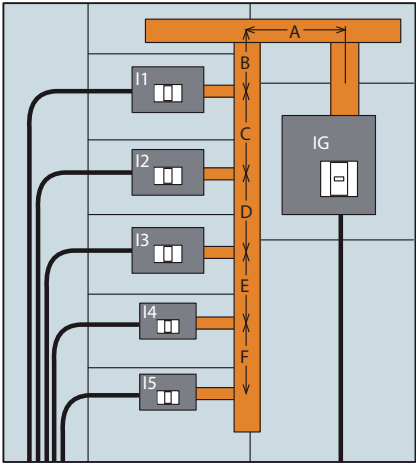
Общие (3/4 полюса) потери мощности в Вт	E1.2B/C/N		E2.2B/N/S/H		E4.2N/S/V		E6.2H/V/X	
	F	W	F	W	F	W	F	W
In=630	31	62						
In=800	50	100	34	72				
In=1000	78	156	53	113				
In=1250	122	244	83	176				
In=1600	201	400	136	288				
In=2000			212	450				
In=2500			267	550				
In=3200					425	743		
In=4000					465	900	309	544
In=5000							483	850

Пример

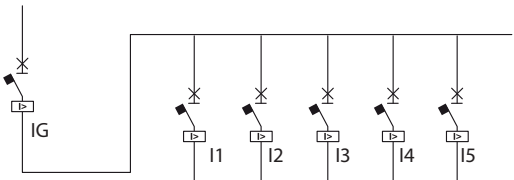
Далее приводится пример определения повышения температуры для распределительного щита со следующими характеристиками:

- оболочка без вентиляционных отверстий;
- без внутреннего разделения;
- обособленная оболочка для напольного монтажа;
- один вводной автоматический выключатель;
- 5 автоматических выключателей со стороны питания нагрузки;
- системы шин и кабелей.

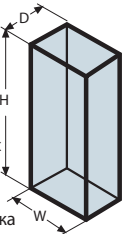
Оболочка



Электрическая схема



Габариты [мм]			Число горизонтальных перегородок = 0
Высота	Ширина	Глубина	
2000	1440	840	Отдельная оболочка для напольного монтажа



Приложение В: Определение превышения температуры в соответствии со Стандартом МЭК 60890

Далее определяются потери мощности от каждого компонента вышеуказанного распределительного щита. Для автоматических выключателей потери мощности рассчитываются по формуле

$$P = P_n \left(\frac{I_b}{I_n} \right)^2$$

со значениями I_n и P_n , приведенными в Таблицах 14 и 15.

В приведенной ниже таблице даны значения для каждого автоматического выключателя рассматриваемого щита:

Автоматические выключатели		I_n CB [А]	I_b [А]	Потери мощности [Вт]
IG	E2.2 2000 E	2000	1340	80,7
I1	T5 630 EL	630	330	33,7
I2	T5 630 EL	630	330	33,7
I3	T5 630 EL	630	330	33,7
I4	XT3 250 TMD	250	175	26,2
I5	XT3 250 TMD	250	175	26,2
Общие потери мощности на автоматических выключателях [Вт]				234

Для шин потери мощности рассчитываются по формуле $P = P_n \left(\frac{I_b}{I_n} \right)^2 \cdot (3 \cdot \text{Длина})$

созначениями I_n и P_n , приведенными в Таблице 2.

В приведенной ниже таблице даны значения потерь мощности на шинах.

Шины	Поперечное сечение $n \times [мм] \times [мм]$	Длина [м]	I_b [А]	Потери мощности [Вт]
A	2x60x10	0,393	1340	47,2
B	80x10	0,332	1340	56
C	80x10	0,300	1010	28,7
D	80x10	0,300	680	13
E	80x10	0,300	350	3,5
F	80x10	0,300	175	0,9
Общие потери мощности на шинах [Вт]				149

Для неизолированных проводников, соединяющих шины с автоматическими выключателями потери мощности рассчитываются по формуле $P = P_n \left(\frac{I_b}{I_n} \right)^2 \cdot (3 \cdot \text{Длина})$

со значениями I_n и P_n , приведенными в Таблице 2. Ниже приведены значения для каждой секции:

Соединенные неизолированные провода	Поперечное сечение $n \times [мм] \times [мм]$	Длина [м]	I_b [А]	Потери мощности [Вт]
Ig	2x60x10	0,450	1340	54
I1	30x10	0,150	330	3,8
I2	30x10	0,150	330	3,8
I3	30x10	0,150	330	3,8
I4	20x10	0,150	175	1,6
I5	20x10	0,150	175	1,6
Общие потери мощности на шинах [Вт]				68

Приложение В: Определение превышения температуры в соответствии со Стандартом МЭК 60890

Для кабелей, соединяющих автоматические выключатели с источником питания и нагрузками, потери мощности рассчитываются по формуле $P = P_n \left(\frac{I_b}{I_n} \right)^2 \cdot (3 \cdot \text{Длина})$ со значениями I_n и P_n , приведенными в Таблице 4.

В таблице ниже даны значения потерь мощности для каждого соединения:

Кабели	Поперечное сечение [n]хмм²	Длина [м]	I _b [А]	Потери мощности [Вт]
I _G	4х240	1,0	1340	133,8
I ₁	240	2,0	330	64,9
I ₂	240	1,7	330	55,2
I ₃	240	1,4	330	45,4
I ₄	120	1,1	175	19
I ₅	120	0,8	175	13,8
Общие потери мощности для кабелей [Вт]				332

Таким образом, общие потери мощности внутри оболочки составляют: **P = 784 [Вт]**

По геометрическим размерам распределительного щита определяется эффективная поверхность охлаждения A_e, как показано ниже:

	Габариты [м]х[м]	A ₀ [м²]	коэффициент b	A ₀
Верхняя часть	0,840х1,44	1,21	1,4	1,69
Передняя часть	2х1,44	1,64	0,9	2,59
Задняя часть	2х1,44	1,64	0,5	1,44
Левая сторона	2х0,840	1,68	0,9	1,51
Правая сторона	2х0,840	1,68	0,9	1,51
A _e = Σ(A ₀ ·b)				8,75

С помощью процедуры, приведенной на схеме на странице 247, можно определить повышение температуры внутри распределительного щита.

Приложение В: Определение превышения температуры в соответствии со Стандартом МЭК 60890

Из Таблицы 7 константа k равна 0,112 (интерполированное значение).

Поскольку $x = 0,804$, повышение температуры на уровне половины высоты оболочки составляет:
 $\Delta t_{0,5} = d \cdot k \cdot P^x = 1 \cdot 0,112 \cdot 784^{0,804} = 23,8 \text{ К}$

Для определения повышения температуры в верхней части оболочки необходимо установить коэффициент s с помощью коэффициента f :

$$f = \frac{h^{1,35}}{A_b} = \frac{2^{1,35}}{1,44 \cdot 0,84} = 2,107$$

(A_b - площадь основания распределительного щита)

Из Таблицы 8, колонка 3, (обособленная оболочка для настенного монтажа) получается, что s равно 1,255 (интерполированное значение).

$$\Delta t_1 = s \cdot \Delta t_{0,5} = 1,255 \cdot 23,8 = 29,8 \text{ К}$$

С учетом температуры окружающего воздуха 35°C, как предписано Стандартом, внутри оболочки могут быть достигнуты следующие величины температуры:

$$t_{0,5} = 35 + 23,8 \approx 59^\circ\text{C}$$

$$t_1 = 35 + 29,8 \approx 65^\circ\text{C}$$

Предположив, что ухудшение номинальных температурных параметров автоматических выключателей внутри распределительного щита может быть сравнимо со снижением номинальных значений при температуре окружающего воздуха, отличной от 40°C, по Таблицам главы 2.5, можно проверить, способны ли конкретные автоматические выключатели проводить требуемые токи:

E2 2000 при 65°C	$I_n = 1765 \text{ [A]}$	>	$I_g = 1340 \text{ [A]}$
T5 630 при 65°C	$I_n = 505 \text{ [A]}$	>	$I_1 = I_2 = I_3 = 330 \text{ [A]}$
XT3 250 при 60°C	$I_n = 216 \text{ [A]}$	>	$I_4 = I_5 = 175 \text{ [A]}$

Приложение С: Примеры областей применений

Дополнительные функции защиты с расцепителем Ekip Hi-Touch

Двойной набор уставок

Благодаря новому расцепителю Ekip Hi-Touch выключателей серии Emax 2 стало возможным задавать два разных набора уставок защиты и, при поступлении внешней команды, переключаться с одного на другой.

Эта функция полезна, например, если в системе имеется резервный источник питания (генератор), подающий напряжение только в случае отключения питающей сети.

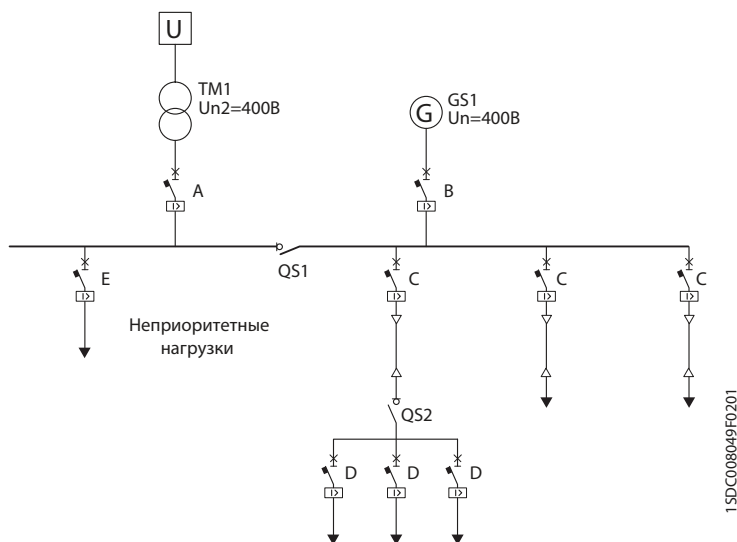
Пример:

В системе, описанной ниже, в случае отключения основного источника питания от сети с помощью устройства автоматического ввода резерва ATS022 (или ATS021 в схеме 2 в 1) можно переключиться на резервный источник питания и отключить нагрузки, не имеющие первостепенной важности, разомкнув выключатель-разъединитель QS1.

При нормальных условиях работы установки, автоматические выключатели С устанавливаются для обеспечения селективности как с автоматическим выключателем А со стороны питания, так и с автоматическими выключателями D со стороны нагрузки.

При переключении с основной сети на резервное питание автоматический выключатель В становится новым выключателем со стороны питания автоматического выключателя С. Для автоматического выключателя, служащего защитой генератора, надо установить время срабатывания меньшее, чем у автоматического выключателя А, и поэтому значения уставки выключателей со стороны нагрузки не могут гарантировать селективность с выключателем В.

С помощью функции «двойной уставки» расцепителя Ekip Hi-Touch можно переключать автоматические выключатели С с набора параметров, гарантирующих селективность с выключателем А, на другой набор параметров, который обеспечивает им селективность с выключателем В.

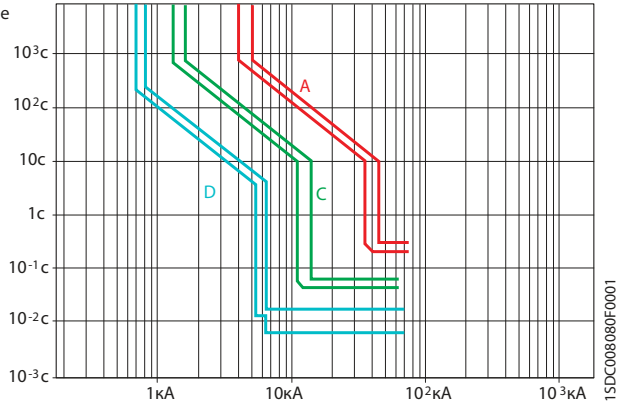


Приложение С: Примеры применений

Дополнительные функции защиты с расцепителем Ekip Hi-Touch

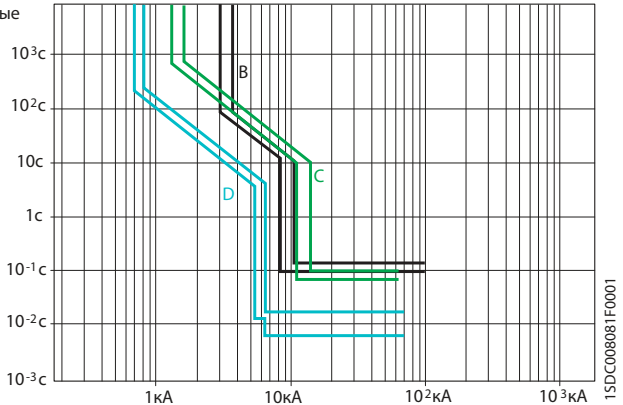
На рисунке справа показаны времятоковые кривые установки при нормальных рабочих условиях. Заданные значения не допускают пересечения кривых.

Времятоковые кривые



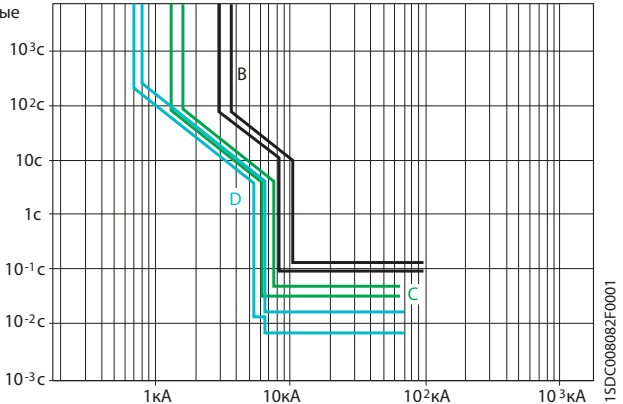
На рисунке справа показана ситуация, при которой после переключения питание подается от источника через автоматический выключатель В. Если установки автоматических выключателей С не изменяются, селективности с главным автоматическим выключателем В не будет.

Времятоковые кривые



На последнем рисунке показано, как с помощью функции "двойной установки" можно переключиться на набор параметров, гарантирующих селективность автоматических выключателей С с выключателем В.

Времятоковые кривые



Приложение С: Примеры применений

Дополнительные функции защиты с расцепителем Ekip Hi-Touch

Двойная защита G

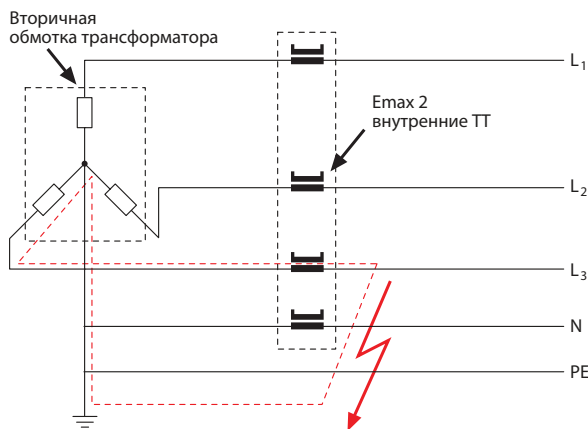
Автоматические выключатели серии Emax 2, оборудованные электронным расцепителем Ekip Hi-Touch, позволяют использовать две независимые кривые для защиты G: -одну для внутренней защиты (функция G без внешнего тороида); -одну для внешней защиты (функция G с внешним тороидом)

Типичное применение функции двойной защиты G заключается в одновременной защите от короткого замыкания на землю вторичной обмотки трансформатора и его соединительных кабелей, ведущих к выводам автоматического выключателя (ограниченная защита от короткого замыкания на землю), и защите от коротких замыканий на землю на стороне нагрузки автоматического выключателя (за пределами ограниченной защиты от замыкания на землю).

Пример:

На Рисунке 1 показано КЗ со стороны нагрузки автоматического выключателя Emax 2: ток КЗ проходит только через одну фазу и, если векторная сумма токов, обнаруживаемых четырьмя трансформаторами тока (ТТ), оказывается больше заданного порога, то электронный расцепитель активизирует функцию G (и срабатывание автоматического выключателя).

Рисунок 1



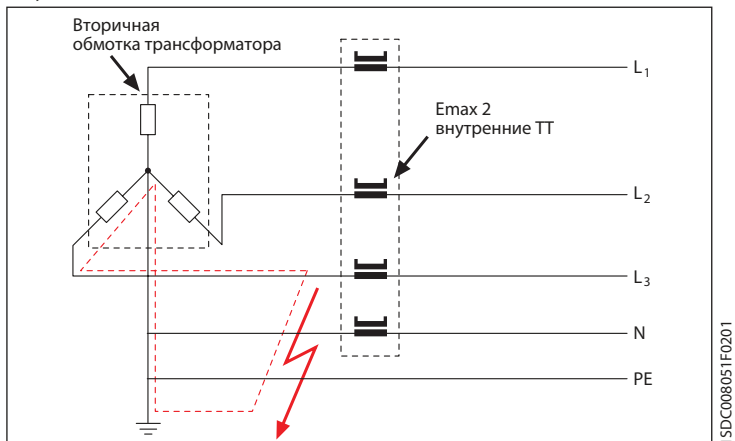
15DC008050F0201

Приложение С: Примеры применений

Дополнительные функции защиты с расцепителем Ekip Hi-Touch

При такой же конфигурации КЗ со стороны источника автоматического выключателя (Рисунок 2) не приводит к включению функции G, поскольку ток КЗ не влияет ни на ТТ фазы, ни на ТТ нейтрали.

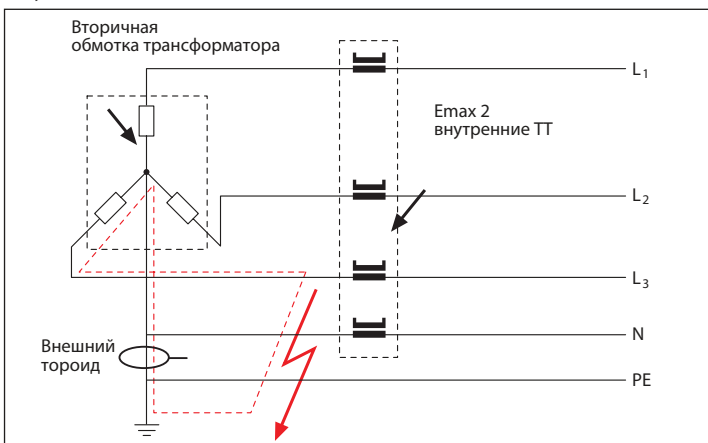
Рисунок 2



1SDC008051F0201

Использование функции «двойной защиты G» позволяет установить внешний тороид, как показано на Рисунке 3, так чтобы можно было обнаружить КЗ на землю и на стороне источника питания автоматического выключателя Emax 2. В этом случае используется контакт аварийной сигнализации второй защиты G для того, чтобы сработал автоматический выключатель, установленный на первичной обмотке трансформатора, и обеспечил отключение при КЗ.

Рисунок 3



1SDC008052F0201

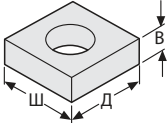
Приложение С: Примеры применений

Дополнительные функции защиты с расцепителем Ekip Hi-Touch

При такой же конфигурации, как на Рисунке 3, если КЗ происходит со стороны нагрузки автоматического выключателя Еmax, ток КЗ окажет воздействие и на тороид, и на трансформаторы тока на фазах. Чтобы определить, какой автоматический выключатель должен сработать (средневольтный или низковольтный), необходима соответствующая координация времен срабатывания: в частности, следует задать времена так, чтобы отключение низковольтного автоматического выключателя благодаря внутренней функции G, происходило быстрее, чем исполнение аварийного сигнала от внешнего тороида. Поэтому, благодаря времятоковой селективности между двумя функциями защиты G, прежде чем средневольтный автоматический выключатель на первичной обмотке трансформатора получит сигнал на отключение, выключатель на стороне низкого напряжения сможет устранить КЗ на землю. Очевидно, что если КЗ произошло со стороны питания низковольтного автоматического выключателя, то должен сработать только автоматический выключатель на стороне среднего напряжения.

В приведенной ниже таблице перечислены основные электрические характеристики серии тороидов (имеются только в закрытом исполнении).

Характеристики серии тороидов

Номинальный ток	100 A, 250 A, 400 A, 800 A
Внешние размеры тороида	
	Ш = 165 мм
	Д = 160 мм
	В = 112 мм
Внутренний диаметр тороида	Ø = 112 мм

15DC008053F0201

Приложение С: Примеры применений

Дополнительные функции защиты с расцепителем Ekip Hi-Touch

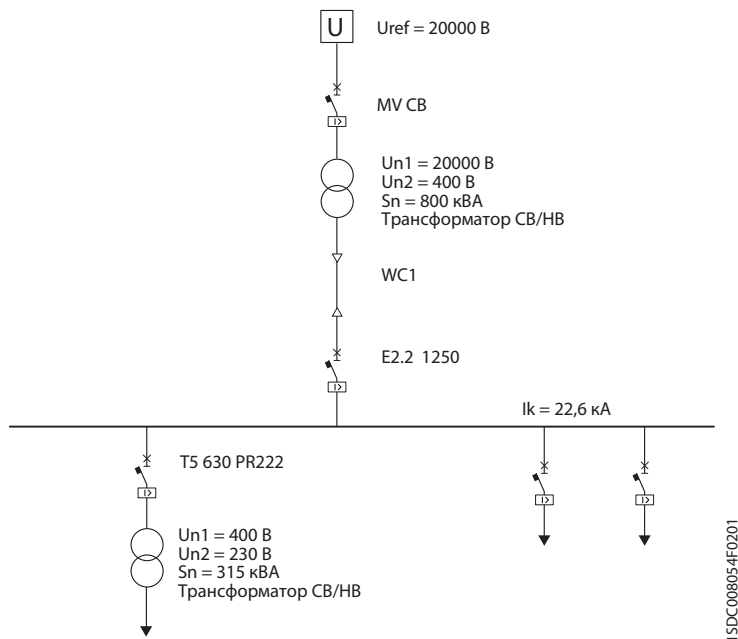
Двойная защита S

Благодаря новым расцепителям Ekip Hi-Touch, позволяющим независимо задавать два порога срабатывания защиты S и одновременно включать ее по этим уставкам, можно обеспечить селективность в особенно сложных условиях.

Ниже приводится пример, как с помощью нового расцепителя можно добиться лучшего уровня селективности по сравнению с применением расцепителя без «двойной защиты S». Рассмотрим принципиальную схему электроустановки, приведенную ниже, в частности, особое внимание надо уделить:

-наличию со стороны источника питания средневольтного автоматического выключателя, который для обеспечения селективности устанавливает низкие значения уставки для автоматического выключателя Emax 2 на стороне низкого напряжения;

-наличию трансформатора низкого/низкого напряжения, который из-за пусковых токов устанавливает высокие значения уставки для автоматических выключателей со стороны его первичной обмотки.

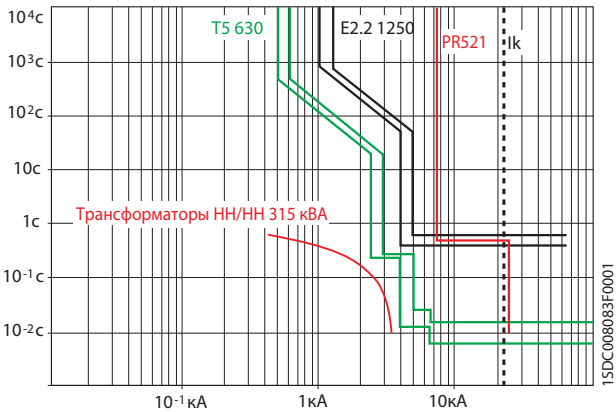


Приложение С: Примеры применений

Дополнительные функции защиты с расцепителем Ekip Hi-Touch

Техническое решение с расцепителем без «двойной защиты S»

Времятоковые
характеристические кривые
при 400В



Средневольтный автоматический выключатель (PR521)

50	(I>): 50А	t=0,5 с
51	(I>>): 500А	t=0 с

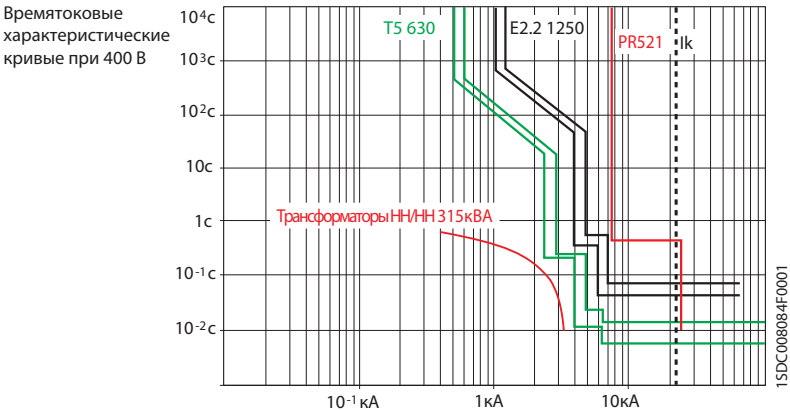
		E2.2N 1250 PR122 LSIG R1250	T5V 630 PR222DS/P LSIG R630
L	Установка	0,8	0,74
	Кривая	108 с	12 с
S t=const	Установка	3,5	4,2
	Кривая	0,5 с	0,25 с
I	Установка	ОТКЛ.	7

При таком решении в случае короткого замыкания автоматический выключатель Emax E2.2 и средневольтный автоматический выключатель отключаются одновременно. Надо уделить внимание тому факту, что благодаря значению I_k, функция I автоматического выключателя E2.2 должна быть отключена (I3=OFF (ОТКЛ.)), чтобы гарантировать селективность T5 со стороны нагрузки.

Приложение С: Примеры применений

Дополнительные функции защиты с расцепителем Ekip Hi-Touch

Техническое решение с расцепителем Ekip Hi-Touch с «двойной защитой S»

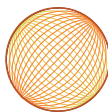


Средневольтный автоматический выключатель (PR521)		
50	(I>): 50А	t=0,5 с
51	(I>>): 500А	t=0 с

		E2.2N 1250 Ekip Hi-Touch LSIG R1250	T5V 630 PR222DS/P LSIG R630
L	Установка	0,8	0,74
	Кривая	108 с	12 с
S t=const	Установка	3,5	4,2
	Кривая	0,5 с	0,25 с
S2 t=const	Установка	5	-
	Кривая	0,05 с	-
I	Установка	ОТКЛ.	7

Очевидно, что с помощью функции «двойной защиты S» селективности можно добиться и с автоматическим выключателем Т5 со стороны нагрузки, и со средневольтным автоматическим выключателем со стороны источника питания.

Дополнительным преимуществом использования функции «двойной защиты S» является уменьшение по времени воздействия высоких значений тока в условиях КЗ, в результате чего снижаются тепловые и динамические нагрузки на шины и другие компоненты установки.



Содержание

1 Защита фидеров

1.1 Введение	252
1.2 Выбор кабелей и способов прокладки	255
1.2.1 Токпроводящая способность и способы прокладки	255
Наземные способы прокладки кабеля	278
Прокладка кабеля в грунте	294
1.2.2 Падение напряжения	292
1.2.3 Тепловые потери	302
1.3 Защита от перегрузки	303
1.4 Защита от короткого замыкания	306
1.5 Нейтральный и защитный проводники	315
1.6 Системы сборных шин (BTS)	328

2 Защита электрического оборудования

2.1 Защита и коммутация осветительных цепей	337
2.2 Защита и коммутация генераторов	346
2.3 Защита и коммутация двигателей	351
2.4 Защита и коммутация трансформаторов	389

3 Коррекция коэффициента мощности

3.1 Общие положения	406
3.2 Методы коррекции коэффициента мощности	412
3.3 Автоматические выключатели для защиты и коммутации конденсаторных батарей	419

4 Защита человека

4.1 Основные положения: воздействие тока на человека	424
4.2 Распределительные системы	426
4.3 Защита от прямых и косвенных прикосновений	429
4.4 Система TT	432
4.5 Система TN	436
4.6 Система IT	438
4.7 Аппараты дифференциального тока	440
4.8 Максимальная длина, при которой обеспечивается защита людей/человека	443

5 Фотоэлектрические установки

5.1 Принцип работы	448
5.2 Основные компоненты фотоэлектрических установок	449
5.2.1 Фотоэлектрический генератор	449
5.2.2 Инвертор	451
5.3 Типология фотоэлектрических установок	452
5.3.1 Автономные установки	452
5.3.2 Установки, подключенные к сети	452
5.4 Заземление и защита от косвенного прикосновения	453
5.4.1 Установки с трансформатором	453
5.4.2 Установки без трансформатора	457

5.5 Защита от перегрузок и перенапряжений	459
5.5.1 Защита от перегрузки со стороны постоянного тока	459
5.5.2 Защита от перегрузки со стороны переменного тока	464
5.5.3 Выбор устройств коммутации и отключения	465
5.5.4 Защита от перенапряжений	465

6 Расчет тока короткого замыкания

6.1 Общие положения	469
6.2 Типы аварийных ситуаций	469
6.3 Определение тока короткого замыкания: «метод мощности короткого замыкания»	471
6.3.1 Расчет мощности короткого замыкания для различных элементов электроустановки	471
6.3.2 Расчет мощности короткого замыкания в точке повреждения	474
6.3.3 Расчет тока короткого замыкания	475
6.3.4 Примеры	477
6.4 Определение тока короткого замыкания в конце кабеля, как функции тока в его начале относительно источника	481
6.5 Метод симметричных составляющих	483
6.5.1 Общие положения	483
6.5.2 Системы прямой, обратной и нулевой последовательности	484
6.5.3 Расчет тока короткого замыкания с помощью метода симметричных составляющих	485
6.5.4 Полное сопротивление электрооборудо- вания при КЗ с прямой, обратной и нулевой последовательностью	488
6.5.5 Формулы для расчета токов КЗ в зависимости от электрических параметров установки	491
6.6 Расчет пикового значения тока короткого замыкания	494
6.7 Короткое замыкание в цепях с источником бесперебойного питания (ИБП)	495

Приложение А: Расчет тока нагрузки I_b	498
--	-----

Приложение В: Гармоники	503
-------------------------------	-----

Приложение С: Расчет коэффициента k для кабелей	510
--	-----

Приложение D: Основные физические величины и электротехнические формулы	514
--	-----

1 Защита фидеров

1.1 Введение

Следующие определения, относящиеся к электроустановкам, взяты из Стандарта МЭК 60050.

Характеристики электроустановок

Электроустановка (здания) - совокупность взаимосвязанного электрического оборудования, имеющего согласованные характеристики и предназначенного для определенной цели.

Ввод в электрическую установку - точка, в которой электрическая энергия вводится в электроустановку.

Нейтральный проводник (символ N) - проводник, соединенный с нейтральной точкой системы и участвующий в передаче электроэнергии.

Защитный проводник PE - проводник, необходимый в некоторых устройствах для защиты от поражения током и обеспечивающий электрическое соединение любых из указанных ниже частей:

- открытые проводящие части;
- внешние проводящие части;
- главный заземляющий проводник;
- заземляющий электрод;
- точка заземления источника или искусственная нейтраль.

Проводник PEN - заземленный проводник, сочетающий функции как защитного, так и нейтрального проводника.

Температура окружающей среды - средняя температура воздуха или другой среды возле оборудования.

Напряжения

Номинальное напряжение (установки) - значение напряжения, которым электрическая установка или её часть обозначена и по которому она идентифицируется.

Примечание: реальное напряжение может отличаться от номинального напряжения на величину в пределах допустимой точности.

Токи

Расчетный ток (цепи) - ток, который, как предполагается, должен проходить в цепи при нормальных условиях эксплуатации.

Длительный допустимый ток - максимальное значение электрического тока, который может протекать длительно по проводнику, устройству или аппарату при определенных условиях без превышения определенного значения их температуры в установившемся режиме.

Сверхток - любой ток, превышающий номинальное значение. У проводников номинальный ток считается равным длительному допустимому току.

Ток перегрузки (цепи) - сверхток, появляющийся в цепи при отсутствии повреждения в электрической цепи.

Короткое замыкание - электрический ток при данном коротком замыкании.

1 Защита фидеров

Ток срабатывания (защитного устройства) - заданное значение тока, которое вызывает срабатывание защитного устройства в пределах указанного условного времени.

Обнаружение сверхтока - функция, основанная на том, что значение тока в цепи превышает предварительно заданное значение в течение определенного периода времени.

Ток утечки - электрический ток, протекающий по нежелательным проводящим путям при нормальных условиях функционирования.

Ток повреждения - ток, протекающий в данной точке сети вследствие повреждения изоляции этой сети.

Системы электропроводки

Электропроводка - узел, состоящий из кабеля или кабелей, или сборных шин и частей, которые крепят или, при необходимости, закрывают кабель (кабели) или шины.

Электрические цепи

Электрическая цепь (установки) - совокупность одного или более изолированных проводов, кабелей или шин и частей для их прокладки, крепления и, при необходимости, механической защиты.

Распределительная сеть (здания) - сеть, питающая распределительные щиты.

Групповая сеть (здания) - сеть, соединенная непосредственно с приемником электроэнергии или с сетевыми розетками.

Прочее оборудование

Электрическое оборудование - любые устройства, предназначенные для производства, преобразования, передачи, распределения или потребления электроэнергии, такие как двигатели, трансформаторы, аппараты, средства измерения, защитные устройства, оборудование для систем электропроводки, электроприборы.

Приемники электроэнергии - оборудование, предназначенное для преобразования электроэнергии в другой вид энергии, например, свет, тепло и движущая сила.

Коммутационная аппаратура и аппаратура управления - оборудование для соединения с электрической цепью, предназначенное для выполнения одной или более из следующих функций: защита, управление, изоляция, коммутация.

Передвижное оборудование - оборудование, которое передвигается при работе, или которое легко может быть перемещено с одного места на другое место, оставаясь присоединенным к источнику питания.

Переносное оборудование - переносное оборудование, которое должно находиться в руке оператора при нормальной эксплуатации, и у которого двигатель, если он имеется, является его неотъемлемой частью.

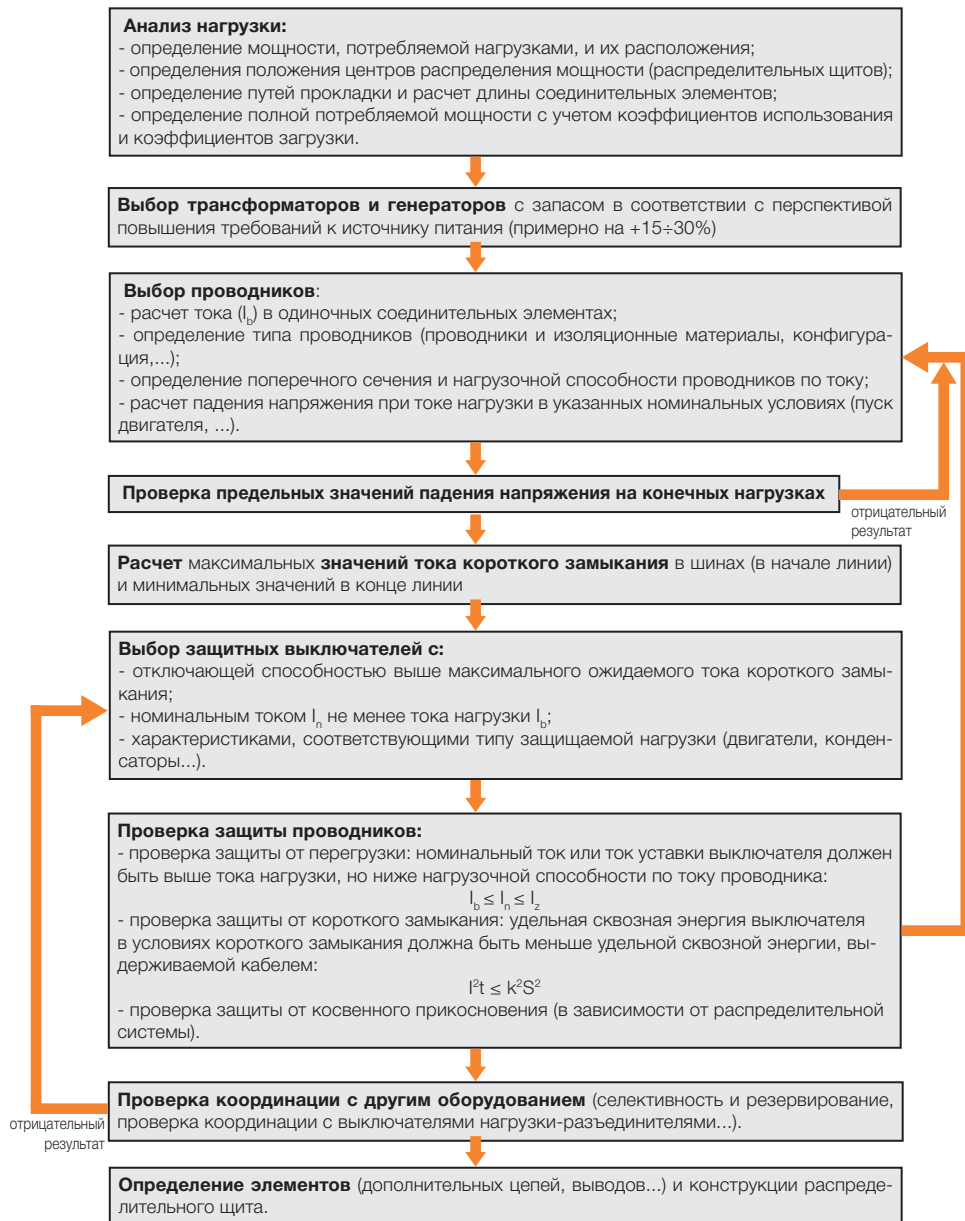
Стационарное оборудование - несъемное оборудование или оборудование, у которого отсутствует рукоятка для переноски и которое имеет такую массу, что его нельзя с легкостью переместить.

Несъемное оборудование Оборудование, прикрепленное к опоре или закрепленное иным образом в конкретном месте.

1 Защита фидеров

Проектирование электроустановки

На блок-схеме, приведенной ниже, указана рекомендуемая процедура проектирования электроустановки.



1 Защита фидеров

1.2 Выбор кабелей и способов прокладки

Для правильного выбора кабеля необходимо:

- выбрать тип кабеля и способ прокладки в соответствии с окружающей средой;
- выбрать поперечное сечение в соответствии с током нагрузки;
- проверить падение напряжения.

1.2.1 Токоспособность и способы прокладки

Выбор кабеля

Международным стандартом, определяющим нормы прокладки и расчета нагрузочной способности кабелей в жилых и промышленных зданиях, является Стандарт МЭК 60364-5-52 (ГОСТ Р 50571.15) «Электроустановки зданий. Часть 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Глава 52. Электропроводки».

Для выбора типа кабеля используются следующие параметры:

- электропроводный материал (медь или алюминий): выбор зависит от требований к стоимости, размерам и весу, устойчивости к коррозионной среде (химические реагенты или окисляющие элементы). В общем, нагрузочная способность медного проводника примерно на 30% выше нагрузочной способности алюминиевого проводника одинакового сечения. Алюминиевый проводник одинакового сечения имеет электрическое сопротивление примерно на 60% выше, а вес в два-три раза меньше медного проводника.
- материал изоляции (отсутствует, ПВХ, сшитый полиэтилен (далее -XLPE) - этиленпропиленовый каучук (далее - EPР)): материал изоляции влияет на максимальную температуру в нормальных условиях и при коротком замыкании и, следовательно, на выбор поперечного сечения проводника [см. главу 1.4 «Защита от короткого замыкания»].
- тип проводника (неизолированный проводник, одножильный кабель без оболочки, одножильный кабель с оболочкой, многожильный кабель) выбирается в соответствии с механическим сопротивлением, степенью изоляции и сложностью прокладки (изгибы, соединения на маршруте, барьеры...), которые определяются способом прокладки.

В таблице 1 приведены типы проводников, допускаемые при различных способах прокладки.

Проводники и кабели		Способ прокладки							
		Без креплений	Зажатые непосредственно	Кабелепровод	Кабельный короб (включая плинтусный короб, короб на уровне пола)	Кабельный канал	Кабельная лестница кабельный канал кабельные кронштейны	На изоляторах	На троссе (струне)
Неизолированные проводники		-	-	-	-	-	-	+	-
Изолированные проводники ^а		-	-	+	± ^а	+	-	+	-
Кабели в оболочке (включая экранированные и с минеральной изоляцией)	Многожильные	+	+	+	+	+	+	0	+
	Одножильные	0	+	+	+	+	+	0	+
+ Допустимо. - Недопустимо. 0 Неприменимо, или, как правило, не применяется на практике.									
^а Использование изолированных проводников допускается только, если кабельный короб обеспечивает уровень защиты, как минимум, IP4X или IPXXD, и крышку можно снять только при помощи инструмента или целенаправленных действий. ^б Для изолированных проводников, используемых в качестве защитных проводников или проводов защитного соединения, не требуется прокладка в кабелепроводах, кабельных каналах и кабельных коробах, и можно использовать любой подходящий способ установки.									

1 Защита фидеров

В промышленных установках многожильные кабели редко применяются с сечением более 95 мм².

Способ прокладки

Для определения нагрузочной способности проводника и, следовательно, определения правильного сечения для тока нагрузки, среди способов прокладки, указанных в упомянутом справочном Стандарте, необходимо выбрать стандартизованный способ прокладки, наилучшим образом соответствующий реальной ситуации.

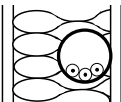
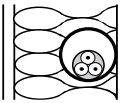
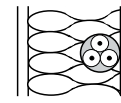
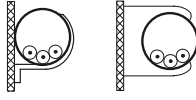
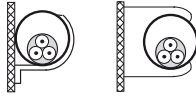
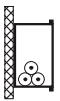

С помощью таблиц 2 и 3 можно определить идентификационный номер прокладки, способ прокладки (A1, A2, B1, B2, C, D1, D2, E, F, G), таблицы для определения теоретической нагрузочной способности проводника и поправочные коэффициенты, необходимые для учета конкретных условий внешней среды и прокладки.

Таблица 2: Способ прокладки

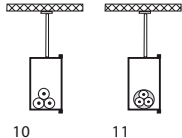
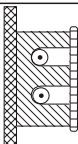
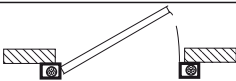

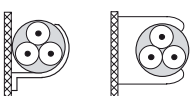

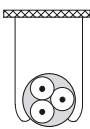
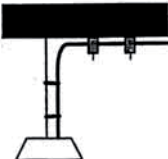
Место прокладки		Способ прокладки							
		Без креплений	С креплениями	Кабелепровод	Кабельный короб (включая плинтусный короб, короб на уровне пола)	Кабельный канал	Кабельная лестница Кабельный канал Кабельные кронштейны	На изоляторах	На троссе (струне)
В пустотах здания	Доступные	40	33	41, 42	6, 7, 8, 9, 12	43, 44	30, 31, 32, 33, 34	-	0
	Недоступные	40	0	41, 42	0	43	0	0	0
Кабельный канал		56	56	54, 55	0		30, 31, 32, 34	-	-
Проложенный в грунте		72, 73	0	70, 71	-	70, 71	0	-	-
Встроенный в конструкцию		57, 58	3	1, 2, 59, 60	50, 51, 52, 53	46, 45	0	-	-
На поверхности		-	20, 21, 22, 23, 33	4, 5	6, 7, 8, 9, 12	6, 7, 8, 9	30, 31, 32, 34	36	-
Воздушная линия		-	33	0	10, 11	10, 11	30, 31, 32, 34	36	35
Оконные рамы		16	0	16	0	0	0	-	-
Наличник		15	0	15	0	0	0	-	-
Углубленные		+	+	+	-	+	0	-	-
- Недопустимо. 0 Неприменимо, или, как правило, не применяется на практике. + Следуйте инструкциям изготовителя.									

1 Защита фидеров

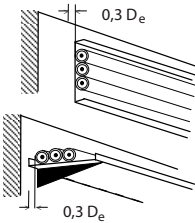
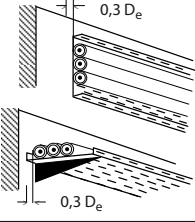
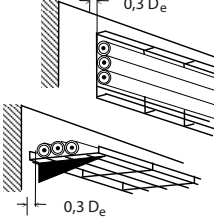

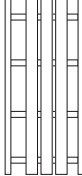


Таблица 3: Примеры способов прокладки

Номер пункта	Способ прокладки	Описание	Эталонный способ прокладки, позволяющий достичь определенной нагрузочной способности по току
1	 Комната	Изолированные проводники или одножильные кабели в кабелепроводе в теплоизолированной стене ^{a, c}	A1
2	 Комната	Многожильные кабели в кабелепроводе в теплоизолированной стене ^{a, c}	A2
3	 Комната	Многожильный кабель непосредственно в теплоизолированной стене ^{a, c}	A1
4		Изолированные проводники или одножильные кабели в кабелепроводе на деревянной или кирпичной стене или на расстоянии менее 0,3 диаметра кабелепровода от нее ^c	B1
5		Многожильный кабель в кабелепроводе на деревянной или кирпичной стене или на расстоянии менее 0,3 диаметра кабелепровода от нее ^c	B2
6	 6	Изолированные проводники или одножильные кабели в кабельном канале (в том числе и в многосекционном кабельном канале) на деревянной или кирпичной стене – горизонтальное направление ^b – вертикальное направление ^{b, c}	B1
7			
8	 8	Многожильный кабель в кабельном канале (в том числе и в многосекционном кабельном канале) на деревянной или кирпичной стене – горизонтальное направление ^b – вертикальное направление ^{b, c}	На рассмотрении ⁴ Можно использовать способ B2
9			
ПРИМЕЧАНИЕ 1 Изображения не отображают реальную продукцию или варианты монтажа, но указывают на описываемый метод			

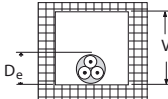
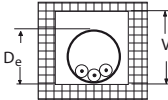
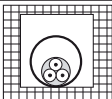
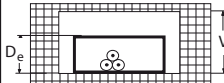
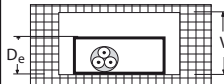
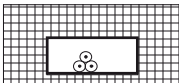
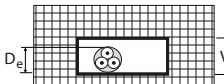
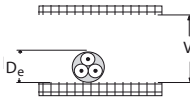
1 Защита фидеров

Номер пункта	Способ прокладки	Описание	Эталонный способ прокладки, позволяющий достичь определенной нагрузочной способности по току
10		Изолированные проводники или одножильный кабель в подвешенном кабельном канале ^b	B1
11		Многожильный кабель в подвешенном кабельном канале ^b	B2
12		Изолированные проводники или одножильный кабель, проложенные в профилированных коробах ^{c, e}	A1
15		Изолированные проводники в кабельном канале или одножильный или многожильный кабель в наличнике ^{c, f}	A1
16		Изолированные проводники в кабельном канале или одножильный или многожильный кабель в оконных рамах ^{c, f}	A1
20		Одножильный или многожильный кабели: – закрепленные на деревянной или кирпичной стене, или расположенные на расстоянии менее 0,3 диаметра кабеля от нее ^c	C
21		Одножильный или многожильный кабели: – закрепленные непосредственно под деревянным или кирпичным потолком	C, с пунктом 3 таблицы 5
22		Одножильный или многожильный кабели: – на расстоянии от потолка	На рассмотрении Можно использовать способ E
23		Фиксированная установка подвешенных приемников электроэнергии	C, с пунктом 3 таблицы 5

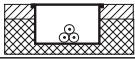
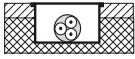


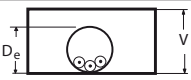
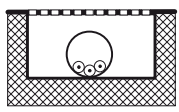
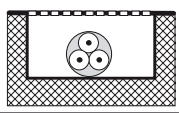
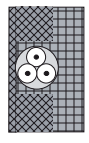
1 Защита фидеров

Номер пункта	Способ прокладки	Описание	Эталонный способ прокладки, позволяющий достичь определенной нагрузочной способности по току
30		Одножильный или многожильный кабели: На неперфорированном лотке горизонтального или вертикального направления ^{c, h}	C, с пунктом 2 таблицы 5
31		Одножильный или многожильный кабели: На перфорированном лотке горизонтального или вертикального направления ^{c, h}	E или F
32		Одножильный или многожильный кабели: На кронштейнах или на металлической сетке горизонтального или вертикального направления ^{c, h}	E или F
33		Одножильный или многожильный кабели: На расстоянии более 0,3 диаметра кабеля от стены	E или F или способ G ⁹
34		Одножильный или многожильный кабели: На лестнице ^c	E или F
35		Одножильный или многожильный кабель, имеющий поддерживающий провод внутри изоляции или подвешенные к нему	E или F
36		Открытые или изолированные проводники на изоляторах	G

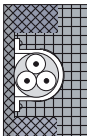
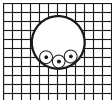
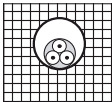
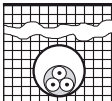
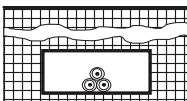
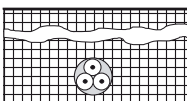
1 Защита фидеров

Номер пункта	Способ прокладки	Описание	Эталонный способ прокладки, позволяющий достичь определенной нагрузочной способности по току
40		Одножильный или многожильный кабель в пустотах здания c, h, i	$1,5 D_e \quad V < 5 D_e$ B2 $5 D_e \quad V < 20 D_e$ B1
41		Изолированный проводник в кабелепроводе в пустотах здания c, i, j, k	$1,5 D_e \quad V < 20 D_e$ B2 $V \geq 20 D_e$ B1
42		Одножильный или многожильный кабель в кабелепроводе в пустотах здания c, k	На рассмотрении Можно использовать следующее: $1,5 D_e \quad V < 20 D_e$ B2 $V \geq 20 D_e$ B1
43		Изолированные проводники в кабельном коробе в пустотах здания c, i, j, k	$1,5 D_e \quad V < 20 D_e$ B2 $V \geq 20 D_e$ B1
44		Одножильный или многожильный кабель в кабельном коробе в пустотах здания c, k	На рассмотрении Можно использовать следующее: $1,5 D_e \quad V < 20 D_e$ B2 $V \geq 20 D_e$ B1
45		Изолированные проводники в кабельном коробе в кирпичной кладке с тепловым сопротивлением не более $2 \text{ К} \cdot \text{м} / \text{Вт}^{\circ} \text{C}$, h, i	$1,5 D_e \quad V < 5 D_e$ B2 $5 D_e \quad V < 50 D_e$ B1
46		Одножильный или многожильный кабель в коробе в кирпичной кладке с тепловым сопротивлением не более $2 \text{ К} \cdot \text{м} / \text{Вт}^{\circ} \text{C}$	На рассмотрении Можно использовать следующее: $1,5 D_e \quad V < 20 D_e$ B2 $V \geq 20 D_e$ B1
47		Одножильный или многожильный кабель: – в пустотах потолка, – в перекрытиях без опор, h, i	$1,5 D_e \quad V < 5 D_e$ B2 $5 D_e \quad V < 50 D_e$ B1

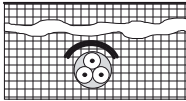
1 Защита фидеров

Номер пункта	Способ прокладки	Описание	Эталонный способ прокладки, позволяющий достичь определенной нагрузочной способности по току
50		Изолированные проводники или одножильный кабель в скрытом кабельном канале в полу	B1
51		Многожильный кабель в скрытом кабельном канале в полу	B2
52		Изолированные проводники или одножильные кабели в заглубленном кабельном канале ^c	B1
53			B2
54		Изолированные проводники или одножильные кабели в кабелепроводе в не-вентилируемом горизонтальном или кабельном канале ^{c, l, l, n}	$1,5 D_e V < 20 D_e$ B2 $V \geq 20 D_e$ B1
55		Изолированные проводники в кабелепроводе в открытом или вентилируемом кабельном канале в полу ^{m, n}	B1
56		Одножильный кабель в оболочке или многожильный кабель в открытом или вентилируемом горизонтальном или вертикальном кабельном канале ⁿ	B1
57		Одножильный или многожильный кабель непосредственно в кирпичной кладке с удельным тепловым сопротивлением не более $2 \text{ К} \cdot \text{м} / \text{Вт}^{\circ} \cdot \text{Р}$ Без дополнительной механической защиты	C

1 Защита фидеров

Номер пункта	Способ прокладки	Описание	Эталонный способ прокладки, позволяющий достичь определенной нагрузочной способности по току
58		Одножильный или многожильный кабель в непосредственно в кирпичной кладке с удельным тепловым сопротивлением не более $2 \text{ К} \cdot \text{м} / \text{Вт}$ С дополнительной механической защитой ^{о, р}	C
59		непосредственно в кирпичной кладке с Изолированные проводники или одножильные кабели в кабелепроводе в кирпичной кладке ^р	B1
60		Многожильный кабель в кабелепроводе в кирпичной кладке ^р	B2
70		Многожильный кабель в кабелепроводе или в кабельном канале в грунте	D1
71		Одножильный кабель в кабелепроводе или в кабельном канале в грунте	D1
72		Одножильный кабель в оболочке или многожильный кабель непосредственно в грунте: - без дополнительной механической защиты ^г	D2

1 Защита фидеров

Номер пункта	Способ прокладки	Описание	Эталонный способ прокладки, позволяющий достичь определенной нагрузочной способности по току
73		Одножильные кабели в оболочке или многожильные кабели непосредственно в грунте - с дополнительной механической защитой ^q	D2

^a Тепловая удельная проводимость внутренней обшивки стены составляет не менее 10 Вт/м²·К.

^b Значения, указанные для способов установки В1 и В2, действительны для одной цепи. При расположении в лотке более одной цепи применяется понижающий коэффициент для сгруппированных кабелей из таблицы 5, вне зависимости от наличия внутренних перегородок или разделителей.

^c Необходимо проявлять осторожность при вертикальном расположении кабелей в условиях ограниченной вентиляции. Температура окружающего воздуха в верхней части вертикальной ячейки может значительно повышаться. Данный случай находится на рассмотрении.

^d Можно использовать значения для способа В2.

^e Тепловое сопротивление оболочки считается не влияющим на тепловые процессы по причине материала конструкции и возможных воздушных зазоров. Если способы установки конструкции по своим тепловым параметрам аналогичны способам 6 или 7, то можно использовать исходные способы установки В1.

^f Тепловое сопротивление оболочки считается не влияющим на тепловые процессы по причине материала конструкции и возможных воздушных зазоров. Если способы установки конструкции по своим тепловым параметрам аналогичны способам 6, 7, 8 или 9, то можно использовать исходные способы установки В1 или В2.

^g Также можно применять коэффициенты, указанные в таблице 5.

^h D_o - наружный диаметр многожильного кабеля:

- 2,2 x диаметр кабеля, когда три одножильных кабеля соединены в форме треугольника, или
- 3 x диаметр кабеля, когда три одножильных кабеля уложены в горизонтальной плоскости.

ⁱ V - меньший размер или диаметр кабельного трубопровода или пустоты в каменной кладке, или глубина по вертикали прямоугольного кабельного трубопровода, пустоты в полу или потолке. Глубина канала имеет более важное значение, чем ширина.

^j D_o - наружный диаметр канала или глубина кабельного трубопровода по вертикали.

^k D_o - наружный диаметр кабельного канала.

^m Для многожильного кабеля, установленного способом 55, используйте значение нагрузочной способности по току для исходного способа В2.

ⁿ Данные способы установки рекомендуются использовать исключительно в зонах доступа только для специалистов во избежание понижения нагрузочной способности по току и возникновения пожара по причине скопления мусора.

^o Для кабелей с проводниками не более 16 мм² нагрузочная способность по току может быть выше.

^p Тепловое сопротивление кирпичной стены не превышает 2К· м/Вт, термин «кирпичная стена» относится к кирпичной кладке, бетону, штукатурке и подобным материалам (отличным от изоляционных).

^q Добавление к этому пункту кабелей, проложенных непосредственно в грунте, возможно только при приблизительном значении удельного теплового сопротивления почвы 2,5 К· м/Вт. При более низких значениях теплового сопротивления нагрузочная способность по току кабелей, проложенных непосредственно в грунте, существенно выше, чем для кабелей в кабельном коробе.

1 Защита фидеров

Наземные способы прокладки: выбор поперечного сечения в соответствии с нагрузочной способностью и способом прокладки

Нагрузочная способность кабеля, проложенного не в грунте, определяется по следующей формуле:

$$I_z = I_0 k_1 k_2 = I_0 k_{\text{tot}}$$

где:

- I_0 - нагрузочная способность одного проводника при номинальной температуре внешней среды 30°C;
- k_1 - поправочный коэффициент, если температура окружающей среды не равна 30°C;
- k_2 - поправочный коэффициент для кабелей, проложенных в пучках или плоскими слоями, или для кабелей, проложенных одним плоским слоем на нескольких опорах.

Поправочный коэффициент k_1

Нагрузочная способность кабелей, проложенных не в грунте, зависит от температуры окружающей среды; в качестве нормальных условий принята температура 30°C. Если температура окружающей среды места прокладки отличается от этой номинальной температуры, следует применять поправочный коэффициент k_1 из таблицы 4 в соответствии с материалом изоляции.

Таблица 4: Поправочный коэффициент для температуры окружающей среды, отличной от 30°C

Температура окружающей среды ^(a) °C	Изоляция			
	ПВХ	XLPE и EPR	Минеральная ^(a)	
			с покрытием ПВХ и допустимой температурой нагрева до 70 °C	неизолированная, с допустимой температурой нагрева до 105 °C
10	1,22	1,15	1,26	1,14
15	1,17	1,12	1,20	1,11
20	1,12	1,08	1,14	1,07
25	1,06	1,04	1,07	1,04
35	0,94	0,96	0,93	0,96
40	0,87	0,91	0,85	0,92
45	0,79	0,87	0,87	0,88
50	0,71	0,82	0,67	0,84
55	0,61	0,76	0,57	0,80
60	0,50	0,71	0,45	0,75
65	–	0,65	–	0,70
70	–	0,58	–	0,65
75	–	0,50	–	0,60
80	–	0,41	–	0,54
85	–	–	–	0,47
90	–	–	–	0,40
95	–	–	–	0,32

^(a) При более высокой температуре окружающей среды рекомендуется обратиться к производителю.

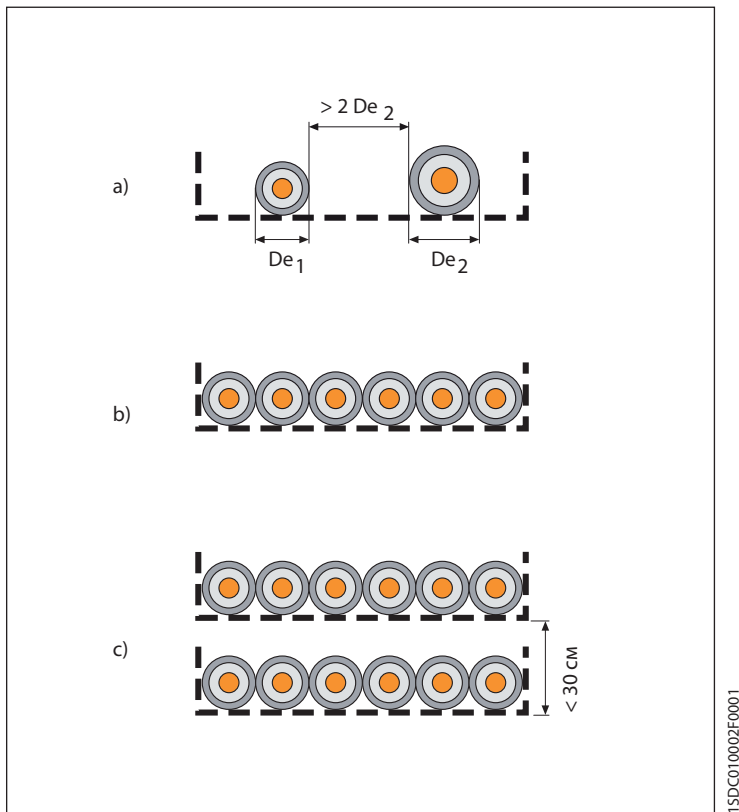
1 Защита фидеров

Поправочный коэффициент k_2

На нагрузочную способность кабеля влияет наличие других кабелей, проложенных рядом. Рассеяние тепла одного кабеля изменится, если его проложить рядом с другими кабелями. Коэффициент k_2 приведен в таблице для кабелей, проложенных рядом друг с другом слоями или в пучке.

Определение ряда или пучка

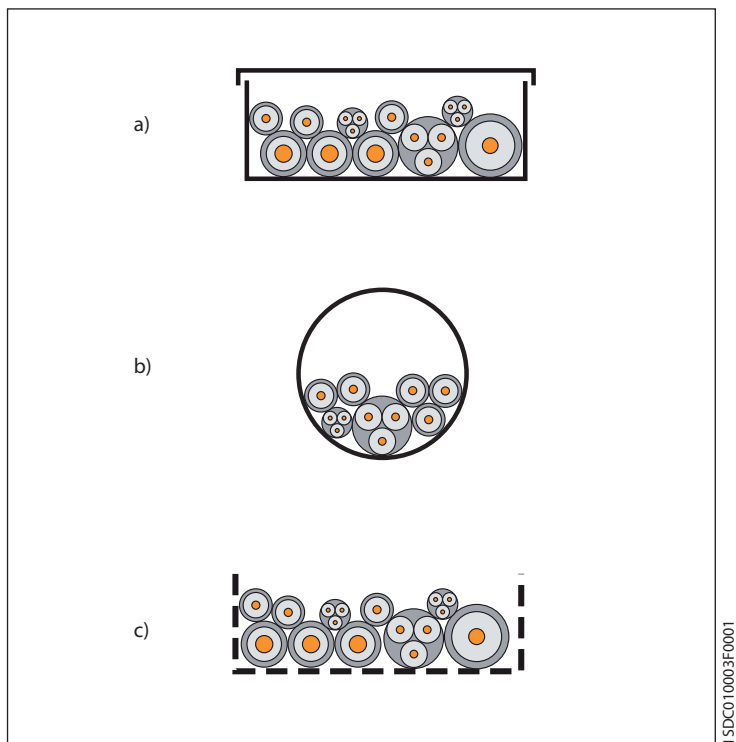
ряд: несколько цепей, образованных кабелями, проложенными рядом друг с другом, разделенными или неразделенными, в горизонтальном или вертикальном направлении. Кабели рядами прокладываются на стене, лотке, потолке, полу или на кабельной лестнице;



Кабели в рядах: а) разделенные; б) неразделенные; в) двойной ряд

пучок: несколько цепей, образованных кабелями, которые не разделены и не уложены в ряды; несколько рядов, уложенных друг на друга на одной опоре (например, в лотке), считаются пучком.

1 Защита фидеров



Кабели в пучке: а) в коробе; б) в канале; в) на перфорированном лотке

1SDC010003F0001

Значение поправочного коэффициента k_2 составляет 1, когда:

- кабели разделены:
 - два одножильных кабеля, относящиеся к различным цепям, разделены, когда расстояние между ними вдвое больше наружного диаметра кабеля большего поперечного сечения;
 - два многожильных кабеля разделены, когда расстояние между ними равно, по меньшей мере, наружному диаметру более крупного кабеля;
- соседние кабели нагружены менее чем на 30 % их нагрузочной способности.

Поправочные коэффициенты для кабелей в пучке или для кабелей в рядах рассчитаны исходя из того, что пучки состоят из одинаковых кабелей с равной нагрузкой. Группа кабелей считается состоящей из одинаковых кабелей, если расчет нагрузочной способности основан на одинаковой максимально допустимой рабочей температуре, а поперечные сечения проводников входят в диапазон трех следующих друг за другом стандартных поперечных сечений (например, от 10 до 25 мм²).

Расчет понижающих коэффициентов для кабелей в пучке, которые имеют различные поперечные сечения, зависит от количества кабелей и их поперечных сечений. Эти коэффициенты не указаны в таблице, но должны быть рассчитаны для каждого пучка или ряда

1 Защита фидеров

Понижающий коэффициент для группы, содержащей изолированные проводники или кабели в каналах различных поперечных сечений, кабельных коробах или кабелепроводах, равен:

$$k_2 = \frac{1}{\sqrt{n}}$$

где:

- k_2 - групповой понижающий коэффициент;
- n - количество цепей в пучке.

Понижающий коэффициент, полученный с помощью данной формулы, снижает опасность перегрузки кабелей меньшего поперечного сечения, но может вызвать недостаточное использование кабелей большего поперечного сечения. Такого недостаточного использования можно избежать, если кабели больших и малых размеров не смешиваются в одной и той же группе.

В следующих таблицах приведены понижающие коэффициенты (k_2) для различных случаев.

Таблица 5: Понижающий коэффициент для сгруппированных кабелей

Пункт	Способы прокладки	Количество цепей или многожильных кабелей												Способы прокладки, используемые в зависимости от нагрузочной способности по току
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20	
1	Пучок в воздухе, на поверхности, заглубленный или закрытый	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,45	0,41	0,38	Способы от А до F
2	В один ряд на стене, полу или перфорированном лотке	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70				
3	В один ряд с креплением непосредственно под деревянным потолком	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61	Отсутствует другой понижающий коэффициент для более чем девяти цепей или многожильных кабелей			Способ C
4	В один ряд на перфорированном горизонтальном или вертикальном лотке	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72				
5	В один ряд на лестнице, опоре, планках и т.п.	1,00	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78				Способы E и F

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Эти коэффициенты применимы к однородным группам кабелей с одинаковой нагрузкой.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Там, где горизонтальное расстояние между смежными кабелями в два раза превышает их общий диаметр, не требуется применять понижающий коэффициент.

ПРИМЕЧАНИЕ 3 Одинаковые коэффициенты применяются к:

- группам из двух или трех одножильных кабелей
- многожильным кабелям.

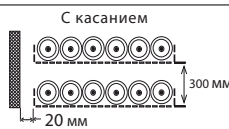
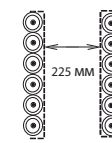

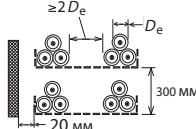
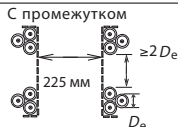
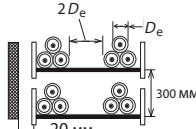
ПРИМЕЧАНИЕ 4 Если система состоит из двух- и трехжильных кабелей, то общее количество кабелей принимается за количество цепей, а соответствующий коэффициент применяется по таблицам для двух нагруженных проводников в случае двухжильных кабелей и по таблицам для трех нагруженных проводников в случае трехжильных кабелей.

ПРИМЕЧАНИЕ 5 Если группа состоит из n-го количества одножильных кабелей, ее можно считать содержащей n/2 цепей из двух нагруженных проводников или n/3 цепей из трех нагруженных проводников.

ПРИМЕЧАНИЕ 6 Для некоторых способов установки или для других способов, не указанных в таблице выше, целесообразно использовать коэффициенты, рассчитанные для особых случаев, см. пример в таблицах 6-7.

1 Защита фидеров

Таблица 6: Понижающий коэффициент для одножильных кабелей со способом прокладки F

Способ прокладки согласно таблице 3			Число лотков	Число трехфазных сетей (примечание 4)			Используется в качестве множителя для расчета номинального значения
				1	2	3	
Перфорированные лотки (примечание 3)	31		1	0,98	0,91	0,87	Три кабеля с горизонтальным расположением
			2	0,96	0,87	0,81	
			3	0,95	0,85	0,78	
Системы вертикальных перфорированных лотков (примечание 4)	31		1	0,96	0,86	–	Три кабеля с вертикальным расположением
			2	0,95	0,84	–	
Система держателей лестничного типа, рейки и т.п. (примечание 3)	32		1	1,00	0,97	0,96	Три кабеля с горизонтальным расположением
	33		2	0,98	0,93	0,89	
	34		3	0,97	0,90	0,86	
Система перфорированных лотков (примечание 3)	31		1	1,00	0,98	0,96	
			2	0,97	0,93	0,89	
			3	0,96	0,92	0,86	
Система вертикальных перфорированных лотков (примечание 4)	31		1	1,00	0,91	0,89	Три кабеля, сложенные треугольником
			2	1,00	0,90	0,86	
Система держателей лестничного типа, рейки и т.п. (примечание 3)	32		1	1,00	1,00	1,00	
	33		2	0,97	0,95	0,93	
	34		3	0,96	0,94	0,90	

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Приведенные значения являются средними для типов кабелей и типоразмеров проводников, рассматриваемых в таблицах 8 и 9 (способы установки E, F и G). Разброс значений, как правило, составляет менее 5 %.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Коэффициенты приведены для укладки кабелей в один ряд (или в треугольные группы), как указано в таблице, и не применимы для кабелей, укладываемых в несколько соприкасающихся рядов. Значения для таких способов установки могут оказаться существенно ниже и должны определяться соответствующим методом.

ПРИМЕЧАНИЕ 3 Приведенные значения соответствуют вертикальным промежуткам между лотками 300 мм и при расстоянии между лотком и стеной не менее 20 мм. При меньших промежутках коэффициенты нужно уменьшать.

ПРИМЕЧАНИЕ 4 Приведенные значения соответствуют горизонтальным промежуткам между лотками 225 мм, при установке лотков полка к полке и при расстоянии между лотком и любой стеной не менее 20 мм. При меньших промежутках коэффициенты нужно уменьшать.

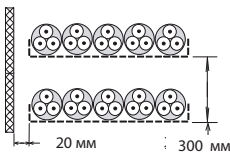
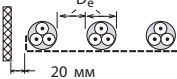
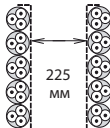
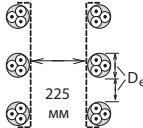
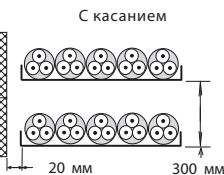
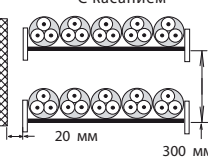
ПРИМЕЧАНИЕ 5 Если цепи имеют более одного параллельного кабеля на каждую фазу, то для соблюдения условий данной таблицы каждый трехфазный набор проводников следует считать одной цепью.

ПРИМЕЧАНИЕ 6 Если цепь состоит из m параллельных проводников на фазу, то для определения понижающего коэффициента эту цепь следует рассматривать, как несколько цепей m .

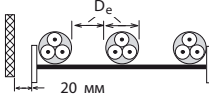
15DC010004F0201

1 Защита фидеров

Таблица 7: Понижающий коэффициент для многожильных кабелей со способом прокладки Е

Способ прокладки согласно таблице 3			Число лотков или держателей	Число кабелей на лоток или держатель					
				1	2	3	4	6	9
Системы перфорированных лотков (примечание 3)	31		1	1,00	0,88	0,82	0,79	0,76	0,73
			2	1,00	0,87	0,80	0,77	0,73	0,68
			3	1,00	0,86	0,79	0,76	0,71	0,66
			6	1,00	0,84	0,77	0,73	0,68	0,64
			1	1,00	1,00	0,98	0,95	0,91	–
			3	1,00	0,99	0,96	0,92	0,87	–
Системы вертикальных перфорированных лотков (примечание 4)	31		1	1,00	0,88	0,82	0,78	0,73	0,72
			2	1,00	0,88	0,81	0,76	0,71	0,70
			1	1,00	0,91	0,89	0,88	0,87	–
			2	1,00	0,91	0,88	0,87	0,85	–
Системы неперфорированных лотков	31		1	0,97	0,84	0,78	0,75	0,71	0,68
			2	0,97	0,83	0,76	0,72	0,68	0,63
			3	0,97	0,82	0,75	0,71	0,66	0,61
			6	0,97	0,81	0,73	0,69	0,63	0,58
Система держателей лестничного типа, рейки и т.п. (примечание 3)	32		1	1,00	0,87	0,82	0,80	0,79	0,78
	33		2	1,00	0,86	0,80	0,78	0,76	0,73
	33		3	1,00	0,85	0,79	0,76	0,73	0,70
	34		6	1,00	0,84	0,77	0,73	0,68	0,64

1 Защита фидеров

Способ прокладки согласно таблице 3			Число лотков или держателей	Число кабелей на лоток или держатель					
				1	2	3	4	6	9
		<div>С промежутком</div> 	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	–
			2	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	–
			3	1,00	0,98	0,97	0,96	0,93	–
<p>ПРИМЕЧАНИЕ 1 Приведенные значения являются средними для типов кабелей и типоразмеров проводников, рассматриваемых в таблицах 8 и 9 (способы установки E, F и G). Разброс значений, как правило, составляет менее 5 %.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 2 Коэффициенты приведены для укладки кабелей в один ряд (или в треугольные группы), как указано в таблице, и не применимы для кабелей, укладываемых в несколько соприкасающихся рядов. Значения для таких способов установки могут оказаться существенно ниже и должны определяться соответствующим методом.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 3 Приведенные значения соответствуют вертикальным промежуткам между лотками 300 мм и при расстоянии между лотком и стеной не менее 20 мм. При меньших промежутках коэффициенты нужно уменьшать.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 4 Приведенные значения соответствуют горизонтальным промежуткам между лотками 225 мм, при установке лотков полка к полке и при расстоянии между лотком и любой стеной не менее 20 мм. При меньших промежутках коэффициенты нужно уменьшать.</p>									

1 Защита фидеров

Выводы:

Для определения поперечного сечения кабеля необходимо использовать следующую процедуру:

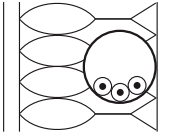
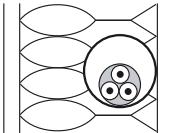
1. Определите способ прокладки по таблице 3;
2. Определите по таблице 4 поправочный коэффициент k_1 с учетом материала изоляции и температуры окружающей среды;
3. Для определения поправочного коэффициента k_2 , соответствующего количеству цепей или многожильных кабелей, используйте таблицу 5 для кабелей, уложенных в ряд или пучком; таблицу 6 для одножильных кабелей в один ряд на нескольких опорах; таблицу 7 для многожильных кабелей в один ряд на нескольких опорах или указанную формулу в случае групп кабелей с различными поперечными сечениями.
4. Рассчитайте значение тока I'_b путем деления тока нагрузки I_b (или номинального тока защитного устройства) на произведение рассчитанных поправочных коэффициентов:

$$I'_b = \frac{I_b}{k_1 k_2} = \frac{I_b}{k_{\text{tot}}}$$


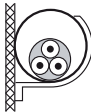
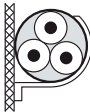
5. По таблицам 8 или 9, в зависимости от способа прокладки, материалов изоляции и проводника, а также количества нагруженных проводов, определите поперечное сечение кабеля с нагрузочной способностью $I_0 > I'_b$;
6. Реальная нагрузочная способность кабеля рассчитывается по формуле $I_z = I_0 k_1 k_2$.

1 Защита фидеров

Таблица 8: Нагрузочная способность кабелей с изоляцией из ПВХ или EPR/XLPE (способ А-В-С)


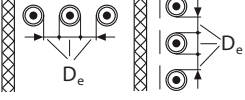
	Способ прокладки	А1								А2									
																			
	Проводник	Cu				Al				Cu				Al				Cu	
	Изоляция	XLPE EPR		ПВХ		XLPE EPR		ПВХ		XLPE EPR		ПВХ		XLPE EPR		ПВХ		XLPE EPR	
S [мм²]	Нагруженные проводники	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
1,5		19	17	14,5	13,5					18,5	16,5	14	13,0					23	20
2,5		26	23	19,5	18	20	19	14,5	14	25	22	18,5	17,5	19,5	18	14,5	13,5	31	28
4		35	31	26	24	27	25	20	18,5	33	30	25	23	26	24	20	17,5	42	37
6		45	40	34	31	35	32	26	24	42	38	32	29	33	31	25	23	54	48
10		61	54	46	42	48	44	36	32	57	51	43	39	45	41	33	31	75	66
16		81	73	61	56	64	58	48	43	76	68	57	52	60	55	44	41	100	88
25		106	95	80	73	84	76	63	57	99	89	75	68	78	71	58	53	133	117
35		131	117	99	89	103	94	77	70	121	109	92	83	96	87	71	65	164	144
50		158	141	119	108	125	113	93	84	145	130	110	99	115	104	86	78	198	175
70		200	179	151	136	158	142	118	107	183	164	139	125	145	131	108	98	253	222
95		241	216	182	164	191	171	142	129	220	197	167	150	175	157	130	118	306	269
120		278	249	210	188	220	197	164	149	253	227	192	172	201	180	150	135	354	312
150		318	285	240	216	253	226	189	170	290	259	219	196	230	206	172	155	393	342
185		362	324	273	245	288	256	215	194	329	295	248	223	262	233	195	176	449	384
240		424	380	321	286	338	300	252	227	386	346	291	261	307	273	229	207	528	450
300		486	435	367	328	387	344	289	261	442	396	334	298	352	313	263	237	603	514
400																			
500																			
630																			

1 Защита фидеров

B1								B2								C																											
																																											
Al				Cu				Al				Cu				Al																											
ПВХ		XLPE EPR		ПВХ		XLPE EPR		ПВХ		XLPE EPR		ПВХ		XLPE EPR		ПВХ		XLPE/EPR		ПВХ																							
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3																					
17,5		15,5						22		19,5		16,5		15				24		22		19,5		17,5																			
24		21		25		22		18,5		16,5		30		26		23		20		23		21		17,5		15,5		33		30		27		24		26		24		21		18,5	
32		28		33		29		25		22,0		40		35		30		27		31		28		24		21		45		40		36		32		35		32		28		25,0	
41		36		43		38		32		28		51		44		38		34		40		35		30		27,0		58		52		46		41		45		41		36		32	
57		50		59		52		44		39		69		60		52		46		54		48		41		36		80		71		63		57		62		57		49		44	
76		68		79		71		60		53		91		80		69		62		72		64		54		48		107		96		85		76		84		76		66		59	
101		89		105		93		79		70		119		105		90		80		94		84		71		62		138		119		112		96		101		90		83		73	
125		110		130		116		97		86		146		128		111		99		115		103		86		77		171		147		138		119		126		112		103		90	
151		134		157		140		118		104		175		154		133		118		138		124		104		92		209		179		168		144		154		136		125		110	
192		171		200		179		150		133		221		194		168		149		175		156		131		116		269		229		213		184		198		174		160		140	
232		207		242		217		181		161		265		233		201		179		210		188		157		139		328		278		258		223		241		211		195		170	
269		239		281		251		210		186		305		268		232		206		242		216		181		160		382		322		299		259		280		245		226		197	
300		262		307		267		234		204		334		300		258		225		261		240		201		176		441		371		344		299		324		283		261		227	
341		296		351		300		266		230		384		340		294		255		300		272		230		199		506		424		392		341		371		323		298		259	
400		346		412		351		312		269		459		398		344		297		358		318		269		232		599		500		461		403		439		382		352		305	
458		394		471		402		358		306		532		455		394		339		415		364		308		265		693		576		530		464		508		440		406		351	

1 Защита фидеров

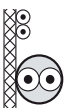
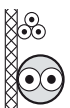
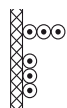
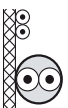
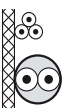
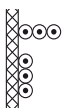
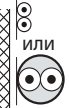

1 Защита фидеров

				G							
 или				 D _e							
Cu		Al		Cu				Al			
XLPE EPR	ПВХ	XLPE EPR	ПВХ	XLPE EPR	ПВХ	XLPE EPR	ПВХ	XLPE EPR	ПВХ	XLPE EPR	ПВХ
3				3H	3V	3H	3V	3H	3V	3H	3V
141	114	107	87	182	161	146	130	138	122	112	99
176	143	135	109	226	201	181	162	172	153	139	124
216	174	165	133	275	246	219	197	210	188	169	152
279	225	215	173	353	318	281	254	271	244	217	196
342	275	264	212	430	389	341	311	332	300	265	241
400	321	308	247	500	454	396	362	387	351	308	282
464	372	358	287	577	527	456	419	448	408	356	327
533	427	413	330	661	605	521	480	515	470	407	376
634	507	492	392	781	719	615	569	611	561	482	447
736	587	571	455	902	833	709	659	708	652	557	519
868	689	694	552	1085	1008	852	795	856	792	671	629
998	789	806	640	1253	1169	982	920	991	921	775	730
1151	905	942	746	1454	1362	1138	1070	1154	1077	900	852

1SDC010100F0201

1 Защита фидеров

Таблица 9: Нагрузочная способность кабелей с минеральной изоляцией

	Способ прокладки	С								
		Температура металлической оболочки 70 °С			Температура металлической оболочки 105 °С			Температура металлической оболочки		
		С оплеткой ПВХ или неизолированный, доступный для прикосновения			Неизолированный кабель, недоступный для прикосновения			С оплеткой ПВХ или неизолированный, доступный для прикосновения		
		Нагруженные проводники								
										
	S [мм ²]	2	3	3	2	3	3	2	3	
500 В	1,5	23	19	21	28	24	27	25	21	
	2,5	31	26	29	38	33	36	33	28	
	4	40	35	38	51	44	47	44	37	
750 В	1,5	25	21	23	31	26	30	26	22	
	2,5	34	28	31	42	35	41	36	30	
	4	45	37	41	55	47	53	47	40	
	6	57	48	52	70	59	67	60	51	
	10	77	65	70	96	81	91	82	69	
	16	102	86	92	127	107	119	109	92	
	25	133	112	120	166	140	154	142	120	
	35	163	137	147	203	171	187	174	147	
	50	202	169	181	251	212	230	215	182	
	70	247	207	221	307	260	280	264	223	
	95	296	249	264	369	312	334	317	267	
	120	340	286	303	424	359	383	364	308	
	150	388	327	346	485	410	435	416	352	
	185	440	371	392	550	465	492	472	399	
	240	514	434	457	643	544	572	552	466	

Примечание 1

Примечание 2

Примечание 3

Примечание 4








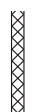
Для одножильных кабелей кабельные оболочки цепи соединяются на обоих концах.

Для неизолированных кабелей значения следует умножать на 0,9.

D_в - внешний диаметр кабеля.

Для кабелей с металлической оболочкой с максимальной температурой 105 °C поправка

1 Защита фидеров

Е или F				G			
70 °C	Температура металлической оболочки 105 °C			Температура металлической оболочки 70 °C		Температура металлической оболочки 105 °C	
	Неизолированный кабель, недоступный для прикосновения			С оплеткой ПВХ или неизолированный, доступный для прикосновения		Неизолированный кабель, недоступный для прикосновения	
							
3	2	3	3	3	3	3	3
23	31	26	29	26	29	33	37
31	41	35	39	34	39	43	49
41	54	46	51	45	51	56	64
26	33	28	32	28	32	35	40
34	45	38	43	37	43	47	54
45	60	50	56	49	56	61	70
57	76	64	71	62	71	78	89
77	104	87	96	84	95	105	120
102	137	115	127	110	125	137	157
132	179	150	164	142	162	178	204
161	220	184	200	173	197	216	248
198	272	228	247	213	242	266	304
241	333	279	300	259	294	323	370
289	400	335	359	309	351	385	441
331	460	385	411	353	402	441	505
377	526	441	469	400	454	498	565
426	596	500	530	446	507	557	629
496	697	584	617	497	565	624	704

1SDC010007F0201

1 Защита фидеров

Прокладка кабеля в грунте: выбор поперечного сечения в соответствии с нагрузочной способностью и типом прокладки

Нагрузочная способность кабеля, проложенного в грунте, определяется по следующей формуле:

$$I_z = I_0 k_1 k_2 k_3 = I_0 k_{\text{tot}}$$

- I_0 - нагрузочная способность одного проводника для прокладки в грунте при номинальной температуре 20°C;
- k_1 - поправочный коэффициент, если температура грунта не равна 20°C;
- k_2 - поправочный коэффициент для смежных кабелей;
- k_3 - поправочный коэффициент, если удельное тепловое сопротивление грунта отлично от номинального значения, 2,5 К·м/Вт.

Поправочный коэффициент k_1

Нагрузочная способность проложенных в грунте кабелей определена для температуры грунта 20°C. Если температура грунта иная, используйте поправочный коэффициент k_1 , указанный в таблице 10 с учетом материала изоляции.

Таблица 10: Поправочные коэффициенты для температуры окружающей среды, отличной от 20°C

Температура грунта °C	Изоляция	
	ПВХ	XLPE и EPR
10	1,10	1,07
15	1,05	1,04
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

1 Защита фидеров

Поправочный коэффициент k_2

На нагрузочную способность кабеля влияет наличие других кабелей, проложенных рядом. Рассеяние тепла одного кабеля изменится, если его проложить рядом с другими кабелями. Поправочный коэффициент k_2 определяется с помощью формулы:


$$k_2 = k_2' \cdot k_2''$$

В таблицах 11,12 и 13 приведены значения коэффициента k_2' для одножильных и многожильных кабелей, проложенных непосредственно в грунте или в кабелепроводах в грунте, с учетом их расстояния от других кабелей или расстояния между кабелепроводами.


Таблица 11: Понижающие коэффициенты для кабелей, проложенных непосредственно в грунте (способ установки D2)

Количество цепей	Расстояние между кабелями				
	Ноль (касание кабелей)	Диаметр одного 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

Многожильные кабели



Одножильные кабели



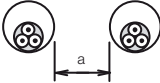
ПРИМЕЧАНИЕ 1 Приведенные величины указаны для глубины прокладки 0,7 м и удельного теплового сопротивления грунта 2,5 К·м/Вт. Это средние значения для размеров и типов кабелей, перечисленных в таблицах 8-15-16. Усреднение и округление значений периодически может приводить к погрешности ±10 % (для получения более точных значений при необходимости используйте методы расчета, указанные в Стандарте МЭК 60287-2-1).

ПРИМЕЧАНИЕ 2 При удельном тепловом сопротивлении грунта менее 2,5 К·м/Вт понижающие коэффициенты, как правило, могут быть, увеличены и рассчитаны методами, указанными в стандарте МЭК 60287-2-1.

ПРИМЕЧАНИЕ 3 Для определения понижающего коэффициента в цепи, состоящей из m параллельных проводников на фазу, данную цепь следует рассматривать, как несколько цепей m.

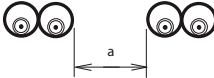
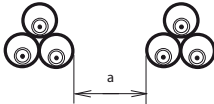
1 Защита фидеров

Таблица 12: Понижающие коэффициенты для многожильных кабелей, проложенных в однопроводных кабельных каналах в грунте

Количество кабелей	Многожильные кабели в однопроводных кабельных каналах			
	Зазор между кабельными каналами			
	Ноль (касание кабельных каналов)	0,25 м	0,5 м	1,0 м
2	0,85	0,90	0,95	0,95
3	0,75	0,85	0,90	0,95
4	0,70	0,80	0,85	0,90
5	0,65	0,80	0,85	0,90
6	0,60	0,80	0,80	0,90
7	0,57	0,76	0,80	0,88
8	0,54	0,74	0,78	0,88
9	0,52	0,73	0,77	0,87
10	0,49	0,72	0,76	0,86
11	0,47	0,70	0,75	0,86
12	0,45	0,69	0,74	0,85
13	0,44	0,68	0,73	0,85
14	0,42	0,68	0,72	0,84
15	0,41	0,67	0,72	0,84
16	0,39	0,66	0,71	0,83
17	0,38	0,65	0,70	0,83
18	0,37	0,65	0,70	0,83
19	0,35	0,64	0,69	0,82
20	0,34	0,63	0,68	0,82
<div>Многожильные кабели</div> <div></div>				
<p>ПРИМЕЧАНИЕ 1 Приведенные величины указаны для глубины прокладки 0,7 м и удельного теплового сопротивления грунта 2,5 К·м/Вт. Это средние значения для размеров и типов кабелей, перечисленных в таблицах 8-15-16. Усреднение и округление значений периодически может приводить к погрешности ±10 % (для получения более точных значений при необходимости используйте методы расчета, указанные в Стандарте МЭК 60287-2-1).</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 2 При удельном тепловом сопротивлении грунта менее 2,5 К·м/Вт понижающие коэффициенты, как правило, могут быть, увеличены и рассчитаны методами, указанными в стандарте МЭК 60287-2-1.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 3 Для определения понижающего коэффициента в цепи, состоящей из m параллельных проводников на фазу, данную цепь следует рассматривать, как несколько цепей m.</p>				

1 Защита фидеров

Таблица 13: Понижающие коэффициенты для одножильных кабелей, проложенных в од-
нонаправленных кабельных каналах в грунте

Одножильные кабели в однонаправленных немагнитных кабельных каналах				
Количество одно- жильных цепей из двух или трех кабелей	Зазор между кабельными каналами			
	Ноль (касание кабельных каналов)	0,25 м	0,5 м	1,0 м
2	0,80	0,90	0,90	0,95
3	0,70	0,80	0,85	0,90
4	0,65	0,75	0,80	0,90
5	0,60	0,70	0,80	0,90
6	0,60	0,70	0,80	0,90
7	0,53	0,66	0,76	0,87
8	0,50	0,63	0,74	0,87
9	0,47	0,61	0,73	0,86
10	0,45	0,59	0,72	0,85
11	0,43	0,57	0,70	0,85
12	0,41	0,56	0,69	0,84
13	0,39	0,54	0,68	0,84
14	0,37	0,53	0,68	0,83
15	0,35	0,52	0,67	0,83
16	0,34	0,51	0,66	0,83
17	0,33	0,50	0,65	0,82
18	0,31	0,49	0,65	0,82
19	0,30	0,48	0,64	0,82
20	0,29	0,47	0,63	0,81
<div>Одножильные кабели</div> <div></div>				
<p>ПРИМЕЧАНИЕ 1 Приведенные величины указаны для глубины прокладки 0,7 м и удельного теплового сопротивления грунта 2,5 К·м/Вт. Это средние значения для размеров и типов кабелей, перечисленных в таблицах 8-15-16. Усреднение и округление значений периодически может приводить к погрешности ±10 % (для получения более точных значений при необходимости используйте методы расчета, указанные в Стандарте МЭК 60287-2-1).</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 2 При удельном тепловом сопротивлении грунта менее 2,5 К·м/Вт понижающие коэффициенты, как правило, могут быть, увеличены и рассчитаны методами, указанными в стандарте МЭК 60287-2-1.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 3 Для определения понижающего коэффициента в цепи, состоящей из m параллельных проводников на фазу, данную цепь следует рассматривать, как несколько цепей m.</p>				

1 Защита фидеров

Поправочный коэффициент k_2'' :

- для кабелей, проложенных непосредственно в грунте, или если в том же кабельном трубопроводе нет других проводников, значение k_2'' равно 1;
- если в том же кабельном трубопроводе имеются несколько проводников одинаковых размеров (значение «группа одинаковых проводников» см. определение выше), k_2'' получают из первой строки таблицы 5;
- если проводники не одинакового размера, то поправочный коэффициент рассчитывается по формуле:

$$k_2'' = \frac{1}{\sqrt{n}}$$

где:

n - количество цепей в кабельном трубопроводе.

Поправочный коэффициент k_3

Удельное тепловое сопротивление грунта влияет на рассеяние тепла кабелем. Грунт с низким удельным тепловым сопротивлением облегчает рассеяние тепла, а грунт с высоким удельным тепловым сопротивлением ограничивает рассеяние. В Стандарте МЭК 60364-5-52 (ГОСТ Р 50571.15) указано в качестве номинального значения удельное тепловое сопротивление грунта 2,5 К·м/Вт.

Таблица 14: Поправочные коэффициенты для удельного теплового сопротивления грунта, отличного от 2,5 К·м/Вт

Таблица 14: Поправочные коэффициенты для удельного теплового сопротивления грунта, отличного от 2,5 К·м/Вт

Удельное тепловое сопротивление, К · м/Вт	0,5	0,7	1	1,5	2	2,5	3
Поправочный коэффициент для кабелей, проложенных в кабельных каналах в грунте	1,28	1,20	1,18	1,1	1,05	1	0,96
Поправочный коэффициент для кабелей, проложенных непосредственно в грунте	1,88	1,62	1,5	1,28	1,12	1	0,90

1 Защита фидеров

Выводы:

Используйте следующую методику для определения поперечного сечения кабеля:

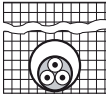
- 1. Определите по таблице 10 поправочный коэффициент k_1 с учетом материала изоляции и температуры грунта;
- 2. Используйте таблицы 11, 12, 13 или формулу для групп кабелей с разным сечением, чтобы определить поправочный коэффициента k_2 с учетом расстояния между кабелями или кабельными трубопроводами;
- 3. По таблице 14 определите коэффициент k_3 в соответствии с удельным тепловым сопротивлением грунта;
- 4. Рассчитайте значение тока I'_b путем деления тока нагрузки I_b (или номинального тока защитного устройства) на произведение рассчитанных поправочных коэффициентов:

$$I'_b = \frac{I_b}{k_1 k_2 k_3} = \frac{I_b}{k_{tot}}$$

- 5. По таблице 15 определите поперечное сечение кабеля с $I_o > I'_b$ в соответствии со способом прокладки, материалами изоляции и проводника и количеством проводников под нагрузкой;
- 6. Реальная нагрузочная способность кабеля рассчитывается по формуле

$$I_z = I_o k_1 k_2 k_3$$

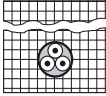
Таблица 15: Нагрузочная способность кабелей, проложенных в грунте (способ установки D1)

	Способ прокладки	D1							
									
	Проводник	Cu				Al			
	Изоляция	XLPE EPR		ПВХ		XLPE EPR		ПВХ	
S [мм ²]	Нагруженные проводники	2	3	2	3	2	3	2	3
1,5		25	21	22	18				
2,5		33	28	29	24	26	22	22	18,5
4		48	36	37	30	33	28	29	24
6		53	44	46	38	42	35	36	30
10		71	58	60	50	55	46	47	39
16		91	75	78	64	71	59	61	50
25		116	96	99	82	90	75	77	64
35		139	115	119	98	108	90	93	77
50		164	135	140	116	128	106	109	91
70		203	167	173	143	158	130	135	112
95		239	197	204	169	186	154	159	132
120		271	223	231	192	211	174	180	150
150		306	251	261	217	238	197	204	169
185		343	281	292	243	267	220	228	190
240		395	324	336	280	307	253	262	218
300		496	365	379	316	346	286	296	247

1SDC010008F0201

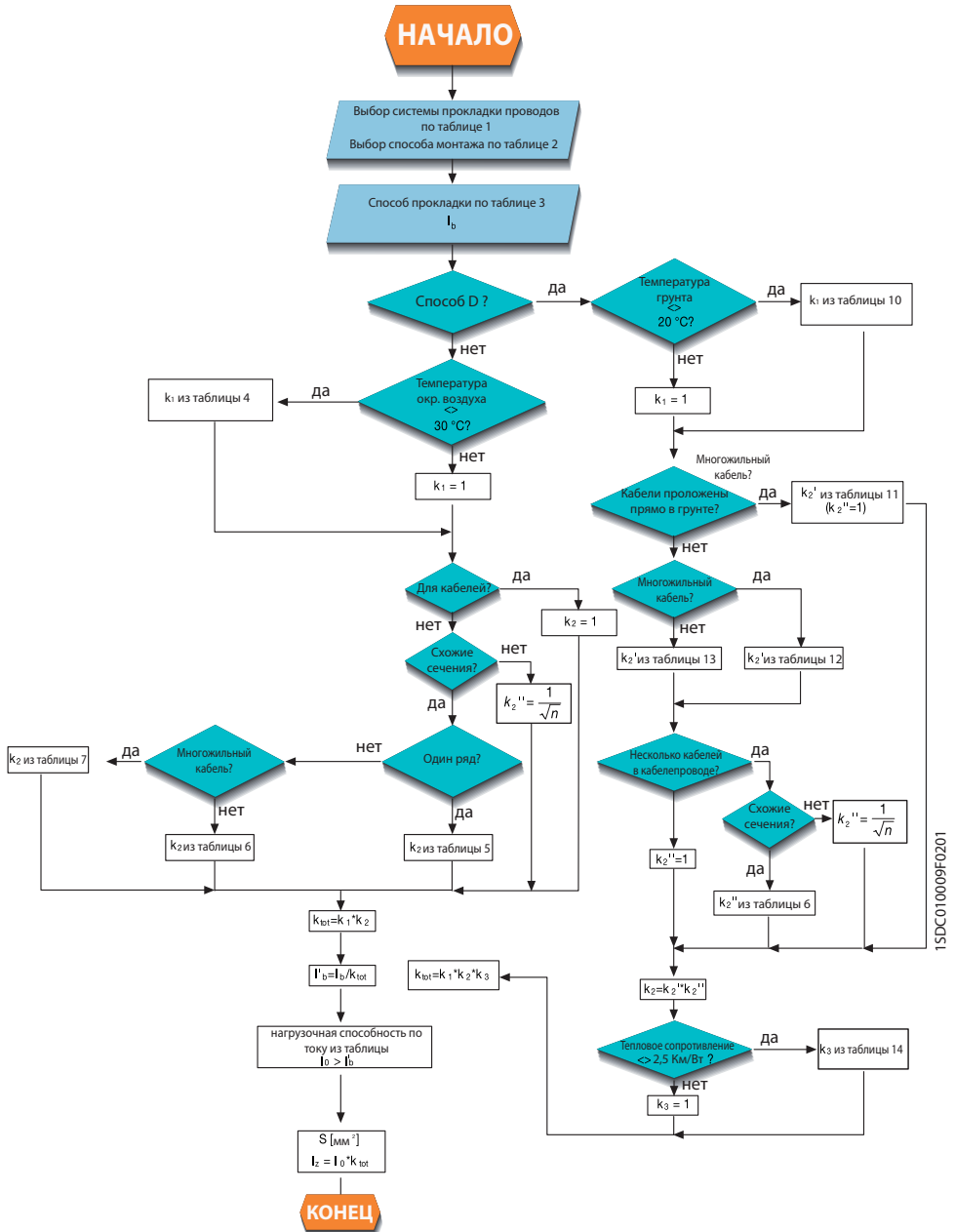
1 Защита фидеров

Таблица 16: Нагрузочная способность кабелей, проложенных в грунте (способ установки D2)

	Способ установки	D2							
									
	Проводник	Cu				Al			
	Изоляция	XLPE EPR		ПВХ		XLPE EPR		ПВХ	
$S[мм^2]$	Нагруженные проводники	2	3	2	3	2	3	2	3
1,5		27	23	22	19				
2,5		35	30	28	24				
4		46	39	38	33				
6		58	49	48	41				
10		77	65	64	54				
16		100	74	83	70	76	64	63	53
25		129	107	110	92	98	82	82	69
35		155	129	132	110	117	98	98	83
50		183	153	156	130	139	117	117	99
70		225	188	192	162	170	144	145	122
95		270	226	230	193	204	172	173	148
120		306	257	261	220	233	197	200	169
150		343	287	293	246	261	220	224	189
185		387	324	331	278	296	250	255	214
240		448	375	382	320	343	290	298	250
300		502	419	427	359	386	326	336	282

1SDC01001 2F-0201

1 Защита фидеров



1 Защита фидеров

Примечания к таблицам нагрузочной способности и относительно проводников под нагрузкой

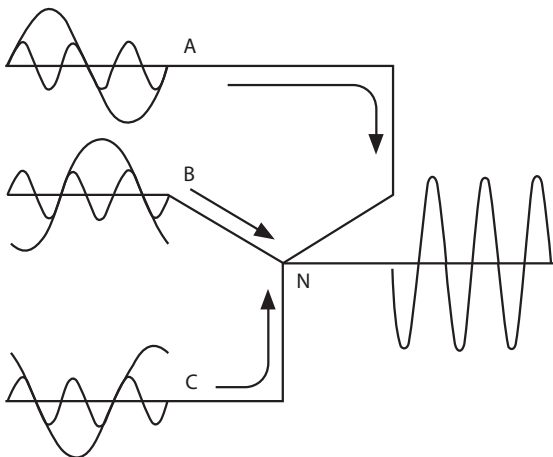
В таблицах 8, 9, 15 и 16 приведена нагрузочная способность проводников под нагрузкой (токонесущие провода) в нормальных условиях эксплуатации.

В однофазных цепях под нагрузкой находятся два проводника.

В сбалансированных или немного несбалансированных трехфазных цепях имеются три проводника под нагрузкой, так как ток в нейтральном проводнике ничтожно мал. В трехфазных системах с высоким небалансом, где нейтральный проводник в многожильных кабелях проводит ток вследствие небаланса в фазных токах, повышение температуры из-за тока в нейтральном проводнике компенсируется снижением тепла, выделяемого одним или несколькими фазными проводниками. В этом случае проводник должен быть выбран на основе максимального фазного тока. В любом случае нейтральный проводник должен иметь соответствующее поперечное сечение.

Воздействие гармонических составляющих на сбалансированные трехфазные системы: понижающие коэффициенты в четырех- и пяти- жильных кабелях с четырьмя токопроводящими жилами

В случае, если нагрузка искажает форму тока в фазах (нелинейная нагрузка), гармонические составляющие фазных токов кратные трем (гармоники кратные трем) не компенсируются в нейтрали, а складываются, и по ней течет суммарный ток нулевой последовательности, который нужно учитывать при оценке токопроводящей способности нейтрального проводника.



1SDC010007F0001

1 Защита фидеров

Оборудование, которое может вызвать появление высоких гармоник в токе, - это, например, блоки люминесцентного освещения и импульсные источники питания постоянного тока, такие, которые применяются в компьютерах (дополнительную информацию о гармоническом возмущении см. в Стандарте МЭК 61000).

Понижающие коэффициенты, данные в таблице 16, относятся только к кабелям в сбалансированных трехфазных цепях (ток в четвертом проводнике возникает только вследствие гармоник), где нейтральный проводник находится в четырех - или пятижильном кабеле, изготовлен из того же материала и имеет такое же сечение, что и фазные проводники. Эти понижающие коэффициенты были рассчитаны на основе токов третьей гармоники. Если ожидаются значительно более высокие гармоники, т.е. выше более чем на 10 % (например, 9-я, 12-я и т.д.), или имеется небаланс между фазами более 50 %, тогда могут быть применены меньшие понижающие коэффициенты: эти коэффициенты могут быть рассчитаны только с учетом реальной формы тока в фазах под нагрузкой.

В случаях, когда ожидается ток в нейтрали выше фазного тока, кабель должен быть выбран на основе тока в нейтрали.

В случаях, когда выбор кабеля основан на токе в нейтрали, который значительно выше фазного тока, необходимо уменьшить табличную нагрузочную способность для трех нагруженных проводников.

Если ток в нейтрали составляет более 135 % фазного тока, и кабель выбирается на основе тока в нейтрали, три фазных проводника не будут полностью нагружены. Снижение тепла, выделяемого фазными проводниками, компенсирует тепло, выделяемое нейтральным проводником, в такой степени, что нет необходимости применять понижающий коэффициент к нагрузочной способности для трех нагруженных проводов.

Таблица 16: Понижающие коэффициенты для гармонических составляющих в токе в четырех- и пятижильных кабелях

Содержание третьей гармоники фазного тока		Понижающий коэффициент		
%	Выбор размера основан на фазном токе	Ток, который необходимо учитывать при выборе кабеля I_b'	Выбор размера основан на токе в нейтрали	Ток, который необходимо учитывать при выборе кабеля I_b'
0 ÷ 15	1	$I_b' = \frac{I_b}{k_{tot}}$	-	-
15 ÷ 33	0,86	$I_b' = \frac{I_b}{k_{tot} \cdot 0,86}$	-	-
33 ÷ 45	-	-	0,86	$I_b' = \frac{I_N}{0,86}$
> 45	-	-	1	$I_b' = I_N$

В случае, когда I_N – ток, протекающий в нейтрали, он рассчитывается следующим образом:

$$I_N = \frac{I_b}{k_{tot}} \cdot 3 \cdot k_{III}$$

I_b - ток нагрузки;
 k_{tot} - общий понижающий коэффициент;
 k_{III} - третья гармоническая составляющая фазного тока;

1 Защита фидеров

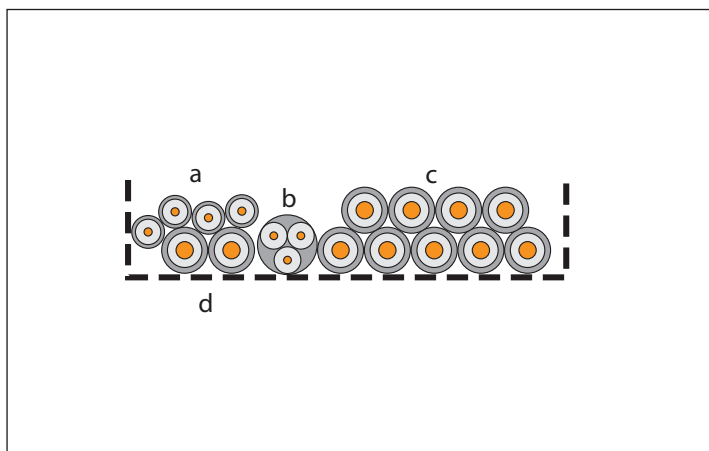
Пример выбора кабеля в сбалансированной трехфазной цепи без гармоник

Выбор кабеля со следующими характеристиками:

- материал проводника: медь
- материал изоляции: ПВХ
- тип кабеля: многожильный
- способ прокладки: кабели в пучке на горизонтальном перфорированном лотке
- ток нагрузки: 100А

Условия прокладки:

- температура окружающей среды: 40°C
- смежные цепи с
 - a) трехфазной цепью, состоящей из 4 одножильных кабелей, 4x50 мм²;
 - b) трехфазной цепью, состоящей из одного многожильного кабеля, 1x(3x50) мм²;
 - c) трехфазной цепью, состоящей из 9 одножильных (по 3 на фазу) кабелей, 9x95 мм²;
 - d) трехфазной цепью, состоящей из 2 одножильных кабелей, 2x70 мм²;



1SDC010008F0001

1 Защита фидеров

Порядок расчета:

Тип прокладки:

В таблице 3 можно найти соответствующий способу прокладки номер, применяемый в расчетах. В данном примере это номер - 31, который соответствует способу Е (многожильный кабель на лотке).

Поправочный температурный коэффициент k_1

Из таблицы 4 для температуры 40°C и изоляции из материала ПВХ, $k_1 = 0,87$.

$$k_1 = 0,87$$

Поправочный коэффициент для смежных кабелей k_2

Информацию о многожильных кабелях, сгруппированных на перфорированном лотке, смотрите в таблице 5. В качестве первого шага необходимо определить количество цепей или многожильных кабелей. С учетом того, что:

- каждая цепь а), б) и д) представляет собой отдельную цепь;
- цепь с) состоит из трех цепей, так как в нее входят три параллельных кабеля на фазу;
- кабель, размер которого определяется, является многожильным кабелем и, следовательно, составляет одну цепь;

общее количество цепей равняется 7.

Обращаясь к строке расположения (кабели в пучке) и к колонке количества цепей (7), получаем

$$k_2 = 0,54$$

После определения k_1 и k_2 проводится расчет I'_b по формуле:

$$I'_b = \frac{I_b}{k_1 k_2} = \frac{100}{0,87 \cdot 0,54} = 212,85 \text{ A}$$

По таблице 8 для многожильного медного кабеля с изоляцией ПВХ способа прокладки Е с тремя проводниками под нагрузкой получаем поперечное сечение с нагрузочной способностью $I_0 \geq I'_b = 212,85 \text{ A}$. Кабель с поперечным сечением 95 мм² при номинальных условиях, указанных в Стандарте, может проводить ток 238 А.

Нагрузочная способность в соответствии с реальными условиями прокладки составляет $I_z = 238 \cdot 0,87 \cdot 0,54 = 111,81 \text{ A}$

1 Защита фидеров

Пример выбора кабеля в сбалансированной трехфазной цепи со значительным содержанием третьей гармоники

Выбор кабеля со следующими характеристиками:

- материал проводника: медь
- материал изоляции: ПВХ
- тип кабеля: многожильный
- способ прокладки: в ряд на горизонтальном перфорированном лотке
- ток нагрузки: 115 А

Условия прокладки:

температура окружающей среды: 30°C

отсутствие смежных цепей.

Процедура:

Тип прокладки:

В таблице 3 можно найти соответствующий способу прокладки номер, применяемый в расчетах. В данном примере это номер – 31, который соответствует способу Е (многожильный кабель на лотке).

Температурный поправочный коэффициент k_1

Из таблицы 4 для температуры 30°C и изоляции из материала ПВХ

$$k_1 = 1$$

Поправочный коэффициент для смежных кабелей k_2

Поскольку смежные кабели отсутствуют, то

$$k_2 = 1$$

После определения k_1 и k_2 проводится расчет I'_b по формуле:

$$I'_b = \frac{I_b}{k_1 k_2} = 115 \text{ А}$$

1 Защита фидеров

Если не имеется гармоник, по таблице 8 для многожильного медного кабеля с изоляцией ПВХ способа прокладки Е с тремя проводниками под нагрузкой получаем поперечное сечение с нагрузочной способностью $I_0 \geq I'_b = 115$ А. Кабель с поперечным сечением 35 мм² при номинальных условиях, указанных в Стандарте, может проводить ток 126 А. Таким образом, нагрузочная способность в соответствии с реальными условиями прокладки составляет 126 А, так как значение коэффициентов k_1 и k_2 равно 1.

Содержание третьей гармоники принимается равным 28%.

Таблица 16 показывает, что для третьей гармоники, составляющей 28%, кабель должен определяться для тока, проходящего по фазным проводникам, но необходимо применить поправочный коэффициент 0,86. Ток I'_b принимает значение:

$$I'_b = \frac{I_b}{k_1 \cdot k_2 \cdot 0,86} = \frac{115}{0,86} = 133,7 \text{ А}$$

По таблице 8 должен быть выбран кабель 50 мм² с нагрузочной способностью 153 А.

Если содержание третьей гармоники составляет 40 %, согласно таблице 16, размер кабеля должен быть определен в соответствии с током нейтрального проводника, необходимо также применить понижающий коэффициент 0,86.

Ток в нейтральном проводнике составляет:

$$I_N = \frac{I_b}{k_{\text{tot}}} \cdot 3 \cdot k_{\text{III}} = 115 \cdot 3 \cdot 0,4 = 138 \text{ А}$$

и ток I'_b равняется:

$$I'_b = \frac{I_N}{0,86} = \frac{138}{0,86} = 160,5 \text{ А}$$

По таблице 8 следует выбрать кабель 70 мм² с нагрузочной способностью 196 А. Если содержание третьей гармоники составляет 60 %, то согласно таблице 16, кабель должен быть определен в соответствии с током нейтрального проводника, необходимо также применить понижающий коэффициент 1.

Ток в нейтральном проводнике составляет:

$$I_N = \frac{I_b}{k_{\text{tot}}} \cdot 3 \cdot k_{\text{III}} = 115 \cdot 3 \cdot 0,6 = 207 \text{ А}$$

и ток I'_b равняется:

$$I'_b = I_N = 207 \text{ А}$$

По таблице 8 следует выбрать кабель 95 мм² с нагрузочной способностью 238 А.

1 Защита фидеров

1.2.2 Падение напряжения

В электроустановке важно определить падения напряжения от источника питания до нагрузки. Характеристики установки ухудшаются, если напряжение питания будет отличаться от номинального. Например:

- **двигатели:** крутящий момент пропорционален квадрату напряжения питания; следовательно, если напряжение падает, пусковой крутящий момент должен также снизиться, что усложняет пуск двигателей; максимальный крутящий момент должен также уменьшиться;
- **лампы накаливания:** при снижении напряжения сети уменьшается световой поток и снижается нормируемая освещенность;
- **разрядные лампы:** в общем, они не очень чувствительны к незначительному изменению напряжения, но в определенных случаях значительная нестабильность напряжения может вызвать их отключение;
- **электронные приборы:** они очень чувствительны к изменениям напряжения, и поэтому оснащены стабилизаторами;
- **электромеханические устройства:** устройства, такие как контакторы и вспомогательные расцепители, имеют минимальное напряжение, ниже которого их характеристики не могут быть гарантированы. У контактора, например, контакты удерживаются ненадежно при напряжении ниже 85% номинального напряжения.

Для ограничения таких проблем Стандарты устанавливают следующие пределы:

- МЭК 60364-5-52 (ГОСТ Р 50571.5.52-2011) «Электроустановки зданий. Выбор и монтаж электрооборудования – Системы электропроводки» В пункте 525 говорится, что «в отсутствие других соображений падение напряжения между источником питания установки потребителя и оборудованием не должно быть больше приведенного в стандарте.»

Таблица 18: Падение напряжения

Тип установки	Освещение %	Другие случаи %
A – Установки низкого напряжения, питающиеся непосредственно от общей системы электроснабжения низкого напряжения	3	5
B – Установки низкого напряжения, питающиеся от индивидуального источника низкого напряжения ^a	6	8

^a Настоятельно рекомендуется, чтобы падение напряжения в оконечных цепях не превышало обозначенное для установки типа A.

При длине электропроводки более чем 100 м эти падения напряжения могут быть увеличены на 0,005 % на метр электропроводки вне 100 м, но не более чем на 0,5 %.

Падение напряжения определяется в зависимости от характеристик применяемого оборудования с учетом различных факторов его применения или в зависимости от расчетного тока цепи.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Большее падение напряжения допустимо для:

- двигателей на этапе пуска,
- другого оборудования с высоким пусковым током, при условии, что в обоих случаях изменения напряжения остаются в пределах, указанных в соответствующих стандартах оборудования.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Исключены следующие временные условия:

- изменение напряжения в процессе коммутаций;
- изменение напряжения вследствие нарушения нормальной работы.

1 Защита фидеров

• МЭК 60204-1 «Безопасность машин - Электрооборудование машин - Общие требования» Пункт 13.5 рекомендует, чтобы: «падение напряжения от точки подачи питания до нагрузки не превышало 5% от номинального напряжения при нормальных рабочих условиях».

• МЭК 60364-7-714 «Электроустановки зданий - Требования к специальным установкам или местам расположения - Наружные осветительные установки» Пункт 714.512 требует, чтобы «падение напряжения в нормальных рабочих условиях было совместимо с условиями, возникающими от пускового тока ламп».

Расчет падения напряжения

Для электропровода с полным сопротивлением Z , падение напряжения рассчитывается по следующей формуле:

$$\Delta U = k Z I_b = k I_b \frac{L}{n} (r \cos \varphi + x \sin \varphi) \text{ [В]} \quad (1)$$

где:

- k - коэффициент, равный:
 - 2 для однофазных и двухфазных систем;
 - $\sqrt{3}$ для трехфазных систем;
- I_b [А] - ток нагрузки; если не имеется информации, необходимо учитывать нагрузочную способность I_2 ;
- L [км] - длина проводника;
- n - количество параллельных проводников на фазу;
- r [Ω/км] - сопротивление одного кабеля на километр;
- x [Ω/км] - реактивное сопротивление одного кабеля на километр;
- $\cos \varphi$ - коэффициент мощности нагрузки: $\sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}$

Значение падения напряжения в процентах относительно номинального значения U_r рассчитывается по формуле:

$$\Delta u \% = \frac{\Delta U}{U_r} 100 \quad (2)$$

Значения сопротивления и реактивного сопротивления на единицу длины представлены в таблице ниже в зависимости от площади поперечного сечения и конструкции кабеля, для 50 Гц; в случае с 60 Гц значение реактивного сопротивления нужно умножить на 1,2.

1 Защита фидеров

Таблица 1: Сопротивление и реактивное сопротивление на единицу длины медных кабелей

S [мм²]	одножильный кабель		двух/трехжильный кабель	
	r[Ω/км]	x[Ω/км]	r[Ω/км]	x[Ω/км]
	при 80 [°C]		при 80 [°C]	
1,5	14,8	0,168	15,1	0,118
2,5	8,91	0,156	9,08	0,109
4	5,57	0,143	5,68	0,101
6	3,71	0,135	3,78	0,0955
10	2,24	0,119	2,27	0,0861
16	1,41	0,112	1,43	0,0817
25	0,889	0,106	0,907	0,0813
35	0,641	0,101	0,654	0,0783
50	0,473	0,101	0,483	0,0779
70	0,328	0,0965	0,334	0,0751
95	0,236	0,0975	0,241	0,0762
120	0,188	0,0939	0,191	0,074
150	0,153	0,0928	0,157	0,0745
185	0,123	0,0908	0,125	0,0742
240	0,0943	0,0902	0,0966	0,0752
300	0,0761	0,0895	0,078	0,075

Таблица 2: Сопротивление и реактивное сопротивление на единицу длины алюминиевых кабелей

S [мм²]	одножильный кабель		двух/трехжильный кабель	
	r[Ω/км]	x[Ω/км]	r[Ω/км]	x[Ω/км]
	@ 80 [°C]		@ 80 [°C]	
1,5	24,384	0,168	24,878	0,118
2,5	14,680	0,156	14,960	0,109
4	9,177	0,143	9,358	0,101
6	6,112	0,135	6,228	0,0955
10	3,691	0,119	3,740	0,0861
16	2,323	0,112	2,356	0,0817
25	1,465	0,106	1,494	0,0813
35	1,056	0,101	1,077	0,0783
50	0,779	0,101	0,796	0,0779
70	0,540	0,0965	0,550	0,0751
95	0,389	0,0975	0,397	0,0762
120	0,310	0,0939	0,315	0,074
150	0,252	0,0928	0,259	0,0745
185	0,203	0,0908	0,206	0,0742
240	0,155	0,0902	0,159	0,0752
300	0,125	0,0895	0,129	0,075

1 Защита фидеров

Следующие таблицы показывают значения ΔU_x [В/(А.км)] в зависимости от поперечного сечения и конструкции кабеля в соответствии с общепринятыми значениями $\cos\varphi$.

Таблица 3: Удельное падение напряжения при $\cos\varphi = 1$ для медных кабелей

S[мм ²]	одножильный кабель		двухжильный кабель		трехжильный кабель
	однофазный	трехфазный	однофазный	трехфазный	
1,5	29,60	25,63	30,20		26,15
2,5	17,82	15,43	18,16		15,73
4	11,14	9,65	11,36		9,84
6	7,42	6,43	7,56		6,55
10	4,48	3,88	4,54		3,93
16	2,82	2,44	2,86		2,48
25	1,78	1,54	1,81		1,57
35	1,28	1,11	1,31		1,13
50	0,95	0,82	0,97		0,4
70	0,66	0,57	0,67		0,58
95	0,47	0,41	0,48		0,42
120	0,38	0,33	0,38		0,33
150	0,31	0,27	0,31		0,27
185	0,25	0,21	0,25		0,22
240	0,19	0,16	0,19		0,17
300	0,15	0,13	0,16		0,14

Таблица 4: Удельное падение напряжения при $\cos\varphi = 0,9$ для медных кабелей

S[мм ²]	одножильный кабель		двухжильный кабель		трехжильный кабель
	однофазный	трехфазный	однофазный	однофазный	
1,5	26,79	23,20	27,28		23,63
2,5	16,17	14,01	16,44		14,24
4	10,15	8,79	10,31		8,93
6	6,80	5,89	6,89		5,96
10	4,14	3,58	4,16		3,60
16	2,64	2,28	2,65		2,29
25	1,69	1,47	1,70		1,48
35	1,24	1,08	1,25		1,08
50	0,94	0,81	0,94		0,81
70	0,67	0,58	0,67		0,58
95	0,51	0,44	0,50		0,43
120	0,42	0,36	0,41		0,35
150	0,36	0,31	0,35		0,30
185	0,30	0,26	0,29		0,25
240	0,25	0,22	0,24		0,21
300	0,22	0,19	0,21		0,18

1 Защита фидеров

Таблица 5: Удельное падение напряжения при $\cos\varphi = 0,85$ для медных кабелей $\cos\varphi = 0,85$

S[мм ²]	одножильный кабель		двухжильный кабель	трехжильный кабель
	однофазный	трехфазный	однофазный	трехфазный
1,5	25,34	21,94	25,79	22,34
2,5	15,31	13,26	15,55	13,47
4	9,62	8,33	9,76	8,45
6	6,45	5,59	6,53	5,65
10	3,93	3,41	3,95	3,42
16	2,51	2,18	2,52	2,18
25	1,62	1,41	1,63	1,41
35	1,20	1,04	1,19	1,03
50	0,91	0,79	0,90	0,78
70	0,66	0,57	0,65	0,56
95	0,50	0,44	0,49	0,42
120	0,42	0,36	0,40	0,35
150	0,36	0,31	0,35	0,30
185	0,30	0,26	0,29	0,25
240	0,26	0,22	0,24	0,21
300	0,22	0,19	0,21	0,18

Таблица 6: Удельное падение напряжения при $\cos\varphi = 0,8$ для медных кабелей $\cos\varphi = 0,8$

S[мм ²]	одножильный кабель		двухжильный кабель	трехжильный кабель
	однофазный	трехфазный	однофазный	трехфазный
1,5	23,88	20,68	24,30	21,05
2,5	14,44	12,51	14,66	12,69
4	9,08	7,87	9,21	7,98
6	6,10	5,28	6,16	5,34
10	3,73	3,23	3,74	3,23
16	2,39	2,07	2,39	2,07
25	1,55	1,34	1,55	1,34
35	1,15	0,99	1,14	0,99
50	0,88	0,76	0,87	0,75
70	0,64	0,55	0,62	0,54
95	0,49	0,43	0,48	0,41
120	0,41	0,36	0,39	0,34
150	0,36	0,31	0,34	0,29
185	0,31	0,26	0,29	0,25
240	0,26	0,22	0,24	0,21
300	0,23	0,20	0,21	0,19

1 Защита фидеров

Таблица 7: Удельное падение напряжения при $\cos\varphi = 0,75$ для медных кабелей

$\cos\varphi = 0,75$

S[мм ²]	одножильный кабель		двухжильный кабель		трехжильный кабель
	однофазный	трехфазный	однофазный	трехфазный	
1,5	22,42	19,42	22,81	19,75	
2,5	13,57	11,75	13,76	11,92	
4	8,54	7,40	8,65	7,49	
6	5,74	4,97	5,80	5,02	
10	3,52	3,05	3,52	3,05	
16	2,26	1,96	2,25	1,95	
25	1,47	1,28	1,47	1,27	
35	1,10	0,95	1,08	0,94	
50	0,84	0,73	0,83	0,72	
70	0,62	0,54	0,60	0,52	
95	0,48	0,42	0,46	0,40	
120	0,41	0,35	0,38	0,33	
150	0,35	0,31	0,33	0,29	
185	0,30	0,26	0,29	0,25	
240	0,26	0,23	0,24	0,21	
300	0,23	0,20	0,22	0,19	

Таблица 8: Удельное падение напряжения при $\cos\varphi = 1$ для алюминиевых кабелей

$\cos\varphi = 1$

S[мм ²]	одножильный кабель		двухжильный кабель		трехжильный кабель
	однофазный	трехфазный	однофазный	трехфазный	
1,5	48,77	42,23	49,76	43,09	
2,5	29,36	25,43	29,92	25,91	
4	18,35	15,89	18,72	16,21	
6	12,22	10,59	12,46	10,79	
10	7,38	6,39	7,48	6,48	
16	4,65	4,02	4,71	4,08	
25	2,93	2,54	2,99	2,59	
35	2,11	1,83	2,15	1,87	
50	1,56	1,35	1,59	1,38	
70	1,08	0,94	1,10	0,95	
95	0,78	0,67	0,79	0,69	
120	0,62	0,54	0,63	0,55	
150	0,50	0,44	0,52	0,45	
185	0,41	0,35	0,41	0,36	
240	0,31	0,27	0,32	0,28	
300	0,25	0,22	0,26	0,22	

1 Защита фидеров

Таблица 9: Удельное падение напряжения при $\cos\varphi = 0,9$ для алюминиевых кабелей

$\cos\varphi = 0,9$

S[мм ²]	одножильный кабель		двухжильный кабель		трехжильный кабель	
	однофазный	трехфазный	однофазный	трехфазный	однофазный	трехфазный
1,5	44,04	38,14	44,88	38,87		
2,5	26,56	23,00	27,02	23,40		
4	16,64	14,41	16,93	14,66		
6	11,12	9,63	11,29	9,78		
10	6,75	5,84	6,81	5,89		
16	4,28	3,71	4,31	3,73		
25	2,73	2,36	2,76	2,39		
35	1,99	1,72	2,01	1,74		
50	1,49	1,29	1,50	1,30		
70	1,06	0,92	1,06	0,91		
95	0,78	0,68	0,78	0,68		
120	0,64	0,55	0,63	0,55		
150	0,53	0,46	0,53	0,46		
185	0,44	0,38	0,44	0,38		
240	0,36	0,31	0,35	0,30		
300	0,30	0,26	0,30	0,26		

Таблица 10: Удельное падение напряжения при $\cos\varphi = 0,85$ для алюминиевых кабелей

$\cos\varphi = 0,85$

S[мм ²]	одножильный кабель		двухжильный кабель		трехжильный кабель	
	однофазный	трехфазный	однофазный	трехфазный	однофазный	трехфазный
1,5	41,63	36,05	42,42	36,73		
2,5	25,12	21,75	25,55	22,12		
4	15,75	13,64	16,02	13,87		
6	10,53	9,12	10,69	9,26		
10	6,40	5,54	6,45	5,58		
16	4,07	3,52	4,09	3,54		
25	2,60	2,25	2,63	2,27		
35	1,90	1,65	1,91	1,66		
50	1,43	1,24	1,43	1,24		
70	1,02	0,88	1,01	0,88		
95	0,76	0,66	0,76	0,65		
120	0,63	0,54	0,61	0,53		
150	0,53	0,46	0,52	0,45		
185	0,44	0,38	0,43	0,37		
240	0,36	0,31	0,35	0,30		
300	0,31	0,27	0,30	0,26		

1 Защита фидеров

Таблица 11: Удельное падение напряжения при $\cos\varphi = 0,8$ для алюминиевых кабелей

$\cos\varphi = 0,8$

S[мм ²]	одножильный кабель		двухжильный кабель		трехжильный кабель	
	однофазный	трехфазный	однофазный	трехфазный	однофазный	трехфазный
1,5	39,22	33,96	39,95	34,59	39,95	34,59
2,5	23,67	20,50	24,07	20,84	24,07	20,84
4	14,85	12,86	15,09	13,07	15,09	13,07
6	9,94	8,61	10,08	8,73	10,08	8,73
10	6,05	5,24	6,09	5,27	6,09	5,27
16	3,85	3,34	3,87	3,35	3,87	3,35
25	2,47	2,14	2,49	2,16	2,49	2,16
35	1,81	1,57	1,82	1,57	1,82	1,57
50	1,37	1,18	1,37	1,18	1,37	1,18
70	0,98	0,85	0,97	0,84	0,97	0,84
95	0,74	0,64	0,73	0,63	0,73	0,63
120	0,61	0,53	0,59	0,51	0,59	0,51
150	0,51	0,45	0,50	0,44	0,50	0,44
185	0,43	0,38	0,42	0,36	0,42	0,36
240	0,36	0,31	0,34	0,30	0,34	0,30
300	0,31	0,27	0,30	0,26	0,30	0,26

Таблица 12: Удельное падение напряжения при $\cos\varphi = 0,75$ для алюминиевых кабелей

$\cos\varphi = 0,75$

S[мм ²]	одножильный кабель		двухжильный кабель		трехжильный кабель	
	однофазный	трехфазный	однофазный	трехфазный	однофазный	трехфазный
1,5	36,80	31,87	37,47	32,45	37,47	32,45
2,5	22,23	19,25	22,58	19,56	22,58	19,56
4	13,95	12,08	14,17	12,27	14,17	12,27
6	9,35	8,09	9,47	8,20	9,47	8,20
10	5,69	4,93	5,72	4,96	5,72	4,96
16	3,63	3,15	3,64	3,15	3,64	3,15
25	2,34	2,02	2,35	2,03	2,35	2,03
35	1,72	1,49	1,72	1,49	1,72	1,49
50	1,30	1,13	1,30	1,12	1,30	1,12
70	0,94	0,81	0,92	0,80	0,92	0,80
95	0,71	0,62	0,70	0,60	0,70	0,60
120	0,59	0,51	0,57	0,49	0,57	0,49
150	0,50	0,43	0,49	0,42	0,49	0,42
185	0,42	0,37	0,41	0,35	0,41	0,35
240	0,35	0,31	0,34	0,29	0,34	0,29
300	0,31	0,27	0,29	0,25	0,29	0,25

1 Защита фидеров

Пример 1

Расчет падения напряжения у трехфазного кабеля со следующими характеристиками:

- номинальное напряжение: 400 В;
- длина кабеля: 25 м;
- конструкция кабеля: одножильный медный кабель, 3х50 мм²;
- ток нагрузки I_b : 100 А;
- коэффициент мощности $\cos\varphi$: 0,9.

По таблице 4 для одножильного кабеля с сечением 50 мм² можно определить, что удельное падение напряжения ΔU_x составляет 0,81 В/(А·км). Умножив это значение на ток в А и на длину в км, получаем:

$$\Delta U = \Delta U_x \cdot I_b \cdot L = 0,81 \cdot 100 \cdot 0,025 = 2,03 \text{ В}$$

что соответствует значению в процентах:

$$\Delta u\% = \frac{\Delta U}{U_r} \cdot 100 = \frac{2,03}{400} \cdot 100 = 0,51\%$$

Пример 2

Расчет падения напряжения у трехфазного кабеля со следующими характеристиками:

- номинальное напряжение: 690 В;
- длина кабеля: 50 м;
- конструкция кабеля: многожильный медный кабель, 2х(3х10) мм²;
- ток нагрузки I_b : 50 А;
- коэффициент мощности $\cos\varphi$: 0,85.

По Таблице 5 для многожильного кабеля с сечением 10 мм² можно определить, что удельное падение напряжения ΔU_x соответствует 3,42 В/(А·км). Умножив это значение на ток в А и на длину в км, выполнив деление на количество параллельных кабелей, получаем:

$$\Delta U = \Delta U_x \cdot I_b \cdot \frac{L}{2} = 3,42 \cdot 50 \cdot \frac{0,05}{2} = 4,28 \text{ В}$$

что соответствует значению в процентах:

$$\Delta u\% = \frac{\Delta U}{U_r} \cdot 100 = \frac{4,28}{690} \cdot 100 = 0,62\%$$

1 Защита фидеров

Способ определения поперечного сечения проводника в соответствии с падением напряжения в длинных кабелях

В случае применения длинных кабелей, или если особые технические условия на проектирование налагают значительные ограничения на максимальное падение напряжения, проверка с использованием в качестве ориентира поперечного сечения, рассчитанного на основе тепловых факторов (расчет согласно главе 1.2.1 «Нагрузочная способность и способы прокладки»), может иметь отрицательный результат.

Для определения правильного поперечного сечения максимальное значение $\Delta U_{\text{хmax}}$, рассчитанное с помощью формулы:

$$\Delta U_{\text{хmax}} = \frac{\Delta u\% \cdot U_r}{100 \cdot I_b \cdot L} \quad (3)$$

сравнивается с соответствующими значениями таблиц 4÷12 путем выбора наименьшего поперечного сечения со значением $\Delta U_{\text{х}}$, меньшим чем $\Delta U_{\text{хmax}}$.

Пример:

Питание трехфазной нагрузки с $P_u = 35$ кВт ($U_r = 400$ В, $f_r = 50$ Гц, $\cos\varphi = 0,9$) с многожильным медным кабелем длиной 140 м с изоляцией из этиленпропиленового каучука (EPR), проложенным на перфорированном лотке. Максимальное допустимое падение напряжения 2%.

Ток нагрузки I_b :

$$I_b = \frac{P_u}{\sqrt{3} \cdot U_r \cdot \cos\varphi} = \frac{35000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,9} = 56 \text{ А}$$

Таблица 8 в Главе 1.2.1 дает $S = 10$ мм².

В таблице 4 для многожильного кабеля с поперечным сечением 10 мм² указано, что удельное падение напряжения составляет 3,60 В/(А·км). Умножив это значение наток в А и на длину в км, получаем:

$$\Delta U = 3,60 \cdot I_b \cdot L = 3,6 \cdot 56 \cdot 0,14 = 28,2 \text{ В}$$

что соответствует значению в процентах:

$$\Delta u\% = \frac{\Delta U}{U_r} \cdot 100 = \frac{28,2}{400} \cdot 100 = 7,05\%$$

Это значение слишком высокое.

Формула (3) показывает:

$$\Delta U_{\text{хmax}} = \frac{\Delta u\% \cdot U_r}{100 \cdot I_b \cdot L} = \frac{2\% \cdot 400}{100 \cdot 56 \cdot 0,14} = 1,02 \text{ В/(А} \cdot \text{км)}$$

1 Защита фидеров

В таблице 4 можно выбрать поперечное сечение 50 мм². Для этого поперечного сечения $\Delta U_x = 0,81 < 1,02$ В/(А·км). Используя это значение, получаем:

$$\Delta U = \Delta U_x \cdot I_b \cdot L = 0,81 \cdot 56 \cdot 0,14 = 6,35В$$

Это соответствует значению в процентах:

$$\Delta u\% = \frac{\Delta U}{U_r} \cdot 100 = \frac{6,35}{400} \cdot 100 = 1,6\%$$

1.2.3 Тепловые потери

Тепловые потери в кабеле вызваны наличием у него электрического сопротивления. Потерянная энергия рассеивается в виде тепла и способствует нагреву проводника и окружающей среды. В первом приближении потери в трехфазной системе можно вычислить по формуле:

$$P_j = \frac{3 \cdot r \cdot I_b^2 \cdot L}{1000} \text{ [Ватт]}$$

а в однофазной системе по формуле:

$$P_j = \frac{2 \cdot r \cdot I_b^2 \cdot L}{1000} \text{ [Ватт]}$$

где:

- I_b - ток нагрузки [А];
- r - фазное сопротивление на единицу длины кабеля при 80°C [Ω/км] (см. Таблицу 1);
- L - длина кабеля [м];

Таблица 1: Значения сопротивления [Ω/км] одножильных и многожильных кабелей из меди и алюминия при 80°C

S [мм²]	Одножильный кабель		Двух/трехжильный кабель	
	Cu	Al	Cu	Al
1,5	14,8	24,384	15,1	24,878
2,5	8,91	14,680	9,08	14,960
4	5,57	9,177	5,68	9,358
6	3,71	6,112	3,78	6,228
10	2,24	3,691	2,27	3,740
16	1,41	2,323	1,43	2,356
25	0,889	1,465	0,907	1,494
35	0,641	1,056	0,654	1,077
50	0,473	0,779	0,483	0,796
70	0,328	0,540	0,334	0,550
95	0,236	0,389	0,241	0,397
120	0,188	0,310	0,191	0,315
150	0,153	0,252	0,157	0,259
185	0,123	0,203	0,125	0,206
240	0,0943	0,155	0,0966	0,159
300	0,0761	0,125	0,078	0,129

1 Защита фидеров

1.3 Защита от перегрузки

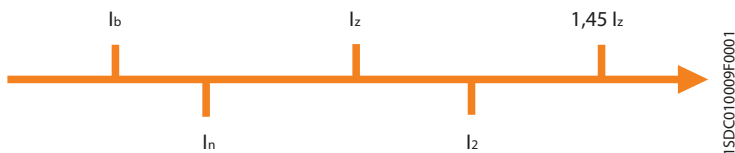
Стандарт МЭК 60364-4-43 (ГОСТ Р 50571.5) «Электроустановки зданий. Требования по обеспечению безопасности. Защита от сверхтока» предписывает координацию между проводниками и устройствами защиты от перегрузки (обычно они установлены в начале защищаемого проводника), заключающуюся в обеспечении соответствия двум следующим условиям:

$$I_b \leq I_n \leq I_z \quad (1)$$

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_z \quad (2)$$

где:

- I_b - ток нагрузки;
- I_z - длительная нагрузочная способность кабеля;
- I_n - номинальный ток защитного устройства; для устройств защиты с возможностью настройки, номинальным током I_n является ток уставки;
- I_2 - ток, обеспечивающий эффективную работу защитного устройства за определенное время.



Согласно условию (1) для правильного выбора защитного устройства необходимо проверить, чтобы автоматический выключатель имел номинальный (или установленный) ток, который:

- выше тока нагрузки, чтобы не допустить ошибочного срабатывания;
- ниже нагрузочной способности кабеля, чтобы не допустить перегрузки кабеля.

Стандарт допускает ток перегрузки, который может быть на 45% больше нагрузочной способности кабеля, но только в течение ограниченного периода (условное время срабатывания защитного устройства).

Проверка условия (2) не является необходимой в случае применения автоматических выключателей, так как расцепитель защиты срабатывает автоматически, если:

- $I_2 = 1,3 \cdot I_n$ для автоматических выключателей, соответствующих стандарту МЭК 60947-2 (ГОСТ Р 50030.2) (автоматические выключатели промышленного назначения);
- $I_2 = 1,45 \cdot I_n$ для автоматических выключателей, соответствующих Стандарту МЭК 60898 (ГОСТ Р 50345) (автоматические выключатели для установок бытового и аналогичного назначения);

Таким образом, для автоматических выключателей, если $I_n < I_z$, формула $I_2 < 1,45 \cdot I_z$ будет также подтверждена.

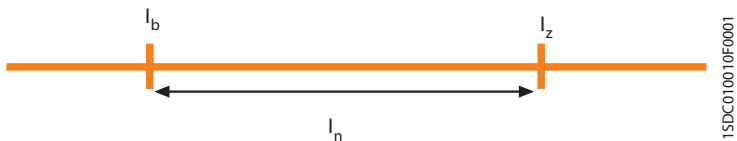
Если в качестве защитного устройства применяется плавкий предохранитель, важно также проверить формулу (2), так как в Стандарте МЭК 60269-2-1 «Низковольтные предохранители» указано, что ток $1,6 \cdot I_n$ должен автоматически расплавлять предохранитель. В этом случае, формула (2) приобретает вид $1,6 \cdot I_n < 1,45 \cdot I_z$ или $I_n < 0,9 \cdot I_z$.

1 Защита фидеров

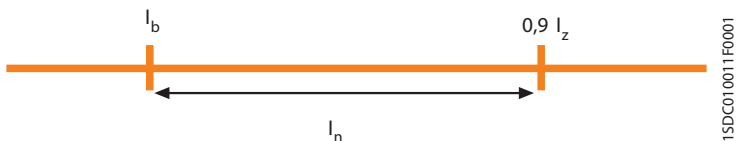
Выводы: Для выполнения защиты от перегрузки с помощью плавкого предохранителя, необходимо обеспечить следующее:

$$I_b \leq I_n \leq 0,9 \cdot I_z$$

и это означает, что нагрузочная способность кабеля используется не полностью.



Автоматический выключатель: выбор номинального тока



Плавкий предохранитель: выбор номинального тока

Если невозможно использовать один проводник на фазу, и токи в параллельных проводниках неодинаковые, то расчетный ток и требования к защите от перегрузки должны быть рассмотрены отдельно для каждого проводника.

Примеры

Пример 1

Характеристики нагрузки

$P_r = 1200$ кВт; $U_r = 400$ В; $\cos \varphi = 0,9$; трехфазная нагрузка, $I_b = 192,6$ А

Характеристики кабеля

$I_z = 239$ А

Подходит устройство защиты с характеристиками:

ХТЗН 250 ТМД $I_n 200$; ток уставки $I_1 = 1 \times I_n = 200$ А

1 Защита фидеров

Пример 2

Характеристики нагрузки

$P_r = 70$ кВт; $\cos\varphi = 0,9$; $U_r = 400$ В; трехфазная нагрузка, $I_b = 112$ А

Характеристики кабеля

$I_z = 134$ А

Подходит устройство защиты с характеристиками:

ХТ2N 160 Ekip LSI I_n 160; ток уставки $I_1 = 0,8 \times I_n = 128$ А

Пример 3

Характеристики нагрузки

$P_r = 100$ кВт; $\cos\varphi = 0,9$; $U_r = 400$ В; трехфазная нагрузка, $I_b = 160$ А

Характеристики кабеля

$I_z = 190$ А

Подходит устройство защиты с характеристиками:

ХТ3N 250 TMD I_n 200; ток уставки $I_1 = 1 \times I_n = 200$ А

Пример 4

Характеристики нагрузки

$P_r = 50$ кВт; $\cos\varphi = 0,9$; $U_r = 230$ В ; однофазная нагрузка, $I_b = 241$ А

Характеристики кабеля

$I_z = 262$ А

Подходит устройство защиты с характеристиками:

ХТ4N 250 Ekip LSI I_n 250; ток уставки $I_1 = 0,98 \times I_n = 245$ А

1 Защита фидеров

1.4 Защита от короткого замыкания

Кабель защищен от короткого замыкания, если удельная сквозная энергия (интеграл Джоуля) защитного устройства (I^2t) меньше или равна значению энергии, которую кабель выдерживает без повреждения (K^2S^2):

$$I^2t \leq k^2S^2 \quad (1)$$

где:

- I^2t - удельная сквозная энергия устройства защиты, которая дана в виде кривых в технических характеристиках производителя (см. Справочник по электрооборудованию, том 1, раздел 2.4 «Характеристические кривые удельной сквозной энергии») или может быть получена прямым расчетом для случая нетокоограничивающих устройств без выдержки времени;
- S - поперечное сечение кабеля [мм²]; в случае использования параллельных проводников это поперечное сечение одного проводника;
- k - коэффициент, зависящий от материала изоляции и проводника. Значения для наиболее часто встречающихся случаев даны в таблице 1. Для более подробного расчета см. Приложение С.

Таблица 1: Значения k для фазного проводника

	Изоляция проводника					
	ПВХ ≤ 300 мм ²	ПВХ >300 мм ²	Этиленпропиленовый каучук (EPR)	Каучук 60 °C	Минеральная	
					ПВХ	Без изоляции
Номинальная температура °C	70	70	90	60	70	105
Максимальная температура °C	160	140	250	200	160	250
Материал проводника:						
Медь	115	103	143	141	115	135/115 ¹
Алюминий	76	68	94	93	-	-
спаянные оловом соединения медных проводников	115	-	-	-	-	-
¹ Это значение нужно использовать для неизолированных кабелей, доступных для прикосновения						
ПРИМЕЧАНИЕ 1 Другие значения k применяются в случаях: - малых проводников (особенно с поперечным сечением менее 10 мм ²); - коротких замыканий длительностью более 5 с; - других типов соединений проводов; - неизолированных проводников.						
ПРИМЕЧАНИЕ 2 Номинальный ток устройства защиты от короткого замыкания может быть больше нагрузочной способности кабеля по току.						
ПРИМЕЧАНИЕ 3 Приведенные выше коэффициенты основаны на Стандарте МЭК60724.						

1SDC010010F0201

1 Защита фидеров

В таблице 2 показана максимальная энергия, которую кабели выдерживают без повреждения, в соответствии с сечением, материалом проводника и типом изоляции, значения которой вычисляются с использованием данных таблицы 1.

Таблица 2: Максимальная энергия, которую кабели выдерживают без повреждения $k^2S^2[(\text{кА})^2\text{С}]$

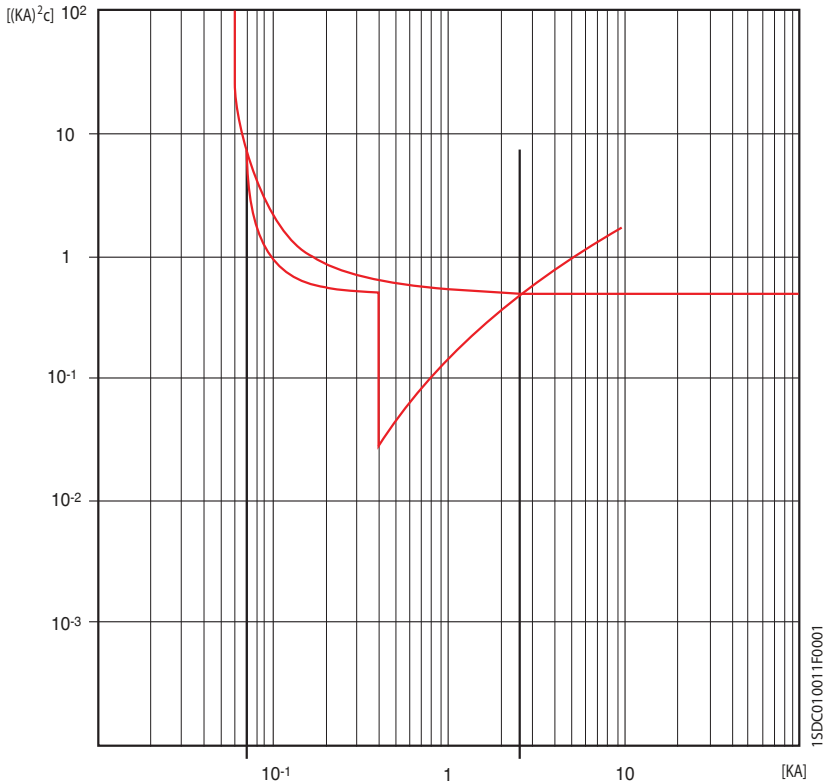
		Поперечное сечение [мм²]							
Кабель	k	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35
ПВХ	Cu 115	$2,98 \cdot 10^{-2}$	$8,27 \cdot 10^{-2}$	$2,12 \cdot 10^{-1}$	$4,76 \cdot 10^{-1}$	1,32	3,39	8,27	$1,62 \cdot 10^1$
	Al 76	$1,30 \cdot 10^{-2}$	$3,61 \cdot 10^{-2}$	$9,24 \cdot 10^{-2}$	$2,08 \cdot 10^{-1}$	$5,78 \cdot 10^{-1}$	1,48	3,61	7,08
EPR/XLPE	Cu 143	$4,60 \cdot 10^{-2}$	$1,28 \cdot 10^{-1}$	$3,27 \cdot 10^{-1}$	$7,36 \cdot 10^{-1}$	2,04	5,23	$1,28 \cdot 10^1$	$2,51 \cdot 10^1$
	Al 94	$1,99 \cdot 10^{-2}$	$5,52 \cdot 10^{-2}$	$1,41 \cdot 10^{-1}$	$3,18 \cdot 10^{-1}$	$8,84 \cdot 10^{-1}$	2,26	5,52	$1,08 \cdot 10^1$
Каучук	Cu 141	$4,47 \cdot 10^{-2}$	$1,24 \cdot 10^{-1}$	$3,18 \cdot 10^{-1}$	$7,16 \cdot 10^{-1}$	1,99	5,09	$1,24 \cdot 10^1$	$2,44 \cdot 10^1$
	Al 93	$1,95 \cdot 10^{-2}$	$5,41 \cdot 10^{-2}$	$1,38 \cdot 10^{-1}$	$3,11 \cdot 10^{-1}$	$8,65 \cdot 10^{-1}$	2,21	5,41	$1,06 \cdot 10^1$

		Поперечное сечение [мм²]							
Кабель	k	50	70	95	120	150	185	240	300
ПВХ	Cu 115	$3,31 \cdot 10^1$	$6,48 \cdot 10^1$	$1,19 \cdot 10^2$	$1,90 \cdot 10^2$	$2,98 \cdot 10^2$	$4,53 \cdot 10^2$	$7,62 \cdot 10^2$	$1,19 \cdot 10^3$
	Al 76	$1,44 \cdot 10^1$	$2,83 \cdot 10^1$	$5,21 \cdot 10^1$	$8,32 \cdot 10^1$	$1,30 \cdot 10^2$	$1,98 \cdot 10^2$	$3,33 \cdot 10^2$	$5,20 \cdot 10^2$
EPR/XLPE	Cu 143	$5,11 \cdot 10^1$	$1,00 \cdot 10^2$	$1,85 \cdot 10^2$	$2,94 \cdot 10^2$	$4,60 \cdot 10^2$	$7,00 \cdot 10^2$	$1,18 \cdot 10^3$	$1,84 \cdot 10^3$
	Al 94	$2,21 \cdot 10^1$	$4,33 \cdot 10^1$	$7,97 \cdot 10^1$	$1,27 \cdot 10^2$	$1,99 \cdot 10^2$	$3,02 \cdot 10^2$	$5,09 \cdot 10^2$	$7,95 \cdot 10^2$
G2	Cu 141	$4,97 \cdot 10^1$	$9,74 \cdot 10^1$	$1,79 \cdot 10^2$	$2,86 \cdot 10^2$	$4,47 \cdot 10^2$	$6,80 \cdot 10^2$	$1,15 \cdot 10^3$	$1,79 \cdot 10^3$
	Al 93	$2,16 \cdot 10^1$	$4,24 \cdot 10^1$	$7,81 \cdot 10^1$	$1,25 \cdot 10^2$	$1,95 \cdot 10^2$	$2,96 \cdot 10^2$	$4,98 \cdot 10^2$	$7,78 \cdot 10^2$

1SDC010002F0901

Формула (1) должна выполняться по длине всего кабеля. Благодаря форме кривой удельной сквозной энергии автоматического выключателя, обычно достаточно проверить формулу (1) только для максимального и минимального тока короткого замыкания, который может возникнуть в кабеле. Максимальное значение - это, как правило, значение трехфазного тока короткого замыкания в начале линии, в то время как минимальное значение - это значение тока короткого замыкания фазы на нейтраль (фазы на фазу, если нейтральный проводник не распределен) или фазы на землю в конце кабеля.

1 Защита фидеров



Эта проверка может быть упрощена путем сравнения только значения сквозной энергии автоматического выключателя при максимальном токе короткого замыкания и максимальной энергии, которую кабель выдерживает без повреждения, в случае обеспечения мгновенного срабатывания автоматического выключателя при минимальном токе короткого замыкания: следовательно, уставка защиты от короткого замыкания (принимая также в расчет допустимые отклонения) должна быть ниже, чем минимальный ток короткого замыкания в конце проводника.

1 Защита фидеров

Расчет тока короткого замыкания в конце проводника

Минимальный ток короткого замыкания может быть рассчитан по следующим приближенным формулам:

$$I_{kmin} = \frac{0,8 \cdot U_r \cdot k_{sec} \cdot k_{par}}{1,5 \cdot \rho \cdot \frac{2L}{S}} \quad \text{с единой нейтралью} \quad (2.1)$$

$$I_{kmin} = \frac{0,8 \cdot U_0 \cdot k_{sec} \cdot k_{par}}{1,5 \cdot \rho \cdot (1+m) \cdot \frac{L}{S}} \quad \text{с распределенной нейтралью} \quad (2.2)$$

где:

- I_{kmin} – минимальное значение ожидаемого тока короткого замыкания [кА];
- U_r – напряжение источника питания [В];
- U_0 – напряжение между фазой и землей источника питания [В];
- ρ – удельное сопротивление материала проводника при 20°C в $\Omega\text{мм}^2/\text{м}$, равное:
 - 0,018 для меди;
 - 0,027 для алюминия;
- L – длина защищенного проводника [м];
- S – поперечное сечение проводника [мм^2];
- k_{sec} – поправочный коэффициент, учитывающий реактивное сопротивление кабеля с поперечным сечением более 95 мм^2 :

$S[\text{мм}^2]$	120	150	185	240	300
k_{sec}	0,9	0,85	0,80	0,75	0,72

1 Защита фидеров

- k_{par} – поправочный коэффициент для параллельных проводников:

количество параллельных проводников	2	3	4	5
k_{par}^*	2	2,7	3	3,2

* $k_{\text{par}} = 4 (n-1)/n$ где: n = количество параллельных проводников на фазу

- m – коэффициент пропорциональности между сопротивлением нейтрального и фазного проводника (если сделаны из одного материала, m – это соотношение между поперечными сечениями фазного и нейтрального проводов).
- После вычисления минимального тока короткого замыкания необходимо убедиться, что

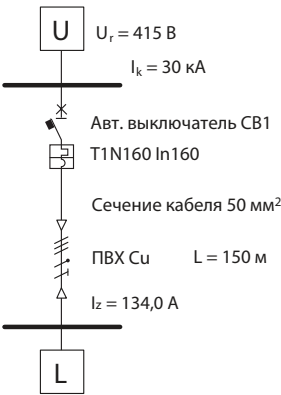
$$I_{\text{kmin}} > 1,2 \cdot I_z \quad (3)$$

- где:
- I_z – это ток уставки, при котором срабатывает магнитная защита автоматического выключателя;
 - 1,2 – допустимое отклонение порога срабатывания.

Пример

Выбор автоматического выключателя CB1

- Параметры системы:
- Номинальное напряжение 415 В
 - $I_k = 30 \text{ кА}$
- Параметры кабеля:
- Медный проводник с изоляцией ПВХ
 - Длина $L = 150 \text{ м}$
 - Поперечное сечение кабеля $S = 50 \text{ мм}^2$
 - $I_z = 134 \text{ А}$



1SDC01001 1F0201

1 Защита фидеров

Защита от короткого замыкания в начале провода

ХТ1N 160 In160 (отключающая способность 36 кА при 415 В)

I^2t (при 30 кА) = $7,5 \cdot 10^{-1}$ (кА)²с

$k^2S^2 = 115^2 \cdot 50^2 = 3,31 \cdot 101$ (кА)²с

Таким образом, кабель защищен от короткого замыкания в начале проводника.

Защита от короткого замыкания в конце проводника

Минимальный ток короткого замыкания в конце проводника ($k_{\text{sec}}=1$ и $k_{\text{par}}=1$) составляет:

$$I_{\text{kmin}} = \frac{0,8 \cdot U \cdot k_{\text{sec}} \cdot k_{\text{par}}}{1,5 \cdot \rho \cdot \frac{2L}{S}} = 1,98 \text{ кА}$$

Магнитная уставка автоматического выключателя ХТ1 N160 In160 выполнена на 1600 А. С учетом допустимого отклонения 20% автоматический выключатель должен обязательно сработать при превышении значения 1920 А; таким образом, кабель полностью защищен от короткого замыкания.

Максимальная защищаемая длина

Формула (3), при решении по длине, позволяет определить максимальную длину кабеля, защищенную устройством защиты при точной уставке мгновенного срабатывания. По таблице 3 можно определить максимальную защищаемую длину для данного сечения кабеля и данного порога уставки мгновенной защиты автоматического выключателя от короткого замыкания для:

- трехфазных систем с номинальным напряжением 400 В;
- с единой нейтралью;
- с медными проводниками с удельным сопротивлением 0,018 Ом·мм²/м.

Значения в нижеприведенной таблице даны с учетом 20% коэффициента допустимого отклонения для величины уставки магнитного расцепителя; повышения сопротивления кабеля в результате нагрева, вызванного током короткого замыкания, и падения напряжения в результате аварии. Поправочные коэффициенты, данные после таблицы, следует применять, если условия в системе отличаются от номинальных.

1 Защита фидеров

Таблица 3: Максимальная защищаемая длина [м]

I _з [А]	сечение [мм ²]															
	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300
20	370	617														
30	246	412	658													
40	185	309	494	741												
50	148	247	395	593												
60	123	206	329	494												
70	105	176	282	423	705											
80	92	154	246	370	617											
90	82	137	219	329	549											
100	74	123	197	296	494	790										
120	61	102	164	246	412	658										
140	52	88	141	211	353	564										
150	49	82	131	197	329	527										
160	46	77	123	185	309	494	772									
180	41	68	109	164	274	439	686									
200	37	61	98	148	247	395	617									
220	33	56	89	134	224	359	561	786								
250	29	49	79	118	198	316	494	691								
280	26	44	70	105	176	282	441	617								
300	24	41	65	98	165	263	412	576								
320	23	38	61	92	154	247	386	540	772							
350	21	35	56	84	141	226	353	494	705							
380	19	32	52	78	130	208	325	455	650							
400	18	30	49	74	123	198	309	432	617							
420	17	29	47	70	118	188	294	412	588							
450	16	27	43	65	110	176	274	384	549	768						
480	15	25	41	61	103	165	257	360	514	720						
500	14	24	39	59	99	158	247	346	494	691						
520	14	23	38	57	95	152	237	332	475	665						
550	13	22	35	53	90	144	224	314	449	629						
580	12	21	34	51	85	136	213	298	426	596	809					
600	12	20	32	49	82	132	206	288	412	576	782					
620	11	19	31	47	80	127	199	279	398	558	757					
650	11	19	30	45	76	122	190	266	380	532	722					
680	10	18	29	43	73	116	182	254	363	508	690					
700	10	17	28	42	71	113	176	247	353	494	670	847				
750		16	26	39	66	105	165	230	329	461	626	790	840			
800		15	24	37	62	99	154	216	309	432	586	667	787			
850		14	23	34	58	93	145	203	290	407	552	627	741			
900		13	21	32	55	88	137	192	274	384	521	593	700			
950		13	20	31	52	83	130	182	260	364	494	561	663			
1000		12	19	29	49	79	123	173	247	346	469	533	630	731		
1250			15	23	40	63	99	138	198	277	375	427	504	585	711	
1500			13	19	33	53	82	115	165	230	313	356	420	487	593	
1600			12	18	31	49	77	108	154	216	293	333	394	457	556	667
2000				14	25	40	62	86	123	173	235	267	315	365	444	533
2500				11	20	32	49	69	99	138	188	213	252	292	356	427
3000					16	26	41	58	82	115	156	178	210	244	296	356
3200					15	25	39	54	77	108	147	167	197	228	278	333
4000					12	20	31	43	62	86	117	133	157	183	222	267
5000					10	16	25	35	49	69	94	107	126	146	178	213
6300						13	20	27	39	55	74	85	100	116	141	169
8000						10	15	22	31	43	59	67	79	91	111	133
9600							13	18	26	36	49	56	66	76	93	111
10000							12	17	25	35	47	53	63	73	89	107
12000							10	14	21	29	39	44	52	61	74	89
15000								12	16	23	31	36	42	49	59	71
20000								12	17	23	27	31	37	44	53	
24000								10	14	20	22	26	30	37	44	
30000									12	16	20	25	30	40	49	

1 Защита фидеров

Поправочный коэффициент для напряжения, отличного от 400 В: k_v

Умножьте значение длины, взятой из таблицы, на поправочный коэффициент k_v :

U_r [В] (трехфазное напряжение)	k_v
230 (*)	0,58
400	1
440	1,1
500	1,25
690	1,73

(*) однофазное напряжение 230 В эквивалентно трехфазному 400 В с распределенной нейтралью и с поперечным сечением фазного проводника таким же, как поперечное сечение нейтрального проводника, так что k_v равен 0,58.

Поправочный коэффициент для распределенной нейтрали: k_d

Умножьте значение длины, взятой из таблицы, на поправочный коэффициент k_d :

$$k_d = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{S}{S_N}}$$

где:

- S - поперечное сечение фазного проводника [мм²];
- S_N - поперечное сечение нейтрального проводника [мм²].

В частности:

если $S = S_N \rightarrow k_d$ равно 0, 58;

если $S = 2 \cdot S_N \rightarrow k_d$ равно 0, 39;

Поправочный коэффициент для алюминиевых проводников: k_r

Если кабель из алюминия, умножьте значение длины, взятой из вышеприведенной таблицы, на поправочный коэффициент $k_r = 0,67$.

1 Защита фидеров

Выводы:

В таблице для поперечного сечения и уставки магнитного расцепителя можно найти максимальную защищаемую длину кабеля L_0 . При необходимости эта длина должна быть затем умножена на поправочные коэффициенты для получения значения, соответствующего реальным условиям установки:

$$L = L_0 k_y k_d k_r$$

Пример 1

Сосредоточенная нейтраль

Номинальное напряжение = 400 В

Защитное устройство: ХТ2N 160 TMA In100

Магнитная уставка: $I_3 = 1000$ А (максимальная уставка)

Поперечное сечение фазного проводника = поперечному сечению нейтрального проводника = 70 мм²

Таблица показывает, что при $I_3 = 1000$ А и кабеле сечением 70 мм² защищаемая длина составляет до 346 м.

Пример 2

Нейтраль распределена

Номинальное напряжение = 400 В.

Защитное устройство: ХТ4N 250 TMA In200

Магнитная уставка: $I_3 = 2000$ А (максимальная уставка)

Поперечное сечение фазного проводника = 300 мм²

Поперечное сечение нейтрального проводника = 150 мм²

Для $I_3 = 2000$ и $S = 300$ мм² получаем защищаемую длину $L_0 = 533$ м.

Применяем поправочный коэффициент k_d для распределенной нейтрали:

$$k_d = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{S}{S_N}} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{300}{150}} = 0.39$$

$$L = L_0 \cdot 0,39 = 533 \cdot 0,39 = 207,9 \text{ м}$$

Это максимальная защищаемая длина цепи с распределенной нейтралью.

1 Защита фидеров

1.5 Нейтральный и защитный проводники

Нейтральный проводник

Нейтральный проводник - это проводник, соединенный с нейтральной точкой системы (которая обычно, но необязательно, совпадает с центром звезды вторичных обмоток трансформатора или обмоток генератора); он способствует передаче электрической энергии, таким образом делая полезным напряжение, отличное от линейного напряжения. В определенных случаях функции защитного и нейтрального проводника могут быть объединены в один проводник (PEN).

Защита и обрыв нейтрального проводника

При аварийных условиях на нейтральном проводнике может появиться напряжение относительно земли. Это может быть вызвано замыканием фазы на нейтраль или обрывом нейтрали из-за повреждения, случайного прерывания или расщепления однополюсного устройства (предохранителя или однополюсного автоматического выключателя). Если нейтральный провод является единственным разомкнутым в четырехпроводной цепи, то напряжение питания на однофазных нагрузках может измениться таким образом, что на них будет подаваться напряжение, отличное от напряжения фаза-нейтраль U_0 (как показано на Рис.1). Таким образом, необходимо принять все меры для предотвращения данного типа повреждения, например, не защищать нейтральный проводник однополюсными устройствами.

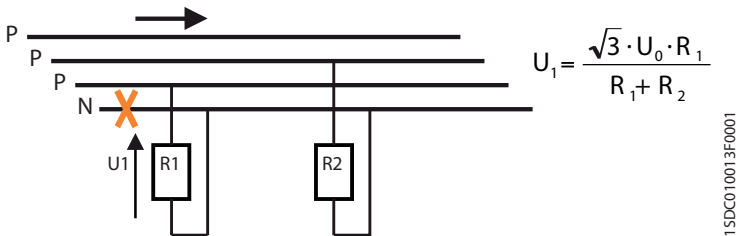


Рисунок 1: Обрыв нейтрального проводника

Более того, в системах TN-C повышение напряжения на нейтрали относительно земли представляет опасность для людей, т.к. этот проводник также является защитным проводом, данное напряжение оказывается приложенным к соединенным открытым токопроводящим частям установки. Для систем TN-C стандарты устанавливают минимальные поперечные сечения (см. следующий параграф) для нейтрального провода с целью предотвращения случайного обрыва и запрещают использование любых устройств (однополюсных и многополюсных), которые могут разъединить PEN-проводник.

Необходимость в защите нейтрального проводника и возможность разъединения цепи зависит от системы распределения.

1 Защита фидеров

Системы ТТ или TN:

- Если поперечное сечение нейтрального проводника такое же или больше, чем поперечное сечение фазного проводника, нет необходимости ни в выявлении сверхтоков в нейтрали, ни в использовании отключающего устройства (нейтральный проводник не защищен или разъединяется); это положение применимо только в том случае, если нет гармоник, которые могут в любой момент спровоцировать появление в нейтрали тока со среднеквадратичным значением выше, чем максимальный фазный ток.
- Если поперечное сечение нейтрального проводника меньше, чем сечение фазного проводника, должны быть выявлены сверхтоки в нейтральном проводнике, так чтобы отсоединить фазные проводники, но необязательно нейтральный проводник (нейтральный проводник защищен, но не отключается): в этом случае нет необходимости выявления сверхтоков в нейтральном проводнике, если одновременно выполнены следующие условия:

1. нейтральный проводник защищен от короткого замыкания защитным устройством фазных проводников;
2. максимальный ток, который может протекать через нейтральный проводник в нормальном рабочем режиме ниже, чем нагрузочная способность нейтрали.

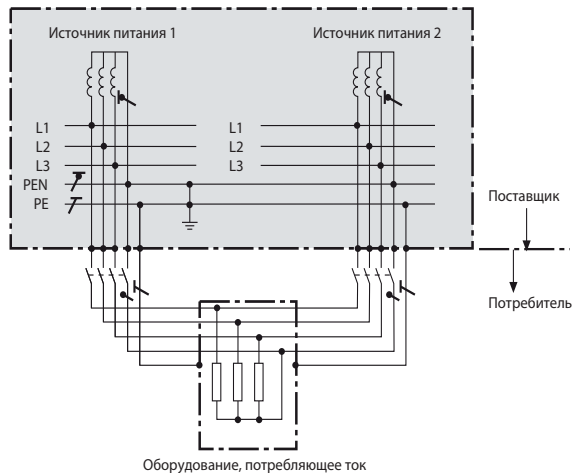
В системах TN-S нет необходимости в отсоединении нейтрали, если условия питания таковы, что нейтральный проводник может считаться надежно присоединенным к потенциалу земли.

Как было упомянуто выше, в системах TN-S нейтральный проводник также является защитным и поэтому не может быть отсоединен. Более того, если нейтральный проводник отсоединен, на открытых токопроводящих частях однофазного оборудования может появиться номинальное напряжение системы относительно земли.

В некоторых специфических случаях нейтральный проводник должен быть отсоединен для предотвращения появления токов, циркулирующих между параллельными источниками питания (см. Рисунки 2 и 3).

Рисунок 2: Трехфазная система с резервным источником питания с 4-х полюсным выключателем

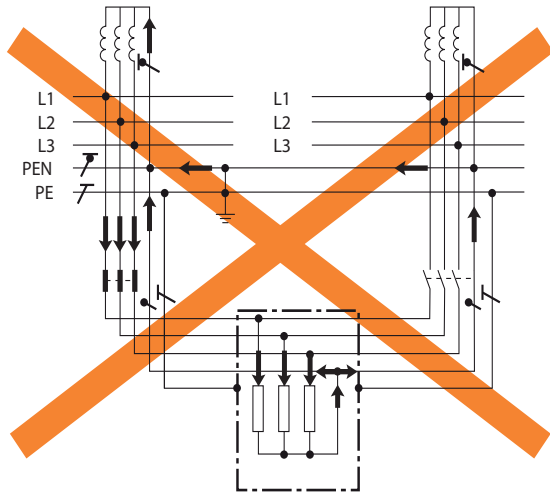
ПРИМЕЧАНИЕ - Этот метод предотвращает электромагнитные поля, возникающие из-за паразитных токов в главной системе питания электроустановки. Сумма токов в пределах одного кабеля должна равняться нулю. Это гарантирует, что ток нейтрали будет протекать только в нейтральном проводнике соответствующей включенной электрической цепи. Ток третьей гармоники (150 Гц) линейных проводников будет добавлен с тем же фазовым углом к току нейтрального проводника.



1 Защита фидеров

Рисунок 3: Недопустимое использование 3-х полюсных выключателей в системе с резервным источником питания

ПРИМЕЧАНИЕ - Показанное применение 3-х полюсных выключателей в системе трехфазного питания с резервным источником является недопустимым, т.к. блуждающие токи генерируют электромагнитные поля проводника.



1SDC010014F0001

Система IT:

Стандарт не рекомендует распределение нейтрального проводника в системах IT. Если нейтральный проводник распределен, необходимо контролировать появление сверхтока в нейтральном проводнике каждой цепи с целью разъединения всех проводников под напряжением соответствующей цепи, включая нейтральный (нейтральный проводник защищен и отсоединен).

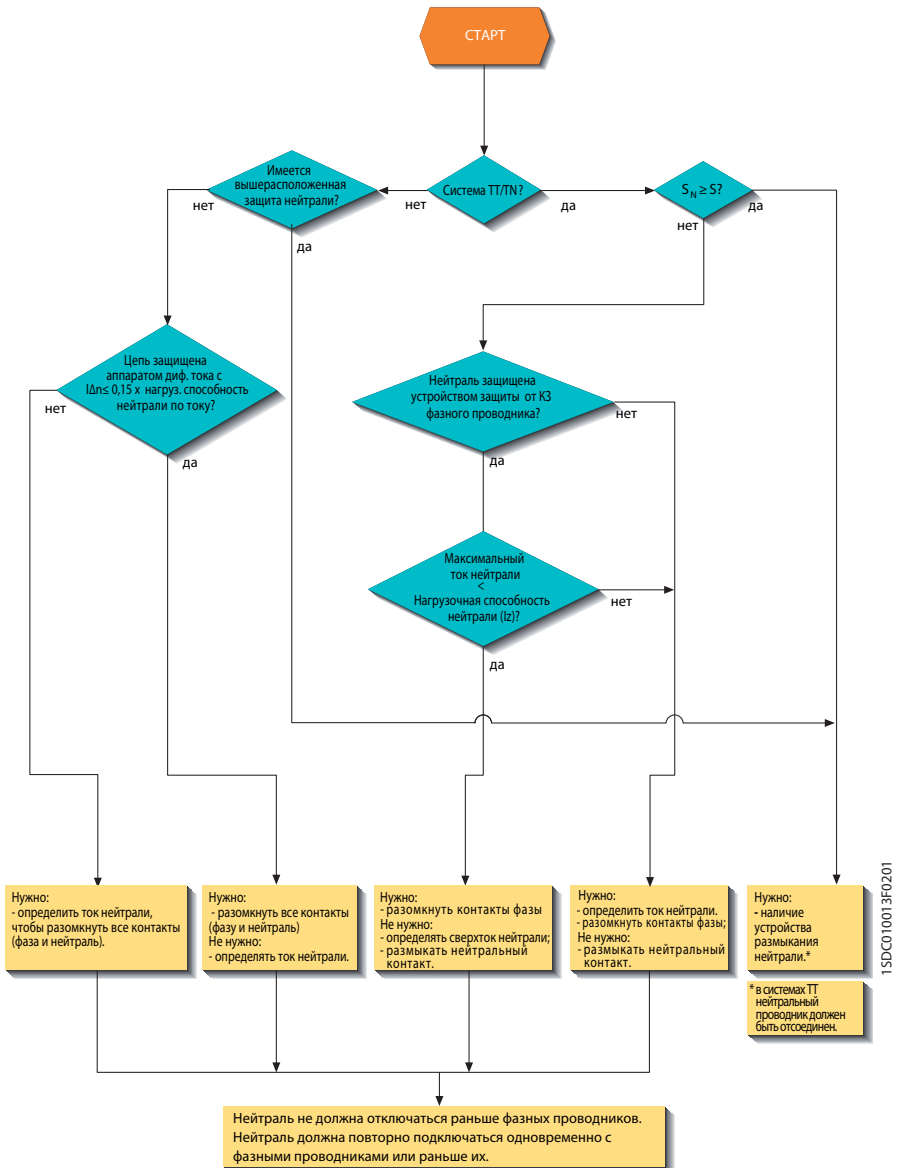
Нет необходимости контроля сверхтоков в нейтральном проводнике в следующих случаях:

- нейтральный проводник защищен от короткого замыкания вышерасположенным защитным устройством;
- цепь защищена устройством дифференциального тока с номинальным дифференциальным током в 0,15 раз меньше нагрузочной способностью соответствующего нейтрального проводника. Это устройство должно отключить все проводники под напряжением, в том числе нейтральный.

Во всех распределительных системах, в случае необходимости, коммутация нейтрального проводника должна гарантировать, что:

- нейтральный проводник не отсоединяется раньше фазного;
- нейтральный проводник подключается одновременно или раньше фазного.

1 Защита фидеров



1 Защита фидеров

Определение минимального сечения нейтрального проводника

Нейтральный проводник, при его наличии, должен иметь такое же поперечное сечение, как и фазный проводник:

- в однофазных двухпроводных цепях с любым поперечным сечением;
- в многофазных и однофазных трехпроводных цепях, когда размер линейных проводников меньше или равен 16 мм^2 для медных проводников или 25 мм^2 для алюминиевых.¹

Поперечное сечение нейтрального проводника может быть меньше сечения фазного проводника, когда поперечное сечение фазного проводника больше 16 мм^2 для медных кабелей или 25 мм^2 для алюминиевых, при соблюдении двух следующих условий:

- сечение нейтрального проводника, по меньшей мере, 16 мм^2 для медных проводников или 25 мм^2 для алюминиевых;
- нет значительных гармонических искажений тока нагрузки. Если присутствуют значительные гармонические искажения (содержание гармоник выше 10%), как, например, в оборудовании с газоразрядными лампами, сечение нейтрального провода не может быть меньше сечения фазных проводников.

Таблица 1: Минимальное поперечное сечение нейтрального проводника

	Поперечное сеч. фазы $S \text{ [мм}^2\text{]}$	Мин. поперечное сеч. нейтрали $S_N \text{ [мм}^2\text{]}$
Однофазные/двухфазные цепи		
Cu/Al	Любое	S^*
Трехфазные цепи	$S \leq 16$	S^*
	$S > 16$	16
Трехфазные цепи	$S \leq 25$	S^*
	$S > 25$	25

* Для систем TN-C стандартами определено минимальное поперечное сечение 10 мм^2 для медных и 16 мм^2 для алюминиевых проводников

¹ Размеры поперечного сечения фазных проводников должны быть определены в соответствии с предписаниями раздела 2.2.1. «Нагрузочная способность и способы прокладки».

1 Защита фидеров

Защитный проводник

Определение минимальных поперечных сечений

Минимальное поперечное сечение защитного проводника может быть определено с использованием следующей таблицы:

Таблица 2: Поперечное сечение защитного проводника

Поперечное сечение линейного проводника S [мм²]	Минимальное поперечное сечение соответствующего защитного проводника [мм²]	
	Если защитный и линейный проводники выполнены из одного и того же материала	Если защитный и линейный проводники выполнены из разных материалов
S " 16	S	$\frac{k_1}{k_2} \cdot S$
16 < S " 35	16 *	$\frac{k_1}{k_2} \cdot 16$
S > 35	$\frac{S}{2} *$	$\frac{k_1}{k_2} \cdot \frac{S}{2}$
<p>Где</p> <p>k₁ – значение k для линейного проводника, выбранное из Таблицы 1 главы 1.4 в соответствии с материалами проводника и изолятора;</p> <p>k₂ – значение k для защитного проводника.</p> <p>* Для проводника PEN допускается уменьшение сечения только в соответствии с правилами определения размеров нейтрального проводника.</p>		

1SDC010014F0201

Для более точного расчета в случае, если защитный проводник подвергается адиабатическому нагреву от начальной известной температуры до конечной определенной температуры (применимо для времени устранения аварии не более 5 с), минимальное поперечное сечение защитного проводника S_{PE} может быть определено с использованием следующей формулы:

$$S_{PE} = \frac{\sqrt{I^2 t}}{k} \quad (1)$$

- где:
- S_{PE} – поперечное сечение защитного проводника [мм²];
 - I – среднеквадратичное значение тока, протекающего через защитный проводник в случае аварии с низким полным сопротивлением [A];
 - t – время срабатывания защитного устройства [с];

1 Защита фидеров

- k – постоянная, зависящая от материала защитного проводника, типа изоляции, начальной и конечной температуры. Наиболее распространенные значения приведены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3: Значения k для изолированных защитных проводников, не входящих в кабели и не связанных с другими кабелями

Изоляция проводника	Температура °C ^b		Материал проводника		
			Медь	Алюминий	Сталь
	Начальная	Конечная	Значения k		
70 °C ПВХ	30	160/140 ^a	143/133 ^a	95/88 ^a	52/49 ^a
90 °C ПВХ	30	143/133 ^a	143/133 ^a	95/88 ^a	52/49 ^a
90 °C термоусадочная	30	250	176	116	64
60 °C каучук	30	200	159	105	58
85 °C каучук	30	220	168	110	60
Силиконовый каучук	30	350	201	133	73

^a Меньшее значение относится к проводникам с изоляцией ПВХ с поперечным сечением более 300 мм².
^b Температурные пределы для разных типов изоляции приведены в МЭК 60724.

1SDC01 0015F0201

Таблица 4: Значения k для защитных проводников в виде жилы, встроенной в кабель или связанной с другими кабелями, или изолированных

Изоляция проводника	Температура °C ^b		Материал проводника		
			Медь	Алюминий	Сталь
	Начальная	Конечная	Значения k		
70 °C ПВХ	70	160/140 ^a	115/103 ^a	76/68 ^a	42/37 ^a
90 °C ПВХ	90	160/140 ^a	100/86 ^a	66/57 ^a	36/31 ^a
90 °C термоусадочная	90	250	143	94	52
60 °C каучук	60	200	141	93	51
85 °C каучук	85	220	134	89	48
Силиконовый каучук	180	350	132	87	47

^a Меньшее значение относится к проводникам с изоляцией ПВХ с поперечным сечением более 300 мм².
^b Температурные пределы для разных типов изоляции приведены в МЭК 60724.

1SDC01 0015F0201

1 Защита фидеров

Расширенный диапазон значений k приведен в Приложении D, в котором даны формулы для точного расчета значений k .

Если таблица 2 или формула (1) не обеспечивают стандартизованного значения поперечного сечения, следует выбрать большее сечение стандартного типоразмера.

Независимо от того, использовалась ли таблица 2 или формула (1), поперечное сечение защитного провода, который не является частью кабеля питания, должно быть не менее:

- $2,5 \text{ мм}^2 \text{ Cu}/16 \text{ мм}^2 \text{ Al}$ при обеспечении защиты от механических повреждений;
- $4 \text{ мм}^2 \text{ Cu}/16 \text{ мм}^2 \text{ Al}$, если не обеспечивается защита от механических повреждений.

Для токоприемников, предназначенных для длительного соединения и при токе защитного проводника более 10 мА, должен быть сконструирован усиленный защитный проводник следующим образом:

- защитный проводник должен иметь площадь поперечного сечения, как минимум, $10 \text{ мм}^2 \text{ Cu}$ или $16 \text{ мм}^2 \text{ Al}$ по всей длине;
- или второй защитный проводник, как минимум, с таким же сечением, которое требуется для защиты от не прямых контактов, должен быть выведен в точку, где поперечное сечение защитного провода не менее $10 \text{ мм}^2 \text{ Cu}$ или $16 \text{ мм}^2 \text{ Al}$. Для этого требуется, чтобы прибор имел отдельный вывод для второго защитного проводника.

Если защитное устройство от сверхтока используется также и для защиты от поражения электрическим током, защитный проводник должен быть совмещен с той же системой электропроводки, что и провода под напряжением, или должен быть размещен в непосредственной близости от них.

1 Защита фидеров

1.6 Системы сборных шин (BTS)

В электроустановках промышленного назначения системы сборных шин (магистральные и распределительные шинопроводы, BTS) оптимизируют распределение энергии, несмотря на неизбежную необходимость реконструкции (добавление, перемещение, замена нагрузок); облегчают техобслуживание и контроль безопасности. Такие системы, главным образом, используются для:

- источников питания для освещения, защиты и маломощных распределительных сетей;
- линий освещения (средняя мощность);
- источников питания и распределительных устройств (средней и большой мощности);
- питания движущегося оборудования (мостовые краны).

Системы сборных шин подпадают под следующие Стандарты:

- МЭК 61439 - 1 «Низковольтные комплектные устройства - Часть 1: Общие требования» (ГОСТ Р 51321.1)
- МЭК 60439 - 2 «Низковольтные комплектные устройства - Часть 2: Особые требования к системам сборных шин (шинопроводам)» (ГОСТ 28668.1)

Системы сборных шин включают в себя:

- проводники/шины;
- соединения: электрические и механические соединительные элементы для различных частей;
- прямые элементы: базовые элементы для линий передачи энергии от источника к нагрузке;
- поворотные элементы: гибкие соединения для создания изгибов или преодоления препятствий, горизонтальные и вертикальные углы, Т-образные и крестообразные элементы для прокладки любого маршрута;
- проходные щитки: элементы, которые позволяют лампам или работающим машинам получать питание непосредственно с интегрированной защитой (предохранителями или автоматическими выключателями);
- подвески/принадлежности: навесные или фиксированные элементы для систем сборных шин и любых опор, необходимых для специальных нагрузок (осветительные компоненты и т.д.).

Выбор систем сборных шин

Для выбора систем BTS необходимо определить ток нагрузки, используя следующие данные:

Источник питания

- Общий тип питания нагрузки:
 - однофазный
 - трехфазный.
- Тип питания систем сборных шин:
 - с одного конца;
 - с обоих концов;
 - центральная подача питания.
- Номинальное напряжение.
- Ток короткого замыкания в точке подключения питания.
- Температура окружающей среды.

Нагрузки

- Количество, распределение, мощность и cosφ, а также тип нагрузок, подача питания к которым осуществляется посредством одной и той же системы сборных шин.

1 Защита фидеров

Геометрия системы сборных шин

- Способ монтажа:
 - плоский;
 - на ребро;
 - вертикальный.
- Длина.

ПРИМЕЧАНИЕ: Системы сборных шин должны быть размещены на расстоянии от стен и потолков таким образом, чтобы обеспечить визуальный контроль соединений во время монтажа и облегчить прокладку элементов ответвлений.
По возможности, предпочтительно устанавливать BTS на ребро, чтобы улучшить механическое сопротивление и сократить любые возможные накопления пыли и загрязняющих веществ, которые могут влиять на уровень внутренней изоляции.

Вычисление токов нагрузки для трехфазной системы

Ток нагрузки I_b для трехфазной системы вычисляется с помощью следующей формулы:

$$I_b = \frac{P_t \cdot b}{\sqrt{3} \cdot U_r \cdot \cos \varphi_m} \text{ [A]} \quad (1)$$

- где:
- P_t - сумма активных мощностей всех установленных нагрузок [Вт];
 - b - коэффициент питания, который равен:
 - 1, если питание системы сборных шин осуществляется только с одного конца;
 - 1/2, если питание системы сборных шин осуществляется из центра или с двух концов одновременно;
 - U_r - рабочее напряжение [В];
 - $\cos \varphi_m$ - средний коэффициент мощности нагрузок.

Выбор нагрузочной способности системы сборных шин

Система сборных шин должна быть выбрана таким образом, чтобы ее нагрузочная способность I_z соответствовала следующей формуле:

$$I_b \leq I_{z0} \cdot k_t = I_z \quad (2)$$

- где:
- I_{z0} - ток, который система сборных шин может проводить неограниченное время при номинальной температуре (40°C);
 - I_b - ток нагрузки;
 - k_t - поправочный коэффициент для значений температуры окружающей среды, отличных от номинальной температуры окружающей среды, данной в таблице 1.

Таблица 1: Поправочный коэффициент k_t для температуры окружающей среды, отличной от 40°C

Температура окружающей среды [°C]	15	2	25	30	35	4	45	50
k_t	1,2	1,17	1,12	1,8	1,05	1	0,9	0,85

1 Защита фидеров

Примечание: в нижеприведенных таблицах указаны типичные параметры имеющихся на рынке систем сборных шин.

Таблица 2: Нагрузочная способность I_{z0} медных систем сборных шин

Типоразмер	Обобщенный тип	Количество проводников	I_{z0} [А]	r_{ph}^* [МОм/м]	x_{ph} [МОм/м]	U_i [В]
25	25А 4 пров. Cu	4	25	6,964	1,144	400
25	25А 4 пров. Cu	4	25	6,876	1,400	400
25	25А 4+4 пров. Cu	4+4	25	6,876	1,400	400
40	40А 4 пров. Cu	4	40	3,556	0,792	400
40	40А 4 пров. Cu	4	40	3,516	1,580	400
40	40А 4+4 пров. Cu	4+4	40	3,516	1,580	400
40	40А 4 пров. Cu	4	40	2,173	0,290	400
63	63А 4 пров. Cu	4	63	1,648	0,637	400
100	100А 4 пров. Cu	4	100	0,790	0,366	400
160	160А 4 пров. Cu	4	160	0,574	0,247	400
160	160А 4 пров. Cu	4	160	0,335	0,314	500
160	160А 5 пров. Cu	5	160	0,335	0,314	500
250	250А 4 пров. Cu	4	250	0,285	0,205	1000
250	250А 5 пров. Cu	5	250	0,285	0,205	1000
250	250А 4 пров. Cu	4	250	0,194	0,205	500
250	250А 5 пров. Cu	5	250	0,194	0,205	500
315	315А 4 пров. Cu	4	315	0,216	0,188	1000
315	315А 5 пров. Cu	5	315	0,216	0,188	1000
350	350А 4 пров. Cu	4	350	0,142	0,188	500
350	350А 5 пров. Cu	5	350	0,142	0,188	500
400	400А 4 пров. Cu	4	400	0,115	0,129	1000
400	400А 5 пров. Cu	5	400	0,115	0,129	1000
500	500А 4 пров. Cu	4	500	0,092	0,129	500
500	500А 5 пров. Cu	5	500	0,092	0,129	500
630	630А 4 пров. Cu	4	630	0,073	0,122	1000
630	630А 5 пров. Cu	5	630	0,073	0,122	1000
700	700А 4 пров. Cu	4	700	0,077	0,122	500
700	700А 5 пров. Cu	5	700	0,077	0,122	500
700	700А 5 пров. Cu	5	700	0,077	0,122	500
700	700А 4 пров. Cu	4	700	0,077	0,122	500

1 Защита фидеров

Таблица 2

Типоразмер	Обобщенный тип	Количество проводников	I_{z0} [А]	r_{ph}^* [мОм/м]	x_{ph} [мОм/м]	U_r [В]
800	800А 4 пров. Cu	4	800	0,047	0,122	1000
800	800А 5 пров. Cu	5	800	0,047	0,122	1000
800	800А 4 пров. Cu	4	800	0,038	0,027	1000
800	800А 4 пров. Cu	4	800	0,072	0,122	500
800	800А 5 пров. Cu	5	800	0,072	0,122	500
1000	1000А 4 пров. Cu	4	1000	0,038	0,120	1000
1000	1000А 5 пров. Cu	5	1000	0,038	0,120	1000
1000	1000А 4 пров. Cu	4	1000	0,037	0,026	1000
1000	1000А 4 пров. Cu	4	1000	0,038	0,097	1000
1000	1000А 4 пров. Cu	4	1000	0,068	0,120	500
1000	1000А 5 пров. Cu	5	1000	0,068	0,120	500
1200	1200А 4 пров. Cu	4	1200	0,035	0,021	1000
1250	1250А 4 пров. Cu	4	1250	0,034	0,023	1000
1250	1250А 4 пров. Cu	4	1250	0,035	0,076	1000
1500	1500А 4 пров. Cu	4	1500	0,030	0,022	1000
1600	1600А 4 пров. Cu	4	1600	0,025	0,018	1000
1600	1600А 4 пров. Cu	4	1600	0,034	0,074	1000
2000	2000А 4 пров. Cu	4	2000	0,020	0,015	1000
2000	2000А 4 пров. Cu	4	2000	0,025	0,074	1000
2400	2400А 4 пров. Cu	4	2400	0,019	0,012	1000
2500	2500А 4 пров. Cu	4	2500	0,016	0,011	1000
2500	2500А 4 пров. Cu	4	2500	0,019	0,040	1000
3000	3000А 4 пров. Cu	4	3000	0,014	0,011	1000
3000	3000А 4 пров. Cu	4	3000	0,017	0,031	1000
3200	3200А 4 пров. Cu	4	3200	0,013	0,009	1000
3200	3200А 4 пров. Cu	4	3200	0,015	0,031	1000
4000	4000А 4 пров. Cu	4	4000	0,011	0,007	1000
4000	4000А 4 пров. Cu	4	4000	0,011	0,026	1000
5000	5000А 4 пров. Cu	4	5000	0,008	0,005	1000
5000	5000А 4 пров. Cu	4	5000	0,008	0,023	1000

*сопротивление фазы при I_{z0}

1 Защита фидеров

Таблица 3: Нагрузочная способность I_{z0} алюминиевых систем сборных шин

Типоразмер	Обобщенный тип	Количество проводников	I_{z0} [А]	r_{ph}^* [мОм/м]	x_{ph} [мОм/м]	U_r [В]
160	160А 4 пров. Al	4	160	0,591	0,260	1000
160	160А 5 пров. Al	5	160	0,591	0,260	1000
160	160А 4 пров. Al	4	160	0,431	0,260	500
160	160А 5 пров. Al	5	160	0,431	0,260	500
250	250А 4 пров. Al	4	250	0,394	0,202	1000
250	250А 5 пров. Al	5	250	0,394	0,202	1000
250	250А 4 пров. Al	4	250	0,226	0,202	500
250	250А 5 пров. Al	5	250	0,226	0,202	500
315	315А 4 пров. Al	4	315	0,236	0,186	1000
315	315А 5 пров. Al	5	315	0,236	0,186	1000
315	315А 4 пров. Al	4	315	0,181	0,186	500
315	315А 5 пров. Al	5	315	0,181	0,186	500
400	400А 4 пров. Al	4	400	0,144	0,130	1000
400	400А 5 пров. Al	5	400	0,144	0,130	1000
400	400А 4 пров. Al	4	400	0,125	0,130	500
400	400А 5 пров. Al	5	400	0,125	0,130	500
500	500А 4 пров. Al	4	500	0,102	0,127	500
500	500А 5 пров. Al	5	500	0,102	0,127	500
630	630А 4 пров. Al	4	630	0,072	0,097	1000
630	630А 5 пров. Al	5	630	0,072	0,097	1000
630	630А 4 пров. Al	4	630	0,072	0,029	1000
630	630А 4 пров. Al	4	630	0,073	0,097	500
630	630А 5 пров. Al	5	630	0,073	0,097	500
800	800А 4 пров. Al	4	800	0,062	0,096	1000
800	800А 5 пров. Al	5	800	0,062	0,096	1000
800	800А 4 пров. Al	4	800	0,067	0,027	1000
800	800А 4 пров. Al	4	800	0,071	0,096	500
800	800А 5 пров. Al	5	800	0,071	0,096	500
1000	1000А 4 пров. Al	4	1000	0,062	0,023	1000
1000	1000А 4 пров. Al	4	1000	0,068	0,087	1000
1200	1200А 4 пров. Al	4	1200	0,054	0,023	1000
1250	1250А 4 пров. Al	4	1250	0,044	0,021	1000
1250	1250А 4 пров. Al	4	1250	0,044	0,066	1000
1500	1500А 4 пров. Al	4	1500	0,041	0,023	1000
1600	1600А 4 пров. Al	4	1600	0,035	0,017	1000
1600	1600А 4 пров. Al	4	1600	0,041	0,066	1000
2000	2000А 4 пров. Al	4	2000	0,029	0,016	1000
2000	2000А 4 пров. Al	4	2000	0,034	0,053	1000
2250	2250А 4 пров. Al	4	2250	0,032	0,049	1000
2400	2400А 4 пров. Al	4	2400	0,028	0,012	1000
2500	2500А 4 пров. Al	4	2500	0,022	0,011	1000
2500	2500А 4 пров. Al	4	2500	0,022	0,034	1000
3000	3000А 4 пров. Al	4	3000	0,020	0,011	1000
3200	3200А 4 пров. Al	4	3200	0,017	0,009	1000
3200	3200А 4 пров. Al	4	3200	0,020	0,034	1000
4000	4000А 4 пров. Al	4	4000	0,014	0,008	1000
4000	4000А 4 пров. Al	4	4000	0,017	0,024	1000
4500	4500А 4 пров. Al	4	4500	0,014	0,024	1000

*сопротивление фазы при I_{z0}

1 Защита фидеров

Защита системы сборных шин (BTS)

Защита от перегрузки

Системы сборных шин (BTS) защищаются от перегрузки на основе тех же критериев, которые используются для кабелей. Должно выполняться следующее неравенство:

$$I_b < I_n < I_z \quad (3)$$

где:

- I_b - ток нагрузки;
- I_n - номинальный ток защитного устройства; для защитных устройств с возможностью регулировки номинальным током I_n является ток уставки;
- I_z - длительная нагрузочная способность системы сборных шин.

Защита от короткого замыкания

ПРИМЕЧАНИЕ - Не требуется проводить проверку защиты от короткого замыкания, если размеры модульных автоматических выключателей до 63A выбраны правильно, исходя из требований защиты от перегрузки. В этом случае обеспечена соответствующая защита от тепловых и электродинамических явлений, так как данные защитные устройства гарантируют ограничение энергии и пикового тока.

Система сборных шин (BTS) должна быть защищена от тепловых перегрузок и электродинамических явлений, которые появляются при коротком замыкании.

Защита от тепловых перегрузок

Должно выполняться следующее условие:

$$I^2 t_{CB} < I^2 t_{BTS} \quad (4)$$

где:

- $I^2 t_{CB}$ - удельная сквозная энергия автоматического выключателя при максимальном значении тока короткого замыкания в точке установки. Это значение может быть получено методом экстраполяции из графиков, показанных в части 1, главе 1.4;
- $I^2 t_{BTS}$ - энергия, которую система BTS выдерживает без повреждения, обычно указывается производителем (см. Таблицы 4 и 5).

Защита от электродинамических явлений

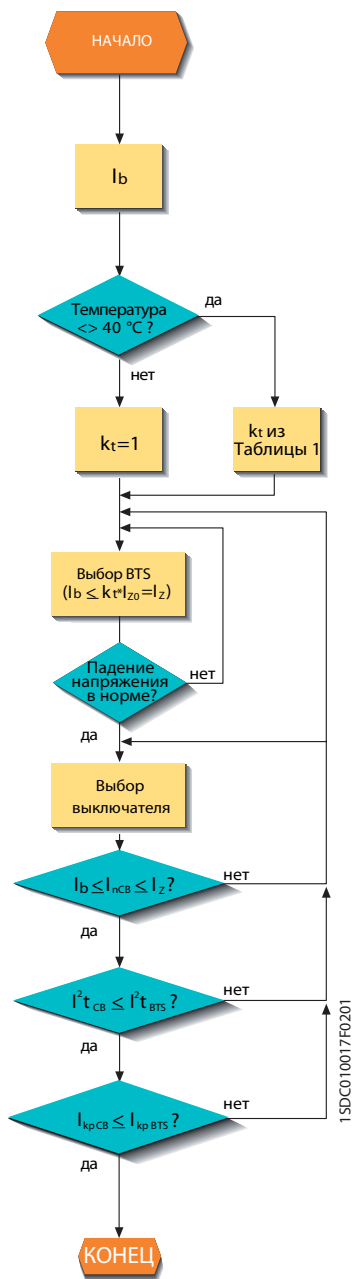
Должно выполняться следующее условие:

$$I_{kp\ CB} \leq I_{kp\ BTS} \quad (5)$$

где:

- $I_{kp\ CB}$ - амплитудное значение тока короткого замыкания в точке установки автоматического выключателя с учетом характеристик токоограничения. Это значение может быть получено методом экстраполяции из графиков ограничения;
- $I_{kp\ BTS}$ ~ максимальное пиковое значение тока системы сборных шин (BTS) (см. Таблицы 4 и 5).

1 Защита фидеров



1 Защита фидеров

Таблица 4: Значения энергии, выдерживаемой без повреждений, и пикового тока для медных систем BTS

Типоразмер	Обобщенный тип	$I^2 t_{ph}$ [(кА) ² с]	$I^2 t_N$ [(кА) ² с]	$I^2 t_{PE}$ [(кА) ² с]	I_{peakph} [кА]	I_{peakN} [кА]
25	25A 4 пров. Cu	0,48	0,48	0,48	10	10
25	25A 4 пров. Cu	0,64	0,64	0,64	10	10
25	25A 4+4 пров. Cu	0,64	0,64	0,64	10	10
40	40A 4 пров. Cu	0,73	0,73	0,73	10	10
40	40A 4 пров. Cu	1	1	1	10	10
40	40A 4+4 пров. Cu	1	1	1	10	10
40	40A 4 пров. Cu	7,29	7,29	7,29	10	10
63	63A 4 пров. Cu	7,29	7,29	7,29	10	10
100	100A 4 пров. Cu	20,25	20,25	20,25	10	10
160	160A 4 пров. Cu	30,25	30,25	30,25	10	10
160	160A 4 пров. Cu	100	60	60	17	10,2
160	160A 5 пров. Cu	100	100	100	17	10,2
160	160A 4 пров. Cu	100	100	100	17	10,2
250	250A 4 пров. Cu	312,5	187,5	187,5	52,5	31,5
250	250A 5 пров. Cu	312,5	312,5	312,5	52,5	31,5
250	250A 4 пров. Cu	169	101,4	101,4	26	15,6
250	250A 5 пров. Cu	169	169	169	26	15,6
250	250A 4 пров. Cu	169	169	169	26	15,6
315	315A 4 пров. Cu	312,5	187,5	187,5	52,5	31,5
315	315A 5 пров. Cu	312,5	312,5	312,5	52,5	31,5
350	350A 4 пров. Cu	169	101,4	101,4	26	15,6
350	350A 5 пров. Cu	169	169	169	26	15,6
350	350A 4 пров. Cu	169	169	169	26	15,6
400	400A 4 пров. Cu	900	540	540	63	37,8
400	400A 5 пров. Cu	900	900	900	63	37,8
500	500A 4 пров. Cu	756,25	453,75	453,75	58	34,8
500	500A 5 пров. Cu	756,25	756,25	756,25	58	34,8
500	500A 4 пров. Cu	756,25	756,25	756,25	58	34,8
630	630A 4 пров. Cu	1296	777,6	777,6	75,6	45,4
630	630A 5 пров. Cu	1296	1296	1296	75,6	45,4
700	700A 4 пров. Cu	756,25	453,75	453,75	58	34,8
700	700A 5 пров. Cu	756,25	756,25	756,25	58	34,8
700	700A 4 пров. Cu	756,25	756,25	756,25	58	34,8

1 Защита фидеров

Типоразмер	Обобщенный тип	$I^2 t_{ph}$ [(кА) ² с]	$I^2 t_N$ [(кА) ² с]	$I^2 t_{PE}$ [(кА) ² с]	I_{peakph} [кА]	I_{peakN} [кА]
800	800A 4 пров. Cu	1296	777,6	777,6	75,6	45,4
800	800A 5 пров. Cu	1296	1296	1296	75,6	45,4
800	800A 4 пров. Cu	3969	3969	2381,4	139	83,4
800	800A 4 пров. Cu	756,25	453,75	453,75	58	34,8
800	800A 5 пров. Cu	756,25	756,25	756,25	58	34,8
800	800A 4 пров. Cu	756,25	756,25	756,25	58	34,8
1000	1000A 4 пров. Cu	1296	777,6	777,6	75,6	45,4
1000	1000A 5 пров. Cu	1296	1296	1296	75,6	45,4
1000	1000A 4 пров. Cu	3969	3969	2381,4	139	83,4
1000	1000A 4 пров. Cu	1600	1600	960	84	50,4
1000	1000A 4 пров. Cu	1024	614,4	614,4	60	36
1000	1000A 5 пров. Cu	1024	1024	1024	60	36
1000	1000A 4 пров. Cu	1024	1024	1024	60	36
1200	1200A 4 пров. Cu	7744	7744	4646,4	194	116,4
1250	1250A 4 пров. Cu	7744	7744	4646,4	194	116,4
1250	1250A 4 пров. Cu	2500	2500	1500	105	63
1500	1500A 4 пров. Cu	7744	7744	4646,4	194	116,4
1600	1600A 4 пров. Cu	7744	7744	4646,4	194	116,4
1600	1600A 4 пров. Cu	2500	2500	1500	105	63
2000	2000A 4 пров. Cu	7744	7744	4646,4	194	116,4
2000	2000A 4 пров. Cu	3600	3600	2160	132	79,2
2400	2400A 4 пров. Cu	7744	7744	4646,4	194	116,4
2500	2500A 4 пров. Cu	7744	7744	4646,4	194	116,4
2500	2500A 4 пров. Cu	4900	4900	2940	154	92,4
3000	3000A 4 пров. Cu	30976	30976	18585,6	387	232,2
3000	3000A 4 пров. Cu	8100	8100	4860	198	118,8
3200	3200A 4 пров. Cu	30976	30976	18585,6	387	232,2
3200	3200A 4 пров. Cu	8100	8100	4860	198	118,8
4000	4000A 4 пров. Cu	30976	30976	18585,6	387	232,2
4000	4000A 4 пров. Cu	8100	8100	4860	198	118,8
5000	5000A 4 пров. Cu	30976	30976	18585,6	387	232,2
5000	5000A 4 пров. Cu	10000	10000	6000	220	132

1 Защита фидеров

Таблица 5: Значения энергии, выдерживаемой без повреждения, и пикового тока для алюминиевых систем BTS

Типоразмер	Обобщенный тип	$I^2 t_{ph}$ [(кА) ² с]	$I^2 t_{th}$ [(кА) ² с]	$I^2 t_{PE}$ [(кА) ² с]	I_{peakph} [кА]	I_{peakth} [кА]
160	160A 4 пров. Al	112,5	67,5	67,5	30	18
160	160A 5 пров. Al	112,5	112,5	112,5	30	18
160	160A 4 пров. Al	100	60	60	17	10,2
160	160A 5 пров. Al	100	100	100	17	10,2
160	160A 4 пров. Al	100	100	100	17	10,2
250	250A 4 пров. Al	312,5	187,5	187,5	52,5	31,5
250	250A 5 пров. Al	312,5	312,5	312,5	52,5	31,5
250	250A 4 пров. Al	169	101,4	101,4	26	15,6
250	250A 5 пров. Al	169	169	169	26	15,6
250	250A 4 пров. Al	169	169	169	26	15,6
315	315A 4 пров. Al	625	375	375	52,5	31,5
315	315A 5 пров. Al	625	625	625	52,5	31,5
315	315A 4 пров. Al	169	101,4	101,4	26	15,6
315	315A 5 пров. Al	169	169	169	26	15,6
315	315A 4 пров. Al	169	169	169	26	15,6
400	400A 4 пров. Al	900	540	540	63	37,8
400	400A 5 пров. Al	900	900	900	63	37,8
400	400A 4 пров. Al	625	375	375	52,5	31,5
400	400A 5 пров. Al	625	625	625	52,5	31,5
400	400A 4 пров. Al	625	625	625	52,5	31,5
500	500A 4 пров. Al	625	375	375	52,5	31,5
500	500A 5 пров. Al	625	625	625	52,5	31,5
500	500A 4 пров. Al	625	625	625	52,5	31,5
630	630A 4 пров. Al	1296	777,6	777,6	75,6	45,4
630	630A 5 пров. Al	1296	1296	1296	75,6	45,4
630	630A 4 пров. Al	1444	1444	866,4	80	48
630	630A 4 пров. Al	1024	614,4	614,4	67,5	40,5
630	630A 5 пров. Al	1024	1024	1024	67,5	40,5

1 Защита фидеров

Типоразмер	Обобщенный тип	I^2t_{ph} [(кА) ² с]	I^2t_N [(кА) ² с]	I^2t_{PE} [(кА) ² с]	I_{peakph} [кА]	I_{peakN} [кА]
630	630A 4 пров. Al	1024	1024	1024	67,5	40,5
800	800A 4 пров. Al	1296	777,6	777,6	75,6	45,4
800	800A 5 пров. Al	1296	1296	1296	75,6	45,4
800	800A 4 пров. Al	1764	1764	1058,4	88	52,8
800	800A 4 пров. Al	1024	614,4	614,4	67,5	40,5
800	800A 5 пров. Al	1024	1024	1024	67,5	40,5
800	800A 4 пров. Al	1024	1024	1024	67,5	40,5
1000	1000A 4 пров. Al	6400	6400	3840	176	105,6
1000	1000A 4 пров. Al	1600	1600	960	84	50,4
1200	1200A 4 пров. Al	6400	6400	3840	176	105,6
1250	1250A 4 пров. Al	6400	6400	3840	176	105,6
1250	1250A 4 пров. Al	2500	2500	1500	105	63
1500	1500A 4 пров. Al	6400	6400	3840	176	105,6
1600	1600A 4 пров. Al	6400	6400	3840	176	105,6
1600	1600A 4 пров. Al	2500	2500	1500	105	63
2000	2000A 4 пров. Al	6400	6400	3840	176	105,6
2000	2000A 4 пров. Al	3600	3600	2160	132	79,2
2250	2250A 4 пров. Al	4900	4900	2940	154	92,4
2400	2400A 4 пров. Al	25600	25600	15360	352	211,2
2500	2500A 4 пров. Al	25600	25600	15360	352	211,2
2500	2500A 4 пров. Al	8100	8100	4860	198	118,8
3000	3000A 4 пров. Al	25600	25600	15360	352	211,2
3200	3200A 4 пров. Al	25600	25600	15360	352	211,2
3200	3200A 4 пров. Al	8100	8100	4860	198	118,8
4000	4000A 4 пров. Al	25600	25600	15360	352	211,2
4000	4000A 4 пров. Al	8100	8100	4860	198	118,8
4500	4500A 4 пров. Al	10000	10000	6000	220	132

1 Защита фидеров

Защита отходящих фидеров

Если отходящий фидер, который обычно проложен в кабель-канале, не защищен от короткого замыкания и перегрузки вышерасположенным защитным устройством, необходимо принять следующие меры:

- защита от короткого замыкания:

нет необходимости защищать фидер от короткого замыкания, если одновременно:

- а) его длина не превышает 3 м;
- б) риск короткого замыкания минимален;
- в) рядом нет воспламеняющихся материалов.

Защита от короткого замыкания всегда необходима во взрывоопасной и пожароопасной среде;

- защита от перегрузки:

нагрузочная способность фидера обычно ниже, чем у системы BTS. Таким образом, защита фидера от перегрузки также необходима.

Устройство защиты от перегрузки может быть установлено внутри проходного щитка или на вводной панели.

В последнем случае защита от перегрузки может также осуществляться автоматическими выключателями, защищающими единичные отходящие фидеры, только если сумма их номинальных токов ниже или равна нагрузочной способности I_z сборных шин. В местах с большим риском возгорания устройство защиты от перегрузок должно быть установлено внутри проходного щитка.

Падение напряжения

Если система BTS достаточно длинная, необходимо точно определить значение падения напряжения.

Для трехфазных систем с коэффициентом мощности ($\cos\varphi_m$) не ниже 0,8 падение напряжения можно вычислить, используя следующую упрощенную формулу:

$$\Delta u = \frac{a \cdot \sqrt{3} \cdot I_b \cdot L \cdot (r_t \cdot \cos\varphi_m + x \cdot \sin\varphi_m)}{1000} [\text{В}] \quad (6a)$$

Для однофазных систем BTS используется следующая формула:

$$\Delta u = \frac{a \cdot 2 \cdot I_b \cdot L \cdot (r_t \cdot \cos\varphi_m + x \cdot \sin\varphi_m)}{1000} [\text{В}] \quad (6b)$$

где:

- a - коэффициент распределения тока, который зависит от питания цепи и расположения электрических нагрузок вдоль системы BTS, как показано в Таблице 6:

1 Защита фидеров

Таблица 6: Коэффициент распределения тока

Тип питания	Расположение нагрузок	Коэффициент распределения тока
Только с одного конца	Нагрузка сконцентрирована на конце	1
	Нагрузка распределена равномерно	0,5
С обоих концов	Нагрузка распределена равномерно	0,25
	Центральное распределение	0,25
Центральное распределение	Нагрузка сконцентрирована на концах	0,25
	Нагрузка распределена равномерно	0,125

- I_b - ток нагрузки [А];
- L - длина системы BTS [м];
- r_t - удельное активное сопротивление фазы на единицу длины системы BTS, измеренное в условиях стабильного теплового состояния [мОм/м];
- x - удельное реактивное сопротивление фазы на единицу длины системы BTS [мОм/м];
- $\cos \varphi_m$ - средний коэффициент мощности нагрузок.

Относительное значение падения напряжения, полученное из:

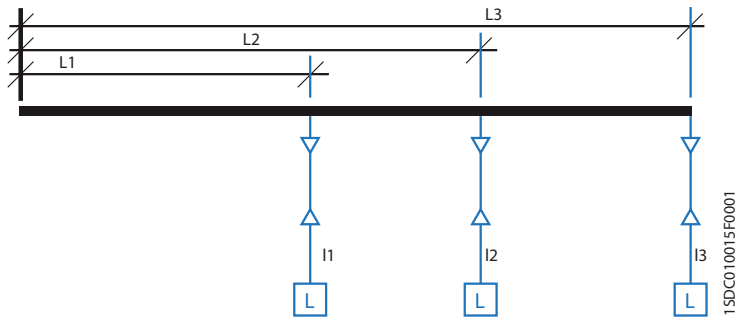
$$\Delta u \% = \frac{\Delta u}{U_r} \cdot 100 \tag{7}$$

где U_r - номинальное напряжение.

Для сокращения падения напряжения в очень длинной системе (BTS) источник может быть подключен в некую среднюю точку системы (см. Таблицу 6).

Расчет падения напряжения для неравномерно распределенных нагрузок

Если нагрузки нельзя считать равномерно распределенными, то падение напряжения может быть рассчитано более точно, используя приведенные ниже формулы.



Для распределения трехфазных нагрузок, показанных на рисунке, падение напряжения может быть рассчитано при использовании следующей формулы, если система сборной шины имеет постоянное поперечное сечение (как обычно):

$$u = \sqrt{3}[r_t(I_1L_1 \cos \varphi_1 + I_2L_2 \cos \varphi_2 + I_3L_3 \cos \varphi_3) + x(I_1L_1 \sin \varphi_1 + I_2L_2 \sin \varphi_2 + I_3L_3 \sin \varphi_3)]$$

1 Защита фидеров

По существу, эта формула принимает вид:

$$u = \frac{\sqrt{3} \cdot r_t \cdot \sum I_i \cdot L_i \cdot \cos \varphi_{mi} + x \cdot \sum I_i \cdot L_i \cdot \sin \varphi_{mi}}{1000} \quad [\text{В}] \quad (8)$$

где:

- r_t - удельное активное сопротивление фазы на единицу длины системы BTS, измеренное в условиях стабильного теплового состояния [МОм/м];
- x - удельное реактивное сопротивление фазы на единицу длины системы BTS [МОм/м];
- $\cos \varphi_m$ - средний коэффициент мощности i -ой нагрузки;
- I_i - ток i -ой нагрузки [А];
- L_i - от точки соединения ввода питания с BTS до места отвода на i -ю нагрузку [м].

Джоулевы потери

Джоулевы потери в системе BTS возникают из-за активного сопротивления.

Потери рассеиваются в виде тепла и способствуют нагреву линии и окружающей среды. Расчет потерь энергии полезен для правильного выбора систем кондиционирования зданий.

Потери в трехфазных системах:

$$P_j = \frac{3 \cdot r_t \cdot I_b^2 \cdot L}{1000} \quad [\text{Вт}] \quad (9a)$$

Потери в однофазных системах:

$$P_j = \frac{2 \cdot r_t \cdot I_b^2 \cdot L}{1000} \quad [\text{Вт}] \quad (9b)$$

где:

- I_b - ток нагрузки [А];
- r_t - удельное активное сопротивление фазы на единицу длины системы BTS, измеренное в условиях стабильного теплового состояния [МОм/м];
- L - длина BTS [м];

Для более подробного расчета потери должны быть рассчитаны от секции к секции на основе токов, протекающих через них; например, в случае распределения нагрузок, показанного на предыдущем рисунке:

	Длина	Ток	Потери
1 секция	L_1	$I_1 + I_2 + I_3$	$P_1 = 3r_t L_1 (I_1 + I_2 + I_3)^2$
2 секция	$L_2 - L_1$	$I_2 + I_3$	$P_2 = 3r_t (L_2 - L_1) (I_2 + I_3)^2$
3 секция	$L_3 - L_2$	I_3	$P_3 = 3r_t (L_3 - L_2) (I_3)^2$
Общие потери в системе BTS			$P_{\text{tot}} = P_1 + P_2 + P_3$

2 Защита электрического оборудования

2.1 Защита и коммутация осветительных цепей

Введение

При подаче питания осветительным установкам в течение короткого периода времени по сети протекает пусковой ток, превышающий номинальный (соответствующий мощности ламп). Возможная пиковая величина этого тока имеет значение приблизительно в $15 \div 20$ раз больше номинального тока и присутствует несколько миллисекунд; также может существовать пусковой ток со значением приблизительно в $1,5 \div 3$ раза больше номинального тока, длящийся до нескольких минут. Для правильного определения размеров коммутационных и защитных аппаратов данные проблемы должны быть учтены.

График пикового тока

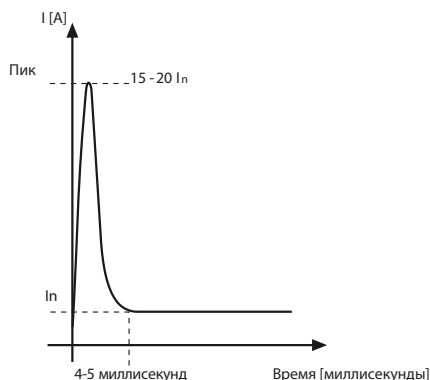
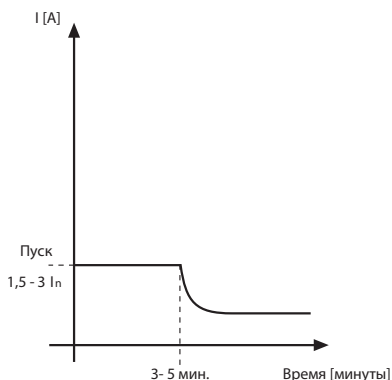


График пускового тока



Наиболее распространенными являются лампы следующих типов:

- лампы накаливания;
- галогенные;
- люминесцентные;
- разрядные высокой интенсивности: ртутные, галогидные и натриевые.

Лампы накаливания

Лампы накаливания состоят из стеклянной колбы, внутри которой находится вакуум или инертный газ и вольфрамовая нить накаливания. Ток протекает через эту нить, нагревая ее до температуры излучения света.

Электрические характеристики этих ламп предусматривают высокий пиковый ток, равный приблизительно 15-кратному номинальному току; через несколько миллисекунд ток возвращается к номинальному значению. Пиковое значение спровоцировано нитью накала лампы, которая изначально находится в холодном состоянии и имеет очень низкое электрическое сопротивление. Впоследствии, из-за быстрого нагрева этого элемента, значение сопротивления значительно возрастает и вызывает снижение потребляемого тока.

2 Защита электрического оборудования

Галогенные лампы

Галогенные лампы - это особый тип ламп накаливания, в которых газ, содержащийся внутри колбы, препятствует осаждению испаряющихся частиц вольфрамовой нити на поверхности колбы и способствует их повторному осаждению на нить накаливания. Это явление замедляет процесс износа нити накала, улучшает качество излучаемого света и продлевает срок работы лампы. Электрические характеристики этих ламп такие же, как и у ламп накаливания.

Люминесцентные лампы

Люминесцентные лампы - это так называемый газоразрядный источник света. Свет создается посредством разряда внутри прозрачной оболочки (стеклянной, кварцевой и т.д., в зависимости от типа лампы), которая содержит ртутный пар при низком давлении.

В процессе разряда внутри оболочки газ излучает поток энергии в ультрафиолетовом диапазоне, который ударяет по люминесцентному материалу; в свою очередь, этот материал преобразует ультрафиолетовое излучение в излучение с длиной волны в пределах видимого спектра. Цвет излучаемого света зависит от используемого люминесцентного материала. Для создания разряда необходим надлежащий импульс напряжения, генерируемый стартером. При включении лампы газ имеет более низкое сопротивление, и необходимо стабилизировать силу тока, используя регулирующее устройство (дрессель); это понижает коэффициент мощности приблизительно до $0,4 \div 0,6$; обычно используют конденсатор для увеличения коэффициента мощности до значения более 0,9.

Существуют два типа регулирующих устройств: магнитный (стандартный) и электронный, которые поглощают от 10 до 20% номинальной мощности лампы. Электронные регуляторы обладают особыми преимуществами, такими как экономия потребляемой энергии, более низкое рассеяние тепла и обеспечение стабильного света без мерцания. У некоторых типов люминесцентных ламп с электронными регулирующими устройствами нет необходимости в стартере.

Компактные люминесцентные лампы выполнены из свернутой трубки и пластикового основания, которое, в некоторых случаях, содержит стандартный или электронный регулятор. Значение пускового тока зависит от присутствия конденсатора для повышения коэффициента мощности:

- лампы без конденсатора имеют пусковой ток приблизительно двукратный по отношению к номинальному току и время включения около 10 секунд;
- присутствие конденсатора в лампах позволяет сократить время включения до нескольких секунд, но создается высокий пиковый ток, обусловленный зарядом конденсатора, который может достигать 20-кратного значения номинального тока.

Если лампа оснащена электронным регулятором, ток в начале переходного процесса может достигать пикового значения, максимально равного 10-кратному номинальному току.

2 Защита электрического оборудования

Разрядные лампы высокой интенсивности: ртутные, галогидные и натриевые

Принцип действия разрядной лампы высокой интенсивности такой же, как у люминесцентной, с разницей в том, что разряд появляется в присутствии газа под высоким давлением. В этом случае дуга способна испарить металлические частицы, содержащиеся в газе, освобождая энергию в форме излучения, как ультрафиолетового, так и видимого спектра. Специальный тип стеклянных колб блокирует ультрафиолетовое излучение и пропускает только видимое. Существуют три основных типа разрядных ламп высокой интенсивности: ртутные, галогидные и натриевые. Цветовые характеристики и эффективность ламп зависят от различных металлических элементов, содержащихся в газе, которые подвергаются воздействию электрической дуги.

Разрядные лампы повышенной интенсивности требуют подходящего по размерам регулирующего устройства, а период разогрева может длиться несколько минут до начала нормального свечения. Кратковременная потеря питания приводит к перезапуску системы и необходимости разогрева.

В лампах без конденсатора пусковые токи превышают номинальный ток в 2 раза в течение приблизительно 5 минут.

В лампах с конденсатором пиковые токи превышают номинальный ток в 20 раз, а пусковые токи - в 2 раза в течение приблизительно 5 минут.

Тип лампы		Пиковый ток	Пусковой ток	Время пуска
Лампы накаливания		15In	-	-
Галогенные лампы		15In	-	-
Люминесцентные лампы	Без конденсатора		2In	10 с
	С конденсатором	20In		1÷6 с
Разрядные лампы	Без конденсатора		2In	2÷8 мин.
	С конденсатором	20In	2In	2÷8 мин.

Лампы высокой эффективности с конденсатором имеют 20-кратный пиковый ток по сравнению с номинальным и пусковой ток, в два раза превышающий номинальный ток в течение примерно 5 минут.

Приборы коммутации и защиты

Стандарт МЭК 60947-4-1 (ГОСТ Р 50030.4.1) определяет две особые категории применения для контакторов управления лампами:

- AC-5a включение электрических разрядных ламп;
- AC-5b включение ламп накаливания.

Документация, прилагаемая производителем, содержит таблицы для выбора контакторов в соответствии с количеством контролируемых ламп и их типом.

2 Защита электрического оборудования

Для выбора защитного устройства необходимо выполнить следующие условия:

- характеристическая кривая срабатывания должна быть выше, чем характеристическая кривая пуска осветительного прибора, для устранения нежелательного срабатывания; приблизительный пример показан на Рис. 1;
- должна существовать координация с контактором в условиях короткого замыкания (осветительные приборы обычно не характеризуются перегрузками).

С учетом вышеперечисленных критериев, следующие таблицы показывают максимальное количество ламп на фазу, которое может контролироваться комбинацией автоматических выключателей и контакторов АББ для некоторых типов ламп, в соответствии с их мощностью и потребляемым током $I_b^{(*)}$, для трехфазных установок с номинальным напряжением 400 В и максимальным током короткого замыкания 15 кА.

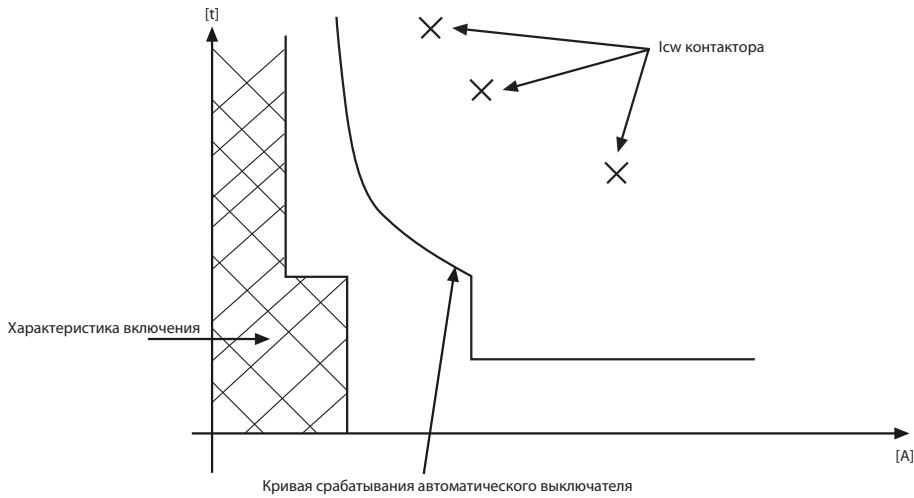
(*) Для расчета смотрите Приложение В: Расчет тока нагрузки I_b

Таблица 1: Лампы накаливания и галогенные лампы

U _l = 400 В	I _k = 15 кА						
Лампа накаливания/галогенная лампа							
Тип автоматического выключателя	S200P D20	S200P D20	S200P D25	S200P D32	S200P D50		
Уставка Ekip LS/I	----	----	----	----	----		
Тип контактора	A26	A26	A26	A26	A30		
Ном. мощность [Вт]	Ном. ток I _b [А]						
60	0,27	57	65	70	103	142	
100	0,45	34	38	42	62	85	
200	0,91	17	19	20	30	42	
300	1,37	11	12	13	20	28	
500	2,28	6	7	8	12	16	
1000	4,55	3	4	4	6	8	

2 Защита электрического оборудования

Рисунок 1: Приблизительный пример координации ламп с защитными и коммутационными устройствами



XT2N160 In63	XT2N160 In63	XT2N160 In100	XT2N160 In100	XT2N160 In100	XT2N160 In160
L=0,68-12c S=8-0,1	L=0,96-12c S=10-0,1	L=0,68-12c S=8-0,1	L=0,75-12c S=8-0,1	L=0,96-12c S=10-0,1	L=0,72-12c S=7-0,1
A40	A50	A63	A75	A95	A110
Количество ламп на фазу					
155	220	246	272	355	390
93	132	147	163	210	240
46	65	73	80	105	120
30	43	48	53	70	80
18	26	29	32	42	48
9	13	14	16	21	24

2 Защита электрического оборудования

Таблица 2: Люминесцентные лампы

U _r = 400В	I _k = 15 кА						
Люминесцентная лампа без конденсатора							
Тип автоматического выключателя		S200P D16	S200P D20	S200P D20	S200P D32	S200P D40	
Уставка Ekip LS/I							
Тип контактора		A26	A26	A26	A26	A30	
Ном. мощность [Вт]	Ном. ток I ₀ [А]						
20	0,38	40	44	50	73	100	
40	0,45	33	37	42	62	84	
65	0,7	21	24	27	40	54	
80	0,8	18	21	23	35	47	
100	1,15	13	14	16	24	33	
110	1,2	12	14	15	23	31	

U _r = 400 В		I _k = 15 кА				
Люминесцентные лампы с конденсатором PFC						
Тип автоматического выключателя			S200P D25	S200P D25	S200P D32	
Уставка Ekip LS/I			---	---	---	
Тип контактора			A26	A26	A26	
Ном. мощность [Вт]	Ном. ток I _b [А]	Конденсатор [мкФ]				
20	0,18	5	83	94	105	
40	0,26	5	58	65	75	
65	0,42	7	35	40	45	
80	0,52	7	28	32	36	
100	0,65	16	23	26	29	
110	0,7	18	21	24	27	

2 Защита электрического оборудования

	S200P D50	S200P D63	XT2N160 In100	XT2N160 In100	XT2N160 In100	XT2N160 In160
			L= 0,68-12c S=10-0,1	L= 0,76-12c S=10-0,1	L= 0,96-12c S=10-0,1	L= 0,68-12c S=10-0,1
	A40	A50	A63	A75	A95	A110
Количество ламп на фазу						
	110	157	173	192	250	278
	93	133	145	162	210	234
	60	85	94	104	135	150
	52	75	82	91	118	132
	36	52	57	63	82	92
	35	50	55	60	79	88

	S200P D40	S200P D63	XT2N160 In63	XT2N160 In63	XT2N160 In100	XT2N160 In100	XT2N160 In100
	---	---	L= 0,68 -12c S=8-0,1	L= 1-12c S=10-0,1	L= 0,68-12c S=10-0,1	L= 0,76-12c S=10-0,1	L= 0,96-12c S=10-0,1
	A26	A30	A40	A50	A63	A75	A95
Количество ламп на фазу							
	155	215	233	335	360	400	530
	107	150	160	230	255	280	365
	66	92	100	142	158	173	225
	53	74	80	115	126	140	180
	43	59	64	92	101	112	145
	40	55	59	85	94	104	135

2 Защита электрического оборудования

Таблица 3: Разрядные лампы высокой интенсивности

U _r = 400 В	I _k = 15 кА						
Разрядные лампы без конденсатора							
Тип автоматического выключателя	S200P D16	S200P D20	S200P D20	S200P D32	S200P D40		
Уставка Ekip LS/I							
Тип контактора	A26	A26	A26	A26	A30		
Ном. мощность [Вт]	Ном. ток I _b [А]						
150	1,8	6	7	8	11	15	
250	3	4	4	5	7	9	
400	4,4	3	3	3	4	6	
600	6,2	1	2	2	3	4	
1000	10,3	-	1	1	2	3	

U _r = 400 В		I _k = 15 кА						
Разрядные лампы с конденсатором PFC								
Тип автоматического выключателя			S200P D16	S200P D20	S200P D20	S200P D32	S200P D40	
Уставка Ekip LS/I			---	---	---	---	---	
Тип контактора			A26	A26	A26	A26	A30	
Ном. мощность [Вт]	Ном. ток I _b [А]	Конденсатор [мкФ]						
150	1	20	13	14	15	23	28	
250	1,5	36	8	9	10	15	18	
400	2,5	48	5	5	6	9	11	
600	3,3	65	4	4	5	7	8	
1000	6,2	100	-	-	-	4	4	

2 Защита электрического оборудования

	S200P D40	S200P D50	S200P D63	XT2N160 In100	XT2N160 In100	XT2N160 In160
				L=0,8-12c S=6,5-0,1c	L=1-12c S=8-0,1c	L=0,8-12c S=6,5-0,1c
	A40	A50	A63	A75	A95	A110
Количество ламп на фазу						
	17	23	26	29	38	41
	10	14	16	17	23	25
	7	9	10	12	15	17
	5	7	8	8	11	12
	3	4	5	5	6	7

	S200P D40	XT2N160 In100	XT2N160 In100	XT2N160 In100	XT2N160 In160	XT2N160 In160
	---	L= 0,8 -12c S=6,5-0,1c	L= 0,88-12c S=6,5-0,1c	L= 1-12c S=6,5-0,1c	L= 0,84 -12c S=4,5-0,1c	L=0,88-12c S=4,5-0,1c
	A40	A50	A63	A75	A95	A110
Количество ламп на фазу						
	30	50	58	63	81	88
	20	33	38	42	54	59
	12	20	23	25	32	36
	9	15	17	19	24	27
	5	8	9	10	13	14

1SDC010034R0201

Пример:

Коммутация и защита осветительной системы, питаемой от трехфазной сети с параметрами $U_r = 400\text{ В}$, $I_k = 15\text{ кА}$, выполнено подключение до 55 ламп накаливания на фазу по 200 Вт каждая. В таблице 1 в строке, относящейся к 200 Вт, выберите ячейку, показывающую количество коммутируемых ламп сразу над количеством ламп на фазу в электроустановке. В данном случае в соответствующей ячейке для 65 ламп на фазу предполагается следующее оборудование:
- автоматический выключатель Tmax XT2N160 In63 с электронным расцепителем Ekip LS/I, с защитой L, установленной на 0,96; временем t_{11} , установленным на 12с, и защитой S, установленной на 10 с временем t_{12} - на 0,1с;
- контактор A50.

2 Защита электрического оборудования

2.2 Защита и коммутация генераторов

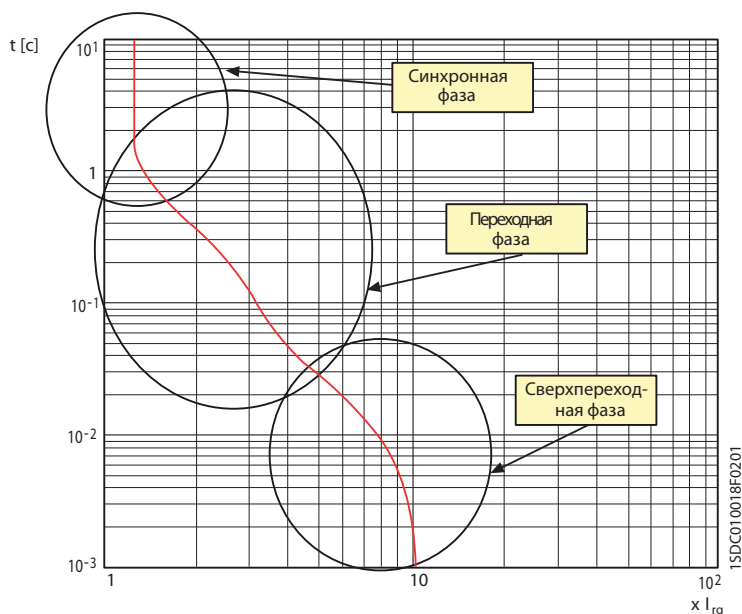
Увеличивающаяся потребность в бесперебойном электроснабжении привела к учащению использования генераторов аварийного питания, в качестве как резервных, так и параллельных с электросетью общего пользования.

Типичные конфигурации включают в себя:

- автономное питание (независимая работа) приоритетных нагрузок в случае дефицита энергии от электросети общего пользования;
- питание электроустановок параллельно с сетью общего пользования.

В отличие от электросети общего пользования, которая имеет постоянные характеристики, в случае короткого замыкания ток, поступающий от генератора, зависит от характеристик самой машины и уменьшается со временем. Можно выявить следующие последовательные этапы (фазы):

1. Сверхпереходный этап: кратковременный, (длительностью $10 \div 50$ мс), характеризующийся сверхпереходным реактивным сопротивлением X''_d ($5 \div 20\%$ от номинального значения полного сопротивления) и сверхпереходной постоянной времени T''_d ($5 \div 30$ мс);
2. Переходный этап: может длиться до нескольких секунд ($0,5 \div 2,5$ с) и характеризуется переходным реактивным сопротивлением X'_d ($15 \div 40\%$ от номинального значения полного сопротивления) и переходной постоянной времени T'_d ($0,03 \div 2,5$ с);
3. Синхронный этап: может сохраняться до срабатывания внешней защиты и характеризуется синхронным реактивным сопротивлением X_d ($80 \div 300\%$ от номинального значения полного сопротивления).



2 Защита электрического оборудования

В первом приближении можно оценить, что максимальное значение тока короткого замыкания генератора с номинальной мощностью S_{rg} и номинальным напряжением установки U_r равно:

$$I_{kg} = \frac{I_{rg} \cdot 100}{X_d'' \%}$$

где:

I_{rg} - номинальный ток генератора

$$I_{rg} = \frac{S_{rg}}{\sqrt{3} \cdot U_r}$$

Автоматический выключатель для защиты генератора должен быть выбран в соответствии со следующими критериями:

- ток уставки выше, чем номинальный ток генератора: $I_1 \geq I_{rg}$;
- отключающая способность I_{cu} или I_{cs} выше, чем максимальное значение тока короткого замыкания в точке установки:
 - в случае единичного генератора: $I_{cu}(I_{cs}) \geq I_{kg}$;
 - в случае n идентичных параллельно установленных генераторов: $I_{cu}(I_{cs}) \geq I_{kg} \cdot (n-1)$;
 - в случае работы параллельно с сетью: $I_{cu}(I_{cs}) \geq I_{kNet}$, так как влияние короткого замыкания от сети обычно больше влияния от генератора;
- для автоматических выключателей с термомангнитными расцепителями: низкая магнитная уставка срабатывания: $I_3 = (2,5 \div 3) \cdot I_n$;
- для автоматических выключателей с электронными расцепителями:
 - уставка срабатывания функции защиты с выдержкой времени (S) настраивается на значение от 1,5-кратного и до 4-кратного номинального тока генератора таким образом, чтобы «прервать» спадающую кривую генератора: $I_2 = (1,5 \div 4) \cdot I_{rg}$; если функция S отсутствует, функция I может быть установлена на указанные значения $I_3 = (1,5 \div 4) \cdot I_{rg}$;
 - уставка срабатывания функции мгновенной защиты от короткого замыкания (I_3) настраивается на значение, превышающее номинальный ток короткого замыкания генератора, так, чтобы достичь селективности с установленными ниже аппаратами и обеспечить быстрое срабатывание в случае короткого замыкания выше от установленного оборудования (работая параллельно с другими генераторами или с сетью):

$$I_3 \geq I_{kg}$$

2 Защита электрического оборудования

В следующих таблицах представлены решения АББ для защиты и коммутации генераторов; приведенные таблицы даны для 400 В (Таблица 1), 440 В (Таблица 2), 500 В (Таблица 3) и 690 В (Таблица 4). Автоматические выключатели в литых корпусах (MCCB) могут быть оснащены как термомагнитными расцепителями (TMG), так и электронными расцепителями.

Таблица 1 400 В

S _{иг} [кВА]	MCB	MCCB	ACB
4	S200 B6	XT1 160 XT2 160	
6	S200 B10		
7	S200 B13		
9			
11	S200 B16		
14	S200 B25		
17			
19	S200 B32		
21			
22			
28	S200 B50		
31	S200 B63		
35			
38			
42			
44	S280 B80		
48			
55			
69	S280 B100		
80		XT3 250 XT4 250	
87			
100			
111			
138			
159			
173			
180			
190			
208			
218			
242			
277			
308			
311			
346			
381			
415			
436			
484			
554			
692			
727			
865			
1107			
1730			
2180			
2214			
2250			
2500			
2800			
3150			
3500			

Таблица 2 440 В

S _н [кВА]	MCB	MCCB	ACB
4	S200 B6	XT1 160 XT2 160	
6	S200 B8		
7	S200 B10		
9	S200 B13		
11	S200 B16		
14	S200 B20		
17	S200 B25		
19	S200 B32		
21			
22			
28	S200 B40		
31	S200 B50		
35			
38	S200 B63		
42			
44			
48	S280 B80		
55			
69	S280 B100		
80			
87			
100			
111			
138			
159		XT3 250 XT4 250	
173			
180			
190			
208		T4 320	
218			
242			
277		T5 400	
308		T5 630	
311			
346			
381			
415	X1 630		
436			
484			
554			
692	T6 800	X1 800**	
727	T7 1000	X1 1000**	
865	T7 1250	X1 1250**	
1107	T7 1600	X1 1600**	
1730		E3 2500	
2180			
2214		E3 3200	
2250			
2500		E4 3600	
2800		E4 4000	
3150		E6 5000	
3500			

1SDC010016F0001

** Для данного применения можно также использовать автоматический выключатель серии Emax CB типа E1.

2 Защита электрического оборудования

Таблица 3 500 В

S _г [кВА]	MCB	MCCB	ACB
4		XT1 160 XT2 160	
6			
7			
9			
11			
14			
17			
19			
21			
22			
28			
31			
35			
38			
42			
44			
48			
55			
69			
80			
87			
100			
111			
138			
159			
173			
180			
190			
208			
218			
242			
277			
308			
311			
346			
381			
415			
436			
484			
554			
692			
727			
865			
1107			
1730			
2180			
2214			
2250			
2500			
2800			
3150			
3500			
</			

Таблица 4 690 В

S _г [kBA]	MCB	MCCB	ACB
4		XT1 160 XT2 160	
6			
7			
9			
11			
14			
17			
19			
21			
22			
28			
31			
35			
38			
42			
44			
48			
55			
69			
80			
87			
100			
111			
138			
159			
173			
180			
190			
208			
218			
242			
277			
308			
311			
346			
381			
415			
436			
484			
554			
692			
727			
865			
1107			
1730			
2180			
2214			
2250			
2500			
2800			
3150			
3500			

1SDC010017F0001

** Для данного применения можно также использовать автоматический выключатель серии Emax CB типа E1.

2 Защита электрического оборудования

Пример:

Защита генератора с $S_{rg} = 100$ кВА в системе с номинальным напряжением 440 В.

Параметры генератора:

$U_r = 440$ В

$S_{rg} = 100$ кВА

$f = 50$ Гц

$I_{rg} = 13,2$ А

$X''_d = 6,5$ % (сверхпереходное реактивное сопротивление)

$X'_d = 17,6$ % (переходное реактивное сопротивление)

$X_d = 230$ % (синхронное реактивное сопротивление)

$T''_d = 5,5$ мс (сверхпереходная постоянная времени)

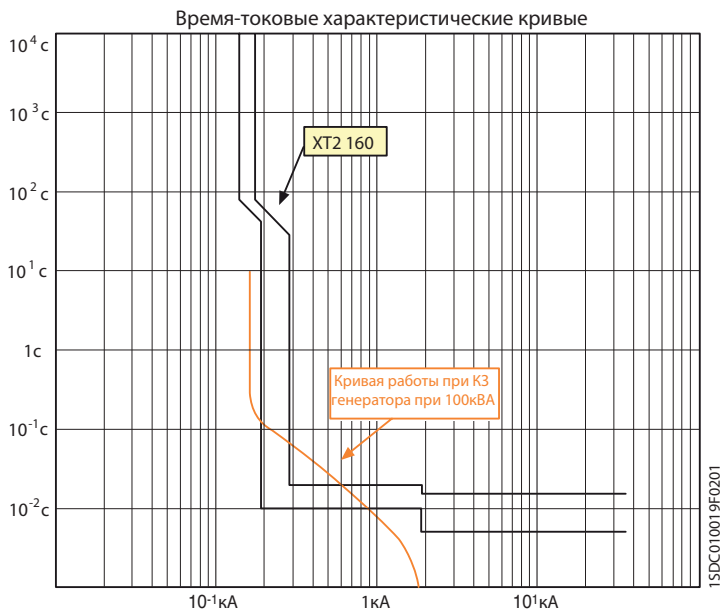
$T'_d = 39,3$ мс (переходная постоянная времени)

Из Таблицы 2 выбираем автоматический выключатель АББ серии Tmax XT2N160 с $I_n = 160$ А, с электронным расцепителем Ekip G LS/I. Для правильной защиты генератора должны быть заданы следующие уставки:

функция L: 0,84 - 3с, соответствующая 134,4А, значение выше, чем I_{rg}

функция I: 1,5

Кривая работы при КЗ генератора при 100 кВА



2 Защита электрического оборудования

3.3 Защита и коммутация двигателей

Электромеханический пускатель

Пускатель предназначен для:

- пуска двигателей;
- обеспечения непрерывной работы двигателей;
- отключения двигателей от источника питания;
- гарантированной защиты двигателей от рабочих перегрузок.

Пускатель обычно состоит из коммутационного устройства (контактора) и устройства защиты от перегрузок (теплового реле).

Два этих устройства должны быть скоординированы с оборудованием, обеспечивающим защиту от короткого замыкания (обычно автоматический выключатель только с магнитным расцепителем), которое не всегда является частью пускателя.

Характеристики пускателя должны соответствовать международному Стандарту МЭК 60947–4-1 (ГОСТ Р 50030.4.1), который определяет следующее:

Контактор: механический коммутационный аппарат с единственным положением покоя, оперируемый не вручную, способный включать, проводить и отключать токи в нормальных условиях цепи, в том числе при рабочих перегрузках.

Тепловое реле: тепловое реле или расцепитель перегрузки, который срабатывает при перегрузке, а также в случае обрыва фазы.

Автоматический выключатель: определен Стандартом МЭК 60947-2 (ГОСТ Р 50030.2) как механический коммутационный аппарат, способный включать, проводить и отключать токи в нормальных условиях цепи, а также включать и проводить в течение установленного времени и отключать токи при установленных аномальных условиях цепи, например, при коротких замыканиях.

Основным типам двигателей, которые могут применяться и которые определяют характеристики пускателя, соответствуют следующие категории применения:

Таблица 1: Категории применения и типовые режимы

Тип тока	Категории применения	Типовые применения
Переменный ток AC	AC-2	Асинхронные двигатели с контактными кольцами: пуск, отключение
	AC-3	Двигатели с короткозамкнутым ротором: пуск, отключение в процессе работы ⁽¹⁾
	AC-4	Двигатели с короткозамкнутым ротором: пуск, торможение противовключением, толчковый режим

⁽¹⁾ Контакторы категории AC-3 могут быть использованы иногда для толчкового перемещения или торможения противовключением на ограниченный период времени, такой как настройка машины; в течение таких ограниченных временных периодов количество подобных операций не должно превышать пяти за минуту или десяти за десять минут.

2 Защита электрического оборудования

Выбор метода пуска, а также, при необходимости, типа используемого двигателя, зависит от типового момента сопротивления нагрузки и от силы КЗ питающей сети двигателя.

Для переменного тока наиболее часто используют следующие типы двигателей:

- асинхронные трехфазные двигатели с короткозамкнутым ротором (АС-3): это наиболее распространенный тип из-за простоты конструкции, экономичности и надежности; они развивают большой крутящий момент за короткое время разгона, но требуют повышенных пусковых токов.
- асинхронные двигатели с контактными кольцами (АС-2): они характеризуются менее строгими требованиями к условиям пуска и имеют достаточно высокий начальный крутящий момент даже при питании от сети малой мощности.

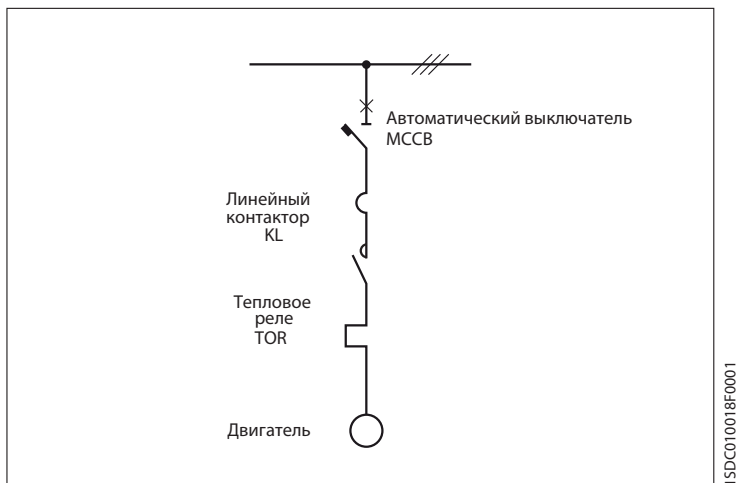
Методы пуска

Наиболее распространенные методы пуска для асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором:

Прямой пуск

При прямом пуске с помощью пускателя с прямым подключением к сети, который замыкает линию посредством контактора KL, линейное напряжение подается на выводы двигателя за одну операцию. Следовательно, асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором развивает высокий пусковой крутящий момент с относительно малым временем разгона. Этот метод обычно используется для двигателей малой и средней мощности, которые достигают полной рабочей частоты вращения за короткое время. Эти преимущества, тем не менее, сопровождаются рядом недостатков, включая, например:

- большой ток и соответствующее значение напряжения при пуске могут оказывать негативное влияние на другие части системы, подключенные к сети;
- интенсивное ускорение, которое оказывает негативное влияние на компоненты механических передач (ремни, цепи, механические соединения и т.д.), сокращая срок их службы.



2 Защита электрического оборудования

Другие типы пуска асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором осуществляются за счет снижения напряжения источника питания двигателя: это приводит к уменьшению пускового тока и крутящего момента двигателя, а также к увеличению времени разгона.

Пуск переключением «звезда-треугольник»

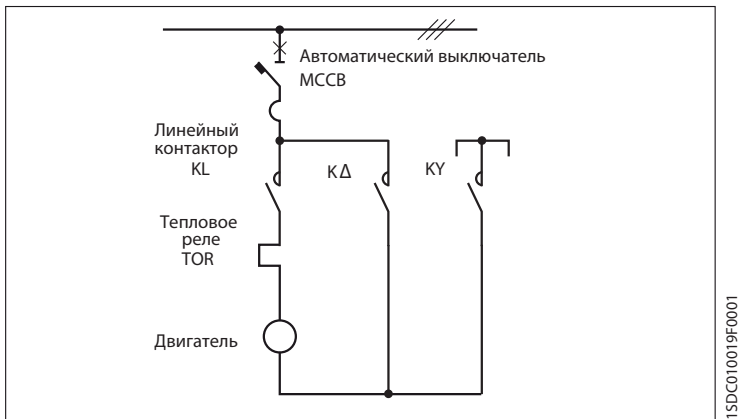
Наиболее общеупотребительный пускатель с пониженным напряжением - это пускатель с переключением схемы «звезда» на «треугольник» (Y-A), который:

- при пуске обмотки статора соединяет «звездой», таким образом обеспечивая уменьшение пикового значения пускового тока;
- как только двигатель развивает нормальную скорость, происходит переключение на схему «треугольник».

После переключения ток и крутящий момент следуют ходу кривых, соответствующих нормальным условиям работы («треугольник»).

Можно легко проверить, что пуск двигателя с соединением «звездой» приводит к понижению напряжения в $\sqrt{3}$ раз, а ток, потребляемый из линии, сокращается на $1/3$ по сравнению с током, потребленным при соединении «треугольник».

Пусковой крутящий момент, пропорциональный квадрату напряжения, сокращается в 3 раза по сравнению с крутящим моментом того же двигателя при соединении «треугольник». Этот метод обычно применяется к двигателям с мощностью от 15 до 355 кВт, но он предназначен для пуска с низким начальным крутящим моментом сопротивления.



Последовательность пуска

При нажатии кнопки пуска замыкаются контакторы KL и КУ. Таймер начинает измерять время пуска двигателя при соединении «звездой». По прошествии установленного времени первый контакт таймера размыкает контактор КУ, а второй контакт с выдержкой приблизительно 50 мс замыкает контактор КД. В этой новой конфигурации, с замкнутыми контакторами KL и КД, двигатель соединяется по схеме «треугольник».

2 Защита электрического оборудования

Тепловое реле TOR, включенное в цепь «треугольника», способно выявить любые токи 3-й гармоники, которые могут появиться из-за насыщения магнитной системы двигателя и в совокупности с основным током двигателя перегрузить его, не затрагивая линию.

Из схемы соединения очевидно, что оборудование, используемое для пускателя «звезда/треугольник», должно быть способно проводить следующие токи:

$\frac{I_r}{\sqrt{3}}$ линейный контактор KL и контактор «треугольника» KA

$\frac{I_r}{3}$ контактор «звезды» KY

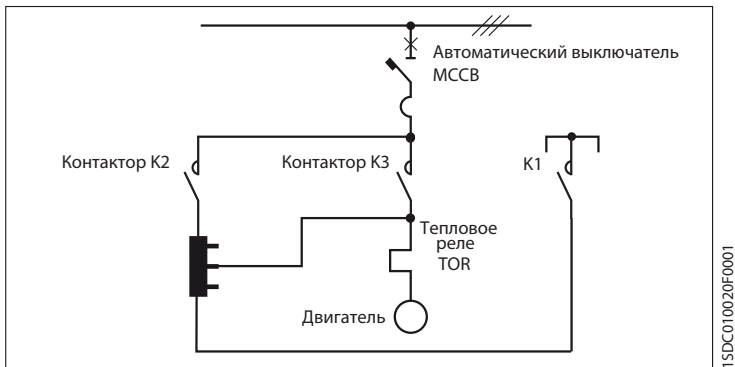
$\frac{I_r}{\sqrt{3}}$ тепловое реле перегрузки

где I_r - номинальный ток двигателя.

Пуск через автотрансформатор

Пуск через автотрансформатор - это наиболее функциональный метод, используемый для пуска при пониженном напряжении, но также и наиболее дорогой. Уменьшение напряжения питания достигается путем использования автотрансформатора с фиксированным отводом или более дорогого трансформатора с несколькими отводами.

Такой способ применяется для двигателей с короткозамкнутым ротором мощностью от 50 кВт до нескольких сотен киловатт и сверхмощных двигателей с двойной «беличьей клеткой».



Автотрансформатор понижает напряжение сети с коэффициентом K ($K = 1,25 \div 1,8$) и, как следствие, пусковой крутящий момент сокращается в K^2 раза по сравнению со значением при полном номинальном напряжении питания.

При пуске двигатель соединяется с отводами автотрансформатора, и контакторы К2 и К1 замыкаются.

2 Защита электрического оборудования

Таким образом, пуск двигателя осуществляется при пониженном напряжении и, когда он развивает приблизительно 80% своей номинальной частоты вращения, контактор К1 размыкается, а главный контактор КЗ замыкается. Впоследствии контактор К2 размыкается, исключая автотрансформатор из схемы и обеспечивая полное напряжение питания двигателя.

Пуск с индуктивными реакторами или резисторами

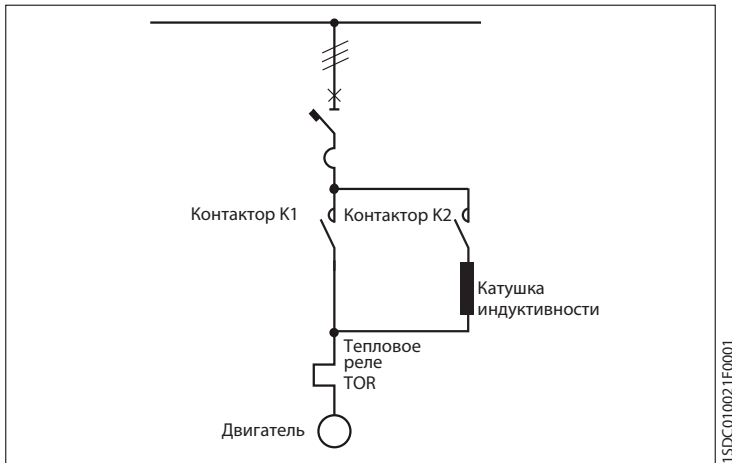
Этот тип пуска используется для двигателей с простыми роторами или роторами с двойной «беличьей клеткой». Снижение напряжения питания достигается путем включения индуктивных реакторов или резисторов последовательно с обмотками статора. При пуске ток ограничивается до величины, кратной $2,5 \div 3,5$ номинального тока.

При пуске питание двигателя осуществляется через контактор К2; как только достигается нормальная частота вращения, реакторы замыкаются накоротко путем замыкания контактора К1 и затем отключаются путем размыкания контактора К2.

Такого ограничения пускового тока можно достичь за счет нескольких ступеней резисторов или реакторов с управлением через выдержки времени, даже для двигателей мощностью выше 100 кВт.

Использование реакторов значительно снижает коэффициент мощности, в то время как использование резисторов приводит к высоким потерям мощности (Джоулевы потери), даже при ограничении времени начальной фазы.

При снижении напряжения двигателя в К ($0,6 \div 0,8$) раз крутящий момент уменьшается в K^2 раз ($0,36 \div 0,64$).



В соответствии с вышеупомянутым Стандартом пускатели также классифицируются в зависимости от времени срабатывания (классы расцепления) и в зависимости от типа координации с устройством защиты от короткого замыкания (Тип 1 и Тип 2).

2 Защита электрического оборудования

Классы расцепления

По классам расцепления разделяют тепловые реле в зависимости от их кривых срабатывания. Классы расцепления представлены в следующей Таблице 2:

Таблица 2: Классы расцепления

Класс расцепления	Время срабатывания в секундах (Тр)
10А	$2 < T_r \leq 10$
10	$4 < T_r \leq 10$
20	$6 < T_r \leq 20$
30	$9 < T_r \leq 30$

Где Тр - время срабатывания теплового реле из холодного состояния при 7,2-кратном токе устав-ки (например: расцепитель в классе 10 при значении тока, установленном на 7,2-кратную вели-чину, не должен срабатывать в течение 4 с, но должен сработать в течение 10 с). Это позволяет применять класс 10 при нормальном типе пуска и класс 30 при тяжелом типе пуска.

Типы координации

Тип 1

Допускается, что в случае короткого замыкания контактор и тепловое реле могут быть повреж-дены. Пускатель в этом случае еще будет выведен из работы и подлежит проверке; при необхо-димости, контактор и/или тепловое реле должны быть заменены, расцепитель разъединителя повторно настроен.

Тип 2

В случае короткого замыкания тепловое реле не должно быть повреждено, в то время как сварива-ние контактов контактора допустимо, т.к. их можно легко разъединить (например при помощи отвертки) без какой-либо значительной деформации.

Для точного определения типа координации и подбора правильного оборудования необходимо знать следующее:

- мощность двигателя в кВт и его тип;
- номинальное напряжение питания;
- номинальный ток двигателя;
- ток короткого замыкания в точке установки;
- тип пуска: прямой пуск или Y/Δ - нормальный или тяжелый - Тип 1 или Тип 2.

Требуемые аппараты должны быть скоординированы друг с другом в соответствии с предписа-ниями Стандарта.

Для наиболее часто встречающихся величин напряжений и тока короткого замыкания (400 В - 440 В - 500 В - 690 В, 35 кА - 50 кА) и для наиболее часто используемых типов пуска, таких как прямой пуск или пуск «звезда/треугольник», для асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором (АС-З) компания АББ предлагает следующие решения:

- автоматический выключатель с магнитным расцепителем - контактор - тепловое реле;
- автоматический выключатель с термоманитным расцепителем - контактор;
- автоматический выключатель с электронным расцепителем Ekip M LIU-LRIU или PR222MP- кон-тактор.

2 Защита электрического оборудования

Следующие таблицы демонстрируют доступные комбинации оборудования:

Таблица 3: 400 В 35кА Прямой пуск Нормальный тип 2
(Тmax ХТ/Т - Контактор - TOR/EOL)

Двигатель		Авт. выключатель в литом корпусе MCCB		Контактор	Тепловое реле перегрузки		
Номинал. мощность [кВт]	Номинал. ток [А]	Тип	I ₃ [А]	Тип	Тип	Уставка тока [А]	
						мин.	макс.
0,37	1,1	XT2N160 MF 2	28	A9	TA25DU1.4	1	1,4
0,55	1,5	XT2N160 MF 2	28	A9	TA25DU1.8	1,3	1,8
0,75	1,9	XT2N160 MF 2	28	A9	TA25DU2.4	1,7	2,4
1,1	2,7	XT2N160 MF 4	56	A9	TA25DU4	2,8	4
1,5	3,6	XT2N160 MF 4	56	A16	TA25DU5	3,5	5
2,2	4,9	XT2N160 MF 8.5	120	A26	TA25DU6.5	4,5	6,5
3	6,5	XT2N160 MF 8.5	120	A26	TA25DU8.5	6	8,5
4	8,5	XT2N160 MF 12.5	175	A30	TA25DU11	7,5	11
5,5	11,5	XT2N160 MF 12.5	175	A30	TA25DU14	10	14
7,5	15,5	XT2N160 MA 20	210	A30	TA25DU19	13	19
11	22	XT2N160 MA 32	288	A30	TA42DU25	18	25
15	29	XT2N160 MA 52	392	A50	TA75DU42	29	42
18,5	35	XT2N160 MA 52	469	A50	TA75DU52	36	52
22	41	XT2N160 MA 52	547	A50	TA75DU52	36	52
30	55	XT2N160 MA 80	840	A63	TA75DU80	60	80
37	66	XT2N160 MA 80	960	A75	TA75DU80	60	80
45	80	XT2N160 MA 100	1200	A95	TA110DU110	80	110
55	97	XT3N250 MA 160	1440	A110	TA110DU110	80	110
75	132	XT3N250 MA 200	1800	A145	TA200DU175	130	175
90	160	XT3N250 MA 200	2400	A185	TA200DU200	150	200
110	195	T4N320 PR221-I In320	2720	A210	E320DU320	100	320
132	230	T5N400 PR221-I In400	3200	A260	E320DU320	100	320
160	280	T5N400 PR221-I In400	4000	A300	E320DU320	100	320
200	350	T5N630 PR221-I In630	5040	AF400	E500DU500	150	500
250	430	T6N630 PR221-I In630	6300	AF460	E500DU500	150	500
290	520	T6N800 PR221-I In800	7200	AF580	E800DU800	250	800
315	540	T6N800 PR221-I In800	8000	AF580	E800DU800	250	800
355	610	T6N800 PR221-I In800	8000	AF750	E800DU800	250	800

MA: регулируемый расцепитель только магнитного типа

MF: фиксированный расцепитель только магнитного типа

2 Защита электрического оборудования

**Таблица 4: 400 В 50 кА Прямой пуск Нормальный тип 2
(Tmax XT/T - Контактор - TOR/EOL)**

Двигатель		Авт. выключатель в литом корпусе MCCB		Контактор	Тепловое реле перегрузки		
Номинал. мощность [кВт]	Номинал. ток [А]	Тип	I ₃ [А]	Тип	Тип	Уставка тока [А]	
						мин.	макс.
0,37	1,1	XT2S160 MF 2	28	A9	TA25DU1.4	1	1,4
0,55	1,5	XT2S160 MF 2	28	A9	TA25DU1.8	1,3	1,8
0,75	1,9	XT2S160 MF 2	28	A9	TA25DU2.4	1,7	2,4
1,1	2,7	XT2S160 MF 4	56	A9	TA25DU4	2,8	4
1,5	3,6	XT2S160 MF 4	56	A16	TA25DU5	3,5	5
2,2	4,9	XT2S160 MF 8.5	120	A26	TA25DU6.5	4,5	6,5
3	6,5	XT2S160 MF 8.5	120	A26	TA25DU8.5	6	8,5
4	8,5	XT2S160 MF 12.5	175	A30	TA25DU11	7,5	11
5,5	11,5	XT2S160 MF 12.5	175	A30	TA25DU14	10	14
7,5	15,5	XT2S160 MA 20	210	A30	TA25DU19	13	19
11	22	XT2S160 MA 32	288	A30	TA42DU25	18	25
15	29	XT2S160 MA 52	392	A50	TA75DU42	29	42
18,5	35	XT2S160 MA 52	469	A50	TA75DU52	36	52
22	41	XT2S160 MA 52	547	A50	TA75DU52	36	52
30	55	XT2S160 MA 80	840	A63	TA75DU80	60	80
37	66	XT2S160 MA 80	960	A75	TA75DU80	60	80
45	80	XT2S160 MA 100	1200	A95	TA110DU110	80	110
55	97	XT3S250 MA 160	1440	A110	TA110DU110	80	110
75	132	XT3S250 MA 200	1800	A145	TA200DU175	130	175
90	160	XT3S250 MA 200	2400	A185	TA200DU200	150	200
110	195	T4S320 PR221-I In320	2720	A210	E320DU320	100	320
132	230	T5S400 PR221-I In400	3200	A260	E320DU320	100	320
160	280	T5S400 PR221-I In400	4000	A300	E320DU320	100	320
200	350	T5S630 PR221-I In630	5040	AF400	E500DU500	150	500
250	430	T6S630 PR221-I In630	6300	AF460	E500DU500	150	500
290	520	T6S800 PR221-I In800	7200	AF580	E800DU800	250	800
315	540	T6S800 PR221-I In800	8000	AF580	E800DU800	250	800
355	610	T6S800 PR221-I In800	8000	AF750	E800DU800	250	800

MA: регулируемый расцепитель только магнитного типа

MF: фиксированный расцепитель только магнитного типа

2 Защита электрического оборудования

**Таблица 5: 400 В 70 кА Прямой пуск Нормальный тип 2
(Tmax XT/T - Контактор - TOR/EOL)**

Двигатель		Авт. выключатель в литом корпусе MCCB		Контактор	Тепловое реле перегрузки		
Номинал. мощность [кВт]	Номинал. ток [А]	Тип	I ₃ [А]	Тип	Тип	Уставка тока [А]	
						мин.	макс.
0,37	1,1	XT2H160 MF 2	28	A9	TA25DU1.4	1	1,4
0,55	1,5	XT2H160 MF 2	28	A9	TA25DU1.8	1,3	1,8
0,75	1,9	XT2H160 MF 2	28	A9	TA25DU2.4	1,7	2,4
1,1	2,7	XT2H160 MF 4	56	A16	TA25DU4	2,8	4
1,5	3,6	XT2H160 MF 4	56	A26	TA25DU5	3,5	5
2,2	4,9	XT2H160 MF 8.5	120	A26	TA25DU6.5	4,5	6,5
3	6,5	XT2H160 MF 8.5	120	A26	TA25DU8.5	6	8,5
4	8,5	XT2H160 MF 12.5	175	A30	TA25DU11	7,5	11
5,5	11,5	XT2H160 MF 12.5	175	A50	TA25DU14	10	14
7,5	15,5	XT2H160 MA 20	210	A50	TA25DU19	13	19
11	22	XT2H160 MA 32	288	A50	TA42DU25	18	25
15	29	XT2H160 MA 52	392	A50	TA75DU42	29	42
18,5	35	XT2H160 MA 52	469	A50	TA75DU52	36	52
22	41	XT2H160 MA 52	547	A50	TA75DU52	36	52
30	55	XT2H160 MA 80	840	A63	TA75DU80	60	80
37	66	XT2H160 MA 80	960	A75	TA75DU80	60	80
45	80	XT2H160 MA 100	1200	A95	TA110DU110	80	110
55	97	XT4H250 Ekip-I In160	1360	A110	TA110DU110	80	110
75	132	XT4H250 Ekip-I In250	1875	A145	E200DU200	60	200
90	160	XT4H250 Ekip-I In250	2500	A185	E200DU200	60	200
110	195	T4H320 PR221-I In320	2720	A210	E320DU320	100	320
132	230	T5H400 PR221-I In400	3200	A260	E320DU320	100	320
160	280	T5H400 PR221-I In400	4000	A300	E320DU320	100	320
200	350	T5H630 PR221-I In630	5040	AF400	E500DU500	150	500
250	430	T6H630 PR221-I In630	6300	AF460	E500DU500	150	500
290	520	T6H800 PR221-I In800	7200	AF580	E800DU800	250	800
315	540	T6H800 PR221-I In800	8000	AF580	E800DU800	250	800
355	610	T6H800 PR221-I In800	8000	AF750	E800DU800	250	800

MA: регулируемый расцепитель только магнитного типа

MF: фиксированный расцепитель только магнитного типа

2 Защита электрического оборудования

**Таблица 6: 400 В 80 кА Прямой пуск Нормальный тип 2
(Tmax XT/T - Контактор - TOR/EOL)**

Двигатель		Авт. выключатель в литом корпусе MCCB		Контактор	Тепловое реле перегрузки		
Номин. мощность [кВт]	Номин. ток [А]	Тип	I ₃ [А]	Тип	Тип	Уставка тока [А]	
						мин.	макс.
0,37	1,1	XT2L160 MF 2	28	A9	TA25DU1.4	1	1,4
0,55	1,5	XT2L160 MF 2	28	A9	TA25DU1.8	1,3	1,8
0,75	1,9	XT2L160 MF 2	28	A9	TA25DU2.4	1,7	2,4
1,1	2,7	XT2L160 MF 4	56	A16	TA25DU4	2,8	4
1,5	3,6	XT2L160 MF 4	56	A26	TA25DU5	3,5	5
2,2	4,9	XT2L160 MF 8.5	120	A26	TA25DU6.5	4,5	6,5
3	6,5	XT2L160 MF 8.5	120	A26	TA25DU8.5	6	8,5
4	8,5	XT2L160 MF 12.5	175	A30	TA25DU11	7,5	11
5,5	11,5	XT2L160 MF 12.5	175	A50	TA25DU14	10	14
7,5	15,5	XT2L160 MA 20	210	A50	TA25DU19	13	19
11	22	XT2L160 MA 32	288	A50	TA42DU25	18	25
15	29	XT2L160 MA 52	392	A50	TA75DU42	29	42
18,5	35	XT2L160 MA 52	469	A50	TA75DU52	36	52
22	41	XT2L160 MA 52	547	A50	TA75DU52	36	52
30	55	XT2L160 MA 80	840	A63	TA75DU80	60	80
37	66	XT2L160 MA 80	960	A75	TA75DU80	60	80
45	80	XT2L160 MA 100	1200	A95	TA110DU110	80	110
55	97	XT4L250 Ekip-I In160	1360	A110	TA110DU110	80	110
75	132	XT4L250 Ekip-I In250	1875	A145	E200DU200	60	200
90	160	XT4L250 Ekip-I In250	2500	A185	E200DU200	60	200
110	195	T4L320 PR221-I In320	2720	A210	E320DU320	100	320
132	230	T5L400 PR221-I In400	3200	A260	E320DU320	100	320
160	280	T5L400 PR221-I In400	4000	A300	E320DU320	100	320
200	350	T5L630 PR221-I In630	5040	AF400	E500DU500	150	500
250	430	T6L630 PR221-I In630	6300	AF460	E500DU500	150	500
290	520	T6L800 PR221-I In800	7200	AF580	E800DU800	250	800
315	540	T6L800 PR221-I In800	8000	AF580	E800DU800	250	800
355	610	T6L800 PR221-I In800	8000	AF750	E800DU800	250	800

MA: регулируемый расцепитель только магнитного типа

MF: фиксированный расцепитель только магнитного типа

2 Защита электрического оборудования

**Таблица 7: 400 В 35 кА Прямой пуск Нормальный тип 2
(Tmax XT/T - Контактор - EOL)**

Двигатель		Авт. выключатель в литом корпусе MCCB		Контактор	Тепловое реле перегрузки		
Номин. мощность [кВт]	Номин. ток [А]	Тип	I ₃ [А]	Тип	Тип	Уставка тока [А]	
						мин.	макс.
0,37	1,1	XT2N160 MF 2	28	A9	E16DU2.7	0,9	2,7
0,55	1,5	XT2N160 MF 2	28	A9	E16DU2.7	0,9	2,7
0,75	1,9	XT2N160 MF 2	28	A9	E16DU2.7	0,9	2,7
1,1	2,7	XT2N160 MF 4	56	A9	E16DU6.3	2	6,3
1,5	3,6	XT2N160 MF 4	56	A16	E16DU6.3	2	6,3
2,2	4,9	XT2N160 MF 8.5	120	A26	E16DU6.3	2	6,3
3	6,5	XT2N160 MF 8.5	120	A26	E16DU18.9	5,7	18,9
4	8,5	XT2N160 MF 12.5	175	A30	E16DU18.9	5,7	18,9
5,5	11,5	XT2N160 MF 12.5	175	A30	E16DU18.9	5,7	18,9
7,5	15,5	XT2N160 MA 20	210	A30	E16DU18.9	5,7	18,9
11	22	XT2N160 MA 32	288	A30	E45DU45	15	45
15	29	XT2N160 MA 52	392	A50	E45DU45	15	45
18,5	35	XT2N160 MA 52	469	A50	E80DU80	27	80
22	41	XT2N160 MA 52	547	A50	E80DU80	27	80
30	55	XT2N160 MA 80	840	A63	E80DU80	27	80
37	66	XT2N160 MA 80	960	A75	E80DU80	27	80
45	80	XT2N160 MA 100	1200	A95	E140DU140	50	140
55	97	XT3N250 MA 160	1440	A110	E200DU200	60	200
75	132	XT3N250 MA 200	1800	A145	E200DU200	60	200
90	160	XT3N250 MA 200	2400	A185	E200DU200	60	200
110	195	T4N320 PR221-I In320	2720	A210	E320DU320	100	320
132	230	T5N400 PR221-I In400	3200	A260	E320DU320	100	320
160	280	T5N400 PR221-I In400	4000	A300	E320DU320	100	320
200	350	T5N630 PR221-I In630	5040	AF400	E500DU500	150	500
250	430	T6N630 PR221-I In630	6300	AF460	E500DU500	150	500
290	520	T6N800 PR221-I In800	7200	AF580	E800DU800	250	800
315	540	T6N800 PR221-I In800	8000	AF580	E800DU800	250	800
355	610	T6N800 PR221-I In800	8000	AF750	E800DU800	250	800

2 Защита электрического оборудования

Таблица 8: 400 В 50 кА Прямой пуск Нормальный тип 2
(Tmax XT/T - Контактор - EOL)

Двигатель		Авт. выключатель в литом корпусе MCCB		Контактор	Тепловое реле перегрузки		
Номин. мощность [кВт]	Номин. ток [А]	Тип	I_3 [А]	Тип	Тип	Уставка тока [А]	
						мин.	макс.
0,37	1,1	XT2S160 MF 2	28	A9	E16DU2.7	0,9	2,7
0,55	1,5	XT2S160 MF 2	28	A9	E16DU2.7	0,9	2,7
0,75	1,9	XT2S160 MF 2	28	A9	E16DU2.7	0,9	2,7
1,1	2,7	XT2S160 MF 4	56	A9	E16DU6.3	2	6,3
1,5	3,6	XT2S160 MF 4	56	A16	E16DU6.3	2	6,3
2,2	4,9	XT2S160 MF 8.5	120	A26	E16DU6.3	2	6,3
3	6,5	XT2S160 MF 8.5	120	A26	E16DU18.9	5,7	18,9
4	8,5	XT2S160 MF 12.5	175	A30	E16DU18.9	5,7	18,9
5,5	11,5	XT2S160 MF 12.5	175	A30	E16DU18.9	5,7	18,9
7,5	15,5	XT2S160 MA 20	210	A30	E16DU18.9	5,7	18,9
11	22	XT2S160 MA 32	288	A30	E45DU45	15	45
15	29	XT2S160 MA 52	392	A50	E45DU45	15	45
18,5	35	XT2S160 MA 52	469	A50	E80DU80	27	80
22	41	XT2S160 MA 52	547	A50	E80DU80	27	80
30	55	XT2S160 MA 80	840	A63	E80DU80	27	80
37	66	XT2S160 MA 80	960	A75	E80DU80	27	80
45	80	XT2S160 MA 100	1200	A95	E140DU140	50	140
55	97	XT3S250 MA 160	1440	A110	E200DU200	60	200
75	132	XT3S250 MA 200	1800	A145	E200DU200	60	200
90	160	XT3S250 MA 200	2400	A185	E200DU200	60	200
110	195	T4S320 PR221-I In320	2720	A210	E320DU320	100	320
132	230	T5S400 PR221-I In400	3200	A260	E320DU320	100	320
160	280	T5S400 PR221-I In400	4000	A300	E320DU320	100	320
200	350	T5S630 PR221-I In630	5040	AF400	E500DU500	150	500
250	430	T6S630 PR221-I In630	6300	AF460	E500DU500	150	500
290	520	T6S800 PR221-I In800	7200	AF580	E800DU800	250	800
315	540	T6S800 PR221-I In800	8000	AF580	E800DU800	250	800
355	610	T6S800 PR221-I In800	8000	AF750	E800DU800	250	800

2 Защита электрического оборудования

**Таблица 9: 400 В 70 кА Прямой пуск Нормальный тип 2
(Tmax XT/T - Контактор - EOL)**

Двигатель		Авт. выключатель в литом корпусе MCCB		Контактор	Тепловое реле перегрузки		
Номинал. мощность [кВт]	Номинал. ток [А]	Тип	I ₃ [А]	Тип	Тип	Уставка тока [А]	
						мин.	макс.
0,37	1,1	XT2H160 MF 2	28	A9	E16DU2.7	0,9	2,7
0,55	1,5	XT2H160 MF 2	28	A9	E16DU2.7	0,9	2,7
0,75	1,9	XT2H160 MF 2	28	A9	E16DU2.7	0,9	2,7
1,1	2,7	XT2H160 MF 4	56	A16	E16DU6.3	2	6,3
1,5	3,6	XT2H160 MF 4	56	A26	E16DU6.3	2	6,3
2,2	4,9	XT2H160 MF 8.5	120	A26	E16DU6.3	2	6,3
3	6,5	XT2H160 MF 8.5	120	A26	E16DU18.9	5,7	18,9
4	8,5	XT2H160 MF 12.5	175	A30	E16DU18.9	5,7	18,9
5,5	11,5	XT2H160 MF 12.5	175	A50	E16DU18.9	5,7	18,9
7,5	15,5	XT2H160 MA 20	210	A50	E16DU18.9	5,7	18,9
11	22	XT2H160 MA 32	288	A50	E45DU45	15	45
15	29	XT2H160 MA 52	392	A50	E45DU45	15	45
18,5	35	XT2H160 MA 52	469	A50	E80DU80	27	80
22	41	XT2H160 MA 52	547	A50	E80DU80	27	80
30	55	XT2H160 MA 80	840	A63	E80DU80	27	80
37	66	XT2H160 MA 80	960	A75	E80DU80	27	80
45	80	XT2H160 MA 100	1200	A95	E140DU140	50	140
55	97	XT4H250 Ekip-I In160	1360	A110	E200DU200	60	200
75	132	XT4H250 Ekip-I In250	1875	A145	E200DU200	60	200
90	160	XT4H250 Ekip-I In250	2500	A185	E200DU200	60	200
110	195	T4H320 PR221-I In320	2720	A210	E320DU320	100	320
132	230	T5H400 PR221-I In400	3200	A260	E320DU320	100	320
160	280	T5H400 PR221-I In400	4000	A300	E320DU320	100	320
200	350	T5H630 PR221-I In630	5040	AF400	E500DU500	150	500
250	430	T6H630 PR221-I In630	6300	AF460	E500DU500	150	500
290	520	T6H800 PR221-I In800	7200	AF580	E800DU800	250	800
315	540	T6H800 PR221-I In800	8000	AF580	E800DU800	250	800
355	610	T6H800 PR221-I In800	8000	AF750	E800DU800	250	800

2 Защита электрического оборудования

**Таблица 10: 400 В 80 кА Прямой пуск Нормальный тип 2
(Tmax XT/T - Контактор - EOL)**

Двигатель		Авт. выключатель в литом корпусе MCCB		Контактор	Тепловое реле перегрузки		
Номин. мощность [кВт]	Номин. ток [А]	Тип	I_3 [А]	Тип	Тип	Уставка тока [А]	
						мин.	макс.
0,37	1,1	XT2L160 MF 2	28	A9	E16DU2.7	0,9	2,7
0,55	1,5	XT2L160 MF 2	28	A9	E16DU2.7	0,9	2,7
0,75	1,9	XT2L160 MF 2	28	A9	E16DU2.7	0,9	2,7
1,1	2,7	XT2L160 MF 4	56	A16	E16DU6.3	2	6,3
1,5	3,6	XT2L160 MF 4	56	A26	E16DU6.3	2	6,3
2,2	4,9	XT2L160 MF 8.5	120	A26	E16DU6.3	2	6,3
3	6,5	XT2L160 MF 8.5	120	A26	E16DU18.9	5,7	18,9
4	8,5	XT2L160 MF 12.5	175	A30	E16DU18.9	5,7	18,9
5,5	11,5	XT2L160 MF 12.5	175	A50	E16DU18.9	5,7	18,9
7,5	15,5	XT2L160 MA 20	210	A50	E16DU18.9	5,7	18,9
11	22	XT2L160 MA 32	288	A50	E45DU45	15	45
15	29	XT2L160 MA 52	392	A50	E45DU45	15	45
18,5	35	XT2L160 MA 52	469	A50	E80DU80	27	80
22	41	XT2L160 MA 52	547	A50	E80DU80	27	80
30	55	XT2L160 MA 80	840	A63	E80DU80	27	80
37	66	XT2L160 MA 80	960	A75	E80DU80	27	80
45	80	XT2L160 MA 100	1200	A95	E140DU140	50	140
55	97	XT4L250 Ekip-I In160	1360	A110	E200DU200	60	200
75	132	XT4L250 Ekip-I In250	1875	A145	E200DU200	60	200
90	160	XT4L250 Ekip-I In250	2500	A185	E200DU200	60	200
110	195	T4L320 PR221-I In320	2720	A210	E320DU320	100	320
132	230	T5L400 PR221-I In400	3200	A260	E320DU320	100	320
160	280	T5L400 PR221-I In400	4000	A300	E320DU320	100	320
200	350	T5L630 PR221-I In630	5040	AF400	E500DU500	150	500
250	430	T6L630 PR221-I In630	6300	AF460	E500DU500	150	500
290	520	T6L800 PR221-I In800	7200	AF580	E800DU800	250	800
315	540	T6L800 PR221-I In800	8000	AF580	E800DU800	250	800
355	610	T6L800 PR221-I In800	8000	AF750	E800DU800	250	800

2 Защита электрического оборудования

Таблица 11: 400 В 50 кА Прямой пуск Нормальный тип 2
(Tmax XT/T - Контактор - TOR/EOL)

Двигатель		Авт. выключатель в литом корпусе MCCB		Контактор	Тепловое реле перегрузки		
Номинал. мощность [кВт]	Номинал. ток [А]	Тип	I ₃ [А]	Тип	Тип	Уставка тока [А]	
						мин.	макс.
0,37	1	XT2S160 MF 1	14	A9	TA25DU1.4	1	1,4
0,55	1,3	XT2S160 MF 2	28	A9	TA25DU1.8	1,3	1,8
0,75	1,7	XT2S160 MF 2	28	A9	TA25DU2.4	1,7	2,4
1,1	2,4	XT2S160 MF 4	56	A9	TA25DU3.1	2,2	3,1
1,5	3,2	XT2S160 MF 4	56	A16	TA25DU4	2,8	4
2,2	4,3	XT2S160 MF 8.5	120	A26	TA25DU5	3,5	5
3	5,7	XT2S160 MF 8.5	120	A26	TA25DU6.5	4,5	6,5
4	7,4	XT2S160 MF 8.5	120	A30	TA25DU11	7,5	11
5,5	10,1	XT2S160 MF 12	175	A30	TA25DU14	10	14
7,5	13,6	XT2S160 MA 20	180	A30	TA25DU19	13	19
11	19,3	XT2S160 MA 32	240	A30	TA42DU25	18	25
15	25,4	XT2S160 MA 32	336	A50	TA75DU32	22	32
18,5	30,7	XT2S160 MA 52	469	A50	TA75DU42	29	42
22	35,9	XT2S160 MA 52	547	A50	TA75DU52	36	52
30	48,2	XT2S160 MA 80	720	A63	TA75DU63	45	63
37	58	XT2S160 MA 80	840	A75	TA75DU80	60	80
45	70	XT2S160 MA 100	1050	A95	TA110DU90	65	90
55	85	XT4S250 Ekip-I In160	1200	A110	TA110DU110	80	110
75	116	XT4S250 Ekip-I In250	1750	A145	E200DU200	60	200
90	140	XT4S250 Ekip-I In250	2000	A185	E200DU200	60	200
110	171	XT4S250 Ekip-I In250	2500	A210	E320DU320	100	320
132	202	T5H400 PR221-I In320	3200	A260	E320DU320	100	320
160	245	T5H400 PR221-I In400	3600	A300	E320DU320	100	320
200	307	T5H630 PR221-I In630	4410	AF 400	E500DU500	150	500
250	377	T6H630 PR221-I In630	5355	AF 460	E500DU500	150	500
290	448	T6H630 PR221-I In630	6300	AF 580	E500DU500*	150	500
315	473	T6H800 PR221-I In800	7200	AF 580	E800DU800	250	800
355	535	T6H800 PR221-I In800	8000	AF 580	E800DU800	250	800

(*) Комплекта соединений не имеется. Для использования комплекта соединений необходима замена на реле E800DU800

MA: регулируемый расцепитель только магнитного типа
MF: фиксированный расцепитель только магнитного типа

2 Защита электрического оборудования

**Таблица 12: 440 В 65 кА Прямой пуск Нормальный тип 2
(Tmax XT/T - Контактор - TOR/EOL)**

Двигатель		Авт. выкл. в литом корпусе MCCB		Контактор	Тепловое реле перегрузки		
Номинал. мощность [кВт]	Номинал. ток [А]	Тип	I ₃ [А]	Тип	Тип	Уставка тока [А]	
						мин.	макс.
0,37	1	XT2H160 MF 1	14	A9	TA25DU1.4	1	1,4
0,55	1,3	XT2H160 MF 2	28	A9	TA25DU1.8	1,3	1,8
0,75	1,7	XT2H160 MF 2	28	A9	TA25DU2.4	1,7	2,4
1,1	2,4	XT2H160 MF 4	56	A16	TA25DU3.1	2,2	3,1
1,5	3,2	XT2H160 MF 4	56	A16	TA25DU4	2,8	4
2,2	4,3	XT2H160 MF 8.5	120	A26	TA25DU5	3,5	5
3	5,7	XT2H160 MF 8.5	120	A30	TA25DU6.5	4,5	6,5
4	7,4	XT2H160 MF 8.5	120	A30	TA25DU11	7,5	11
5,5	10,1	XT2H160 MF 12.5	175	A30	TA25DU14	10	14
7,5	13,6	XT2H160 MA 20	180	A30	TA25DU19	13	19
11	19,3	XT2H160 MA 32	240	A50	TA42DU25	18	25
15	25,4	XT2H160 MA 32	336	A50	TA75DU32	22	32
18,5	30,7	XT2H160 MA 52	469	A50	TA75DU42	29	42
22	35,9	XT2H160 MA 52	547	A50	TA75DU52	36	52
30	48,2	XT2H160 MA 80	720	A63	TA75DU63	45	63
37	58	XT2H160 MA 80	840	A75	TA75DU80	60	80
45	70	XT2H160 MA 100	1050	A95	TA110DU90	65	90
55	85	XT4H250 Ekip-I In160	1200	A110	TA110DU110	80	110
75	116	XT4H250 Ekip-I In250	1750	A145	E200DU200	60	200
90	140	XT4H250 Ekip-I In250	2000	A185	E200DU200	60	200
110	171	XT4H250 Ekip-I In250	2500	A210	E320DU320	100	320
132	202	T5H400 PR221-I In320	3200	A260	E320DU320	100	320
160	245	T5H400 PR221-I In400	3600	A300	E320DU320	100	320
200	307	T5H630 PR221-I In630	4410	AF 400	E500DU500	150	500
250	377	T6L630 PR221-I In630	5355	AF 460	E500DU500	150	500
290	448	T6L630 PR221-I In630	6300	AF 580	E500DU500*	150	500
315	473	T6L800 PR221-I In800	7200	AF 580	E800DU800	250	800
355	535	T6L800 PR221-I In800	8000	AF 580	E800DU800	250	800

(*) Комплекта соединений не имеется. Для использования комплекта соединений необходима замена на реле E800DU800

MA: регулируемый расцепитель только магнитного типа

MF: фиксированный расцепитель только магнитного типа

2 Защита электрического оборудования

**Таблица 13: 440 В 50 кА Прямой пуск Нормальный тип 2
(Tmax XT/T - Контактр - EOL)**

Двигатель		Авт. выкл. в литом корпусе MCCB		Контактр	Тепловое реле перегрузки		
Номинал. мощность [кВт]	Номинал. ток [А]	Тип	I ₃ [А]	Тип	Тип	Уставка тока [А]	
						мин.	макс.
0,37	1	XT2S160 MF 1	14	A9	E16DU2.7	0,9	2,7
0,55	1,3	XT2S160 MF 2	28	A9	E16DU2.7	0,9	2,7
0,75	1,7	XT2S160 MF 2	28	A9	E16DU2.7	0,9	2,7
1,1	2,4	XT2S160 MF 4	56	A9	E16DU2.7	0,9	2,7
1,5	3,2	XT2S160 MF 4	56	A16	E16DU6.3	2	6,3
2,2	4,3	XT2S160 MF 8.5	120	A26	E16DU6.3	2	6,3
3	5,7	XT2S160 MF 8.5	120	A26	E16DU6.3	2	6,3
4	7,4	XT2S160 MF 8.5	120	A30	E16DU18.9	5,7	18,9
5,5	10,1	XT2S160 MF 12	175	A30	E16DU18.9	5,7	18,9
7,5	13,6	XT2S160 MA 20	180	A30	E16DU18.9	5,7	18,9
11	19,3	XT2S160 MA 32	240	A30	E45DU45	15	45
15	25,4	XT2S160 MA 32	336	A50	E45DU45	15	45
18,5	30,7	XT2S160 MA 52	469	A50	E45DU45	15	45
22	35,9	XT2S160 MA 52	547	A50	E45DU45	15	45
30	48,2	XT2S160 MA 80	720	A63	E80DU80	27	80
37	58	XT2S160 MA 80	840	A75	E80DU80	27	80
45	70	XT2S160 MA 100	1050	A95	E140DU140	50	140
55	85	XT4S250 Ekip-I In160	1200	A110	E200DU200	60	200
75	116	XT4S250 Ekip-I In250	1750	A145	E200DU200	60	200
90	140	XT4S250 Ekip-I In250	2000	A185	E200DU200	60	200
110	171	XT4S250 Ekip-I In250	2500	A210	E320DU320	100	320
132	202	T5H400 PR221-I In320	3200	A260	E320DU320	100	320
160	245	T5H400 PR221-I In400	3600	A300	E320DU320	100	320
200	307	T5H630 PR221-I In630	4410	AF 400	E500DU500	150	500
250	377	T6H630 PR221-I In630	5355	AF 460	E500DU500	150	500
290	448	T6H630 PR221-I In630	7560	AF 580	E800DU800	250	800
315	473	T6H800 PR221-I In800	8000	AF 580	E800DU800	250	800
355	535	T6H800 PR221-I In800	9600	AF 580	E800DU800	250	800

2 Защита электрического оборудования

**Таблица 14: 440 В 65 кА Прямой пуск Нормальный тип 2
(Tmax XT/T - Контактор - TOR/EOL)**

Двигатель		Авт. выкл. в литом корпусе MCCB		Контактор	Тепловое реле перегрузки		
Номин. мощность [кВт]	Номин. ток [А]	Тип	I ₃ [А]	Тип	Тип	Уставка тока [А]	
						мин.	макс.
0,37	1	XT2H160 MF 1	14	A9	E16DU2.7	0,9	2,7
0,55	1,3	XT2H160 MF 2	28	A9	E16DU2.7	0,9	2,7
0,75	1,7	XT2H160 MF 2	28	A9	E16DU2.7	0,9	2,7
1,1	2,4	XT2H160 MF 4	56	A16	E16DU2.7	0,9	2,7
1,5	3,2	XT2H160 MF 4	56	A16	E16DU6.3	2	6,3
2,2	4,3	XT2H160 MF 8.5	120	A26	E16DU6.3	2	6,3
3	5,7	XT2H160 MF 8.5	120	A30	E16DU6.3	2	6,3
4	7,4	XT2H160 MF 8.5	120	A30	E16DU18.9	5,7	18,9
5,5	10,1	XT2H160 MF 12.5	175	A30	E16DU18.9	5,7	18,9
7,5	13,6	XT2H160 MA 20	180	A30	E16DU18.9	5,7	18,9
11	19,3	XT2H160 MA 32	240	A50	E45DU45	15	45
15	25,4	XT2H160 MA 32	336	A50	E45DU45	15	45
18,5	30,7	XT2H160 MA 52	469	A50	E45DU45	15	45
22	35,9	XT2H160 MA 52	547	A50	E45DU45	15	45
30	48,2	XT2H160 MA 80	720	A63	E80DU80	27	80
37	58	XT2H160 MA 80	840	A75	E80DU80	27	80
45	70	XT2H160 MA 100	1050	A95	E140DU140	50	140
55	85	XT4H250 Ekip-I In160	1200	A110	E200DU200	60	200
75	116	XT4H250 Ekip-I In250	1750	A145	E200DU200	60	200
90	140	XT4H250 Ekip-I In250	2000	A185	E200DU200	60	200
110	171	XT4H250 Ekip-I In250	2500	A210	E320DU320	100	320
132	202	T5H400 PR221-I In320	3200	A260	E320DU320	100	320
160	245	T5H400 PR221-I In400	3600	A300	E320DU320	100	320
200	307	T5H630 PR221-I In630	4410	AF 400	E500DU500	150	500
250	377	T6L630 PR221-I In630	5355	AF 460	E500DU500	150	500
290	448	T6L630 PR221-I In630	6300	AF 580	E800DU800	250	800
315	473	T6L800 PR221-I In800	7200	AF 580	E800DU800	250	800
355	535	T6L800 PR221-I In800	8000	AF 580	E800DU800	250	800

2 Защита электрического оборудования

**Таблица 15: 500 В 50 кА Прямой пуск Нормальный тип 2
(Tmax XT/T - Контактор - TOR/EOL)**

Двигатель		Авт. выкл. в литом корпусе MCCB		Контактор	Тепловое реле перегрузки		
Номинал. мощность [кВт]	Номинал. ток [А]	Тип	I ₃ [А]	Тип	Тип	Уставка тока [А]	
						мин.	макс.
0,37	0,88	XT2H160 MF 1	14	A9	TA25DU1.0	0,63	1
0,55	1,2	XT2H160 MF 2	28	A9	TA25DU1.4	1	1,4
0,75	1,5	XT2H160 MF 2	28	A9	TA25DU1.8	1,3	1,8
1,1	2,2	XT2H160 MF 4	56	A9	TA25DU3.1	2,2	3,1
1,5	2,8	XT2H160 MF 4	56	A16	TA25DU4	2,8	4
2,2	3,9	XT2H160 MF 8.5	120	A26	TA25DU5	3,5	5
3	5,2	XT2H160 MF 8.5	120	A26	TA25DU6.5	4,5	6,5
4	6,8	XT2H160 MF 8.5	120	A30	TA25DU8.5	6	8,5
5,5	9,2	XT2H160 MF 12.5	175	A30	TA25DU11	7,5	11
7,5	12,4	XT2H160 MF 12.5	163	A30	TA25DU14	10	14
11	17,6	XT2H160 MA 20	240	A30	TA25DU19	13	19
15	23	XT2H160 MA 32	336	A50	TA75DU25	18	25
18,5	28	XT2H160 MA 52	392	A50	TA75DU32	22	32
22	33	XT2H160 MA 52	469	A50	TA75DU42	29	42
30	44	XT2H160 MA 52	624	A63	TA75DU52	36	52
37	53	XT2H160 MA 80	840	A75	TA75DU63	45	63
45	64	XT2H160 MA 80	960	A95	TA80DU80	60	80
55	78	XT2H160 MA 100	1200	A110	TA110DU90	65	90
75	106	XT4H250 Ekip-I In160	1440	A145	E200DU200	60	200
90	128	XT4H250 Ekip-I In250	1875	A145	E200DU200	60	200
110	156	XT4H250 Ekip-I In250	2250	A185	E200DU200	60	200
132	184	T4H320 PR221-I In320	2720	A210	E320DU320	100	320
160	224	T5H400 PR221-I In400	3600	A260	E320DU320	100	320
200	280	T5H400 PR221-I In400	4000	A300	E320DU320	100	320
250	344	T5H630 PR221-I In630	4725	AF400	E500DU500	150	500
290	394	T6H630 PR221-I In630	5040	AF460	E500DU500	150	500
315	432	T6H630 PR221-I In630	6300	AF580	E500DU500*	150	500
355	488	T6H630 PR221-I In630	6300	AF580	E800DU800	250	800

(*) Комплекта соединений не имеется. Для использования комплекта соединений необходима замена на реле E800DU800

2 Защита электрического оборудования

**Таблица 16: 500 В 50 кА Прямой пуск Нормальный тип 2
(Tmax XT/T - Контактор - EOL)**

Двигатель		Авт. выкл. в литом корпусе MCCB		Контактор	Тепловое реле перегрузки		
Номин. мощность [кВт]	Номин. ток [А]	Тип	I ₃ [А]	Тип	Тип	Уставка тока [А]	
						мин.	макс.
0,37	0,88	XT2H160 MF 1	14	A9	E16DU2.7	0,9	2,7
0,55	1,2	XT2H160 MF 2	28	A9	E16DU2.7	0,9	2,7
0,75	1,5	XT2H160 MF 2	28	A9	E16DU2.7	0,9	2,7
1,1	2,2	XT2H160 MF 4	56	A9	E16DU2.7	0,9	2,7
1,5	2,8	XT2H160 MF 4	56	A16	E16DU6.3	2	6,3
2,2	3,9	XT2H160 MF 8.5	120	A26	E16DU6.3	2	6,3
3	5,2	XT2H160 MF 8.5	120	A26	E16DU6.3	2	6,3
4	6,8	XT2H160 MF 8.5	120	A30	E16DU18.9	5,7	18,9
5,5	9,2	XT2H160 MF 12.5	175	A30	E16DU18.9	5,7	18,9
7,5	12,4	XT2H160 MF 12.5	163	A50	E16DU18.9	5,7	18,9
11	17,6	XT2H160 MA 20	240	A50	E45DU45	15	45
15	23	XT2H160 MA 32	336	A50	E45DU45	15	45
18,5	28	XT2H160 MA 52	392	A50	E45DU45	15	45
22	33	XT2H160 MA 52	469	A50	E45DU45	15	45
30	44	XT2H160 MA 52	624	A63	E80DU80	27	80
37	53	XT2H160 MA 80	840	A75	E80DU80	27	80
45	64	XT2H160 MA 80	960	A95	E140DU140	50	140
55	78	XT2H160 MA 100	1200	A110	E200DU200	60	200
75	106	XT4H250 Ekip-I In160	1440	A145	E200DU200	60	200
90	128	XT4H250 Ekip-I In250	1875	A145	E200DU200	60	200
110	156	XT4H250 Ekip-I In250	2250	A185	E320DU320	100	320
132	184	T4H320 PR221-I In320	2720	A210	E320DU320	100	320
160	224	T5H400 PR221-I In400	3600	A260	E320DU320	100	320
200	280	T5H400 PR221-I In400	4000	A300	E500DU500	150	500
250	344	T5H630 PR221-I In630	4725	AF400	E500DU500	150	500
290	394	T6H630 PR221-I In630	5040	AF460	E800DU800	250	800
315	432	T6H630 PR221-I In630	6300	AF580	E800DU800	250	800
355	488	T6H630 PR221-I In630	6300	AF580	E800DU800	250	800

2 Защита электрического оборудования

Таблица 17: 690 В 25 кА Прямой пуск Нормальный тип 2
(Tmax ХТ - Контактор - TOR/EOL)

Двигатель		Авт. выкл. в литом корпусе MCCB		Контактор	KORC		Тепловое реле перегрузки		
Номинал. мощн. [кВт]	Номинал. ток [А]	Тип	I ₃ [А]	Тип	Тип	Число витков	Тип	Уставка тока [А]	
								мин.	макс.
0,37	0,64	XT2V160 MF 1	14	A9			TA25DU1	0,6	1
0,55	0,87	XT2V160 MF 1	14	A9			TA25DU1	0,6	1
0,75	1,1	XT2V160 MF 2	28	A9			TA25DU1.4	1	1,4
1,1	1,6	XT2V160 MF 2	28	A9			TA25DU1.8	1,3	1,8
1,5	2,1	XT2V160 MF 4	56	A9			TA25DU2.4	1,7	2,4
2,2	2,8	XT2V160 MF 4	56	A9			TA25DU3.1 *	2,2	3,1
3	3,8	XT2V160 MF 4	56	A9			TA25DU4 *	2,8	4
4	4,9	XT2V160 MF 8.5	120	A9			TA25DU5 *	3,5	5
5,5	6,7	XT2V160 MF 8.5	120	A9			TA25DU6.5	6	5
		XT4V250 EKIP-I In 100	150	A95	4L185R/4	13**	TA25DU2.4	6	5
7,5	8,9	XT4V250 EKIP-I In 100	150	A95	4L185R/4	10**	TA25DU2.4	7,9	11,1
11	12,8	XT4V250 EKIP-I In 100	200	A95	4L185R/4	7**	TA25DU2.4	11,2	15,9
15	17	XT4V250 EKIP-I In 100	250	A95	4L185R/4	7**	TA25DU3.1	15,2	20,5
18,5	21	XT4V250 EKIP-I In 100	300	A95	4L185R/4	6	TA25DU3.1	17,7	23,9
22	24	XT4V250 EKIP-I In 100	350	A95	4L185R/4	6	TA25DU4	21,6	30,8
30	32	XT4V250 EKIP-I In 100	450	A145	4L185R/4	6	TA25DU5	27	38,5
37	39	XT4V250 EKIP-I In 100	550	A145	4L185R/4	4	TA25DU4	32,4	46,3
45	47	XT4V250 EKIP-I In 100	700	A145	4L185R/4	4	TA25DU5	40,5	57,8
55	57	XT4V250 EKIP-I In 100	800	A145	4L185R/4	3	TA25DU5	54	77,1
75	77	XT4V250 EKIP-I In 160	1120	A145			E200DU200	65	200
90	93	XT4V250 EKIP-I In 160	1280	A145			E200DU200	65	200
110	113	XT4V250 EKIP-I In 250	1625	A145			E200DU200	65	200
132	134	XT4V250 EKIP-I In 250	2000	A185			E200DU200	65	200
160	162	XT4V250 EKIP-I In 250	2250	A185			E200DU200	65	200

(*) Координация типа 1
(**) Поперечное сечение кабеля равно 4мм²
(***) Комплекта соединений для контактора не имеется

MA: регулируемый расцепитель только магнитного типа
MF: фиксированный расцепитель только магнитного типа

2 Защита электрического оборудования

Таблица 18: 690 В 50 кА Прямой пуск Нормальный тип 2
(Tmax T - Контактор - TOR/EOL)

Двигатель		Авт. выкл. в литом корпусе MCCB		Контактор	KORC		Тепловое реле перегрузки		
Номинал. мощн. [кВт]	Номинал. ток [А]	Тип	I ₃ [А]	Тип	Тип	Число витков	Тип	Уставка тока [А]	
								мин.	макс.
0,37	0,64	T2L160 MF1	13	A9			TA25DU1	0,6	1
0,55	0,87	T2L160 MF1	13	A9			TA25DU1	0,6	1
0,75	1,1	T2L160 MF 1.6	21	A9			TA25DU1.4	1	1,4
1,1	1,6	T2L160 MF 1.6	21	A9			TA25DU1.8	1,3	1,8
1,5	2,1	T2L160 MF 2.5	33	A9			TA25DU2.4;	1,7	2,4
2,2	2,8	T2L160 MF 3.2	42	A9			TA25DU3.1 *	2,2	3,1
3	3,8	T2L160 MF 4	52	A9			TA25DU4 *	2,8	4
4	4,9	T2L160 MF 5	65	A9			TA25DU5 *	3,5	5
5,5	6,7	T2L160 MF 6.5	84	A9			TA25DU6.5	4,5	6,5
		T4L250 PR221-I In 100	150	A95	4L185R/4	13**	TA25DU2.4	6	8,5
7,5	8,9	T4L250 PR221-I In 100	150	A95	4L185R/4	10**	TA25DU2.4	7,9	11,1
11	12,8	T4L250 PR221-I In 100	200	A95	4L185R/4	7**	TA25DU2.4	11,2	15,9
15	17	T4L250 PR221-I In 100	250	A95	4L185R/4	7**	TA25DU3.1	15,2	20,5
18,5	21	T4L250 PR221-I In 100	300	A95	4L185R/4	6	TA25DU3.1	17,7	23,9
22	24	T4L250 PR221-I In 100	350	A95	4L185R/4	6	TA25DU4	21,6	30,8
30	32	T4L250 PR221-I In 100	450	A145	4L185R/4	6	TA25DU5	27	38,5
37	39	T4L250 PR221-I In 100	550	A145	4L185R/4	4	TA25DU4	32,4	46,3
45	47	T4L250 PR221-I In 100	700	A145	4L185R/4	4	TA25DU5	40,5	57,8
55	57	T4L250 PR221-I In 100	800	A145	4L185R/4	3	TA25DU5	54	77,1
75	77	T4L250 PR221-I In 160	1120	A145			E200DU200	65	200
90	93	T4L250 PR221-I In 160	1280	A145			E200DU200	65	200
110	113	T4L250 PR221-I In 250	1625	A145			E200DU200	65	200
132	134	T4L250 PR221-I In 250	2000	A185			E200DU200	65	200
160	162	T4L250 PR221-I In 250	2250	A185			E200DU200	65	200
200	203	T5L400 PR221-I In 320	2720	A210			E320DU320	105	320
250	250	T5L400 PR221-I In 400	3400	A300			E320DU320	105	320
290	301	T5L630 PR221-I In 630	4410	AF400			E500DU500	150	500
315	313	T5L630 PR221-I In 630	4410	AF400			E500DU500	150	500
355	354	T5L630 PR221-I In 630	5355	AF580			E500DU500***	150	500

(*) Координация типа 1
(**) Поперечное сечение кабеля равно 4мм²
(***) Комплекта соединений для контактора не имеется

MA: регулируемый расцепитель только магнитного типа
MF: фиксированный расцепитель только магнитного типа

2 Защита электрического оборудования

Таблица 19: 400 В 35 кА Прямой пуск Тяжелый тип 2
(Tmax ХТ/Т - Контактор - TOR/EOL)

Двигатель		Авт. выкл. в литом корпусе MCCB		Контактор	Тепловое реле перегрузки			
Номин. мощность [кВт]	Номин. ток [А]	Тип	I ₃ [А]	Тип	Тип*	Число витков первич- ной обмотки	Уставка тока [А]	
							мин.	макс.
0,37	1,1	XT2N160 MF 2	28	A9	TA25DU1.4 ^		1	1,4
0,55	1,5	XT2N160 MF 2	28	A9	TA25DU1.8 ^		1,3	1,8
0,75	1,9	XT2N160 MF 2	28	A9	TA25DU2.4 ^		1,7	2,4
1,1	2,7	XT2N160 MF 4	56	A9	TA25DU4 ^		2,8	4
1,5	3,6	XT2N160 MF 4	56	A16	TA25DU5 ^		3,5	5
2,2	4,9	XT2N160 MF 8.5	120	A26	TA25DU6.5 ^		4,5	6,5
3	6,5	XT2N160 MF 8.5	120	A26	TA25DU8.5 ^		6	8,5
4	8,5	XT2N160 MF 12.5	175	A30	TA25DU11 ^		7,5	11
5,5	11,5	XT2N160 MF 12.5	175	A30	TA450SU60	4	10	15
7,5	15,5	XT2N160 MA 20	210	A30	TA450SU60	3	13	20
11	22	XT2N160 MA 32	288	A30	TA450SU60	2	20	30
15	29	XT2N160 MA 52	392	A50	TA450SU80	2	23	40
18,5	35	XT2N160 MA 52	469	A50	TA450SU80	2	23	40
22	41	XT2N160 MA 52	547	A50	TA450SU60		40	60
30	55	XT2N160 MA 80	840	A63	TA450SU80		55	80
37	66	XT2N160 MA 80	960	A95	TA450SU80		55	80
45	80	XT2N160 MA 100	1200	A110	TA450SU105		70	105
55	97	XT3N250 MA 160	1440	A145	TA450SU140		95	140
75	132	XT3N250 MA 200	1800	A185	TA450SU185		130	185
90	160	XT3N250 MA 200	2400	A210	TA450SU185		130	185
110	195	T4N320 PR221-I In320	2720	A260	E320DU320^		100	320
132	230	T5N400 PR221-I In400	3200	A300	E320DU320^		100	320
160	280	T5N400 PR221-I In400	4000	AF400	E500DU500^		150	500
200	350	T5N630 PR221-I In630	5040	AF460	E500DU500^		150	500
250	430	T6N630 PR221-I In630	6300	AF580	E500DU500**^		150	500
290	520	T6N800 PR221-I In800	7200	AF750	E800DU800		250	800
315	540	T6N800 PR221-I In800	8000	AF750	E800DU800^		250	800
355	610	T6N800 PR221-I In800	8000	AF750	E800DU800^		250	800

Комментарии:
(^) Обеспечьте обходной контактор во время пуска двигателя
(*) Установите класс электронного расцепителя EOL на класс 30, используемый также для 415В
(**) Комплекта соединений не имеется. Для использования комплекта соединений необходима замена на реле E800DU800

MA: регулируемый расцепитель только магнитного типа
MF: фиксированный расцепитель только магнитного типа

2 Защита электрического оборудования

**Таблица 20: 400 В 50 кА Прямой пуск Тяжелый тип 2
(Tmax ХТ/Т - Контактор - TOR/EOL)**

Двигатель		Авт. выкл. в литом корпусе MCCB		Контактор	Тепловое реле перегрузки			
Номинал. мощность [кВт]	Номинал. ток [А]	Тип	I ₃ [А]	Тип	Тип*	Число витков первич- ной обмотки	Уставка тока [А]	
							мин.	макс.
0,37	1,1	XT2S160 MF 2	28	A9	TA25DU1.4 ^		1	1,4
0,55	1,5	XT2S160 MF 2	28	A9	TA25DU1.8 ^		1,3	1,8
0,75	1,9	XT2S160 MF 2	28	A9	TA25DU2.4 ^		1,7	2,4
1,1	2,7	XT2S160 MF 4	56	A9	TA25DU4 ^		2,8	4
1,5	3,6	XT2S160 MF 4	56	A16	TA25DU5 ^		3,5	5
2,2	4,9	XT2S160 MF 8.5	120	A26	TA25DU6.5 ^		4,5	6,5
3	6,5	XT2S160 MF 8.5	120	A26	TA25DU8.5 ^		6	8,5
4	8,5	XT2S160 MF 12.5	175	A30	TA25DU11 ^		7,5	11
5,5	11,5	XT2S160 MF 12.5	175	A30	TA450SU60	4	10	15
7,5	15,5	XT2S160 MA 20	210	A30	TA450SU60	3	13	20
11	22	XT2S160 MA 32	288	A30	TA450SU60	2	20	30
15	29	XT2S160 MA 52	392	A50	TA450SU80	2	23	40
18,5	35	XT2S160 MA 52	469	A50	TA450SU80	2	23	40
22	41	XT2S160 MA 52	547	A50	TA450SU60		40	60
30	55	XT2S160 MA 80	840	A63	TA450SU80		55	80
37	66	XT2S160 MA 80	960	A95	TA450SU80		55	80
45	80	XT2S160 MA 100	1200	A110	TA450SU105		70	105
55	97	XT3S250 MA 160	1440	A145	TA450SU140		95	140
75	132	XT3S250 MA 200	1800	A185	TA450SU185		130	185
90	160	XT3S250 MA 200	2400	A210	TA450SU185		130	185
110	195	T4S320 PR221-I In320	2720	A260	E320DU320		100	320
132	230	T5S400 PR221-I In400	3200	A300	E320DU320		100	320
160	280	T5S400 PR221-I In400	4000	AF400	E500DU500		150	500
200	350	T5S630 PR221-I In630	5040	AF460	E500DU500		150	500
250	430	T6S630 PR221-I In630	6300	AF580	E500DU500**		150	500
290	520	T6S800 PR221-I In800	7200	AF750	E800DU800		250	800
315	540	T6S800 PR221-I In800	8000	AF750	E800DU800		250	800
355	610	T6S800 PR221-I In800	8000	AF750	E800DU800		250	800

Комментарии:

(^) Обеспечьте обходной контактор во время пуска двигателя

(*) Установите класс электронного расцепителя EOL на класс 30, используемый также для 415В

(**) Комплекта соединений не имеется. Для использования комплекта соединений необходима замена на реле E800DU800

МА: регулируемый расцепитель только магнитного типа

MF: фиксированный расцепитель только магнитного типа

2 Защита электрического оборудования

Таблица 21: 440 В 50 кА Прямой пуск Тяжелый тип 2
(Tmax ХТ/Т - Контактор - TOR)

Двигатель		Авт. выкл. в литом корпусе MCCB		Контактор	Тепловое реле перегрузки			
Номинал. мощность [кВт]	Номинал. ток [А]	Тип	I ₃ [А]	Тип	Тип*	Число витков первич- ной обмотки	Уставка тока [А]	
							мин.	макс.
0,37	1	XT2S160 MF 1	14	A9	TA25DU1,4 ^		1	1,4
0,55	1,3	XT2S160 MF 2	28	A9	TA25DU1,8 ^		1,3	1,8
0,75	1,7	XT2S160 MF 2	28	A9	TA25DU2,4 ^		1,7	2,4
1,1	2,2	XT2S160 MF 4	56	A9	TA25DU3,1 ^		2,2	3,1
1,5	3,2	XT2S160 MF 4	56	A16	TA25DU4 ^		2,8	4
2,2	4,3	XT2S160 MF 8.5	120	A26	TA25DU5 ^		3,5	5
3	5,7	XT2S160 MF 8.5	120	A26	TA25DU6,5 ^		4,5	5
4	7,4	XT2S160 MF 8.5	120	A30	TA25DU11 ^		7,5	11
5,5	10,1	XT2S160 MF 12.5	175	A30	TA25DU14 ^		10	14
7,5	13,6	XT2S160 MA 20	180	A30	TA450SU60	4	10	15
11	19,3	XT2S160 MA 32	240	A30	TA450SU80	3	18	27
15	25,4	XT2S160 MA 32	336	A50	TA450SU60	2	20	30
18,5	30,7	XT2S160 MA 52	469	A50	TA450SU80	2	28	40
22	35,9	XT2S160 MA 52	547	A50	TA450SU80	2	28	40
30	48,2	XT2S160 MA 80	720	A63	TA450SU60		40	60
37	58	XT2S160 MA 80	840	A95	TA450SU80		55	80
45	70	XT2S160 MA 100	1050	A110	TA450SU105		70	105
55	85	XT4S250 Ekip-I In160	1200	A145	E200DU200		60	200
75	116	XT4S250 Ekip-I In250	1750	A185	E200DU200		60	200
90	140	XT4S250 Ekip-I In250	2000	A210	E320DU320		100	320
110	171	XT4S250 Ekip-I In250	2500	A260	E320DU320		100	320
132	202	T5H400 PR221-I In320	3200	A300	E320DU320		100	320
160	245	T5H400 PR221-I In400	3600	AF400	E500DU500		150	500
200	307	T5H630 PR221-I In630	4410	AF460	E500DU500		150	500
250	377	T6H630 PR221-I In630	5355	AF580	E500DU500***		150	500
290	448	T6H630 PR221-I In630	6300	AF750	E500DU500***		150	500
315	473	T6H800 PR221-I In800	7200	AF750	E800DU800		250	800
355	535	T6H800 PR221-I In800	8000	AF750	E800DU800		250	800

(^) Обеспечьте обходной контактор во время пуска двигателя

(x) Установите класс электронного расцепителя EOL на класс 30

(***) Комплекта соединений не имеется. Для использования комплекта соединений необходима замена на реле E800DU800 (x)

2 Защита электрического оборудования

**Таблица 22: 440 В 65 кА Прямой пуск Тяжелый тип 2
(Tmax XT/T - Контактор - TOR/EOL)**

Двигатель		Авт. выключатель в литом корпусе MCCB		Контактор	Тепловое реле перегрузки			
Номин. мощность [кВт]	Номин. ток [А]	Тип	I _з [А]	Тип	Тип*	Число витков первичной обмотки	Уставка тока [А]	
							мин.	макс.
0,37	1	XT2H160 MF 1	14	A9	TA25DU1,4 ^		1	1,4
0,55	1,3	XT2H160 MF 2	28	A9	TA25DU1,8 ^		1,3	1,8
0,75	1,7	XT2H160 MF 2	28	A9	TA25DU2,4 ^		1,7	2,4
1,1	2,4	XT2H160 MF 4	56	A9	TA25DU3,1 ^		2,2	3,1
1,5	3,2	XT2H160 MF 4	56	A16	TA25DU4 ^		2,8	4
2,2	4,3	XT2H160 MF 8.5	120	A26	TA25DU5 ^		3,5	5
3	5,7	XT2H160 MF 8.5	120	A26	TA25DU6,5 ^		4,5	6,5
4	7,4	XT2H160 MF 8.5	120	A30	TA25DU11 ^		7,5	11
5,5	10,1	XT2H160 MF 12.5	175	A30	TA25DU14 ^		10	14
7,5	13,6	XT2H160 MA 20	180	A30	TA450SU60	4	10	15
11	19,3	XT2H160 MA 32	240	A30	TA450SU80	3	18	27
15	25,4	XT2H160 MA 32	336	A50	TA450SU60	2	20	30
18,5	30,7	XT2H160 MA 52	469	A50	TA450SU80	2	28	40
22	35,9	XT2H160 MA 52	547	A50	TA450SU80	2	28	40
30	48,2	XT2H160 MA 80	720	A63	TA450SU60		40	60
37	58	XT2H160 MA 80	840	A95	TA450SU80		55	80
45	70	XT2H160 MA 100	1050	A110	TA450SU105		70	105
55	85	XT4H250 Ekip-I In160	1200	A145	E200DU200		60	200
75	116	XT4H250 Ekip-I In250	1750	A185	E200DU200		60	200
90	140	XT4H250 Ekip-I In250	2000	A210	E320DU320		100	320
110	171	XT4H250 Ekip-I In250	2500	A260	E320DU320		100	320
132	202	T5H400 PR221-I In320	3200	A300	E320DU320		100	320
160	245	T5H400 PR221-I In400	3600	AF400	E500DU500		150	500
200	307	T5H630 PR221-I In630	4410	AF460	E500DU500		150	500
250	377	T6H630 PR221-I In630	5355	AF580	E500DU500***		150	500
290	448	T6H630 PR221-I In630	6300	AF750	E500DU500***		150	500
315	473	T6H800 PR221-I In800	7200	AF750	E800DU800		250	800
355	535	T6H800 PR221-I In800	8000	AF750	E800DU800		250	800

(^) Обеспечьте обходной контактор во время пуска двигателя

(*) Установите класс электронного расцепителя EOL на класс 30

(***) Комплекта соединений не имеется. Для использования комплекта соединений необходима замена на реле E800DU800 (x)

2 Защита электрического оборудования

Таблица 23: 500 В 50 кА Прямой пуск Тяжелый тип 2
(Tmax XT/T - Контактор - TOR/EOL)

Двигатель		Авт. выкл. в литом корпусе MCCB		Контактор	Тепловое реле перегрузки			
Номинал. мощность [кВт]	Номинал. ток [А]	Тип	I ₃ [А]	Тип	Тип*	Число витков первич- ной обмотки	Уставка тока [А]	
							мин.	макс.
0,37	0,88	XT2H160 MF 1	14	A9	TA25DU1.0 ^		0,63	1
0,55	1,2	XT2H160 MF 2	28	A9	TA25DU1.4 ^		1	1,4
0,75	1,5	XT2H160 MF 2	28	A9	TA25DU1.8 ^		1,3	1,8
1,1	2,2	XT2H160 MF 4	56	A9	TA25DU3.1 ^		2,2	3,1
1,5	2,8	XT2H160 MF 4	56	A16	TA25DU4 ^		2,8	4
2,2	3,9	XT2H160 MF 4	56	A26	TA25DU5 ^		3,5	5
3	5,2	XT2H160 MF 8.5	120	A26	TA25DU6.5 ^		4,5	6,5
4	6,8	XT2H160 MF 8.5	120	A30	TA25DU8.5 ^		6	8,5
5,5	9,2	XT2H160 MF 12.5	175	A30	TA25DU11 ^		7,5	11
7,5	12,4	XT2H160 MF 12.5	175	A30	TA450SU60	4	10	15
11	17,6	XT2H160 MA 20	240	A30	TA450SU60	3	13	20
15	23	XT2H160 MA 32	336	A50	TA450SU60	2	20	30
18,5	28	XT2H160 MA 52	392	A50	TA450SU80	2	27,5	40
22	33	XT2H160 MA 52	469	A50	TA450SU80	2	27,5	40
30	44	XT2H160 MA 52	624	A63	TA450SU60		40	80
37	53	XT2H160 MA 80	840	A75	TA450SU60		40	80
45	64	XT2H160 MA 80	960	A95	TA450SU80		55	80
55	78	XT2H160 MA 100	1200	A145	TA450SU105		70	105
75	106	XT4H250 Ekip-I In160	1440	A145	E200DU200		60	200
90	128	XT4H250 Ekip-I In250	1875	A185	E200DU200		60	200
110	156	XT4H250 Ekip-I In250	2125	A210	E320DU320		100	320
132	184	T4H320 PR221-I In320	2720	A260	E320DU320		100	320
160	224	T5H400 PR221-I In400	3200	A300	E320DU320		100	320
200	280	T5H400 PR221-I In400	3600	AF400	E500DU500		150	500
250	344	T5H630 PR221-I In630	4725	AF460	E500DU500		150	500
290	394	T6L630 PR221-I In630	5040	AF580	E500DU500***		150	500
315	432	T6L630 PR221-I In630	6300	AF750	E500DU500***		150	500
355	488	T6L630 PR221-I In630	6300	AF750	E500DU500***		150	500

(^) Обеспечьте обходной контактор во время пуска двигателя

(*) Установите класс электронного расцепителя EOL на класс 30

(***) Комплекта соединений не имеется. Для использования комплекта соединений необходима замена на реле E800DU800 (x)

2 Защита электрического оборудования

**Таблица 24: 690 В 25 кА Прямой пуск Тяжелый тип 2
(Tmax T - Контактор - TOR)**

Двигатель		Авт. выкл. в литом корпусе MCCB		Контактор	Тепловое реле перегрузки			
Номинал. мощность [кВт]	Номинал. ток [А]	Тип	I ₃ [А]	Тип	Тип*	Число витков первич- ной обмотки	Уставка тока [А]	
							мин.	макс.
0,37	0,64	XT2V160 MF1	14	A9	TA25DU0.63 ^		0,4	0,63
0,55	0,87	XT2V160 MF1	14	A9	TA25DU1 ^		0,63	1
0,75	1,1	XT2V160 MF 2	28	A9	TA25DU1.4 ^		1	1,4
1,1	1,6	XT2V160 MF 2	28	A9	TA25D1.8 ^		1,3	1,8
1,5	2,1	XT2V160 MF 4	56	A9	TA25DU2.4 ^		1,7	2,4
2,2	2,8	XT2V160 MF 4	56	A9	TA25DU3.1 ^		2,2	3,1
3	3,8	XT2V160 MF 4	56	A9	TA25DU4 ^		2,8	4
4	4,9	XT2V160 MF 8.5	120	A9	TA25DU5 ^		3,5	5
5,5	6,7	XT2V160 MF 8.5	120	A9	TA25DU6.5 ^		4,5	6,5
		XT4V250 EKIP-I In 100	150	A95	TA450SU60	7(+)	5,7	8,6
7,5	8,9	XT4V250 EKIP-I In 100	150	A95	TA450SU60	5(+)	8	12
11	12,8	XT4V250 EKIP-I In 100	200	A95	TA450SU60	4(+)	10	15
15	17	XT4V250 EKIP-I In 100	250	A95	TA450SU60	3(+)	10	20
18,5	21	XT4V250 EKIP-I In 100	300	A95	TA450SU60	3	18	27
22	24	XT4V250 EKIP-I In 100	350	A95	TA450SU60	2	20	30
30	32	XT4V250 EKIP-I In 100	450	A145	TA450SU80	2	27,5	40
37	39	XT4V250 EKIP-I In 100	550	A145	TA450SU60		40	60
45	47	XT4V250 EKIP-I In 100	700	A145	TA450SU60		40	60
55	57	XT4V250 EKIP-I In 100	800	A145	TA450SU80		55	80
75	77	XT4V250 EKIP-I In 160	1120	A145	TA450SU105		70	105
90	93	XT4V250 EKIP-I In 160	1280	A145	TA450SU105		70	105
110	113	XT4V250 EKIP-I In 250	1625	A185	TA450SU140		95	140
132	134	XT4V250 EKIP-I In 250	2000	A210	E320DU320		105	320
160	162	XT4V250 EKIP-I In 250	2250	A210	E320DU320		105	320

(^) Обеспечьте обходной контактор во время пуска двигателя

(*) Установите класс электронного расцепителя EOL на класс 30

(***) Комплекта соединений не имеется. Для использования комплекта соединений необходима замена на реле E800DU800 (x)

(+) Поперечное сечение кабеля равно 4мм²

2 Защита электрического оборудования

Таблица 25: 690 В 50 кА Прямой пуск Тяжелый тип 2
(Tmax Т - Контактор - TOR)

Двигатель		Авт. выкл. в литом корпусе MCCB		Контактор	Тепловое реле перегрузки			
Номин. мощность [кВт]	Номин. ток [А]	Тип	I ₃ [А]	Тип	Тип*	Число витков первичной обмотки	Уставка тока [А]	
							мин.	макс.
0,37	0,64	T2L160 MF1	13	A9	TA25DU0.63 ^		0,4	0,63
0,55	0,87	T2L160 MF1	13	A9	TA25DU1 ^		0,63	1
0,75	1,1	T2L160 MF 1.6	21	A9	TA25DU1.4 ^		1	1,4
1,1	1,6	T2L160 MF 1.6	21	A9	TA25D1.8 ^		1,3	1,8
1,5	2,1	T2L160 MF 2.5	33	A9	TA25DU2.4 ^		1,7	2,4
2,2	2,8	T2L160 MF 3.2	42	A9	TA25DU3.1 ^		2,2	3,1
3	3,8	T2L160 MF 4	52	A9	TA25DU4 ^		2,8	4
4	4,9	T2L160 MF 5	65	A9	TA25DU5 ^		3,5	5
5,5	6,7	T2L160 MF 6.5	84	A9	TA25DU6.5 ^		4,5	6,5
		T4L250 PR221-I In 100	150	A95	TA450SU60	7(+)	5,7	8,6
7,5	8,9	T4L250 PR221-I In 100	150	A95	TA450SU60	5(+)	8	12
11	12,8	T4L250 PR221-I In 100	200	A95	TA450SU60	4(+)	10	15
15	17	T4L250 PR221-I In 100	250	A95	TA450SU60	3(+)	13	20
18,5	21	T4L250 PR221-I In 100	300	A95	TA450SU60	3	18	27
22	24	T4L250 PR221-I In 100	350	A95	TA450SU60	2	20	30
30	32	T4L250 PR221-I In 100	450	A145	TA450SU80	2	27,5	40
37	39	T4L250 PR221-I In 100	550	A145	TA450SU60		40	60
45	47	T4L250 PR221-I In 100	700	A145	TA450SU60		40	60
55	57	T4L250 PR221-I In 100	800	A145	TA450SU80		55	80
75	77	T4L250 PR221-I In 160	1120	A145	TA450SU105		70	105
90	93	T4L250 PR221-I In 160	1280	A145	TA450SU105		70	105
110	113	T4L250 PR221-I In 250	1625	A185	TA450SU140		95	140
132	134	T4L250 PR221-I In 250	2000	A210	E320DU320		105	320
160	162	T4L250 PR221-I In 250	2250	A210	E320DU320		105	320
200	203	T5L400 PR221-I In 320	2720	A260	E320DU320		105	320
250	250	T5L400 PR221-I In 400	3400	AF400	E500DU500		150	500
290	301	T5L630 PR221-I In 630	4410	AF400	E500DU500		150	500
315	313	T5L630 PR221-I In 630	4410	AF460	E500DU500		150	500
355	354	T5L630 PR221-I In 630	5355	AF580	E500DU500***		150	500

(^) Обеспечьте обходной контактор во время пуска двигателя.
 (*) Установите класс электронного расцепителя EOL на класс 30
 (***) Комплекта соединений не имеется. Для использования комплекта соединений необходима замена на реле E800DU800 (x)
 (+) Поперечное сечение кабеля равно 4мм²

2 Защита электрического оборудования

Таблица 26: 400 В 35 кА Y/Δ Нормальный тип 2
(Tmax XT/T - Контактор - TOR/EOL)

Двигатель		Авт. выкл. в литом корпусе MCCB		Контактор			Тепловое реле перегрузки	
Номинал. мощность [кВт]	Номинал. ток [А]	Тип	I ₃ [А]	Тип Линейный	Тип Треугольн.	Тип Звезда	Тип	Уставка тока [А]
18,5	35	XT2N160 MA52	469	A50	A50	A26	TA75DU25	18-25
22	41	XT2N160 MA52	547	A50	A50	A26	TA75DU32	22-32
30	55	XT2N160 MA80	720	A63	A63	A30	TA75DU42	29-42
37	66	XT2N160 MA80	840	A75	A75	A30	TA75DU52	36-52
45	80	XT2N160 MA100	1050	A75	A75	A30	TA75DU63	45 - 63
55	97	XT2N160 MA100	1200	A75	A75	A40	TA75DU63	45 - 63
75	132	XT3N250 MA160	1700	A95	A95	A75	TA110DU90	66 - 90
90	160	XT3N250 MA200	2000	A110	A110	A95	TA110DU110	80 - 110
110	195	XT4N250 MA200	2400	A145	A145	A95	TA200DU135	100 - 135
132	230	T4N320 PR221-I In320	2880	A145	A145	A110	E200DU200	60 - 200
160	280	T5N400 PR221-I In400	3600	A185	A185	A145	E200DU200	60 - 200
200	350	T5N630 PR221-I In630	4410	A210	A210	A185	E320DU320	100 - 320
250	430	T5N630 PR221-I In630	5670	A260	A260	A210	E320DU320	100 - 320
290	520	T6N630 PR221-I In630	6300	AF400	AF400	A260	E500DU500	150 - 500
315	540	T6N800 PR221-I In800	7200	AF400	AF400	A260	E500DU500	150 - 500
355	610	T6N800 PR221-I In800	8000	AF400	AF400	A260	E500DU500	150 - 500

Таблица 27: 400 В 50 кА Y/Δ Нормальный тип 2
(Tmax XT/T - Контактор - TOR/EOL)

Двигатель		Авт. выкл. в литом корпусе MCCB		Контактор			Тепловое реле перегрузки	
Номинал. мощность [кВт]	Номинал. ток [А]	Тип	I ₃ [А]	Тип Линейный	Тип Треугольн.	Тип Звезда	Тип	Уставка тока [А]
18,5	35	XT2S160 MA52	469	A50	A50	A26	TA75DU25	18-25
22	41	XT2S160 MA52	547	A50	A50	A26	TA75DU32	22-32
30	55	XT2S160 MA80	720	A63	A63	A30	TA75DU42	29-42
37	66	XT2S160 MA80	840	A75	A75	A30	TA75DU52	36-52
45	80	XT2S160 MA100	1050	A75	A75	A30	TA75DU63	45 - 63
55	97	XT2S160 MA100	1200	A75	A75	A40	TA75DU63	45 - 63
75	132	XT3S250 MA160	1700	A95	A95	A75	TA110DU90	66 - 90
90	160	XT3S250 MA200	2000	A110	A110	A95	TA110DU110	80 - 110
110	195	XT3S250 MA200	2400	A145	A145	A95	TA200DU135	100 - 135
132	230	T4S320 PR221-I In320	2880	A145	A145	A110	E200DU200	60 - 200
160	280	T5S400 PR221-I In400	3600	A185	A185	A145	E200DU200	60 - 200
200	350	T5S630 PR221-I In630	4410	A210	A210	A185	E320DU320	100 - 320
250	430	T5S630 PR221-I In630	5670	A260	A260	A210	E320DU320	100 - 320
290	520	T6S630 PR221-I In630	6300	AF400	AF400	A260	E500DU500	150 - 500
315	540	T6S800 PR221-I In800	7200	AF400	AF400	A260	E500DU500	150 - 500
355	610	T6S800 PR221-I In800	8000	AF400	AF400	A260	E500DU500	150 - 500

2 Защита электрического оборудования

Таблица 28: 440 В 50 кА Y/Δ Нормальный тип 2
(Tmax XT/T - Контакттор - TOR/EOL)

Двигатель		Авт. выкл. в литом корпусе MCCB		Контакттор			Тепловое реле перегрузки	
Номинал. мощность [кВт]	Номинал. ток [А]	Тип	I ₃ [А]	Тип Линейный	Тип Треугольн.	Тип Звезда	Тип	Уставка тока [А]
18,5	30,7	XT2S160 MA52	392	A50	A50	A16	TA75DU25	18-25
22	35,9	XT2S160 MA52	469	A50	A50	A26	TA75DU25	18-25
30	48,2	XT2S160 MA80	720	A63	A63	A26	TA75DU42	29-42
37	58	XT2S160 MA80	840	A75	A75	A30	TA75DU42	29-42
45	70	XT2S160 MA80	960	A75	A75	A30	TA75DU52	36-52
55	85	XT2S160 MA100	1150	A75	A75	A40	TA75DU63	45-63
75	116	XT4S250 Ekip-I In250	1625	A95	A95	A75	TA80DU80	60-80
90	140	XT4S250 Ekip-I In250	1875	A95	A95	A75	TA110DU110	80-110
110	171	XT4S250 Ekip-I In250	2250	A145	A145	A95	E200DU200	60-200
132	202	T4H320 PR221-I In320	2720	A145	A145	A110	E200DU200	60-200
160	245	T5H400 PR221-I In400	3200	A185	A185	A145	E200DU200	60-200
200	307	T5H630 PR221-I In630	4095	A210	A210	A185	E320DU320	100-320
250	377	T5H630 PR221-I In630	5040	A260	A260	A210	E320DU320	100-320
290	448	T6H630 PR221-I In630	5670	AF400	AF400	A260	E500DU500	150 - 500
315	473	T6H630 PR221-I In630	6300	AF400	AF400	A260	E500DU500	150 - 500
355	535	T6H800 PR221-I In800	7200	AF400	AF400	A260	E500DU500	150 - 500

Таблица 29: 440 В 65 кА Y/Δ Нормальный тип 2
(Tmax XT/T - Контакттор - TOR/EOL)

Двигатель		Авт. выкл. в литом корпусе MCCB		Контакттор			Тепловое реле перегрузки	
Номинал. мощность [кВт]	Номинал. ток [А]	Тип	I ₃ [А]	Тип Линейный	Тип Треугольн.	Тип Звезда	Тип	Уставка тока [А]
18,5	30,7	XT2H160 MA52	392	A50	A50	A16	TA75DU25	18-25
22	35,9	XT2H160 MA52	469	A50	A50	A26	TA75DU25	18-25
30	48,2	XT2H160 MA80	720	A63	A63	A26	TA75DU42	29-42
37	58	XT2H160 MA80	840	A75	A75	A30	TA75DU42	29-42
45	70	XT2H160 MA80	960	A75	A75	A30	TA75DU52	36-52
55	85	XT2H160 MA100	1150	A75	A75	A40	TA75DU63	45-63
75	116	XT4H250 Ekip-I In250	1625	A95	A95	A75	TA80DU80	60-80
90	140	XT4H250 Ekip-I In250	1875	A95	A95	A75	TA110DU110	80-110
110	171	XT4H250 Ekip-I In250	2250	A145	A145	A95	E200DU200	60-200
132	202	T4H320 PR221-I In320	2720	A145	A145	A110	E200DU200	60-200
160	245	T5H400 PR221-I In400	3200	A185	A185	A145	E200DU200	60-200
200	307	T5H630 PR221-I In630	4095	A210	A210	A185	E320DU320	100-320
250	377	T5H630 PR221-I In630	5040	A260	A260	A210	E320DU320	100-320
290	448	T6H630 PR221-I In630	5670	AF400	AF400	A260	E500DU500	150 - 500
315	473	T6H630 PR221-I In630	6300	AF400	AF400	A260	E500DU500	150 - 500
355	535	T6H800 PR221-I In800	7200	AF400	AF400	A260	E500DU500	150 - 500

2 Защита электрического оборудования

Таблица 30: 500 В 50 кА Y/Δ Нормальный тип 2
(Tmax XT/T - Контактор - TOR/EOL)

Двигатель		Авт. выкл. в литом корпусе MCCB		Контактор			Тепловое реле перегрузки	
Номин. мощность [кВт]	Номин. ток [А]	Тип	I ₃ [А]	Тип Линейный	Тип Треуг.	Тип Звезда	Тип	Уставка тока [А]
22	33	XT2H160 MA52	430	A50	A50	A16	TA75DU25	18-25
30	44	XT2H160 MA52	547	A63	A63	A26	TA75DU32	22-32
37	53	XT2H160 MA80	720	A75	A75	A30	TA75DU42	29-42
45	64	XT2H160 MA80	840	A75	A75	A30	TA75DU52	36-52
55	78	XT2H160 MA100	1050	A75	A75	A30	TA75DU52	36-52
75	106	XT4H250 Ekip-I In250	1375	A95	A95	A50	TA80DU80	60-80
90	128	XT4H250 Ekip-I In250	1750	A95	A95	A75	TA110DU90	65-90
110	156	XT4H250 Ekip-I In250	2000	A110	A110	A95	TA110DU110	80-110
132	184	T4H320 PR221-I In320	2560	A145	A145	A95	E200DU200	60-200
160	224	T4H320 PR221-I In320	2880	A145	A145	A110	E200DU200	60-200
200	280	T5H400 PR221-I In400	3400	A210	A210	A145	E320DU320	100-320
250	344	T5H630 PR221-I In630	4410	A210	A210	A185	E320DU320	100-320
290	394	T5H630 PR221-I In630	5040	A260	A260	A210	E320DU320	100-320
315	432	T6L630 PR221-I In630	5760	AF400	AF400	A210	E500DU500	150 - 500
355	488	T6L630 PR221-I In630	6300	AF400	AF400	A260	E500DU500	150 - 500

Таблица 31: 690 В 25 кА Y/Δ Нормальный тип 2
(Tmax XT/T - Контактор - TOR/EOL)

Двигатель		Автоматический выключатель в литом корпусе MCCB		Контактор			KORC		Тепловое реле перегрузки	
Номин. мощность [кВт]	Номин. ток [А]	Тип	I ₃ [А]	Тип Линейн.	Тип Треуг.	Тип Звезда	Тип	Число витков	Тип	Уставка тока [А]
5,5	6,7*	XT4V250 Ekip-I In100	150	A95	A95	A26	185R/4**	13	TA25DU2.4**	6-8,5
7,5	8,9*	XT4V250 Ekip-I In100	150	A95	A95	A26	185R/4**	10	TA25DU2.4**	7,9-11,1
11	12,8*	XT4V250 Ekip-I In100	200	A95	A95	A26	185R/4**	7	TA25DU2.4**	11,2-15,9
15	17*	XT4V250 Ekip-I In100	250	A95	A95	A26	185R/4**	7	TA25DU3.1**	15,2-20,5
18,5	21	XT4V250 Ekip-I In100	300	A95	A95	A30	185R/4**	6	TA25DU3.1**	17,7-23,9
22	24	XT4V250 Ekip-I In100	350	A95	A95	A30	185R/4**	6	TA25DU4**	21,6-30,8
30	32	XT4V250 Ekip-I In100	450	A145	A145	A30	185R/4**	6	TA25DU5**	27-38,5
37	39	XT4V250 Ekip-I In100	550	A145	A145	A30			TA75DU52**	36-52
45	47	XT4V250 Ekip-I In100	650	A145	A145	A30			TA75DU52**	36-52
55	57	XT4V250 Ekip-I In100	800	A145	A145	A40			TA75DU52**	36-52
75	77	XT4V250 Ekip-I In160	1120	A145	A145	A50			TA75DU52	36-52
90	93	XT4V250 Ekip-I In160	1280	A145	A145	A75			TA75DU63	45-63
110	113	XT4V250 Ekip-I In160	1600	A145	A145	A75			TA75DU80	60-80
132	134	XT4V250 Ekip-I In250	1875	A145	A145	A95			TA200DU110	80-110
160	162	XT4V250 Ekip-I In250	2125	A145	A145	A110			TA200DU110	80-110

Комментарии:

*Поперечное сечение кабеля равно 4мм²

**Реле перегрузки соединяйте выше узла линия-треугольник

2 Защита электрического оборудования

Таблица 32: 690 В 50 кА Y/Δ Нормальный тип 2
(Tmax T - Контактор - TOR/EOL)

Двигатель		Автом. выключатель в литом корпусе MCCB		Контактор			KORC		Тепловое реле перегрузки	
Номинал. мощность [кВт]	Номинал. ток [А]	Тип	I ₃ [А]	Тип Линейн.	Тип Треуг.	Тип Звезда	Тип	Число витков	Тип	Уставка тока [А]
5,5	6,7*	T4L250 PR221-I In100	150	A95	A95	A26	4L185R/4**	13	TA25DU2.4**	6-8,5
7,5	8,9*	T4L250 PR221-I In100	150	A95	A95	A26	4L185R/4**	10	TA25DU2.4**	7,9-11,1
11	12,8*	T4L250 PR221-I In100	200	A95	A95	A26	4L185R/4**	7	TA25DU2.4**	11,2-15,9
15	17*	T4L250 PR221-I In100	250	A95	A95	A26	4L185R/4**	7	TA25DU3.1**	15,2-20,5
18,5	21	T4L250 PR221-I In100	300	A95	A95	A30	4L185R/4**	6	TA25DU3.1**	17,7-23,9
22	24	T4L250 PR221-I In100	350	A95	A95	A30	4L185R/4**	6	TA25DU4**	21,6-30,8
30	32	T4L250 PR221-I In100	450	A145	A145	A30	4L185R/4**	6	TA25DU5**	27-38,5
37	39	T4L250 PR221-I In100	550	A145	A145	A30			TA75DU52**	36-52
45	47	T4L250 PR221-I In100	650	A145	A145	A30			TA75DU52**	36-52
55	57	T4L250 PR221-I In100	800	A145	A145	A40			TA75DU52**	36-52
75	77	T4L250 PR221-I In160	1120	A145	A145	A50			TA75DU52	36-52
90	93	T4L250 PR221-I In160	1280	A145	A145	A75			TA75DU63	45-63
110	113	T4L250 PR221-I In160	1600	A145	A145	A75			TA75DU80	60-80
132	134	T4L250 PR221-I In250	1875	A145	A145	A95			TA200DU110	80-110
160	162	T4L250 PR221-I In250	2125	A145	A145	A110			TA200DU110	80-110
200	203	T4L320 PR221-I In320	2720	A185	A185	A110			TA200DU135	100-135
250	250	T5L400 PR221-I In400	3200	AF400	AF400	A145			E500DU500	150-500
290	301	T5L400 PR221-I In400	4000	AF400	AF400	A145			E500DU500	150-500
315	313	T5L630 PR221-I In630	4410	AF400	AF400	A185			E500DU500	150-500
355	354	T5L630 PR221-I In630	5040	AF400	AF400	A210			E500DU500	150-500
400	420	T5L630 PR221-I In630	5670	AF460	AF460	A210			E500DU500	150-500
450	470	T5L630 PR221-I In630	6300	AF460	AF460	A260			E500DU500	150-500

Комментарии:
*Поперечное сечение кабеля равно 4мм²
**Реле перегрузки соединяйте выше узла линия-треугольник

2 Защита электрического оборудования

**Таблица 33: 400 В 35 кА Прямой пуск Нормальный и Тяжелый тип 2
(Тmax ХТ/Т с расцепителем Еkip М/PR222MP - Контактор)**

Двигатель		Автоматический выключатель в литом корпусе MCCB			Контактор	Уставка тока [А]
Номин. мощность [кВт]	Номин. ток [А]	Тип ***	Ток отключения с обратной зависимой выдержкой времени* [А]	I ₃ [А]	Тип	
7,5	15,5	XT2N160 Ekip M-LIU In25	10-25	150	A63	25
11	22	XT2N160 Ekip M-LIU In25	10-25	225	A63	25
15	29	XT2N160 Ekip M-LIU In63	25-63	378	A75	50
18,5	35	XT2N160 Ekip M-LIU In63	25-63	378	A75	50
22	41	XT2N160 Ekip M-LIU In63	25-63	441	A75	50
30	55	XT4N250 Ekip M-LIU In100	40-100	600	A95	95
37	66	XT4N250 Ekip M-LIU In100	40-100	700	A95	95
45	80	XT4N250 Ekip M-LIU In100	40-100	800	A95	95
55	97	XT4N250 Ekip M-LIU In160	64-160	960	A145	145
75	132	XT4N250 Ekip M-LIU In160	64-160	1280	A145	145
90	160	T4N250 PR222 MP In200	80-200	1600	A185	185
110	195	T5N400 PR222 MP In320	128-320	1920	A210	210
132	230	T5N400 PR222 MP In320	128-320	2240	A260	260
160	280	T5N400 PR222 MP In320	128-320	2560	AF400**	320
200	350	T5N400 PR222 MP In400	160-400	3200	AF400	400
250	430	T6N800 PR222 MP In630	252-630	5040	AF460	460
290	520	T6N800 PR222 MP In630	252-630	5670	AF580	580
315	540	T6N800 PR222 MP In630	252-630	5670	AF580	580
355	610	T6N800 PR222 MP In630	252-630	5670	AF750	630

Комментарии:

* При пуске в тяжелом режиме установите класс расцепителя Еkip М или MP на класс 30

** В случае нормального пуска используйте AF300

*** Еkip M-LIU также доступен в исполнении in M-LRIU

2 Защита электрического оборудования

Таблица 34: 400 В 50 кА Прямой пуск Нормальный и Тяжелый тип 2 (Tmax XT/T с расцепителем Ekip M/PR222MP - Контактор)

Двигатель		Автоматический выключатель в литом корпусе MCCB			Контактор	Уставка тока [A]
Номин. мощность [кВт]	Номин. ток [A]	Тип***	Ток отключения с обратнойзависимой выдержкой времени* [A]	I _з [A]	Тип	
7,5	15,5	XT2S160 Ekip M-LIU In25	10-25	150	A63	25
11	22	XT2S160 Ekip M-LIU In25	10-25	225	A63	25
15	29	XT2S160 Ekip M-LIU In63	25-63	378	A75	50
18,5	35	XT2S160 Ekip M-LIU In63	25-63	378	A75	50
22	41	XT2S160 Ekip M-LIU In63	25-63	441	A75	50
30	55	XT4S250 Ekip M-LIU In100	40-100	600	A95	95
37	66	XT4S250 Ekip M-LIU In100	40-100	700	A95	95
45	80	XT4S250 Ekip M-LIU In100	40-100	800	A95	95
55	97	XT4S250 Ekip M-LIU In160	64-160	960	A145	145
75	132	XT4S250 Ekip M-LIU In160	64-160	1280	A145	145
90	160	T4S250 PR222 MP In200	80-200	1600	A185	185
110	195	T5S400 PR222 MP In320	128-320	1920	A210	210
132	230	T5S400 PR222 MP In320	128-320	2240	A260	260
160	280	T5S400 PR222 MP In320	128-320	2560	AF400**	320
200	350	T5S400 PR222 MP In400	160-400	3200	AF400	400
250	430	T6S800 PR222 MP In630	252-630	5040	AF460	460
290	520	T6S800 PR222 MP In630	252-630	5670	AF580	580
315	540	T6S800 PR222 MP In630	252-630	5670	AF580	580
355	610	T6S800 PR222 MP In630	252-630	5670	AF750	630

Комментарии:
* При пуске в тяжелом режиме установите класс расцепителя Ekip M или MP на класс 30
** В случае нормального пуска используйте AF300
*** Ekip M-LIU также доступен в исполнении in M-LRIU

2 Защита электрического оборудования

Таблица 35: 440 В 50 кА Прямой пуск Нормальный и Тяжелый тип 2 (Tmax XT/T с расцепителем Ekip M/PR222MP - Контактор)

Двигатель		Автоматический выключатель в литом корпусе MCCB			Контактор	Уставка тока [A]
Номин. мощность [кВт]	Номин. ток [A]	Тип***	Ток отключения с обратнойзависимой выдержкой времени* [A]	I ₃ [A]	Тип	
7,5	13,6	XT2S160 Ekip M-LIU In25	10-25	150	A63	25
11	19,3	XT2S160 Ekip M-LIU In25	10-25	225	A63	25
15	25,4	XT2S160 Ekip M-LIU In63	25-63	378	A75	63
18,5	30,7	XT2S160 Ekip M-LIU In63	25-63	378	A75	63
22	35,9	XT2S160 Ekip M-LIU In63	25-63	378	A75	63
30	48,2	XT4S250 Ekip M-LIU In100	40-100	600	A95	93
37	58	XT4S250 Ekip M-LIU In100	40-100	600	A95	93
45	70	XT4S250 Ekip M-LIU In100	40-100	700	A95	93
55	85	XT4S250 Ekip M-LIU In160	64-160	960	A145	145
75	116	XT4S250 Ekip M-LIU In160	64-160	1120	A145	145
90	140	T4H250 PR222 MP In200	80-200	1400	A185	185
110	171	T5H400 PR222 MP In320	128-320	1920	A210	210
132	202	T5H400 PR222 MP In320	128-320	2240	A260	240
160	245	T5H400 PR222 MP In320	128-320	2560	AF400**	320
200	307	T5H400 PR222 MP In400	160-400	3200	AF400	400
250	377	T6H800 PR222 MP In630	252-630	4410	AF460	460
290	448	T6H800 PR222 MP In630	252-630	5040	AF460	460
315	473	T6H800 PR222 MP In630	252-630	5040	AF580	580
355	535	T6H800 PR222 MP In630	252-630	5670	AF580	580

Комментарии:
* При пуске в тяжелом режиме установите класс электронного расцепителя на класс 30
** В случае нормального пуска используйте AF300
*** Ekip M-LIU также доступен в исполнении in M-LRIU

Таблица 36: 690 В 25 кА Прямой пуск Нормальный и Тяжелый тип 2 (Tmax T с расцепителем Ekip M - Контактор)

Двигатель		Автоматический выключатель в литом корпусе MCCB			Контактор	Уставка тока [A]
Номин. мощность [кВт]	Номин. ток [A]	Тип	Ток отключения с обратнойзависимой выдержкой времени* [A]	I ₃ [A]	Тип	
11	12,8	XT2V160 EKIP M-LIU In25	10-25	150	A63	25
15	17	XT2V160 EKIP M-LIU In25	10-25	175	A63	25
18,5	21	XT2V160 EKIP M-LIU In25	10-25	225	A75	25
22	24	XT2V160 EKIP M-LIU In63	25-63	250	A75	63
30	32	XT2V160 EKIP M-LIU In63	25-63	378	A95	63
37	39	XT2V250 EKIP M-LIU In63	25-63	378	A95	63
45	47	XT2V250 EKIP M-LIU In63	25-63	504	A145	63
55	57	XT4V250 EKIP M-LIU In63	25-63	567	A145	63
75	77	XT4V250 EKIP M-LIU In100	40-100	800	A145	100
90	93	XT4V250 EKIP M-LIU In160	64-160	960	A145	120
110	113	XT4V250 EKIP M-LIU In160	64-160	1120	A145	120
132	134	XT4V250 EKIP M-LIU In160	64-160	1440	A185	160

Комментарии:
* При пуске в тяжелом режиме установите класс расцепителя MP на класс 30

2 Защита электрического оборудования

**Таблица 37: 500 В 50 кА Прямой пуск Нормальный и Тяжелый тип 2
(Tmax XT/T с расцепителем Ekip M/PR222MP - Контактр)**

Двигатель		Автоматический выключатель в литом корпусе MCCB			Контактр	Уставка тока [A]
Номин. мощность [кВт]	Номин. ток [A]	Тип***	Ток отключения с обратнойзависимой выдержкой времени* [A]	I ₃ [A]	Тип	
7,5	12,4	XT2H160 Ekip M-LIU In25	10-25	150	A63	25
11	17,6	XT2H160 Ekip M-LIU In25	10-25	175	A63	25
15	23	XT2H160 Ekip M-LIU In25	10-25	250	A75	25
18,5	28	XT2H160 Ekip M-LIU In63	25-63	378	A75	63
22	33	XT2H160 Ekip M-LIU In63	25-63	378	A75	63
30	44	XT4H250 Ekip M-LIU In63	25-63	441	A95	63
37	53	XT4H250 Ekip M-LIU In63	25-63	567	A95	63
45	64	XT4H250 Ekip M-LIU In100	40-100	630	A145	100
55	78	XT4H250 Ekip M-LIU In100	40-100	800	A145	100
75	106	XT4H250 Ekip M-LIU In160	64-160	1120	A145	145
90	128	XT4H250 Ekip M-LIU In160	64-160	1280	A145	145
110	156	T4H250 PR222 MP In200	80-200	1600	A185	170
132	184	T5H400 PR222 MP In320	128-320	1920	A210	210
160	224	T5H400 PR222 MP In320	128-320	2240	A260	240
200	280	T5H400 PR222 MP In400	160-400	2800	AF400**	400
250	344	T5H400 PR222 MP In400	160-400	3200	AF400	400
290	394	T6H800 PR222 MP In630	252-630	5040	AF460	460
315	432	T6H800 PR222 MP In630	252-630	5040	AF460	460
355	488	T6H800 PR222 MP In630	252-630	5670	AF580	580

Комментарии:

* При пуске в тяжелом режиме установите класс электронного расцепителя на класс 30

** В случае нормального пуска используйте AF300

*** EKIP M-LIU также доступен в исполнении in M-LRIU

**Таблица 38: 690 В 50 кА Прямой пуск Нормальный и Тяжелый тип 2
(Tmax T с расцепителем PR222MP - Контактр)**

Двигатель		Автоматический выключатель в литом корпусе MCCB			Контактр	Уставка тока [A]
Номин. мощность [кВт]	Номин. ток [A]	Тип	Ток отключения с обратнойзависимой выдержкой времени* [A]	I ₃ [A]	Тип	
45	47	T4L250 PR222MP In 100	40-100	600	A145	100
55	57	T4L250 PR222MP In 100	40-100	600	A145	100
75	77	T4L250 PR222MP In 100	40-100	800	A145	100
90	93	T4L250 PR222MP In 160	64-160	960	A145	120
110	113	T4L250 PR222MP In 160	64-160	1120	A145	120
132	134	T4L250 PR222MP In 160	64-160	1440	A185	160
160	162	T4L250 PR222MP In 200	80-200	1600	A185	170
200	203	T5L400 PR222MP In320	128-320	1920	A210	210
250	250	T5L400 PR222MP In320	128-320	2240	AF300	280
290	301	T5L400 PR222MP In400	160-400	2800	AF400	350
315	313	T5L400 PR222MP In400	160-400	3200	AF400	350

Комментарии:

* При пуске в тяжелом режиме установите класс расцепителя MP на класс 30

2 Защита электрического оборудования

Пример:

Для прямого нормального пуска Типа 2 трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором со следующими данными:

номинальное напряжение $U_r = 400$ В

ток короткого замыкания $I_k = 50$ кА

номинальная мощность двигателя $P_e = 22$ кВт

в Таблице 4 в соответствующей строке можно найти следующую информацию:

- I_r (номинальный ток): 41 А;
- устройство защиты от короткого замыкания: автоматический выключатель XT2S160 MA52;
- порог магнитного расцепления: $I_3 = 547$ А;
- контактор: A50;
- тепловое реле TA75 DU52, с диапазоном уставки 36÷52 А.

Для нормального пуска Y/Δ Типа 2 трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором со следующими данными:

номинальное напряжение $U_r = 400$ В

ток короткого замыкания $I_k = 50$ кА

номинальная мощность двигателя $P_e = 200$ кВт

в Таблице 27 в соответствующей строке можно найти следующую информацию:

- I_r (номинальный ток): 350 А;
- устройство защиты от короткого замыкания: автоматический выключатель T5S630 PR221-I In630;
- порог магнитного расцепления: $I_3 = 4410$ А;
- главный контактор: A210;
- контактор в цепи «треугольник»: A210;
- контактор в цепи «звезда»: A185;
- тепловое реле E320DU320 с диапазоном уставки 100÷320 А (должен быть установлен на - $\frac{I_r}{\sqrt{3}} = 202$ А).

Для прямого тяжелого пуска Типа 2 с защитой Ekip трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором со следующими данными:

номинальное напряжение $U_r = 400$ В

ток короткого замыкания $I_k = 50$ кА

номинальная мощность двигателя $P_e = 55$ кВт

в Таблице 34 в соответствующей строке можно найти следующую информацию:

- I_r (номинальный ток): 97 А;
- устройство защиты от короткого замыкания: автоматический выключатель XT4S250 Ekip M LIU (или Ekip M LRIU)* In160;
- порог магнитного расцепления: $I_3 = 960$ А;
- контактор: А 145.

* для тяжелого пуска установите класс срабатывания электронного расцепителя на класс 30

2 Защита электрического оборудования

2.4 Защита и коммутация трансформаторов

Основные положения

Трансформаторы используются для изменения величины напряжения, как для низкого, так и среднего напряжения питания.

При выборе аппаратуры защиты необходимо принимать в расчет явления, связанные с переходными процессами в трансформаторе, в течение которых ток может достигать значений, превышающих номинальные при полной нагрузке; эти явления могут длиться до нескольких секунд.

Время-токовая характеристика, называемая «пусковой ток I_0 », представляющая эти переходные процессы, зависит от типоразмеров трансформатора и может быть определена с использованием следующей формулы (мощность коротко замыкания сети предполагается бесконечно большой)

$$I_0 = \frac{K \cdot I_{1r} \cdot e^{(-t/\tau)}}{\sqrt{2}}$$

где:

K – отношение величины максимального пика пускового тока (I_0) и номинального тока трансформатора: (I_{1r}): ($K = I_0 / I_{1r}$);

τ – постоянная времени пускового тока;

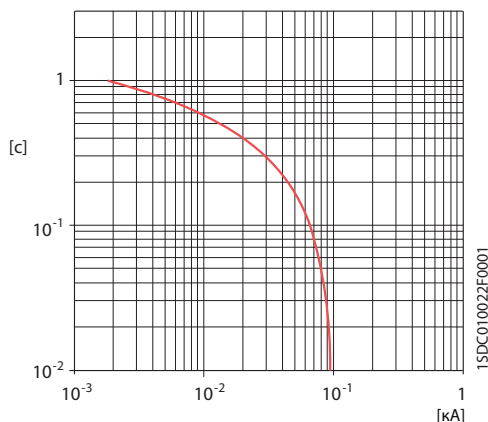
I_{1r} – номинальный ток первичной обмотки;

t – время.

Следующая таблица показывает типовые значения параметров t и K относительно номинальной мощности S_r для масляных трансформаторов.

S_r [кВА]	50	100	160	250	400	630	1000	1600	2000
$K = I_0 / I_{1r}$	15	14	12	12	12	11	10	9	8
τ [с]	0,10	0,15	0,20	0,22	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45

Следующая характеристика показывает кривую пускового тока для 20/0,4 кВ трансформатора мощностью 400 кВА. Пусковой ток этого трансформатора в первый момент в 8 раз превышает номинальный; этот переходный процесс прекращается через несколько десятых долей секунды.



2 Защита электрического оборудования

Устройство защиты трансформатора должно также гарантировать, что трансформатор будет отключен при превышении точки максимальной тепловой перегрузки в условиях короткого замыкания. Эта точка определена на время-токовой кривой значением тока короткого замыкания, который может проходить через трансформатор, и временем 2 с, как указано в Стандарте МЭК 60076-5. Ток короткого замыкания (I_k), протекающий при повреждении с низким полным сопротивлением на низковольтных выводах трансформатора, определяется следующей формулой:

$$I_k = \frac{U_r}{\sqrt{3} \cdot (Z_{\text{Net}} + Z_t)} \quad [\text{A}] \quad (1)$$

где:

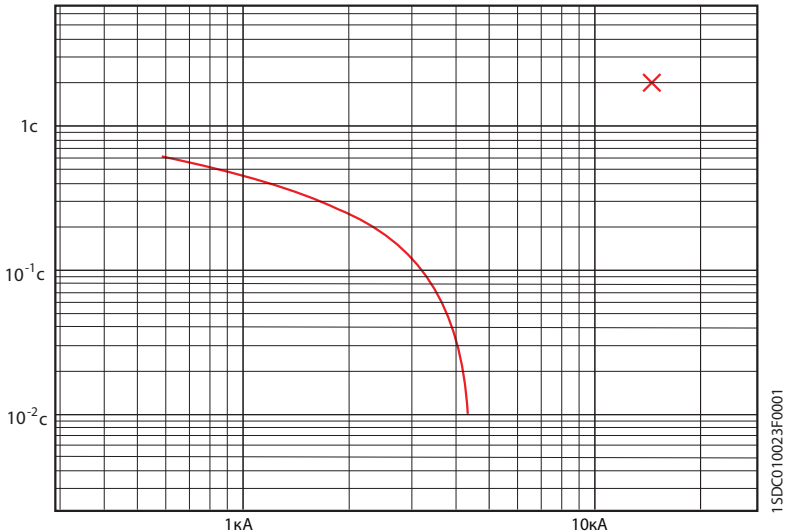
- U_r – номинальное напряжение трансформатора [В];
- Z_{Net} – полное сопротивление короткого замыкания сети [Ом];
- Z_t – полное сопротивление короткого замыкания трансформатора; исходя из номинальной мощности трансформатора (S_r [ВА]) и напряжения короткого замыкания ($u_k\%$), оно равно:

$$Z_t = \frac{u_k\%}{100} \cdot \frac{U_r^2}{S_r} \quad [\Omega] \quad (2)$$

Предполагая, что мощность питающей сети бесконечна ($Z_{\text{Net}} = 0$), формула (1) преобразуется

$$I_k = \frac{U_r}{\sqrt{3} \cdot (Z_t)} = \frac{U_r}{\sqrt{3} \cdot \left(\frac{u_k\%}{100} \cdot \frac{U_r^2}{S_r} \right)} = \frac{100 S_r}{\sqrt{3} \cdot u_k\% \cdot U_r} \quad [\text{A}] \quad (3)$$

Следующий график показывает кривую пускового тока для 20/0,4 кВ трансформатора мощностью 400 кВА ($u_k\% = 4\%$) и точку, относящуюся к термической стойкости при токе короткого замыкания (I_k ; 2с).



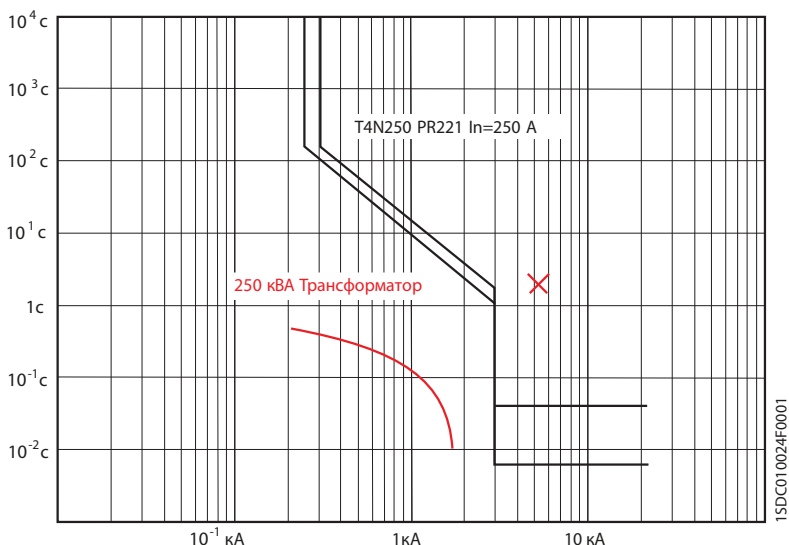
2 Защита электрического оборудования

Таким образом, для правильной защиты трансформатора и предотвращения нежелательных отключений кривая срабатывания устройства защиты должна располагаться над кривой пускового тока и ниже точки перегрузки.

Выбор автоматических выключателей для первичной обмотки НВ/НВ трансформатора

Эти типы трансформаторов, в основном, используются для питания вспомогательных цепей управления и коммутации, так как на них подается более низкое напряжение по сравнению с цепями для распределения мощности; другим примером применения может служить необходимость изменения системы нейтрали в соответствии с требованиями установки. Что касается выбора и настройки автоматического выключателя на стороне питания первичной обмотки, необходимо учитывать как феномен пускового тока, так и максимальную способность трансформатора выдерживать тепловую нагрузку при коротком замыкании, как описано выше.

На следующем рисунке показано возможное положение кривой времени срабатывания автоматического выключателя в цепи первичной обмотки трансформатора 250 кВА при 690В/400В с $u_k = 4\%$.



На следующих страницах приведены несколько таблиц, в которых рекомендуется (со ссылкой на номинальное напряжение первичной обмотки) автоматический выключатель, пригодный для применения.

Что касается выбора автоматического выключателя, необходимо использовать аппарат со значением I_{cu} выше тока короткого замыкания в точке установки автоматического выключателя. Необходимо правильно выполнить настройки для рекомендуемого автоматического выключателя, чтобы получить защиту трансформатора, как показано на рисунке вышеуказанного примера, уделяя особое внимание параметрам, приведенным на предыдущих страницах.

2 Защита электрического оборудования

V1n = 400 В

Трансформатор		Автоматический выключатель АББ			
S _r [кВА]	Trafo I _r [А]	Автоматический выключатель с термомагнитным расцепителем		Автоматический выключатель с электронным расцепителем	
		Тип	In [А]	Тип	In [А]
1 x 63	91	XT1B-C-N-S-H	125	XT2N-S-H-L-V	160
1 x 100	144	XT3N-S	200	XT4N-S-H-L-V	250
1 x 125	180	XT3N-S	250	XT4N-S-H-L-V	250
1 x 160	231	XT4N-S-H-L-V	250	XT4N-S-H-L-V	250
1 x 200	289	T5N-S-H-L-V	320	T5N-S-H-L-V	400
1 x 250	361	T5N-S-H-L-V	400	T5N-S-H-L-V	400
1 x 315	455	T5N-S-H-L-V	500	T5N-S-H-L -V	630
1 x 400	577	T6N-S-H-L	630	T6N-S-H-L -V	630
1 x 500	722	T6N-S-H-L	800	T6N-S-H-L	800
1 x 630	909	-	-	T7S-H-L-V/ X1B-N	1000
1 x 800	1155	-	-	T7S-H-L-V/ X1B-N	1250
1 x 1000	1443	-	-	T7S-H-L / X1B-N	1600
1 x 1250	1804	-	-	E2B-N-S	2000
1 x 1600	2309	-	-	E3N-S-H-V	2500
1 x 2000	2887	-	-	E3N-S-H-V	3200

V1n = 440 В

Трансформатор		Автоматический выключатель АББ			
S _r [кВА]	Trafo I _r [А]	Автоматический выключатель с термомагнитным расцепителем		Автоматический выключатель с электронным расцепителем	
		Тип	In [А]	Тип	In [А]
1 x 63	83	XT1B-C-N-S-H	125	XT2N-S-H-L-V	160
1 x 100	131	XT3N-S	200	XT4N-S-H-L-V	250
1 x 125	164	XT3N-S	200	XT4N-S-H-L-V	250
1 x 160	210	XT4N-S-H-L-V	250	XT4N-S-H-L-V	250
1 x 200	262	T5N-S-H-L-V	320	T5N-S-H-L -V	400
1 x 250	328	T5N-S-H-L-V	400	T5N-S-H-L -V	400
1 x 315	413	T5N-S-H-L-V	500	T5N-S-H-L -V	630
1 x 400	526	T6N-S-H-L	630	T6N-S-H-L	630
1 x 500	656	T6N-S-H-L	800	T6N-S-H-L	800
1 x 630	827	-	-	T7S-H-L-V-X1B-N	1000
1 x 800	1050	-	-	T7S-H-L-V/ X1B-N	1250
1 x 1000	1312	-	-	T7S-H-L / X1B-N	1600
1 x 1250	1640	-	-	E2B-N-S	2000
1 x 1600	2099	-	-	E3N-S-H-V	2500
1 x 2000	2624	-	-	E3N-S-H-V	3200

2 Защита электрического оборудования

$V_{1n} = 690 \text{ В}$

Трансформатор		Автоматический выключатель АББ			
S_r [kVA]	Trafo I_r [A]	Автоматический выключатель с термомагнитным расцепителем		Автоматический выключатель с электронным расцепителем	
		Тип	I_n [A]	Тип	I_n [A]
1 x 63	53	XT1B-C-N-S-H	80	XT2N-S-H-L-V	80
1 x 100	84	XT1B-C-N-S-H	125	XT2N-S-H-L-V	160
1 x 125	105	XT1B-C-N-S-H	125	XT2N-S-H-L-V	160
1 x 160	134	XT1B-C-N-S-H	160	XT2N-S-H-L-V	160
1 x 200	168	XT3N-S	200	XT4N-S-H-L-V	250
1 x 250	209	XT4N-S-H-L-V	250	XT4N-S-H-L-V	250
1 x 315	264	T5N-S-H-L-V	320	T5N-S-H-L-V	400
1 x 400	335	T5N-S-H-L-V	400	T5N-S-H-L-V	400
1 x 500	419	T5N-S-H-L-V	500	T5N-S-H-L-V	630
1 x 630	528	T6N-S-H-L	630	T6N-S-H-L	800
1 x 800	670	T6N-S-H-L	800	T6N-S-H-L	800
1 x 1000	838	-	-	T7S-H-L-V/ X1B-N	1000
1 x 1250	1047	-	-	T7S-H-L-V/ X1B-N	1250
1 x 1600	1340	-	-	T7S-H-L / X1B-N	1600
1 x 2000	1676	-	-	E2B-N-S	2000

Критерии выбора аппаратов защиты

Для защиты со стороны низкого напряжения трансформатора среднего/низкого напряжения при выборе автоматического выключателя необходимо учитывать:

- номинальный ток на стороне низкого напряжения защищаемого трансформатора (это значение является определяющим для номинального тока автоматического выключателя и уставок защиты);
- максимальный ток короткого замыкания в точке установки (это значение определяет минимальную отключающую способность I_{cu}/I_{cs}) защитного устройства.

Подстанция среднего/низкого напряжения с одним трансформатором

Номинальный ток на стороне низкого напряжения трансформатора (I_r) определяется следующей формулой:

$$I_r = \frac{1000 \cdot S_r}{\sqrt{3} \cdot U_{r20}} \text{ [A]} \quad (4)$$

где:

- S_r – номинальная мощность трансформатора [кВА];
- U_{r20} – номинальное напряжение холостого хода обмотки низкого напряжения [В].

2 Защита электрического оборудования

Трехфазный ток короткого замыкания (I_k) при полном напряжении на выводах низкого напряжения трансформатора может быть выражен как (предполагая, что мощность короткого замыкания в сети бесконечна):

$$I_k = \frac{100 \cdot I_r}{u_k \%} \text{ [A]} \quad (5)$$

где:

$u_k \%$ – напряжение короткого замыкания в %.

Автоматический выключатель защиты должен иметь: (*)

$$I_n \geq I_r;$$

$$I_{cu} (I_{cs}) \geq I_k.$$

Если мощность короткого замыкания вышерасположенной питающей сети не бесконечна, и присутствуют кабельные или шинные соединения, существует возможность вычислить более точное значение для I_k , используя формулу (1), где Z_{Net} – это сумма полных сопротивлений сети и этих соединений.

Подстанция среднего/низкого напряжения с более чем одним параллельным трансформатором
Для расчета номинального тока трансформатора, используйте вышеприведенную формулу (4).

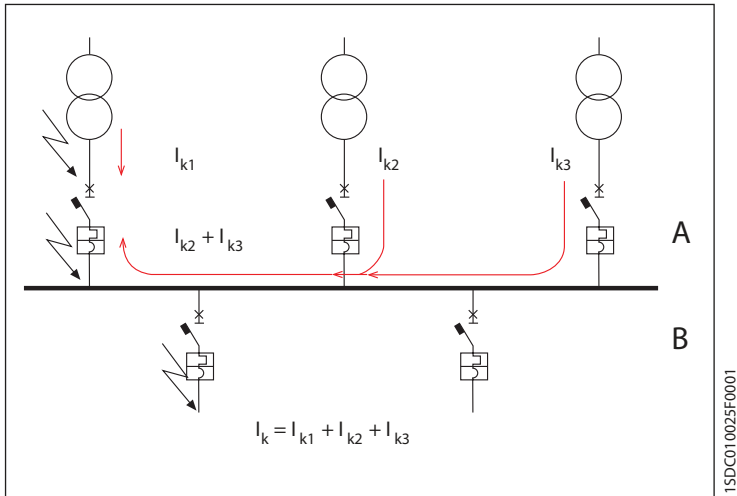
Отключающая способность каждого защитного автоматического выключателя на стороне низкого напряжения должна быть выше, чем эквивалентное значение тока короткого замыкания, равное току короткого замыкания каждого одинакового трансформатора, умноженного на их количество минус 1. Из следующей схемы видно, что в случае аварии ниже автоматического выключателя трансформатора (автоматический выключатель А), ток короткого замыкания, протекающий через автоматический выключатель, создается одним трансформатором. Если короткое замыкание произошло выше того же автоматического выключателя, то протекающий ток короткого замыкания создается другими двумя параллельными трансформаторами.

(*) Для выполнения правильной защиты от перегрузки рекомендуется использовать термометрическое оборудование или другие защитные устройства, способные контролировать температуру внутри трансформаторов.

2 Защита электрического оборудования

Правильно выбранный автоматический выключатель должен иметь отключающую способность, более чем вдвое превышающую ток короткого замыкания одного из трансформаторов (при том, что все трансформаторы одинаковы, а нагрузки статические).

Автоматические выключатели, установленные на отходящих фидерах (автоматические выключатели В), должны иметь отключающую способность выше, чем сумма токов короткого замыкания трехтрансформаторов, в соответствии с предположением, что мощность короткого замыкания вышерасположенной питающей сети 750 МВА и нагрузки статические.



2 Защита электрического оборудования

Выбор автоматического выключателя

В следующих таблицах показаны возможные варианты выбора автоматических выключателей АББ в соответствии с характеристиками защищаемых трансформаторов.

Таблица 1: Защита и коммутация трансформаторов напряжением 230 В

Трансформатор				Автоматический выключатель "А" (сторона НН)											
S _r	u _k	Транс. I _r	Шина I _b	Фидер транс. I _k	Автоматический выключатель АББ	Расцепитель		Шина I _k							
[кВА]	[%]	[А]	[А]	[кА]		In [А]	миним. уставка	[кА]	32 А	63 А	125 А	160 А	250 А	400 А	
1 x 63	4	158	158	3,9	XT1B160*	160	1	3,9	S200		XT1B160				
2 x 63		158	316	3,9	XT1B160*	160	1	7,9	S200		XT1B160		XT3N250		
1 x 100	4	251	251	6,3	T4N320	320	0,79	6,3	S200		XT1B160				
2 x 100		251	502	6,2	T4N320	320	0,79	12,5	S200		XT1B160		XT3N250	T5N400	
1 x 125	4	314	314	7,8	T5N400	400	0,79	7,8	S200		XT1B160		XT3N250		
2 x 125		314	628	7,8	T5N400	400	0,79	15,6	S200		XT1B160		XT3N250	T5N400	
1 x 160	4	402	402	10,0	T5N630	630	0,64	10,0	S200		XT1B160		XT3N250		
2 x 160		402	803	9,9	T5N630	630	0,64	19,9	S200		XT1B160		XT3N250	T5N400	
1 x 200	4	502	502	12,5	T5N630	630	0,8	12,5	S200		XT1B160		XT3N250	T5N400	
2 x 200		502	1004	12,4	T5N630	630	0,8	24,8		XT1B160			XT3N250	T5N400	
1 x 250	4	628	628	15,6	T5N630	630	1	15,6	S200		XT1B160		XT3N250	T5N400	
2 x 250		628	1255	15,4	T5N630	630	1	30,9		XT1C160			XT3N250	T5N400	
1 x 315	4	791	791	19,6	T6N800	800	1	19,6			XT1B160		XT3N250	T5N400	
2 x 315		791	1581	19,4	T6N800	800	1	38,7			XT1C160		XT3N250	T5N400	
1 x 400	4	1004	1004	24,8	T7S1250/X1B1250**	1250	0,81	24,8			XT1B160		XT3N250	T5N400	
2 x 400		1004	2008	24,5	T7S1250/X1B1250**	1250	0,81	48,9			XT1N160		XT3N250	T5N400	
1 x 500	4	1255	1255	30,9	T7S1600/X1B1600**	1600	0,79	30,9			XT1C160		XT3N250	T5N400	
2 x 500		1255	2510	30,4	T7S1600/X1B1600**	1600	0,79	60,7			XT1N160		XT3S250	T5N400	
1 x 630	4	1581	1581	38,7	T7S1600/X1B1600**	1600	1	38,7			XT1C160		XT3N250	T5N400	
2 x 630		1581	3163	37,9	T7S1600/X1B1600**	1600	1	75,9			XT1S160		XT3S250	T5S400	
3 x 630	5	1581	4744	74,4	T7S1600/E2S1600	1600	1	111,6			XT2L160		XT4L250	T5L400	
1 x 800		2008	2008	39,3	E3N2500	2500	0,81	39,3			XT1C160		XT3N250	T5N400	
2 x 800	5	2008	4016	38,5	E3N2500	2500	0,81	77,0			XT1S160		XT3S250	T5S400	
3 x 800		2008	6025	75,5	E3H2500	2500	0,81	113,2			XT2L160		XT4L250	T5L400	
1 x 1000	5	2510	2510	48,9	E3N3200	3200	0,79	48,9			XT1N160		XT3N250	T5N400	
2 x 1000		2510	5020	47,7	E3N3200	3200	0,79	95,3			XT1H160		XT4H250	T5H400	
3 x 1000	5	2510	7531	93,0	E3H3200	3200	0,79	139,5			XT2L160		XT4L250	T5L400	
1 x 1250		3138	3138	60,7	E3N3200	3200	1	60,7			XT1N160		XT3S250	T5N400	
2 x 1250	5	3138	6276	58,8	E3N3200	3200	1	117,7			XT2L160		XT4L250	T5L400	
3 x 1250		3138	9413	114,1	E4V3200	3200	1	171,2			XT2V160		XT4V250	T5L400	

* Для этого применения можно использовать также автоматические выключатели с электронными расцепителями серии Tmax

** Для этого применения можно использовать автоматический выключатель Tmax E1

2 Защита электрического оборудования

Автоматический выключатель "В" (Автоматический выключатель фидера)									
Тип выключателя фидера и номинальный ток									
630 A	800 A	1000 A	1250 A	1600 A	2000 A	2500 A	3200 A	4000 A	
T5N630									
T5N630									
T5N630	T6N800/X1B800								
T5N630									
T5N630	T6N800/X1B800	T7S1000/X1B1000	T7S1250/X1B1250						
T5N630	T6N800/X1B800								
T5N630	T6N800/X1N800	T7S1000/X1N1000	T7S1250/X1N1250	T7S1600/X1N1600					
T5N630	T6N800/X1B800								
T5N630	T6N800/X1N800	T7S1000/X1N1000	T7S1250/X1N1250	T7S1600/X1N1600	E2N2000				
T5N630	T6N800/X1B800	T7S1000/X1B1000	T7S1250/X1B1250						
T5S630	T6S800/E2S800	T7S1000/E2S1000	T7S1250/E2S1250	T7S1600/E2S1600	E2S2000	E3H2500			
T5L630	T6L800/E3V800	T7L1000/E3V1250	T7L1250/E3V1250	T7L1600/E3V1600	E3V2000	E3V2500	E3V3200		
T5N630	T6N800/X1B800	T7S1000/X1B1000	T7S1250/X1B1250	T7S1600/X1B1600					
T5S630	T6L800/E2S800	T7S1000/E2S1000	T7S1250/E2S1250	T7S1600/E2S1600	E2S2000	E3H2500	E3H3200		
T5L630	T6L800/E3V800	T7L1000/E3V1250	T7L1250/E3V1250	T7L1600/E3V1600	E3V2000	E3V2500	E4V3200	E4V4000	
T5N630	T6N800/X1N800	T7S1000/X1N1000	T7S1250/X1N1250	T7S1600/X1N1600	E2N2000				
T5H630	T6H800/E3H800	T7H1000/E3H1000	T7H1250/E3H1250	T7H1600/E3H1600	E3H2000	E3H2500	E3H3200	E4H4000	
T5L630	T6L800	T7L1000	T7L1250	T7L1600	E4V3200	E4V3200	E4V3200	E4V4000	
T5N630	T6N800/X1N800	T7S1000/X1N1000	T7S1250/X1N1250	T7S1600/X1N1600	E2N2000	E3N2500			
T5L630	T6L800/E3V800	T7L1000/E3V1250	T7L1250/E3V1250	T7L1600/E3V1600	E3V2000	E3V2500	E3V3200	E4V4000	
T5L630	T6L800	T7L1000	T7L1250	T7L1600					

1SDC010035F0201

2 Защита электрического оборудования

Таблица 2: Защита и коммутация трансформаторов напряжением 400 В

Трансформатор				Автоматический выключатель "А" (сторона НН)										
S_T	u_k	Транс. I_T	Шина I_b	Фидер транс. I_k	Автоматический выключатель АББ	Расцепитель		Шина I_k						
[кВА]	[%]	[А]	[А]	[кА]		In [А]	миним. уставка	[кА]	32 А	63 А	125 А	160 А	250 А	400 А
1 x 63	4	91	91	2,2	XT1B*	100	0,92	2,2	S200					
2 x 63		91	182	2,2	XT1B*	100	0,92	4,4	S200	XT1B160				
1 x 100		144	144	3,6	XT1B*	160	0,91	3,6	S200	XT1B160				
2 x 100		144	288	3,6	XT1B*	160	0,91	7,2	S200	XT1B160				
1 x 125	4	180	180	4,5	XT3N250*	200	0,73	4,5	S200	XT1B160				
2 x 125		180	360	4,4	XT3N250*	200	0,73	8,8	S200	XT1B160				
1 x 160		231	231	5,7	XT3N250*	250	0,93	5,7	S200	XT1B160				
2 x 160		231	462	5,7	XT3N250*	250	0,93	11,4	S200M	XT1B160	XT3N250			
1 x 200	4	289	289	7,2	T4N320	320	0,91	7,2	S200	XT1B160	XT3N250			
2 x 200		289	578	7,1	T4N320	320	0,91	14,2	S200M	XT1B160	XT3N250	T5N400		
1 x 250		361	361	8,9	T5N400	400	0,91	8,9	S200	XT1B160	XT3N250			
2 x 250		361	722	8,8	T5N400	400	0,91	17,6		XT1B160	XT3N250	T5N400		
1 x 315	4	455	455	11,2	T5N630	630	0,73	11,2	S200M	XT1B160	XT3N250	T5N400		
2 x 315		455	910	11,1	T5N630	630	0,73	22,2		XT1C160	XT3N250	T5N400		
1 x 400		577	577	14,2	T5N630	630	0,92	14,2	S200M	XT1B160	XT3N250	T5N400		
2 x 400		577	1154	14	T5N630	630	0,92	28		XT1N160	XT3N250	T5N400		
1 x 500	4	722	722	17,7	T6N800	800	0,91	17,7		XT1B160	XT3N250	T5N400		
2 x 500		722	1444	17,5	T6N800	800	0,91	35,9		XT1N160	XT3N250	T5N400		
1 x 630		909	909	22,3	T7S1000/X1B1000**	1000	0,91	22,3		XT1C160	XT3N250	T5N400		
2 x 630		909	1818	21,8	T7S1000/X1B1000**	1000	0,91	43,6		XT1S160	XT3S250	T5S400		
3 x 630	5	909	2727	42,8	T7S1000/X1N1000**	1000	0,91	64,2		XT1H160	XT4H250	T5H400		
1 x 800		1155	1155	22,6	T7S1250/X1B1250**	1250	0,93	22,6		XT1C160	XT3N250	T5N400		
2 x 800		1155	2310	22,1	T7S1250/X1B1250**	1250	0,93	44,3		XT1S160	XT3S250	T5S400		
3 x 800		1155	3465	43,4	T7S1250/X1N1250**	1250	0,93	65		XT1H160	XT4H250	T5H400		
1 x 1000	5	1443	1443	28,1	T7S1600/X1B1600**	1600	0,91	28,1		XT1N160	XT3N250	T5N400		
2 x 1000		1443	2886	27,4	T7S1600/X1B1600**	1600	0,91	54,8		XT1H160	XT4H250	T5H400		
3 x 1000		1443	4329	53,5	T7H1600/E2N1600	1600	0,91	80,2		XT2L160	XT4L250	T5L400		
1 x 1250		1804	1804	34,9	E2B2000	2000	0,91	34,9		XT1N160	XT3N250	T5N400		
2 x 1250	6,25	1804	3608	33,8	E2B2000	2000	0,91	67,7		XT1H160	XT4H250	T5H400		
3 x 1250		1804	5412	65,6	E2S2000	2000	0,91	98,4		XT2L160	XT4L250	T5L400		
1 x 1600		2309	2309	35,7	E3N2500	2500	0,93	35,7		XT1N160	XT3N250	T5N400		
2 x 1600		2309	4618	34,6	E3N2500	2500	0,93	69,2		XT1H160	XT4H250	T5H400		
3 x 1600	6,25	2309	6927	67	E3S2500	2500	0,93	100,6		XT2L160	XT4L250	T5L400		
1 x 2000		2887	2887	44,3	E3N3200	3200	0,91	44,3		XT1S160	XT3S250	T5S400		
2 x 2000		2887	5774	42,6	E3N3200	3200	0,91	85,1		XT2L160	XT4L250	T5L400		
3 x 2000		2887	8661	81,9	E3H3200	3200	0,91	122,8		XT2V160	XT4V250	T5V400		
1 x 2500	6,25	3608	3608	54,8	E4S4000	4000	0,91	54,8		XT1H160	XT4H250	T5H400		
1 x 3125		4510	4510	67,7	E6H5000	5000	0,91	67,7		XT1H160	XT4H250	T5H400		

* Для этого применения можно использовать также автоматические выключатели с электронными расцепителями серии Tmax

** Для этого применения можно использовать автоматический выключатель Tmax E1

2 Защита электрического оборудования

Автоматический выключатель "В" (Автоматический выключатель фидера)									
Тип выключателя фидера и номинальный ток									
630 A	800 A	1000 A	1250 A	1600 A	2000 A	2500 A	3200 A	4000 A	
T5N630									
T5N630									
T5N630									
T5N630	T6N800/X1B800								
T5N630	T6N800/X1B800								
T5S630	T6S800/X1N800	T7S1000/X1N1000	T7S1250/X1N1250						
T5H630	T6H800/X1N800	T7H1000/X1N1000	T7H1250/X1N1250	T7H1600/X1N1600					
T5N630	T6N800/X1B800	T7S1000/X1B1000							
T5S630	T6S800/X1N800	T7S1000/X1N1000	T7S1250/X1N1250	T7S1600/X1N1600					
T5H630	T6H800/X1N800	T7H1000/X1N1000	T7H1250/X1N1250	T7H1600/X1N1600	E2N2000	E3N2500			
T5N630	T6N800/X1B800	T7S1000/X1B1000	T7S1250/X1B1250						
T5H400	T6H800/X1N800	T7H1000/X1N1000	T7H1250/X1N1250	T7H1600/X1N1600	E2N2000				
T5L630	T6L800/E2S800	T7L1000/E2S1000	T7L1250/E2S1250	T7L1600/E2S1600	E2S2000	E3H2500	E3H3200		
T5N630	T6N800/X1B800	T7S1000/X1B1000	T7S1250/X1B1250	T7S1600/X1B1600					
T5H630	T6H800/E2S800	T7H1000/E2S1000	T7H1250/E2S1250	T7H1600/E2S1600	E2S2000	E3S2500	E3S3200		
T5L630	T6L800/E3H800	T7L1000/E3H1000	T7L1250/E3H1250	T7L1600/E3H1600	E3H2000	E3H2500	E3H3200	E4H4000	
T5N630	T6N800/X1B800	T7S1000/X1B1000	T7S1250/X1B1250	T7S1600/X1B1600					
T5H630	T6H800/E2S800	T7H1000/E2S1000	T7H1250/E2S1250	T7H1600/E2S1600	E2S2000	E3S2500	E3S3200	E4S4000	
T5L630	T7L800/E3V800	T7L1000/E3V1250	T7L1250/E3V1250	T7L1600/E3V1600	E3V2000	E3V2500	E3V3200	E4V4000	
T5S630	T6S800/X1N800	T7S1000/X1N1000	T7S1250/X1N1250	T7S1600/X1N1600	E2N2000				
T5L630	T6L800/E3H800	T7L1000/E3H1000	T7L1250/E3H1250	T7L1600/E3H1600	E3H2000	E3H2500	E3H3200	E4H4000	
T5V630	T7V800/E3V800	T7V1000/E3V1000	T7V1250/E3V1250	E3V1600	E3V2000	E3V2500	E3V3200	E4V4000	
T5H630	T6H800/X1N800	T7H1000/X1N1000	T7H1250/X1N1250	T7H1600/X1N1600	E2N2000	E3N2500	E3N3200		
T5H630	T6H800/E2S800	T7H1000/E2S1000	T7H1250/E2S1250	T7H1600/E2S1600	E2S2000	E3S2500	E3S3200	E4S4000	

ISDC010036F0201

2 Защита электрического оборудования

Таблица 3: Защита и коммутация трансформаторов напряжением 440 В

Трансформатор				Автоматический выключатель "А" (сторона НН)											
S _т	u _к	Транс. I _т	Шина I _б	Фидер транс. I _к	Автоматический выключатель АББ	Расцепитель		Шина I _к							
[кВА]	[%]	[А]	[А]	[кА]		In [А]	миним. уставка		[кА]	32 А	63 А	125 А	160 А	250 А	400 А
1 x 63	4	83	83	2,1	XT1B160*	100	0,83	2,1	S200						
2 x 63		83	165	2,1	XT1B160*	100	0,83	4,1	S200	XT1B160					
1 x 100	4	131	131	3,3	XT1B160*	160	0,82	3,3	S200						
2 x 100		131	262	3,3	XT1B160*	160	0,82	6,5	XT1B160						
1 x 125	4	164	164	4,1	XT3N250*	200	0,82	4,1	S200	XT1B160					
2 x 125		164	328	4,1	XT3N250*	200	0,82	8,1	XT1B160				XT3N250		
1 x 160	4	210	210	5,2	XT3N250*	250	0,84	5,2	S200	XT1B160					
2 x 160		210	420	5,2	XT3N250*	250	0,84	10,4	XT1B160				XT3N250		
1 x 200	4	262	262	6,5	T4N320	320	0,82	6,5	XT1B160						
2 x 200		262	525	6,5	T4N320	320	0,82	12,9	XT1B160				XT3N250	T5N400	
1 x 250	4	328	328	8,1	T5N400	400	0,82	8,1	XT1B160				XT3N250		
2 x 250		328	656	8,1	T5N400	400	0,82	16,1	XT1C160				XT3N250	T5N400	
1 x 315	4	413	413	10,2	T5N630	630	0,66	10,2	XT1B160				XT3N250		
2 x 315		413	827	10,1	T5N630	630	0,66	20,2	XT1C160				XT3N250	T5N400	
1 x 400	4	525	525	12,9	T5N630	630	0,83	12,9	XT1B160				XT3N250	T5N400	
2 x 400		525	1050	12,8	T5N630	630	0,83	25,6	XT1N160				XT3S250	T5N400	
1 x 500	4	656	656	16,1	T6N800	800	0,82	16,1	XT1C160				XT3N250	T5N400	
2 x 500		656	1312	15,9	T6N800	800	0,82	31,7	XT1N160				XT3S250	T5S400	
1 x 630	4	827	827	20,2	T7S1000/X1B1000**	1000	0,83	20,2	XT1C160				XT3N250	T5N400	
2 x 630		827	1653	19,8	T7S1000/X1B1000**	1000	0,83	39,7	XT1S160				XT3S250	T5S400	
3 x 630	5	827	2480	38,9	T7S1000/X1B1000**	1000	0,83	58,3	XT1H160				XT4H250	T5H400	
1 x 800		1050	1050	20,6	T7S1250/X1B1250**	1250	0,84	20,6	XT1C160				XT3N250	T5N400	
2 x 800	5	1050	2099	20,1	T7S1250/X1B1250**	1250	0,84	40,3	XT1S160				XT4S250	T5H400	
3 x 800		1050	3149	39,5	T7S1250/X1B1250**	1250	0,84	59,2	XT1H160				XT4H250	T5H400	
1 x 1000	5	1312	1312	25,6	T7S1600/X1B1600**	1600	0,82	25,6	XT1N160				XT3S250	T5N400	
2 x 1000		1312	2624	24,9	T7S1600/X1B1600**	1600	0,82	49,8	XT1S160				XT4S250	T5H400	
3 x 1000	5	1312	3936	48,6	T7H1600/X1N1600**	1600	0,82	72,9	XT2L160				XT4L250	T5L400	
1 x 1250		1640	1640	31,7	E2B2000	2000	0,82	31,7	XT1N160				XT3S250	T5S400	
2 x 1250	5	1640	3280	30,8	E2B2000	2000	0,82	61,5	XT1H160				XT4H250	T5H400	
3 x 1250		1640	4921	59,6	E2N2000	2000	0,82	89,5	XT2L160				XT4L250	T5L400	
1 x 1600	6,25	2099	2099	32,5	E3N2500	2500	0,84	32,5	XT1N160				XT3S250	T5S400	
2 x 1600		2099	4199	31,4	E3N2500	2500	0,84	62,9	XT1H160				XT4H250	T5H400	
3 x 1600	6,25	2099	6298	60,9	E3N2500	2500	0,84	91,4	XT2L160				XT4L250	T5L400	
1 x 2000		2624	2624	40,3	E3N3200	3200	0,82	40,3	XT1S160				XT4S250	T5H400	
2 x 2000	6,25	2624	5249	38,7	E3N3200	3200	0,82	77,4	XT2L160				XT4L250	T5L400	
3 x 2000		2624	7873	74,4	E3S3200	3200	0,82	111,7	XT2V160				XT4V250	T5V400	
1 x 2500	6,25	3280	3280	49,8	E4S4000	4000	0,82	49,8	XT1S160				XT4S250	T5H400	
1 x 3125	6,25	4100	4100	61,5	E6H5000	5000	0,82	61,5	XT1H160				XT4H250	T5H400	

* Для этого применения можно использовать также автоматические выключатели с электронными расцепителями серии Tmax

** Для этого применения можно использовать автоматический выключатель Tmax E1

2 Защита электрического оборудования

Автоматический выключатель "В" (Автоматический выключатель фидера)								
Тип выключателя фидера и номинальный ток								
630 А	800 А	1000 А	1250 А	1600 А	2000 А	2500 А	3200 А	4000 А
T5N630								
T5N630								
T5S630	T6S800/X1B800							
T5N630								
T5S630	T6S800/X1B800	T7S1000/X1B1000	T7S1250/X1B1250					
T5H630	T6L800/X1N800	T7H1000/X1N1000	T7H1250/X1N1250	T7H1600/X1N1600	E2N2000			
T5N630	T6N800/X1B800							
T5H630	T6S800/X1B800	T7S1000/X1B1000	T7S1250/X1B1250	T7S1600/X1B1600				
T5H630	T6L800/X1N800	T7H1000/X1N1000	T7H1250/X1N1250	T7H1600/X1N1600	E2N2000	E3N2500	E3N3200	E4S4000
T5N630	T6N800/X1B800							
T5H630	T6H800/E1N800	T7S1000/X1N1000	T7S1250/X1N1250	T7S1600/X1N1600	E2N2000			
T5L630	T6L800/E2S800	T7L1000/E2S1000	T7L1250/E2S1250	T7L1600/E2S1600	E3S2000	E3S2500	E3S3200	
T5S630	T6S800/X1B800	T7S1000/X1B1000	T7S1250/X1B1250					
T5H630	T6L800/X1N800	T7H1000/X1N1000	T7H1250/X1N1250	T7H1600/X1N1600	E2N2000	E3N2500	E3N3200	
T5L630	T7L800/E3H800	T7L1000/E3H1000	T7L1250/E3H1250	T7L1600/E3H1600	E3H2000	E3H2500	E3H3200	E4H4000
T5S630	T6S800/X1B800	T7S1000/X1B1000	T7S1250/X1B1250	T7S1600/X1B1600				
T5H630	T6L800/X1N800	T7H1000/X1N1000	T7H1250/X1N1250	T7H1600/X1N1600	E2N2000	E3N2500	E3N3200	
T5L630	T7L800/E3H800	T7L1000/E3H1000	T7L1250/E3H1250	T7L1600/E3H1600	E3H2000	E3H2500	E3H3200	E4H4000
T5H630	T6S800/X1B800	T7S1000/X1B1000	T7S1250/X1B1250	T7S1600/X1B1600	E2B2000			
T5L630	T6L800/E2S800	T7L1000/E2S1000	T7L1250/E2S1250	T7L1600/E2S1600	E3H2000	E3H2500	E3H3200	E4H4000
T5V630	T7V800/E3V800	T7V1000/E3V1000	T7V1250/E3V1250	E3V1600	E3V2000	E3V2500	E3V3200	E4V4000
T5H630	T6H800/X1N800	T7S1000/X1N1000	T7S1250/X1N1250	T7S1600/X1N1600	E2N2000	E3N2500		
T5H630	T6L800/X1N800	T7H1000/X1N1000	T7H1250/X1N1250	T7H1600/X1N1600	E2N2000	E3N2500	E3N3200	

SDC010037F0201

2 Защита электрического оборудования

Таблица 4: Защита и коммутация трансформаторов напряжением 690 В

Трансформатор				Автоматический выключатель "А" (сторона НН)		Расцепитель		Шина I _k							
S _r	ц _k	Транс. I _r	Шина I _B	Фидер транс. I _k	Автоматический выключатель АББ										
[кВА]	[%]	[А]	[А]	[кА]		In [А]	миним. уставка	[кА]	32 А	63 А	125 А	160 А	250 А	400 А	
1 x 63	4	53	53	1,3	XT1B*	63	0,84	1,3	XT1B160						
2 x 63		53	105	1,3	XT1B*	63	0,84	2,6	XT1B160						
1 x 100	4	84	84	2,1	XT1B*	100	0,84	2,1	XT1B160						
2 x 100		84	167	2,1	XT1B*	100	0,84	4,2	XT1N160						
1 x 125	4	105	105	2,6	XT1B*	125	0,84	2,6	XT1B160						
2 x 125		105	209	2,6	XT1B*	125	0,84	5,2	XT1N160						
1 x 160	4	134	134	3,3	XT1C*	160	0,84	3,3	XT1C160						
2 x 160		134	268	3,3	XT1C*	160	0,84	6,6	XT1S160						
1 x 200	4	167	167	4,2	XT3N250*	200	0,84	4,2	XT1N160						
2 x 200		167	335	4,1	XT3N250*	200	0,84	8,3	XT1H160				XT4N250		
1 x 250	4	209	209	5,2	XT3S250*	250	0,84	5,2	XT1N160						
2 x 250		209	418	5,1	XT3S250*	250	0,84	10,3	XT2S160				XT4S250		
1 x 315	4	264	264	6,5	T4N320	320	0,82	6,5	XT1S160						
2 x 315		264	527	6,5	T4N320	320	0,82	12,9	XT2H160				XT4H250	T5N400	
1 x 400	4	335	335	8,3	T5N400	400	0,84	8,3	XT1H160				XT4N250		
2 x 400		335	669	8,2	T5N400	400	0,84	16,3	XT2L160				XT4L250	T5N400	
1 x 500	4	418	418	10,3	T5N630	630	0,66	10,3	XT2S160				XT4S250		
2 x 500		418	837	10,1	T5N630	630	0,66	20,2	XT4V250				XT4V250	T5S400	
1 x 630	4	527	527	12,9	T5N630	630	0,84	12,9	XT2H160				XT4H250	T5N400	
2 x 630		527	1054	12,6	T5N630	630	0,84	25,3	T4H250***				T4H250***	T5H400	
3 x 630	5	527	1581	24,8	T5S630	630	0,84	37,2	T4H250***				T4H250***	T5H400	
1 x 800		669	669	13,1	T6N800	800	0,84	13,1	XT2H160				XT4H250	T5N400	
2 x 800	5	669	1339	12,8	T6N800	800	0,84	25,7	T4H250***				T4H250***	T5H400	
3 x 800		669	2008	25,2	T6L800	800	0,84	37,7	T4H250***				T4H250***	T5H400	
1 x 1000	5	837	837	16,3	T7S1000/X1B1000**	1000	0,84	16,3	XT2L160				XT4L250	T5N400	
2 x 1000		837	1673	15,9	T7S1000/X1B1000**	1000	0,84	31,8	T4H250***				T4H250***	T5H400	
3 x 1000	5	837	2510	31,0	T7H1000/X1B1000**	1000	0,84	46,5	T4L250***				T4L250***	T5L400	
1 x 1250		1046	1046	20,2	T7S1250/X1B1250**	1250	0,84	20,2	XT4V250				XT4V250	T5S400	
2 x 1250	5	1046	2092	19,6	T7S1250/X1B1250**	1250	0,84	39,2	T4H250***				T4H250***	T5H400	
3 x 1250		1046	3138	38,0	T7H1250/X1B1250**	1250	0,84	57,1	T4L250***				T4L250***	T5L400	
1 x 1600	6,25	1339	1339	20,7	T7S1600/X1B1600**	1600	0,84	20,7	XT4V250				XT4V250	T5S400	
2 x 1600		1339	2678	20,1	T7S1600/X1B1600**	1600	0,84	40,1	T4L250***				T4L250***	T5L400	
3 x 1600	6,25	1339	4016	38,9	T7H1600/X1B1600**	1600	0,84	58,3	T4L250***				T4L250***	T5L400	
1 x 2000		1673	1673	25,7	E2B2000	2000	0,84	25,7	T4H250***				T4H250***	T5H400	
2 x 2000	6,25	1673	3347	24,7	E2B2000	2000	0,84	49,3	T4L250***				T4L250***	T5L400	
3 x 2000		1673	5020	47,5	E2N2000	2000	0,84	71,2	T4V250***				T4V250***	T5V400	
1 x 2500	6,25	2092	2092	31,8	E3N2500	2500	0,84	31,8	T4H250***				T4H250***	T5H400	
1 x 3125	6,25	2615	2615	39,2	E3N3200	3200	0,82	39,2	T4H250***				T4H250***	T5H400	

* Для этого применения можно использовать также автоматические выключатели с электронными расцепителями серии Tmax

** Для этого применения можно использовать автоматический выключатель Emax E1

*** Для информации по XT4V с I_{cu} = 90кА при 690 В обратитесь в компанию АББ

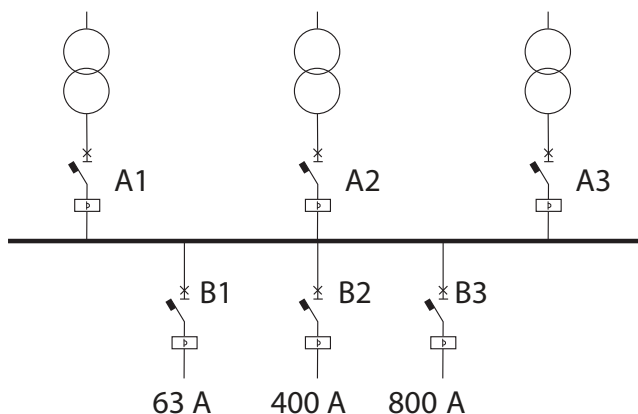
2 Защита электрического оборудования

ПРИМЕЧАНИЕ

Таблицы относятся к вышеупомянутым условиям; информация для выбора автоматических выключателей указана только с учетом рабочего тока и ожидаемого тока короткого замыкания. Для правильного выбора также необходимо учесть такие факторы как селективность, резервная защита, решение об использовании токоограничивающих автоматических выключателей и т.д. Таким образом, важно, чтобы инженеры-проектировщики выполнили детальную проверку. Также необходимо заметить, что указанные токи короткого замыкания определены с допущением, что мощность питающей сети выше трансформатора составляет 750 МВА, без принятия в расчет полного сопротивления шин или соединений с автоматическим выключателем.

Пример:

Предположим, необходимо выбрать выключатели A1/A2/A3 на стороне низкого напряжения для трех трансформаторов 20/0,4 кВ, мощностью 630 кВА с $u_k\% = 4\%$ и автоматических выключателей отходящих фидеров B1/B2/B3 для тока 63-400-800 А:



1SDC010026F0001

2 Защита электрического оборудования

Из Таблицы 2, из строки, относящейся к трансформаторам 3х630 кВА, получаем:

Автоматические выключатели уровня А (сторона низкого напряжения трансформатора)

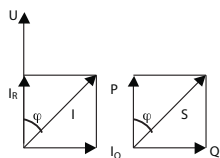
- I_r трансформатора (909 А) - ток, протекающий через автоматические выключатели трансформатора;
- I_b сборной шины (2727 А) - максимальный ток, который может подавать трансформатор;
- I_k фидера трансформатора (42,8 кА) - значение тока короткого замыкания для выбора отключающей способности каждого из автоматических выключателей трансформатора;
- T7S1000 или X1N1000 - типоразмер автоматического выключателя трансформатора;
- I_n (1000 А) - номинальный ток автоматического выключателя трансформатора (электронный расцепитель выбирается потребителем);
- минимальное значение 0,91 указывает минимальные уставки функции L электронных расцепителей для автоматических выключателей T7S1000 и X1N1000.

Автоматические выключатели уровня В (отходящие фидеры)

- I_k шины (64,2 кА) - ток короткого замыкания, создаваемый всеми тремя трансформаторами;
 - для фидера 63А, выбираем автоматический выключатель В1 Tmax XT1N160;
 - для фидера 400 А, выбираем автоматический выключатель В2 Tmax T5N400;
 - для фидера 800 А, выбираем автоматический выключатель В3 Tmax T6N800 или EmaxX1N800.
- Сделанный выбор не учитывает требования селективности/резервной защиты. Для правильного выбора для различных случаев смотрите соответствующие разделы справочника.

3 Коррекция коэффициента мощности

3.1 Общие положения



В цепях переменного тока потребляемый ток может быть представлен двумя составляющими:

- активная составляющая I_R , совпадающая по фазе с напряжением питания, напрямую связанная с потреблением энергии (и, следовательно, с частью электрической энергии, преобразуемой в энергию разных типов: механическую, тепловую и/или энергию света);
- реактивная составляющая I_Q , сдвинутая на прямой угол относительно напряжения, вызывает появление потока, необходимого для преобразования энергии электрического или магнитного поля. Без этой составляющей не может быть потока энергии ни в сердечнике трансформатора, ни в воздушном зазоре двигателя.

Наиболее часто при наличии активно-индуктивной нагрузки полный ток (I) отстает от активной составляющей I_R .

В электроустановках необходимо генерировать и передавать определенную реактивную мощность Q , отличную от активной мощности P и важную для преобразования электрической энергии, но не используемую потребителем. Комплексная сумма генерируемой и передаваемой мощности образует полную мощность S .

Коэффициент мощности ($\cos\varphi$) определяется как соотношение активной составляющей I_R и значения полного тока I ; φ - это угол между напряжением U и током I .

Это дает:

$$\cos\varphi = \frac{I_R}{I} = \frac{P}{S} \quad (1)$$

Реактивный коэффициент нагрузки ($\tan\varphi$) является соотношением реактивной и активной мощности:

$$\tan\varphi = \frac{Q}{P} \quad (2)$$

3 Коррекция коэффициента мощности

Таблица 1 показывает несколько типовых коэффициентов мощности:

Таблица 1: Типовые коэффициенты мощности

Нагрузка	$\cos \varphi$ коэффициент мощности	$\tan \varphi$ реактивный коэффициент нагрузки
Трансформатор (ненагруженный)	0,1÷0,15	9,9÷6,6
Двигатель (при полной нагрузке)	0,7÷0,85	1,0÷0,62
Двигатель (без нагрузки)	0,15	6,6
Металлообрабатывающее оборудование:		
- дуговая сварка	0,35÷0,6	2,7÷1,3
- компенсированная дуговая сварка	0,7÷0,8	1,1÷0,75
- контактная сварка	0,4÷0,6	2,3÷1,3
- электродуговая плавильная печь	0,75÷0,9	0,9÷0,5
Люминесцентные лампы		
- компенсированные	0,9	0,5
- некомпенсированные	0,4÷0,6	2,3÷1,3
Ртутные газоразрядные лампы	0,5	1,7
Натриевая газоразрядная лампа	0,65÷0,75	1,2÷0,9
Выпрямители перем.ток/пост. ток	0,6÷0,95	1,3÷0,3
Приводы постоянного тока	0,4÷0,75	2,3÷0,9
Приводы переменного тока	0,95÷0,97	0,33÷0,25
Активная нагрузка	1	0

Коррекция коэффициента мощности - это комплекс мер, направленных на повышение эффективности потребления электрической энергии нагрузкой за счет снижения реактивной составляющей потребляемой энергии. В результате ККМ из-за снижения реактивной составляющей тока полный ток уменьшается, что снижает нагрузку на линию передачи энергии и генератор (трансформатор).

В частности, как показано на Рис. 1 и Рис. 2, повышение коэффициента мощности нагрузки:

- уменьшает относительное падение напряжения u_p на единицу передаваемой активной мощности;
- увеличивает передаваемую активную мощность и уменьшает потери при прочих равных параметрах системы.

3 Коррекция коэффициента мощности

Рисунок 1: Относительное падение напряжения

Падение напряжения на единицу передаваемой активной мощности

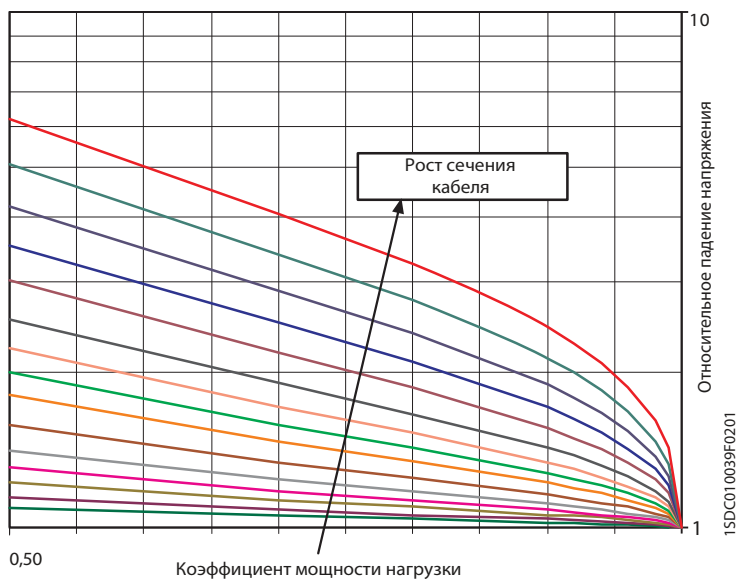
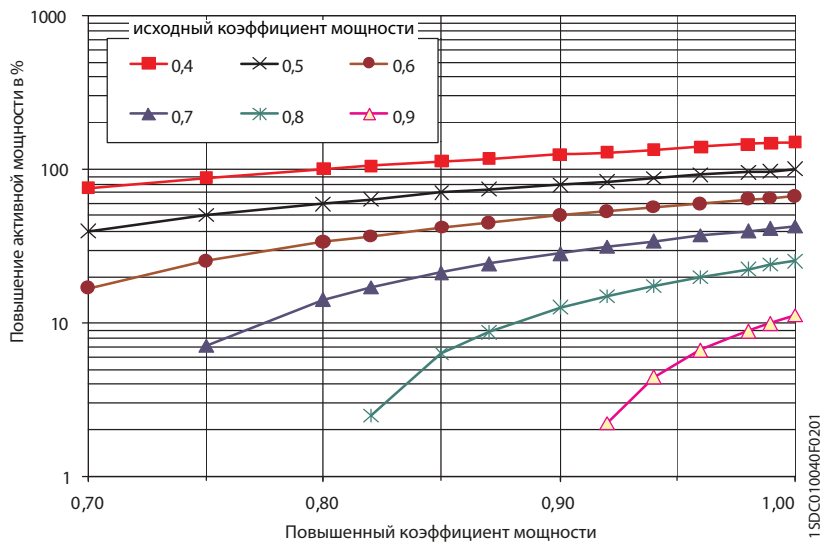


Рисунок 2: Передаваемая активная мощность

Активная мощность повышается при равных параметрах системы



3 Коррекция коэффициента мощности

Осуществляющая распределение электроэнергии организация ответственна за производство и передачу реактивной мощности, требуемой электроустановкам потребителя, и, как следствие, это имеет следующие недостатки:

- завышенное сечение проводников и элементов линий передач;
- большие потери мощности за счет эффекта Джоуля и падения напряжения в элементах и линиях.

Подобные недостатки также присутствуют и в распределительных установках конечного потребителя. Коэффициент мощности является отличным показателем добавочной стоимости и используется организацией, осуществляющей распределение электроэнергии, для определения стоимости энергии для конечного потребителя.

В идеале $\cos\varphi$ должен быть немного выше установленного эталона, чтобы избежать выплаты законных штрафов и в то же время не допустить риска (при $\cos\varphi$ близком к единице) - коэффициента мощности при опережающем токе, когда устройство коррекции коэффициента мощности работает малой нагрузкой.

Организация, осуществляющая распределение электроэнергии, обычно не позволяет другим поставлять реактивную мощность в сеть, и одной из причин является возможность непредвиденного превышения напряжения.

В случае с синусоидальными процессами, реактивная мощность, которая должна пройти от одного коэффициента мощности $\cos\varphi_1$ к коэффициенту мощности $\cos\varphi_2$, вычисляется по следующей формуле:

$$Q_c = Q_2 - Q_1 = P \cdot (\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2) \quad (3)$$

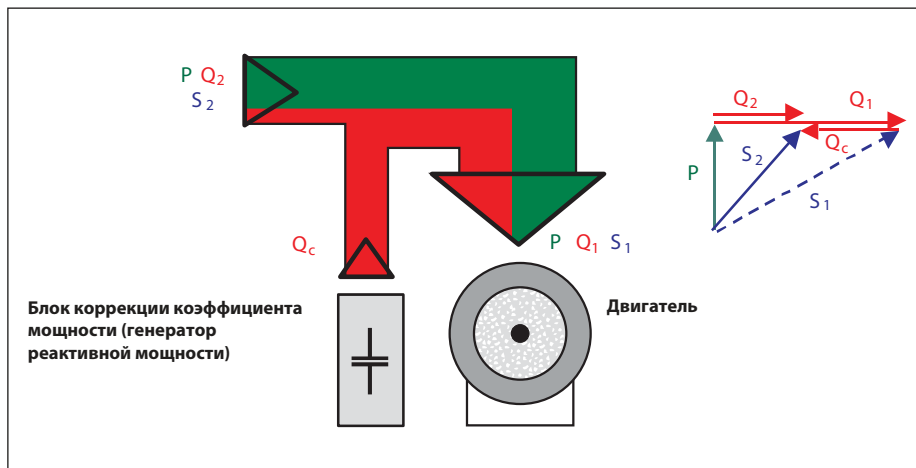
где:

P – активная мощность;

Q_1, φ_1 – реактивная мощность и фазовый сдвиг до коррекции реактивной мощности;

Q_2, φ_2 – реактивная мощность и фазовый сдвиг после коррекции реактивной мощности;

Q_c – реактивная мощность, необходимая для коррекции коэффициента мощности.



1SDC010041F0201

3 Коррекция коэффициента мощности

Таблица 2 показывает значения соотношения

$$K_c = \frac{Q_c}{P} = \tan \varphi_1 - \tan \varphi_2 \quad (4)$$

для разных значений коэффициента мощности до и после коррекции.

Таблица 2: Коэффициент K_c

K_c	$\cos \varphi_2$															
$\cos \varphi_1$	0,80	0,85	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1			
0,60	0,583	0,714	0,849	0,878	0,907	0,938	0,970	1,005	1,042	1,083	1,130	1,191	1,333			
0,61	0,549	0,679	0,815	0,843	0,873	0,904	0,936	0,970	1,007	1,048	1,096	1,157	1,299			
0,62	0,515	0,646	0,781	0,810	0,839	0,870	0,903	0,937	0,974	1,015	1,062	1,123	1,265			
0,63	0,483	0,613	0,748	0,777	0,807	0,837	0,870	0,904	0,941	0,982	1,030	1,090	1,233			
0,64	0,451	0,581	0,716	0,745	0,775	0,805	0,838	0,872	0,909	0,950	0,998	1,058	1,201			
0,65	0,419	0,549	0,685	0,714	0,743	0,774	0,806	0,840	0,877	0,919	0,966	1,027	1,169			
0,66	0,388	0,519	0,654	0,683	0,712	0,743	0,775	0,810	0,847	0,888	0,935	0,996	1,138			
0,67	0,358	0,488	0,624	0,652	0,682	0,713	0,745	0,779	0,816	0,857	0,905	0,966	1,108			
0,68	0,328	0,459	0,594	0,623	0,652	0,683	0,715	0,750	0,787	0,828	0,875	0,936	1,078			
0,69	0,299	0,429	0,565	0,593	0,623	0,654	0,686	0,720	0,757	0,798	0,846	0,907	1,049			
0,70	0,270	0,400	0,536	0,565	0,594	0,625	0,657	0,692	0,729	0,770	0,817	0,878	1,020			
0,71	0,242	0,372	0,508	0,536	0,566	0,597	0,629	0,663	0,700	0,741	0,789	0,849	0,992			
0,72	0,214	0,344	0,480	0,508	0,538	0,569	0,601	0,635	0,672	0,713	0,761	0,821	0,964			
0,73	0,186	0,316	0,452	0,481	0,510	0,541	0,573	0,608	0,645	0,686	0,733	0,794	0,936			
0,74	0,159	0,289	0,425	0,453	0,483	0,514	0,546	0,580	0,617	0,658	0,706	0,766	0,909			
0,75	0,132	0,262	0,398	0,426	0,456	0,487	0,519	0,553	0,590	0,631	0,679	0,739	0,882			
0,76	0,105	0,235	0,371	0,400	0,429	0,460	0,492	0,526	0,563	0,605	0,652	0,713	0,855			
0,77	0,079	0,209	0,344	0,373	0,403	0,433	0,466	0,500	0,537	0,578	0,626	0,686	0,829			
0,78	0,052	0,183	0,318	0,347	0,376	0,407	0,439	0,474	0,511	0,552	0,599	0,660	0,802			
0,79	0,026	0,156	0,292	0,320	0,350	0,381	0,413	0,447	0,484	0,525	0,573	0,634	0,776			
0,80		0,130	0,266	0,294	0,324	0,355	0,387	0,421	0,458	0,499	0,547	0,608	0,750			
0,81		0,104	0,240	0,268	0,298	0,329	0,361	0,395	0,432	0,473	0,521	0,581	0,724			
0,82		0,078	0,214	0,242	0,272	0,303	0,335	0,369	0,406	0,447	0,495	0,556	0,698			
0,83		0,052	0,188	0,216	0,246	0,277	0,309	0,343	0,380	0,421	0,469	0,530	0,672			
0,84		0,026	0,162	0,190	0,220	0,251	0,283	0,317	0,354	0,395	0,443	0,503	0,646			
0,85			0,135	0,164	0,194	0,225	0,257	0,291	0,328	0,369	0,417	0,477	0,620			
0,86			0,109	0,138	0,167	0,198	0,230	0,265	0,302	0,343	0,390	0,451	0,593			
0,87			0,082	0,111	0,141	0,172	0,204	0,238	0,275	0,316	0,364	0,424	0,567			
0,88			0,055	0,084	0,114	0,145	0,177	0,211	0,248	0,289	0,337	0,397	0,540			
0,89			0,028	0,057	0,086	0,117	0,149	0,184	0,221	0,262	0,309	0,370	0,512			
0,90				0,029	0,058	0,089	0,121	0,156	0,193	0,234	0,281	0,342	0,484			

3 Коррекция коэффициента мощности

Пример

Представим, что необходимо изменить коэффициент мощности трехфазной системы ($U_f = 400 \text{ В}$), которая поглощает среднюю мощность 300 кВт, от 0,8 до 0,93. В Таблице 2 на пересечении столбца, соответствующего конечному коэффициенту мощности (0,93), и строки, соответствующей исходному коэффициенту мощности (0,8), можно найти значение K_c (0,335). Реактивная мощность Q_c , которую должно генерировать корректирующее устройство, находим как:

$$Q_c = K_c \cdot P = 0,355 \cdot 300 = 106,5 \text{ кВАр}$$

Из-за эффекта коррекции реактивной мощности потребляемый ток снижается с 540 А до 460 А (приблизительно на 15%).

Характеристики конденсаторных батарей, используемых для коррекции коэффициента мощности

Наиболее экономичным средством повышения коэффициента мощности, в особенности для уже действующих установок, являются конденсаторы.

Конденсаторы обладают следующими преимуществами:

- низкая стоимость по сравнению с синхронными компенсаторами и силовыми электронными преобразователями;
- простота установки и техобслуживания;
- сокращает потери (менее чем 0,5 Вт/кВАр в сетях низкого напряжения);
- возможность использования в широком диапазоне мощностей и при различных нагрузках, используя комбинации параллельных компонентов, с относительно малой мощностью каждого.

К недостаткам относится чувствительность к перенапряжениям и к присутствию нелинейных нагрузок.

Следующие Стандарты применяются к конденсаторам для коррекции коэффициента мощности:

- Стандарт МЭК 60831-1 «Шунтовые самовосстанавливающиеся силовые конденсаторы для сетей переменного тока, имеющие номинальное напряжение, до и включительно 1000 В - Часть 1: Общие положения - Характеристики, испытания и номинальные параметры - Требования безопасности - Инструкция по монтажу и эксплуатации»;
- Стандарт МЭК 60931-1 «Шунтовые несамовосстанавливающиеся силовые конденсаторы для сетей переменного тока, имеющие номинальное напряжение, до и включительно 1000 В - Часть 1: Общие положения - Характеристики, испытания и номинальные параметры - Требования безопасности - Инструкция по монтажу и эксплуатации».

3 Коррекция коэффициента мощности

Характеристики конденсатора, указанные на заводской табличке:

- номинальное напряжение U_p , которое конденсатор должен выдерживать бесконечно;
- номинальная частота f_r (обычно равна частоте сети);
- номинальная мощность Q_c , обычно выражена в кВАр (реактивная мощность конденсаторной батареи).

На основании этих данных можно вычислить характеристики конденсаторов, используя следующие формулы (5):

	Однофазное соединение	Трехфазное соединение звездой	Трехфазное соединение треугольником
Емкость конденсаторной батареи	$C = \frac{Q_c}{2p f_r \cdot U_r^2}$	$C = \frac{Q_c}{2p f_r \cdot U_r^2}$	$C = \frac{Q_c}{2p f_r \cdot U_r^2 \cdot 3}$
Номинальный ток элементов	$I_c = 2 p f_r \cdot C \cdot U_r$	$I_c = 2 p f_r \cdot C \cdot U_r / \sqrt{3}$	$I_c = 2 p f_r \cdot C \cdot U_r$
Линейный ток	$I_l = I_c$	$I_l = I_c$	$I_l = I_c \cdot \sqrt{3}$

U_r - номинальное напряжение сети

В трехфазной системе для подачи той же реактивной мощности соединение «звезда» требует конденсаторов с емкостью в три раза большей, чем у конденсаторов в схеме соединения «треугольник».

Но у единичного конденсатора с соединением по схеме «звезда» напряжение и ток в $\sqrt{3}$ раз ниже, чем у конденсаторов в соединении по схеме «треугольник».

Конденсаторы обычно поставляются вместе с подсоединенным разрядным сопротивлением, значение которого вычисляют таким образом, чтобы остаточное напряжение сокращалось на выводе до 75 В за 3 минуты, как определено соответствующим Стандартом.

3.2 Методы коррекции коэффициента мощности

Единичная коррекция коэффициента мощности

Единичная или индивидуальная коррекция коэффициента мощности осуществляется путем присоединения конденсатора нужной емкости непосредственно к выводам устройства, потребляющего реактивную мощность.

Установка проста и экономична: конденсаторы и нагрузка могут использовать одну и ту же защиту от короткого замыкания и перегрузки, а также подключаются и отключаются одновременно. Регулирование cosφ происходит систематически и автоматически с выгодой не только для организации, занимающейся распределением электропитания, но и для внутренней распределительной системы потребителя в целом.

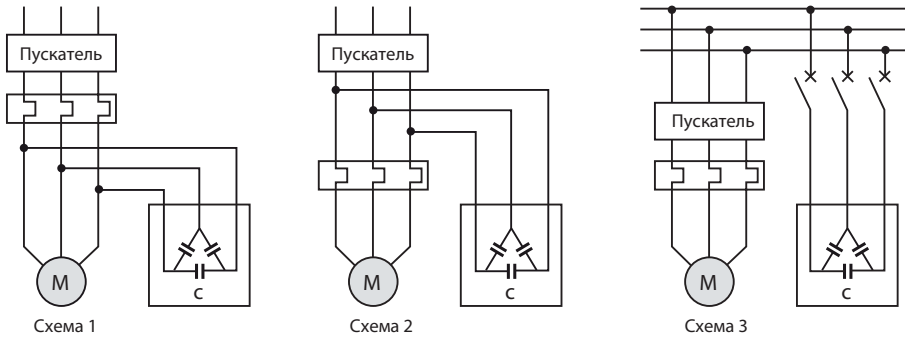
Этот тип коррекции коэффициента мощности рекомендуется в случаях большого количества потребителей с постоянным коэффициентом нагрузки и мощности и с длительным временем работы.

Индивидуальная коррекция коэффициента мощности применяется для двигателей и люминесцентных ламп. В данном случае блоки конденсаторов или маленькие осветительные конденсаторы соединены непосредственно с нагрузками.

3 Коррекция коэффициента мощности

Индивидуальная коррекция коэффициента мощности для двигателей

На следующих рисунках показаны типовые схемы подключения:



1SDC010028F0001

В случае прямого соединения (схемы 1 и 2) существует риск, что после отключения питания двигатель будет продолжать вращаться (за счет остаточной кинетической энергии) и самовозбуждаться из-за реактивной энергии, накопленной конденсаторной батареей, работая в режиме асинхронного генератора. В этом случае напряжение сохраняется на стороне нагрузки устройства управления и коммутации с риском опасного перенапряжения, более чем в два раза превышающего значение номинального напряжения.

Однако в случае, указанном на схеме 3, для устранения вышеуказанного риска оптимальным является соединение батареи конденсаторов для коррекции коэффициента мощности с двигателем только в процессе его работы и отсоединение до отключения питания двигателя.

В качестве общего правила для двигателя мощностью P_r рекомендуется использовать коррекцию коэффициента мощности с реактивной мощностью Q_c ниже 90% реактивной мощности, потребляемой ненагруженным двигателем Q_0 при номинальном напряжении U_r во избежание коэффициента мощности при опережающем токе.

Учитывая, что в условиях без нагрузки потребляемый ток I_0 [А] является только реактивным, если напряжение выражено в вольтах, мы имеем:

$$Q_c = 0,9 \cdot Q_0 = 0,9 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot U_r \cdot I_0}{1000} \text{ [кВАр]} \quad (6)$$

Ток I_0 обычно указывается в документации, поставляемой производителем двигателя.

3 Коррекция коэффициента мощности

В Таблице 3 приведены значения реактивной мощности для коррекции коэффициента мощности некоторых двигателей АББ в соответствии с мощностью и количеством полюсов.

Таблица 3: Реактивная мощность для коррекции коэффициента мощности двигателей

P_r [кВт]	Q_c [квар]	До коррекции $\cos \varphi_r$	I_r [A]	После коррекции $\cos \varphi_2$	I_2 [A]
400В / 50 Гц / 2 полюса / 3000 об/мин					
7,5	2,5	0,89	13,9	0,98	12,7
11	2,5	0,88	20	0,95	18,6
15	5	0,9	26,5	0,98	12,7
18,5	5	0,91	32	0,98	29,7
22	5	0,89	38,5	0,96	35,8
30	10	0,88	53	0,97	47,9
37	10	0,89	64	0,97	58,8
45	12,5	0,88	79	0,96	72,2
55	15	0,89	95	0,97	87,3
75	15	0,88	131	0,94	122,2
90	15	0,9	152	0,95	143,9
110	20	0,86	194	0,92	181,0
132	30	0,88	228	0,95	210,9
160	30	0,89	269	0,95	252,2
200	30	0,9	334	0,95	317,5
250	40	0,92	410	0,96	391,0
315	50	0,92	510	0,96	486,3
400В / 50 Гц / 4 полюса / 1500 об/мин					
7,5	2,5	0,86	14,2	0,96	12,7
11	5	0,81	21,5	0,96	18,2
15	5	0,84	28,5	0,95	25,3
18,5	7,5	0,84	35	0,96	30,5
22	10	0,83	41	0,97	35,1
30	15	0,83	56	0,98	47,5
37	15	0,84	68	0,97	59,1
45	20	0,83	83	0,97	71,1
55	20	0,86	98	0,97	86,9
75	20	0,86	135	0,95	122,8
90	20	0,87	158	0,94	145,9
110	30	0,87	192	0,96	174,8
132	40	0,87	232	0,96	209,6
160	40	0,86	282	0,94	257,4
200	50	0,86	351	0,94	320,2
250	50	0,87	430	0,94	399,4
315	60	0,87	545	0,93	507,9

3 Коррекция коэффициента мощности

P_r [кВт]	Q_c [квар]	До коррекции $\cos \varphi_r$	I_r [А]	После коррекции $\cos \varphi_2$	I_2 [А]
400В / 50 Гц / 6 полюсов / 1000 об/мин					
7,5	5	0,78	15,4	0,98	12,4
11	5	0,78	23	0,93	19,3
15	7,5	0,78	31	0,94	25,7
18,5	7,5	0,81	36	0,94	30,9
22	10	0,81	43	0,96	36,5
30	10	0,83	56	0,94	49,4
15	12,5	0,83	69	0,94	60,8
45	15	0,84	82	0,95	72,6
55	20	0,84	101	0,96	88,7
75	25	0,82	141	0,93	123,9
90	30	0,84	163	0,95	144,2
110	35	0,83	202	0,94	178,8
132	45	0,83	240	0,95	210,8
160	50	0,85	280	0,95	249,6
200	60	0,85	355	0,95	318,0
250	70	0,84	450	0,94	404,2
315	75	0,84	565	0,92	514,4
400В / 50 Гц / 8 полюсов / 750 об/мин					
7,5	5	0,7	18,1	0,91	13,9
11	7,5	0,76	23,5	0,97	18,4
15	7,5	0,82	29	0,97	24,5
18,5	7,5	0,79	37	0,93	31,5
22	10	0,77	45	0,92	37,5
30	12,5	0,79	59	0,93	50,0
37	15	0,78	74	0,92	62,8
45	20	0,78	90	0,93	75,4
55	20	0,81	104	0,93	90,2
75	30	0,82	140	0,95	120,6
90	30	0,82	167	0,93	146,6

3 Коррекция коэффициента мощности

Пример

Для трехфазного асинхронного двигателя мощностью 110 кВт (400 В - 50 Гц - 4 полюса), мощность для коррекции коэффициента мощности, предложенная в таблице, составляет 30 кВар.

Индивидуальная коррекция коэффициента мощности для трехфазных трансформаторов

В электроустановках, состоящих из нескольких трансформаторных подстанций, рекомендуется осуществлять коррекцию коэффициента мощности непосредственно на трансформаторе.

В целом, мощность, необходимая для коррекции коэффициента мощности (Q_c) для трансформатора с номинальной мощностью S_r [кВА], не должна превышать реактивную мощность, потребляемую при минимальной нагрузке.

При рассмотрении данных с заводской таблички трансформатора (процентное значение тока холостого хода $i_0\%$, процентное значение напряжения короткого замыкания $u_k\%$, потери в сердечнике P_{fe} и потери в меди P_{cu} [кВт]) требуемая мощность конденсатора для коррекции коэффициента мощности приблизительно равна:

$$Q_c = \sqrt{\left(\frac{i_0\%}{100} \cdot S_r\right)^2 - P_{fe}^2} + K_L^2 \cdot \sqrt{\left(\frac{u_k\%}{100} \cdot S_r\right)^2 - P_{cu}^2} = \left(\frac{i_0\%}{100} \cdot S_r\right) + K_L^2 \cdot \left(\frac{u_k\%}{100} \cdot S_r\right) [\text{кВар}] \quad (7)$$

где K_L - это коэффициент нагрузки, определенный как отношение между минимальной нагрузкой и номинальной мощностью трансформатора.

Пример

Допустим, что необходима коррекция коэффициента мощности для масляного распределительного трансформатора 630 кВА, питающего нагрузку, которая меньше 60% его номинальной мощности.

Из данных на заводской табличке трансформатора:

$i_0\% = 1,8\%$

$u_k\% = 4\%$

$P_{cu} = 8,9$ кВт

$P_{fe} = 1,2$ кВт

Мощность конденсаторной батареи для коррекции коэффициента мощности, соединенной с трансформатором:

$$Q_c = \sqrt{\left(\frac{i_0\%}{100} \cdot S_r\right)^2 - P_{fe}^2} + K_L^2 \cdot \sqrt{\left(\frac{u_k\%}{100} \cdot S_r\right)^2 - P_{cu}^2} = \sqrt{\left(\frac{1,8\%}{100} \cdot 630\right)^2 - 1,2^2} + 0,6^2 \cdot \sqrt{\left(\frac{4\%}{100} \cdot 630\right)^2 - 8,9^2} = 19,8 \text{ кВар}$$

в большинстве случаев используется упрощенная формула:

$$Q_c = \left(\frac{i_0\%}{100} \cdot S_r\right) + K_L^2 \cdot \left(\frac{u_k\%}{100} \cdot S_r\right) = \left(\frac{1,8\%}{100} \cdot 630\right) + 0,6^2 \cdot \left(\frac{4\%}{100} \cdot 630\right) = 20,4 \text{ кВар}$$

3 Коррекция коэффициента мощности

В Таблице 4 приведена реактивная мощность конденсаторной батареи Q_c [кВАр] для соединения на стороне вторичной обмотки трансформатора АББ в соответствии с различными минимальными расчетными уровнями нагрузки.

Таблица 4: Реактивная мощность для коррекции коэффициента мощности для трансформаторов АББ

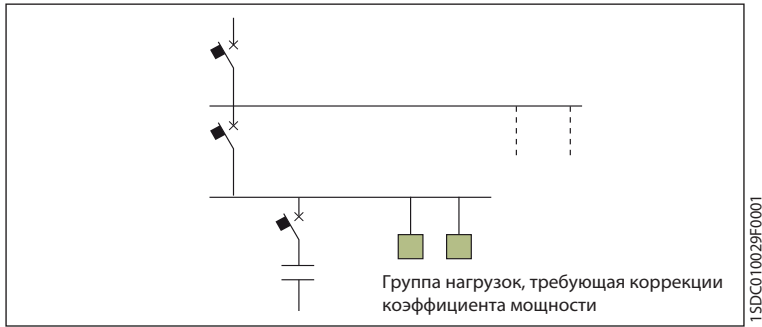
S _r [кВА]	u _k % [%]	i _o % [%]	Q _c [кВАр]		коэффициент нагрузки K _л					
			P _{fe} [кВт]	P _{cu} [кВт]	0	0,25	0,5	0,75	1	
Масляный распределительный трансформатор СН-НН										
50	4	2,9	0,25	1,35	1,4	1,5	1,8	2,3	2,9	
100	4	2,5	0,35	2,30	2,5	2,7	3,3	4,3	5,7	
100	4	2,3	0,48	3,20	3,6	4	5	6,8	9,2	
200	4	2,2	0,55	3,80	4,4	4,8	6,1	8,3	11	
250	4	2,1	0,61	4,50	5,2	5,8	7,4	10	14	
315	4	2	0,72	5,40	6,3	7	9,1	13	18	
400	4	1,9	0,85	6,50	7,6	8,5	11	16	22	
500	4	1,9	1,00	7,40	9,4	11	14	20	28	
630	4	1,8	1,20	8,90	11	13	17	25	35	
800	6	1,7	1,45	10,60	14	16	25	40	60	
1000	6	1,6	1,75	13,00	16	20	31	49	74	
1250	6	1,6	2,10	16,00	20	24	38	61	93	
1600	6	1,5	2,80	18,00	24	30	47	77	118	
2000	6	1,2	3,20	21,50	24	31	53	90	142	
2500	6	1,1	3,70	24,00	27	37	64	111	175	
3150	7	1,1	4,00	33,00	34	48	89	157	252	
4000	7	1,4	4,80	38,00	56	73	125	212	333	
Распределительные трансформаторы СН-НН с литой изоляцией из смолы										
100	6	2,3	0,50	1,70	2,2	2,6	3,7	5,5	8	
160	6	2	0,65	2,40	3,1	3,7	5,5	8,4	12	
200	6	1,9	0,85	2,90	3,7	4,4	6,6	10	15	
250	6	1,8	0,95	3,30	4,4	5,3	8,1	13	19	
315	6	1,7	1,05	4,20	5,3	6,4	9,9	16	24	
400	6	1,5	1,20	4,80	5,9	7,3	12	19	29	
500	6	1,4	1,45	5,80	6,8	8,7	14	23	36	
630	6	1,3	1,60	7,00	8	10	17	29	45	
800	6	1,1	1,94	8,20	8,6	12	20	35	56	
1000	6	1	2,25	9,80	9,7	13	25	43	69	
1250	6	0,9	3,30	13,00	11	15	29	52	85	
1600	6	0,9	4,00	14,50	14	20	38	67	109	
2000	6	0,8	4,60	15,50	15	23	45	82	134	
2500	6	0,7	5,20	17,50	17	26	54	101	166	
3150	8	0,6	6,00	19,00	18	34	81	159	269	

Пример

Для масляного распределительного трансформатора 630 кВА с коэффициентом нагрузки 0,5 необходимая мощность для коррекции коэффициента мощности составляет 17 кВАр.

3 Коррекция коэффициента мощности

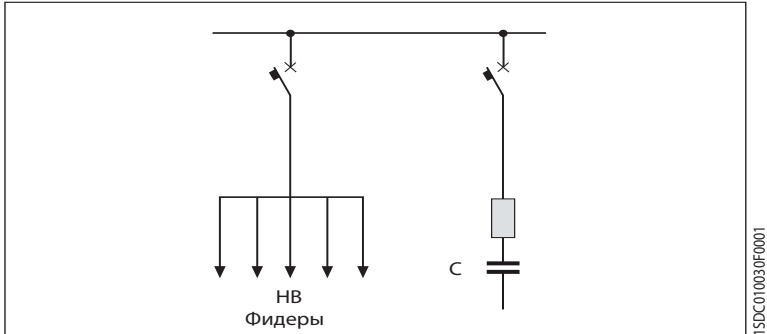
Групповая коррекция коэффициента мощности



Групповая коррекция коэффициента мощности заключается в локальной коррекции коэффициента мощности групп нагрузок со сходными рабочими характеристиками путем установки специальной конденсаторной батареи.

Этот способ позволяет достичь компромисса между экономической выгодой и правильной работой электроустановки, так как только линия ниже точки установки конденсаторной батареи эксплуатируется без коррекции.

Централизованная коррекция коэффициента мощности



Ежедневный график нагрузки чрезвычайно важен для выбора наиболее подходящего типа коррекции коэффициента мощности.

В электроустановках, в которых не все нагрузки функционируют одновременно, и(или) в которых несколько нагрузок подсоединены только на несколько часов в день, решение использовать единичную коррекцию коэффициента мощности не является правильным, так как большинство из установленных конденсаторов будут неработающими в течение длительных периодов времени.

В случае с электроустановками со множеством периодически работающих нагрузок, следовательно, с высокой установленной мощностью и с достаточно низким средним потреблением мощности нагрузками, работающими одновременно, использование системы единичной коррекции коэффициента мощности на вводе питания в электроустановку обеспечивает значительное уменьшение общей мощности установленных конденсаторов.

3 Коррекция коэффициента мощности

Централизованная система коррекции коэффициента мощности обычно использует автоматические блоки с конденсаторными батареями, разделенными на несколько ступеней, встроенными непосредственно в главные распределительные щиты; использование постоянно соединенной конденсаторной батареи возможно только в том случае, если потребление реактивной мощности достаточно регулярно в течение дня.

Главный недостаток централизованной коррекции коэффициента мощности состоит в том, что распределительные линии электроустановки ниже точки подключения устройства коррекции должны быть спроектированы с учетом полной реактивной мощности, потребляемой нагрузками.

3.3 Автоматические выключатели для защиты и коммутации конденсаторных батарей

Автоматические выключатели для защиты и коммутации конденсаторных батарей в сетях низкого напряжения должны:

1. Выдерживать токи переходных процессов, которые появляются при подключении и отключении батарей. В частности, магнитные и электронные расцепители мгновенного расцепления не должны срабатывать из-за пиковых токов;
2. Выдерживать периодические и постоянные сверхтоки, вызванные гармониками напряжения и отклонением (+15%) от номинального значения емкости;
3. Проводить большое количество операций под нагрузкой и без нее, также с высокой частотой;
4. Быть скоординированными с любым внешним аппаратом (контакторами).

Более того, проводящая и отключающая способность автоматического выключателя должна соответствовать значениям тока короткого замыкания в энергосистеме.

В Стандарте МЭК 60831-1 и 60931-1 сказано, что:

- конденсаторы должны нормально функционировать с действующим значением тока до 130% от номинального значения тока I_{cn} (из-за возможного присутствия гармоник в напряжении сети);
- допускается 10% отклонение от значения емкости для конденсаторных батарей до 100 кВар и 5% отклонение для конденсаторных батарей емкостью свыше 1000 кВар.

Максимальный ток, который может потребляться конденсаторной батареей, I_{cmax} составляет:

$$Q_c \leq 100 \text{ кВар} \rightarrow I_{cmax} = 1,3 \cdot 1,1 \cdot \frac{Q_c}{\sqrt{3} \cdot U_n} = 1,43 \cdot I_{cn} \quad (8)$$

$$Q_c > 100 \text{ кВар} \rightarrow I_{cmax} = 1,3 \cdot 1,05 \cdot \frac{Q_c}{\sqrt{3} \cdot U_n} = 1,365 \cdot I_{cn}$$

Таким образом:

- номинальный ток автоматического выключателя должен быть больше $1,5 \cdot I_{cn}$;
- уставка защиты от перегрузки должна быть равной $1,5 \cdot I_{cn}$.

Подключение конденсаторной батареи сходно с операцией замыкания в условиях короткого замыкания, токи переходного процесса при этом характеризуются высокой частотой (1÷15 кГц), малой длительностью (1÷3 мс) и высокой амплитудой (25÷200 I_{cn}).

Следовательно:

- автоматический выключатель должен иметь соответствующую включающую способность;
- уставка мгновенной защиты от короткого замыкания не должна вызывать непредусмотренных срабатываний.

3 Коррекция коэффициента мощности

Обычно также соблюдается второе условие:

- для терромагнитных расцепителей магнитная защита должна быть установлена на значение не менее $10 \cdot I_{\text{сmax}}$

$$\begin{aligned} Q_c \leq 100 \text{ кВар} \rightarrow I_3 &\geq 10 \cdot I_{\text{сmax}} = 14,3 \cdot I_{\text{с}} = 14,3 \cdot \frac{Q_c}{\sqrt{3} \cdot U_n} \\ Q_c > 100 \text{ кВар} \rightarrow I_3 &\geq 10 \cdot I_{\text{сmax}} = 13,65 \cdot I_{\text{с}} = 13,65 \cdot \frac{Q_c}{\sqrt{3} \cdot U_n} \end{aligned} \quad (9)$$

- для электронных расцепителей мгновенная защита от короткого замыкания должна быть отключена ($I_3 = \text{OFF}$ (ОТКЛ.)).

Далее следуют сводные таблицы для автоматических выключателей: для определения исполнения в соответствии с отключающей способностью см. Часть 1, раздел 2.1 «Общие характеристики». Следующие обозначения используются в таблицах (они относятся к максимальным значениям):

- Q_c = мощность конденсаторной батареи, которая может быть присоединена [кВар], в соответствии с указанным напряжением и частотой 50 Гц;
- $I_{\text{сн}}$ = номинальный ток подключенной конденсаторной батареи [А];
- $I_{\text{сmax}}$ = максимальный номинальный ток подключенной конденсаторной батареи [А];

Для снижения броска тока при подключении конденсаторов рекомендуется применять токоограничивающий реактор.

Таблица 5: Сводная таблица для автоматических выключателей 2-го типа координации 50 кА + контактор для коммутации конденсаторных батарей на 400 В

Qc [кВар]	Icn [А]	Iсmax [А]	Автоматические выключатели в литом корпусе	Контактор
10	14	21	XT2S 160 TMD In=25	A30
15	22	31	XT2S 160 TMD In=40	A/AF50
20	29	41	XT2S 160 TMD In=50	A/AF50
30	43	62	XT2S 160 TMD In=80	A/AF63
40	58	83	XT2S 160 TMD In=100	A/AF63
50	72	103	XT2S 160 TMD In=125	A/AF95
60	87	124	XT2S 160 TMD In=160	A/AF95
70	101	144	XT2S 160 TMD In=160	A/AF110
80	115	165	XT3S TMD TMD In=200	A/AF145
90	130	186	XT3S TMD TMD In=200	A/AF145
110	159	217	XT3S TMD TMD In=250	A/AF185
130	188	256	T4S320 PR221LI In=320	A/AF210
150	217	296	T4S320 PR221LI In=320	A/AF260
180	260	355	T5S400 PR221LI In=400	AF400
200	289	394	T5S400 PR221LI In=400	AF400
250	361	493	T6S630 PR221LI In=630	AF580
280	404	552	T6S630 PR221LI In=630	AF580
300	433	591	T6S630 PR221LI In=630	AF750

3 Коррекция коэффициента мощности

Таблица 6: Сводная таблица для автоматических выключателей 2-го типа координации 50 кА + контактор для коммутации конденсаторных батарей на 440 В

Qc [кВар]	I _{cn} [A]	I _{cmax} [A]	Автоматические выключатели в литом корпусе	Контактор
10	13	19	XT2S 160 TMD In=25	A/AF50
15	20	28	XT2S 160 TMD In=32	A/AF50
20	26	38	XT2S 160 TMD In=40	A/AF50
30	39	56	XT2S 160 TMD In=63	A/AF63
40	52	75	XT2S 160 TMD In=100	A/AF95
50	66	94	XT2S 160 TMD In=125	A/AF95
60	79	113	XT2S 160 TMD In=125	A/AF95
70	92	131	XT2S 160 TMD In=160	A/AF110
80	105	150	XT2S 160 TMD In=160	A/AF145
90	118	169	XT4S Ekip LS/I In=250	A/AF145
110	144	197	XT4S Ekip LS/I In=250	A/AF185
130	171	233	XT4S Ekip LS/I In=250	A/AF210
150	197	269	T4H320 PR221LI In=320	A/AF260
180	236	322	T5H400 PR221LI In=400	A/AF300
200	262	358	T5H400 PR221LI In=400	AF400
250	328	448	T6H630 PR221LI In=630	AF460
280	367	502	T6H630 PR221LI In=630	AF580
300	394	537	T6H630 PR221LI In=630	AF580
350	459	627	T6H800 PR221LI In=800	AF750
400	525	716	T6H800 PR221LI In=800	AF750

Таблица 7: Сводная таблица для автоматических выключателей 2-го типа координации 50 кА + контактор для коммутации конденсаторных батарей на 500 В

Qc [кВар]	I _{cn} [A]	I _{cmax} [A]	Автоматические выключатели в литом корпусе	Контактор
10	12	17	XT2H 160 TMD In=20	A/AF50
15	17	25	XT2H 160 TMD In=32	A/AF50
20	23	33	XT2H 160 TMD In=40	A/AF50
30	35	50	XT2H 160 TMD In=63	A/AF63
40	46	66	XT2H 160 TMD In=80	A/AF75
50	58	83	XT2H 160 TMD In=100	A/AF95
60	69	99	XT2H 160 TMD In=125	A/AF95
70	81	116	XT2H 160 TMD In=125	A/AF95
80	92	132	XT2H 160 TMD In=160	A/AF110
90	104	149	XT2H 160 TMD In=160	A/AF145
110	127	173	XT4H Ekip LS/I In=250	A/AF145
130	150	205	XT4H Ekip LS/I In=250	A/AF185
150	173	236	XT4H Ekip LS/I In=250	A/AF210
180	208	284	T4H320 PR221LI In=320	A/AF260
200	231	315	T5H400 PR221LI In=400	A/AF300
250	289	394	T5H400 PR221LI In=400	AF400
280	323	441	T6H630 PR221LI In=630	AF460
300	346	473	T6H630 PR221LI In=630	AF460
350	404	552	T6H630 PR221LI In=630	AF580
400	462	630	T6H800 PR221LI In=800	AF750

3 Коррекция коэффициента мощности

Таблица 8: Сводная таблица для автоматических выключателей 2-го типа координации 10 кА + контактор для коммутации конденсаторных батарей на 690 В

Qc [кВар]	Icn [A]	Icmax [A]	Автоматические выключатели в литом корпусе	Контактор
15	8	12	XT2N 160 TMD In=16	A/AF50
15	13	18	XT2N 160 TMD In=20	A/AF50
20	17	24	XT2N 160 TMD In=25	A/AF50
30	25	36	XT2N 160 TMD In=40	A/AF50
40	33	48	XT2N 160 TMD In=50	A/AF63
50	42	60	XT2N 160 TMD In=63	A/AF63
60	50	72	XT2N 160 TMD In=80	A/AF75
70	59	84	XT2N 160 TMD In=100	A/AF95
80	67	96	XT2N 160 TMD In=100	A/AF95
90	75	108	XT2N 160 TMD In=125	A/AF110
110	92	126	XT2N 160 TMD In=160	A/AF145
130	109	148	XT2N 160 TMD In=160*	A/AF185
150	126	171	XT4N Ekip LS/I In=250	A/AF210
180	151	206	XT4N Ekip LS/I In=250	A/AF260
200	167	228	XT4N Ekip LS/I In=250	A/AF260
250	209	286	T4N320 PR221LI In=320	AF400
280	234	320	T5N400 PR221LI In=400	AF400
300	251	343	T5N400 PR221LI In=400	AF400
350	293	400	T6N630 PR221LI In=630	AF460
400	335	457	T6N630 PR221LI In=630	AF580

* Для втычного исполнения необходимо снизить мощность конденсаторной батареи на 10%

3 Коррекция коэффициента мощности

В таблице ниже, описывающей коммутацию и защиту конденсаторов воздушными автоматическими выключателями, использованы следующие сокращения:

- N_{mech} = количество механических операций;
- f_{mech} = частота механических операций [оп/ч];
- N_{el} = количество электрических операций для напряжения 440 В;
- f_{el} = частота электрических операций [оп/ч].

Таблица 9: Сводная таблица для воздушных автоматических выключателей Emax

	I_{CBn}	I_{cn}	$Q_C[kB\cdot Ap]$				N_{mech}	f_{mech}	N_{el}	f_{el}
Авт. выключатель	[A]	[A]	400 В	440 В	500 В	690 В		[оп/ч]		[оп/ч]
X1 B-N	630	421	291	320	364	502	12500	60	6000	30
X1 B-N	800	533	369	406	461	637	12500	60	6000	30
X1 B-N	1000	666	461	507	576	795	12500	60	4000	30
X1 B-N	1250	834	578	636	722	997	12500	60	4000	30
X1 B-N	1600	1067	739	813	924	1275	12500	60	3000	30
E1 B-N	800	533	369	406	461	637	25000	60	10000	30
E1 B-N	1000	666	461	507	576	795	25000	60	10000	30
E1 B-N	1250	834	578	636	722	997	25000	60	10000	30
E1 B-N	1600	1067	739	813	924	1275	25000	60	10000	30
E2 B-N-S	800	533	369	406	461	637	25000	60	15000	30
E2 B-N-S	1000	666	461	507	576	795	25000	60	15000	30
E2 B-N-S	1250	834	578	636	722	997	25000	60	15000	30
E2 B-N-S	1600	1067	739	813	924	1275	25000	60	12000	30
E2 B-N-S	2000	1334	924	1017	1155	1594	25000	60	10000	30
E3 N-S-H-V	800	533	369	406	461	637	20000	60	12000	20
E3 N-S-H-V	1000	666	461	507	576	795	20000	60	12000	20
E3 N-S-H-V	1250	834	578	636	722	997	20000	60	12000	20
E3 N-S-H-V	1600	1067	739	813	924	1275	20000	60	10000	20
E3 N-S-H-V	2000	1334	924	1017	1155	1594	20000	60	9000	20
E3 N-S-H-V	2500	1667	1155	1270	1444	1992	20000	60	8000	20
E3 N-S-H-V	3200	2134	1478	1626	1848	2550	20000	60	6000	20
E4 S-H-V	3200	2134	1478	1626	1848	2550	15000	60	7000	10
E6 H-V	3200	2134	1478	1626	1848	2550	12000	60	5000	10

4 Защита человека

4.1 Основные положения: воздействие тока на человека

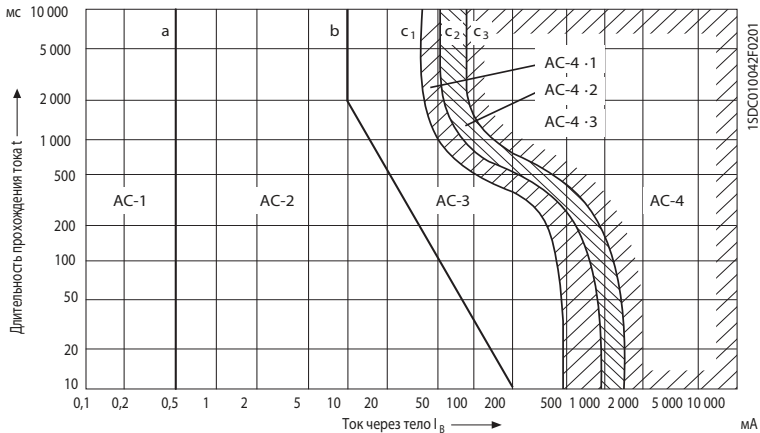
Опасность для человека вследствие контакта с частями, находящимися под напряжением, возникает из-за протекания тока через человеческое тело. Возможны следующие последствия:

- **судороги:** мускулы под влиянием протекающего тока непроизвольно сокращаются, не позволяя отпустить удерживаемую проводящую часть. Примечание: очень высокие токи, как правило, не вызывают мышечных судорог, при протекании по телу таких токов мышечное сокращение настолько длительно, что непроизвольная судорога обычно отбрасывает человека от проводящей части.
- **остановка дыхания:** если ток проходит через мышцы, контролирующие легкие, непроизвольное сокращение этих мышц изменяет нормальный процесс дыхания, и человек может умереть от удушья или пострадать от последствий асфиксии.
- **фибрилляция желудочков сердца:** наиболее опасное воздействие тока из-за наложения внешних токов на физиологические, которые, провоцируя неконтролируемые сокращения, приводят к сбою кардиоцикла. Данная аномалия может стать явлением необратимым, так как сохраняется даже после прекращения воздействия тока.
- **ожоги:** как результат нагрева, возникающего (из-за эффекта Джоуля) вследствие тока, протекающего через человеческое тело.

Стандарт МЭК 60479-1 «Воздействие тока на человека и живые организмы» является описанием воздействия тока, проходящего через человеческое тело, и предназначен для применения при определении требований электробезопасности. Этот Стандарт определяет на время-токовой характеристике четыре зоны, с которыми соотносятся физиологические воздействия переменного тока (15÷100 Гц), проходящего через человеческое тело.

4 Защита человека

Рисунок 1: Время-токовые зоны воздействия переменного тока на человеческое тело



Обозначение зон	Пределы зон	Физиологические воздействия
AC-1	До 0,5 мА линия a	Обычно никакой реакции.
AC-2	0,5 мА до линии b*	Обычно никакого вредного физиологического воздействия.
AC-3	Линия b до кривой c ₁	Обычно не наносит органических повреждений. Вероятность судорожных сокращений мышц и затруднения дыхания при длительности воздействия тока более 2 с. Необратимые нарушения формирования и проводимости сердечных импульсов, включая сердечную фибрилляцию и внезапную остановку сердца без фибрилляции желудочка, увеличивающиеся со значениями тока и времени.
AC-4	Выше кривой c ₁	В дополнение к влияниям зоны 3, могут проявиться опасные патолого-физиологические воздействия, такие как остановка сердца, остановка дыхания и сильные ожоги, увеличивающиеся в зависимости от величины тока и времени воздействия.
AC-4.1	c ₁ - c ₂	Вероятность фибрилляции повышается приблизительно до 5%.
AC-4.2	c ₂ - c ₃	Вероятность фибрилляции повышается приблизительно до 50%.
AC-4.3	За кривой c ₃	Вероятность фибрилляции свыше 50%.

*Для протекания тока длительностью менее 10мс ограничение тока, проходящего через тело, для линии b сохраняется постоянным на уровне 200 мА.

Данный стандарт также содержит соответствующий график для постоянного тока. Используя закон Ома, можно определить кривую безопасности для разрешенных напряжений после расчета полного сопротивления человеческого тела. Полное сопротивление человеческого тела зависит от многих факторов. Вышеупомянутый стандарт дает разные значения полного сопротивления в зависимости от напряжения прикосновения и пути протекания тока.

4 Защита человека

4.2 Распределительные системы

Возможность короткого замыкания на землю и последствия контакта с частями, находящимися под напряжением, тесно взаимосвязаны с устройством нейтрального проводника и соединениями открытых проводящих частей.

Для правильного выбора защитного устройства необходимо знать тип распределительной системы установки.

Стандарт МЭК60364-1 (ГОСТ Р 50571.1-2009) классифицирует распределительные системы двумя буквами.

Первая буква показывает отношение силовой системы к земле:

- Т: прямое соединение одной точки с землей в системах переменного тока, обычно нейтральная точка;
- I: все части под напряжением изолированы от земли, либо одна точка в системах переменного тока, обычно нейтральная, соединена с землей через сопротивление.

Вторая буква показывает соединение открытых проводящих частей установки с землей:

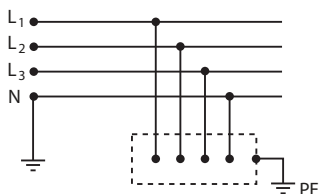
- Т: прямое электрическое соединение открытых токопроводящих частей с землей;
- N: прямое электрическое соединение открытых токопроводящих частей с точкой заземления энергосистемы.

Последующие буквы, если таковые имеются, показывают организацию нейтрального и защитного проводника:

- S: защитная функция обеспечивается проводником, отдельным от нейтрального проводника;
- C: нейтральная и защитная функции объединены в один проводник (PEN проводник).

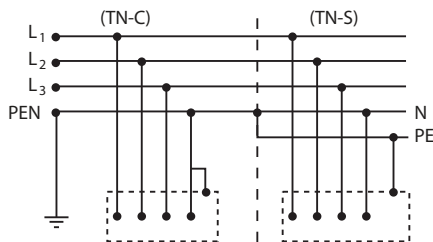
Существуют три типа распределительных систем:

Система TT



1SDC010032F0001

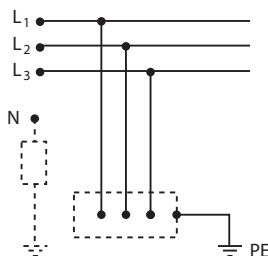
Система TN



1SDC010033F0001

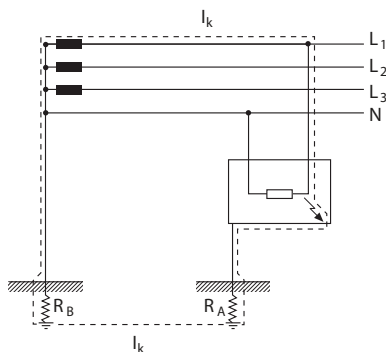
4 Защита человека

Система IT



1SDC010034F0001

В системах **IT** нейтральный проводник и открытые токопроводящие части соединены с электрически независимыми заземляющими электродами; ток КЗ течет через землю к нейтральной точке питания (на рисунке ниже):



1SDC010035F0001

В установках типа **IT** нейтральный проводник соединен с центром звезды источника питания, он обычно распределен и служит для получения фазного напряжения (например, 230 В), используемого для питания однофазных нагрузок. Открытые токопроводящие части, наоборот, локально соединены с землей по отдельности или группами. Системы **IT** обычно используются для гражданских электроустановок.

Системы **TN** обычно используются, когда осуществляется распределение питания по нагрузкам, имеющим собственные подстанции. Нейтральный проводник заземлен непосредственно на подстанции; открытые токопроводящие части соединены с той же точкой заземления нейтрального проводника и могут быть локально заземлены.

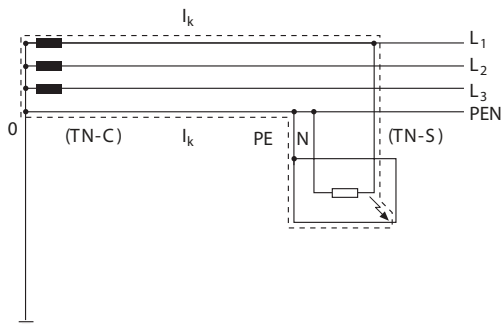
В зависимости от организации нейтрального и защитного проводников, системы TN подразделяют на три типа:

1. Нейтральные и защитные функции системы TN-C объединены в одном проводнике (PEN проводник);
2. Нейтральные и защитные проводники TN-S всегда разделены;
3. Нейтральные и защитные функции TN-C-S объединены в одном проводнике в одной части системы (PEN) и разделены в другой части (PE + N).

4 Защита человека

В системах **TN** ток повреждения течет к нейтральной точке источника питания через единый металлический контур, практически не затрагивая заземляющий электрод (Рис.2).

Рисунок 2: Замыкание на землю в системах TN

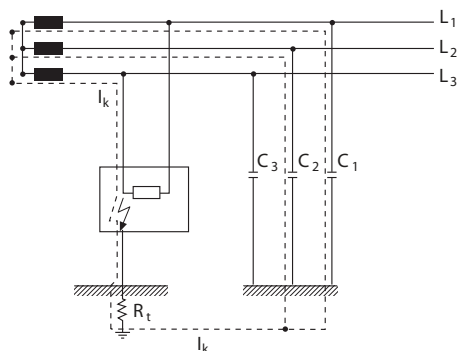


1SDC010036F0001

Системы **IT** не имеют непосредственно заземленных частей, находящихся под напряжением, но они могут быть заземлены посредством достаточно большого полного сопротивления. Открытые токопроводящие части должны быть заземлены индивидуально, группами или совместно через независимый заземляющий электрод.

Ток замыкания на землю течет к нейтральной точке питания через заземляющий электрод и емкость линейного проводника (Рис. 3).

Рисунок 3: Замыкание на землю в системах IT



1SDC010037F0001

Эти распределительные системы используются для определенных установок, в которых непрерывность подачи питания является первоочередным требованием, и в которых отсутствие питания может привести к опасности для людей или значительным экономическим потерям, или в которых требуется низкое значение первого замыкания на землю. В этих случаях должен использоваться прибор контроля изоляции для оптической и акустической сигнализации о возможных замыканиях на землю или повреждении питаемого оборудования.

4 Защита человека

4.3 Защита от прямых и косвенных прикосновений

Контакты человека с частями под напряжением разделяются на две категории:

- прямые;
- косвенные.

Прямое прикосновение происходит, когда часть человеческого тела касается части установки, обычно находящейся под напряжении (неизолированные проводники, выводы и т.д.). Косвенное прикосновение - это контакт части тела человека с открытой токопроводящей частью, в нормальном режиме не находящейся под напряжением, но на которой оказывается напряжение в результате повреждения или износа изолирующих материалов.

Средства защиты от **прямых прикосновений** следующие:

- изоляция частей под напряжением изолирующими материалами, которые могут быть удалены только при разрушении (например, изоляция кабеля);
- ограждения или оболочки: рабочие части должны быть внутри оболочек или за ограждениями, обеспечивающими степени защиты не ниже IPXXB или IP2X; для горизонтальных поверхностей степень защиты должна быть не ниже IPXXD или IP4X (значение кодов степени защиты смотрите: Часть 1, раздел 5.1 «Электрические распределительные щиты»);
- барьеры: установка барьеров между частями под напряжением и оператором предотвращает только случайные контакты персонала, но не намеренные контакты, если персонал удаляет барьер без специального инструмента;
- размещение вне досягаемости: одновременно доступные части с разными потенциалами не должны находиться в пределах досягаемости.

Дополнительная защита от прямого прикосновения может быть обеспечена использованием аппаратов дифференциального тока с номинальным рабочим дифференциальным током, не превышающим 30 мА. Необходимо помнить, что использование аппаратов дифференциального тока как средств защиты от прямых прикосновений не исключает необходимости применения хотя бы одной из вышеперечисленных мер защиты.

Средства защиты от **косвенных прикосновений** следующие:

- автоматическое отключение питания: защитное устройство должно автоматически отключать подачу питания цепи таким образом, чтобы напряжение прикосновения на открытых токопроводящих частях не присутствовало в течение времени, достаточного для появления опасности вредного физиологического воздействия на человека;
- дополнительная изоляция или усиленная изоляция, например, путем использования элементов Класса II;

4 Защита человека

- размещение в непроводящих местах: размещение в местах с определенным значением сопротивления изолирующих полов и стен (≥ 50 кОм для $U_r \leq 500$ В; ≥ 100 кОм для $U_r > 500$ В) и без защитных проводников внутри;
- электрическое разделение, например, использование изолирующих трансформаторов для питания цепи;
- местное эквипотенциальное соединение, не соединенное с землей: размещение в местах, где открытые токопроводящие части соединены вместе, но не заземлены.

Наконец, следующие меры обеспечивают объединенную защиту от косвенных и прямых прикосновений:

- системы SELV (БСНН) (безопасного сверхнизкого напряжения) и PELV (ЗСНН) (защитного сверхнизкого напряжения);
- система FELV (ФСНН) (функционального сверхнизкого напряжения).

Защита от прямых и косвенных прикосновений считается обеспеченной, если выполнены требования пункта 411 Стандарта МЭК 60364-4-41 (ГОСТ Р 50571.3-2009); а именно:

- номинальное напряжение переменного тока не должно превышать 50 В среднеквадратичного напряжения и 120 В непulsирующего постоянного тока;
- система питания должна быть источником типа SELV (БСНН) или PELV (ЗСНН);
- должны быть выполнены все условия монтажа для подобных типов электрических цепей.

Цепь SELV (БСНН) имеет следующие характеристики:

- 1) питание от независимого источника или от безопасного источника. Независимые источники - это аккумуляторные батареи или дизель-генераторы. Безопасные источники - это источники, имеющие изолирующий трансформатор;
- 2) отсутствие заземленных точек. Запрещено заземление как открытых токопроводящих частей, так и находящихся под напряжением частей цепи SELV (БСНН);
- 3) она должна быть отделена от других электрических систем. Отделение системы SELV(БСНН) от других цепей должно быть гарантировано для всех элементов; для этой цели проводники цепи SELV (БСНН) могут заключаться в многожильные кабели или могут быть обеспечены дополнительной изолирующей оболочкой.

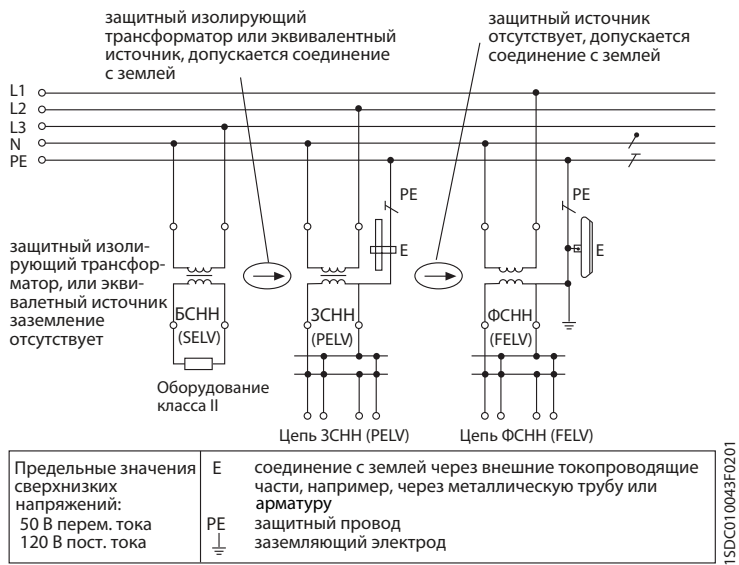
Требования к цепям PELV (ЗСНН) те же, что и к цепям SELV (БСНН), кроме запрета заземленных точек; по сути, в цепях PELV (ЗСНН), как минимум, одна точка всегда заземлена.

4 Защита человека

Цепи FELV (ФЧНН) используются, когда по функциональным причинам не могут быть выполнены требования для цепей SELV (БЧНН) или PELV (ЗЧНН); они требуют соответствия следующим правилам:

- а) защита от прямого прикосновения должна быть обеспечена посредством:
- ограждений или оболочек со степенью защиты в соответствии с вышесказанным (средств защиты от прямого прикосновения);
 - изоляции, соответствующей минимальному испытательному напряжению, определенному для первичной цепи. Если испытания не пройдены, изоляция доступных непроводящих частей оборудования должна быть усилена при монтаже, так чтобы она могла выдерживать испытательное напряжение 1500 В (действующее напряжение) переменного тока в течение 1 мин.;
- б) защита от косвенного прикосновения должна быть обеспечена следующими мерами:
- соединением открытых токопроводящих частей оборудования цепи FELV (ФЧНН) и защитного проводника первичной цепи, при условии, что последний защищен одним из способов защиты от прямого прикосновения;
 - соединением находящегося под напряжением проводника цепи FELV (ФЧНН) и защитного проводника первичной цепи, при условии, что как средство защиты применяется автоматическое отключение источника питания;
- с) вилки систем FELV (ФЧНН) не должны подходить к розеткам других систем напряжения, а вилки других систем напряжения не должны подходить к розеткам систем FELV (ФЧНН).
- Рисунок 1 показывает главные особенности систем SELV (БЧНН), PELV (ЗЧНН) и FELV (ФЧНН).

Рисунок 1: Системы SELV (БЧНН), PELV (ЗЧНН) и FELV (ФЧНН)



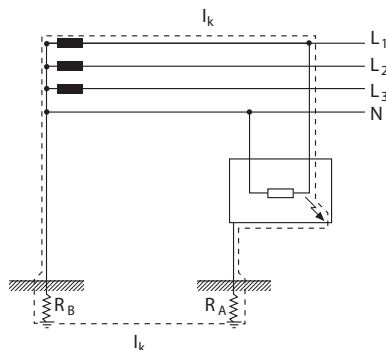
Примечание 1: Устройства защиты от сверхтоков на этом рисунке не показаны.

4 Защита человека

4.4 Система TT

Контур тока при замыкании на землю в системе TT представлен на Рис. 1:

Рисунок 1: Замыкание на землю в системе TT



1SDC010035F0001

Ток повреждения протекает по вторичной обмотке трансформатора фазному проводнику через сопротивление в месте повреждения, по защитному проводнику - заземляющему электроду (система заземления электроустановки (R_A) и системе заземления, к которой подсоединена нейтраль (R_B)).

В соответствии с требованиями Стандарта МЭК 60364-4 (ГОСТ Р 50571.3-2009) защитное устройство должно быть скоординировано с системой заземления для мгновенного отключения питания, если напряжение прикосновения достигает значений, опасных для человеческого тела.

Перед тем, как описать эти требования, необходимо знать, что различные типы цепей, описанные в упомянутом выше Стандарте; в частности, цепи на предприятии можно разделить на следующие:

- конечная цепь: цепь, предназначенная для питания электроэнергией оборудования (например, аспиратор, мостовой кран и т.д.)
- распределительная цепь: цепь, предназначенная для питания электроэнергией распределительного щитка, к которому подключаются другие конечные цепи.

Для обеспечения надлежащей защиты от косвенного прикосновения в системах TT с автоматическим разьединением цепи в соответствии со Стандартом МЭК 60364-4 (ГОСТ Р 50571.3-2009) необходимо выполнить следующее условие:

Защита при помощи управляемого током автоматического выключателя

Принимая 50 В (25 В для определенных мест расположения) за предельную величину напряжения, для ограничения напряжения прикосновения на открытых токопроводящих частях, подпадающих под данную предельную величину, необходимо выполнить следующее условие:

$$R_A \cdot I_{\Delta n} \leq 50V \quad \text{тогда: } R_A \leq \frac{50V}{I_{\Delta n}}$$

где:

R_A – суммарное сопротивление (в Омах), равное сумме сопротивлений заземляющего электрода и защитного проводника для открытых токопроводящих частей¹;

$I_{\Delta n}$ – номинальный рабочий дифференциальный ток автоматического выключателя за 1 с [A].

¹ Сопротивление заземляющего электрода, последовательное с сопротивлением защитного проводника, которое является пренебрежимо малым по сравнению с сопротивлением R_A ; следовательно, в формуле можно учитывать только сопротивление заземляющего электрода пользовательской установки.

4 Защита человека

Стандарт предусматривает два варианта времени отключения:

- конечные цепи с номинальным током не более 32 А: в этом случае требуется соблюдение вышеупомянутого условия при значениях времени из Таблицы 1 (значения указаны для токов короткого замыкания, значительно превышающих значения номинального рабочего дифференциального тока автоматических выключателей дифференциального тока, как правило $5 \cdot I_{\Delta n}$);
- распределительная цепь или конечная цепь с номинальным током более 32 А: в этом случае требуется соблюдение вышеупомянутого условия в течение 1 с (условное время).

Таблица 1. Максимальные значения времени отключения для конечных цепей с номинальным током не более 32А.

Система	50В<U ₀ ≤120В с		130В<U ₀ ≤230В с		230В<U ₀ ≤400В с		U ₀ >400В с	
	Перем. ток	Пост. ток	Перем. ток	Пост. ток	Перем. ток	Пост. ток	Перем. ток	Пост. ток
ТТ	0,3	Примечание 1	0,2	0,4	0,07	0,2	0,04	0,1

U₀ - номинальное фазное напряжение переменного или постоянного тока.

В случае, если в ТТ системах отключение достигается при помощи устройства защиты от перегрузки и система защитного уравнивания потенциалов соединена со всеми внешними токопроводящими частями установки, можно использовать максимальные значения времени отключения, применимые для TN систем.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. Отключение может потребоваться не только для защиты от поражения электрическим током.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. Если упомянутое выше условие обеспечивается устройством защитного отключения, значения времени отключения, указанные в таблице выше, относятся к ожидаемым дифференциальным токам, значительно превышающим номинальный дифференциальный рабочий ток устройства защитного отключения (как правило $5 \cdot I_{\Delta n}$).

Из сказанного выше следует, что при использовании автоматических выключателей дифференциального тока с различной чувствительностью значения сопротивления R_A системы заземления будут различными, так как величина тока в знаменателе упомянутого выше уравнения также различна. То есть при использовании аппарата дифференциального тока с чувствительностью 30 мА, получаем сопротивление заземления ниже, чем:

$$R_A \leq \frac{50}{0,03} = 1666,6 \text{ Ом}$$

Тогда, как при более низкой чувствительности аппарата дифференциального тока (например, с чувствительностью 300 мА), получаем значение сопротивления заземления ниже, чем:

$$R_A \leq \frac{50}{0,3} = 166,6 \text{ Ом}$$

4 Защита человека

Как показано в примере, благодаря более высокой чувствительности аппарата дифференциального тока, с практической точки зрения проще реализовать заземление системы, согласованной с характеристиками прибора.

В Таблице 2 показаны максимальные значения сопротивления заземления, которые можно получить, используя аппараты дифференциального тока, при обычном месторасположении (50 В):

Таблица 2: Значения сопротивления заземления

$I_{\Delta n}$ [А]	R_A [Ом]
0,01	5000
0,03	1666
0,1	500
0,3	166
0,5	100
3	16
10	5
30	1,6

4 Защита человека

Защита при помощи устройств защиты от сверхтоков

При выборе автоматического устройства защиты от замыкания на землю и от косвенного прикосновения необходимо надлежащим образом согласовать время отключения и сопротивление контура замыкания.

Следовательно, необходимо выполнить следующее условие:

$$Z_s \cdot I_a \leq U_0$$

где:

Z_s – полное сопротивление контура замыкания (в Ом), включающее в себя сопротивление:

- источника;
- линейного проводника до точки повреждения;
- защитного проводника открытой проводящей части;
- проводника заземления;
- заземляющего электрода установки;
- заземляющего электрода источника;

I_a – ток отключения в пределах времени, указанного в Таблице 1 для конечных цепей с номинальным током не более 32 А или за одну секунду для распределительных и для конечных цепей с номинальным током более 32 А.

U_0 – номинальное действующее напряжение переменного тока относительно земли [В];

При выборе автоматического устройства защиты необходимо надлежащим образом скоординировать время отключения и сопротивление контура замыкания.

Отношение $Z_s \cdot I_a \leq U_0$ можно представить, как:

$$I_a \leq \frac{U_0}{Z_s} = I_{\text{kl-to earth}}$$

где $I_{\text{kl-to earth}}$ – ток замыкания фазы на землю. Следовательно, можно утверждать, что защита от косвенного прикосновения выполняется, когда ток отключения I_a защитного устройства (в пределах значений времени, указанных Таблице 1, или в течение 1 с) ниже, чем ток короткого замыкания фазы на землю $I_{\text{kl-to earth}}$ защищаемой открытой токопроводящей части.

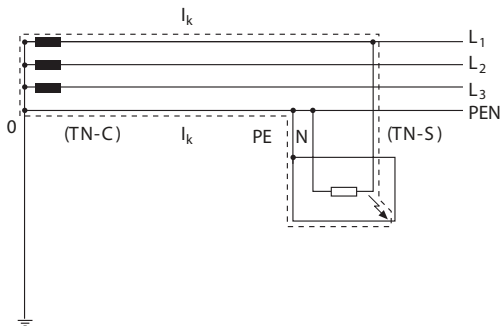
Следует отметить, что в распределительных системах ТТ использование выключателя дифференциального тока позволяет использовать систему заземления с сопротивлением заземления, которое легко получить, тогда как использование автоматических выключателей возможно только при низких значениях сопротивления заземления R_a , что очень сложно добиться на практике; кроме того, в таких условиях может быть сложно вычислить полное сопротивление контура замыкания (Z_s), так как необходимо также учитывать сопротивление заземления нейтрали (фактически оно может достигать значений сопротивления заземления).

4 Защита человека

4.5 Система TN

Контур тока при замыкании на землю в системе TN представлен на рисунке ниже:

Замыкание на землю в системе TN



Контур замыкания не влияет на систему заземления и формируется последовательным соединением фазного и защитного проводников.

Для обеспечения защиты с автоматическим разъединением цепи в соответствии с предписаниями Стандарта МЭК 60364-4 (ГОСТ Р 50571.3-2009) необходимо выполнить следующее условие:

$$Z_s \cdot I_a \leq U_0$$

где:

Z_s – полное сопротивление контура замыкания, включающее источник, находящийся под напряжением, проводник до точки повреждения и защитный проводник между точкой повреждения и источником [Ом];

U_0 – номинальное действующее напряжение переменного тока относительно земли [В];

I_a – ток, вызывающий автоматическое срабатывание устройства защитного отключения в пределах времени, указанного Таблице 3, в зависимости от номинального напряжения U_0 для цепей с током не более 32 А или, для распределительных цепей и конечных цепей с током более 32 А допускается условное время отключения, не превышающее 5 с [А]; (описание типов цепей см. в описании для систем TT).

Таблица 3: Максимальные значения времени разъединения для систем TN

	50В<U ₀ ≤120В с		120В<U ₀ ≤230В с		230В < U ₀ ≤400В с		U ₀ > 400В с	
Система	Перем. ток	Пост. ток	Перем. ток	Пост. ток	Перем. ток	Пост. ток	Перем. ток	Пост. ток
TN	0,8	Примечание 1	0,4	5	0,2	0,4	0,1	0,1

ПРИМЕЧАНИЕ 1. Отключение может потребоваться не только для защиты от поражения электрическим током.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. Если упомянутое выше условие обеспечивается устройством защитного отключения, значения времени отключения, указанные в таблице выше, относятся к ожидаемым дифференциальным токам, значительно превышающим номинальный дифференциальный рабочий ток устройства защитного отключения (как правило 5·I_{Δn}).

4 Защита человека

При выборе автоматического устройства защиты от замыканий на землю и косвенного прикосновения необходимо надлежащим образом согласовать время отключения и сопротивление контура повреждения.

В системах TN замыкание на землю с низким полным сопротивлением, возникающее на стороне низкого напряжения, вызывает ток аналогичный току короткого замыкания, протекающему через линейный проводник (или проводники), и защитный проводник не влияет на систему заземления. Отношение $Z_s \cdot I_a \leq U_0$ можно представить, как:

$$I_a \leq \frac{U_0}{Z_s} = I_{KLPE}$$

где I_{KLPE} - ток короткого замыкания на землю. Следовательно, можно утверждать, что защита от косвенного прикосновения выполняется, когда ток отключения I_a защитного устройства (в пределах значений времени, указанных Таблице 3, или в течение 5 с) ниже, чем ток короткого замыкания фазы на землю I_{KLPE} защищаемой открытой токопроводящей части.

Следующие устройства обеспечивают в системах TN защиту от косвенного прикосновения:

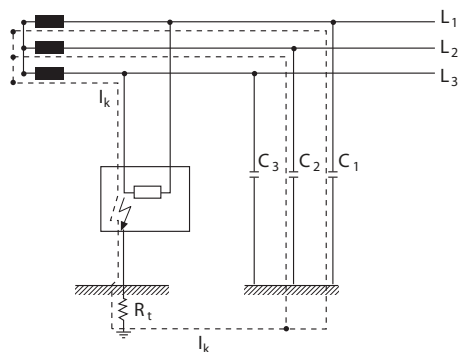
- автоматические выключатели с термомангнитными расцепителями;
- автоматические выключатели с электронными расцепителями;
- аппараты дифференциального тока.

4 Защита человека

4.6 Система IT

Как показано на рисунке ниже, ток замыкания на землю в системе IT протекает через емкость линейного проводника к нейтральной точке питания. По этой причине первое замыкание на землю характеризуется слишком низким значением тока, что не вызывает срабатывания защиты от сверхтоков; напряжение прикосновения также очень низкое.

Замыкание на землю в системе IT



15DC010037F0001

В соответствии со Стандартом МЭК 60364-4 (ГОСТ Р 50571.3-2009) нет необходимости в автоматическом разъединении цепи в случае первого замыкания на землю, только если выполнено следующее условие:

$$R_A \cdot I_d \leq 50 \text{ В перем. тока}$$

$$R_A \cdot I_d \leq 120 \text{ В пост. тока}$$

где:

R_A – суммарное сопротивление заземляющего электрода и защитного проводника для открытых токопроводящих частей в Омах;

I_d – аварийный ток первого замыкания² незначительного сопротивления между фазным проводником и открытой токопроводящей частью [A]; это значение учитывает токи утечки и общее сопротивление заземления электроустановки.

При выполнении данного условия, после первого замыкания, значение напряжения прикосновения на открытых токопроводящих частях будет ниже 50 В (переменного тока), что допустимо для человеческого тела на неопределенное время.

В установках системы IT необходимо устройство контроля изоляции для выявления аварийных условий после замыкания.

Устройство контроля изоляции, соответствующее Стандарту МЭК 61557-8, представляет собой устройство, осуществляющее постоянный мониторинг электроустановки. Оно сигнализирует о каждом значительном снижении уровня изоляции электроустановки с целью выявления причины аварии до второго замыкания, тем самым предотвращая отключение подачи питания.

² Согласно Стандарту это относится к первому замыканию на землю; два одновременных замыкания на двух различных фазах исключаются. **1465**

4 Защита человека

В случае второго замыкания на землю питание должно быть отключено в соответствии со следующими требованиями:

а) в случае заземления открытых проводящих частей в группах или индивидуально условия защиты совпадают с условиями для систем TT:

в случае заземления открытых проводящих частей в группах или индивидуально должны быть выполнены следующие условия:

$$R_A \cdot I_a \leq 50B$$

где:

R_A – суммарное сопротивление заземляющего электрода и защитного проводника для открытых токопроводящих частей;

I_a – ток, приводящий к автоматическому отключению устройства защиты в течение времени, указанному для систем TT;

б) в случае объединения открытых проводящих частей посредством защитного проводника с коллективным заземлением, применяются условия защиты системы TN; в частности, должны быть выполнены следующие условия:

если нейтраль не распределена:

$$Z_s \leq \frac{U}{2 \cdot I_a}$$

если нейтраль распределена:

$$Z's \leq \frac{U_0}{2 \cdot I_a}$$

где:

- U_0 – номинальное напряжение между фазой и нейтралью [В];
- U – номинальное линейное напряжение [В];
- Z_s – полное сопротивление контура замыкания, включающее фазный проводник и защитный проводник сети [Ом];
- $Z's$ – полное сопротивление контура замыкания, включающее нейтральный проводник и защитный проводник сети [Ом];
- I_a – рабочий ток защитного устройства, соответствующий необходимому времени разъединения для систем TN.

В Стандарте рекомендуется использовать сосредоточенную нейтраль в системах IT.

Одной из причин является сложность выполнения условия, предписанного для полного сопротивления контура замыкания $Z's$. Практически, при наличии распределенного нейтрального проводника сопротивление должно быть на 58% меньше, чем сопротивление $Z's$, что проверено при двойном замыкании между фазами: таким образом, очевидно, что при координации с автоматическим устройством отключения, которое должно сработать для обеспечения защиты от непрямого прикосновения, возникает большая трудность.

Более того, наличие распределенной нейтрали в достаточно сложных промышленных установках, может привести к риску случайного подключения нейтрал из любой точке земли, тем самым перечеркивая преимущества применения систем IT.

Уставка аппарата дифференциального тока должна быть выбрана с осторожностью во избежание необоснованных срабатываний из-за особого пути тока первого повреждения, проходящего через емкость линейного проводника к нейтральной точке питания (вместо поврежденной линии, на другую исправную линию с более высоким сопротивлением, что может повлечь более высокое значение аварийного тока).

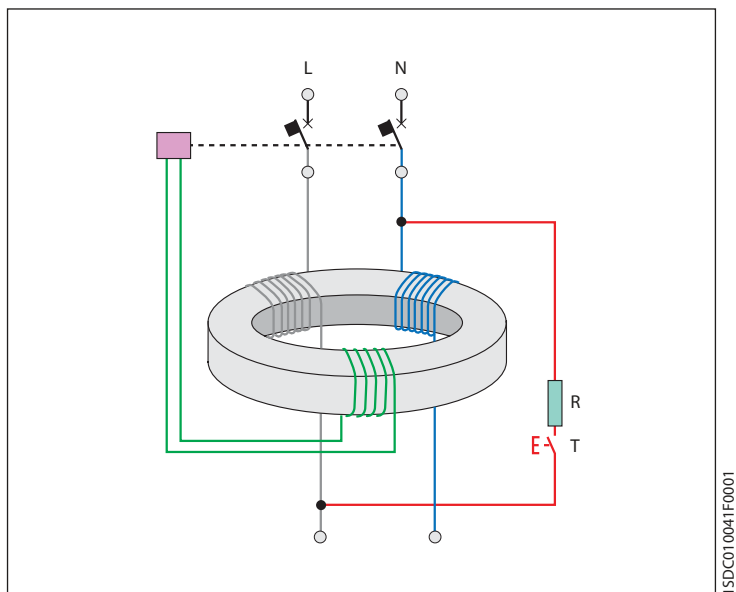
4 Защита человека

4.7 Аппараты дифференциального тока

Общие сведения об аппаратах дифференциального тока

Принцип действия расцепителя дифференциального тока – обнаружение тока замыкания на землю посредством тороидального трансформатора, которым контролируются все находящиеся под напряжением проводники, включая нейтраль, если она не сосредоточена.

Рисунок 1: Принцип действия аппарата дифференциального тока



При отсутствии замыкания на землю векторная сумма токов I_{Δ} равна нулю; при наличии замыкания на землю, если значение I_{Δ} превышает номинальный дифференциальный рабочий ток $I_{\Delta n}$, цепь вторичной обмотки тороида посылает сигнал отключающей катушке, вызывая срабатывание автоматического выключателя.

Первая классификация аппаратов дифференциального тока может быть сделана в соответствии с типом аварийного тока повреждения, на который они реагируют:

- тип AC: срабатывание обеспечено для дифференциальных синусоидальных переменных токов, возникших внезапно или медленно нарастающих;
- тип A: срабатывание обеспечено для дифференциальных синусоидальных переменных токов и дифференциальных пульсирующих постоянных токов, возникших внезапно или медленно нарастающих;
- тип B: срабатывание обеспечено для дифференциальных постоянных токов, дифференциальных синусоидальных переменных токов и дифференциальных пульсирующих постоянных токов, возникших внезапно или медленно нарастающих.

Другая классификация относится к рабочей выдержке времени:

- тип без выдержки;
- временная выдержка S-типа.

4 Защита человека

Аппараты дифференциального тока могут быть объединены или не объединены с другими устройствами; можно выделить:

- выключатели, управляемые дифференциальным током (ВДТ): они имеют только расцепитель дифференциального тока и могут защищать только от замыкания на землю. Они должны быть соединены с термомеханическими автоматическими выключателями или плавкими предохранителями для защиты от тепловых и динамических нагрузок;
- автоматические выключатели, управляемые дифференциальным током, с защитой от сверхтока (АВДТ): это комбинация термомеханического автоматического выключателя и аппарата дифференциального тока; они обеспечивают защиту как от сверхтоков, так и от тока замыкания на землю;
- автоматические выключатели, управляемые дифференциальным током, с внешним тороидом: они используются в промышленных установках с высокими значениями. Состоят из расцепителя, соединенного с внешним тороидом с обмоткой для выявления дифференциального тока; в случае замыкания на землю поступает сигнал для размыкания механизма автоматического выключателя или линейного контактора.

При наличии рабочего дифференциального тока $I_{\Delta n}$, очень важным параметром для аппаратов дифференциального тока является порог несрабатывания, который представляет собой максимальное значение дифференциального тока, не вызывающее срабатывания автоматического выключателя; он равен $0,5 I_{\Delta n}$. Из этого следует, что:

- для $I_{\Delta} < 0,5 \cdot I_{\Delta n}$ аппарат дифференциального тока не должен срабатывать;
- для $0,5 \cdot I_{\Delta n} < I_{\Delta} < I_{\Delta n}$ аппарат дифференциального тока может срабатывать;
- для $I_{\Delta} > I_{\Delta n}$ аппарат дифференциального тока должен срабатывать.

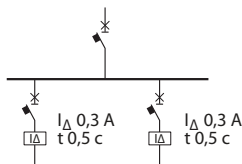
Для выбора номинального рабочего дифференциального тока необходимо учитывать, в дополнение к координации с системой заземления, также токи утечки в установке в целом; их векторная сумма для всех фаз не должна быть выше чем $0,5 \cdot I_{\Delta n}$, чтобы не вызывать необоснованных срабатываний.

Селективность между аппаратами дифференциального тока (ВДТ)

В Стандарте МЭК 60364-5-53 (ГОСТ Р 50571 в РФ пока не применяется) сказано, что селективность между защитными аппаратами дифференциального тока, установленными последовательно, может быть необходима по техническим причинам, в частности, когда требуется безопасность, для обеспечения непрерывности подачи питания частям установки, не затронутым повреждением, если таковые имеются. Эта селективность может быть достигнута подбором и установкой ВДТ таким образом, чтобы для отключения подачи питания срабатывал аппарат дифференциального тока, ближе всего расположенный к месту аварии. Существует два типа селективности между ВДТ:

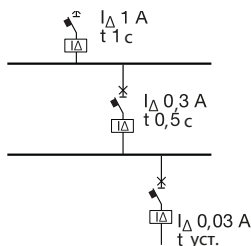
- горизонтальная селективность: обеспечивает защиту каждой линии использованием соответствующего ВДТ; таким образом, в случае замыкания на землю отсоединяется только поврежденная линия, так как другие аппараты дифференциального тока не выявляют ток повреждения. Тем не менее необходимо обеспечить защитные меры от косвенных прикосновений в части распределительного щита и установки выше ВДТ;
- вертикальная селективность: реализуется применением ВДТ, соединенных последовательно.

Рисунок 2: Горизонтальная селективность между ВДТ



4 Защита человека

Рисунок 3: Вертикальная селективность между ВДТ



В соответствии со Стандартом МЭК 60364-5-53 (ГОСТ Р 50571 в РФ пока не применяется) для обеспечения селективности между двумя последовательными аппаратами дифференциального тока эти устройства должны удовлетворять двум следующим требованиям:

- время-токовая кривая несрабатывания защитного аппарата дифференциального тока, расположенного со стороны питания (выше) должна проходить над общей рабочей время-токовой кривой защитного аппарата дифференциального тока, расположенного со стороны нагрузки (ниже);
- номинальный дифференциальный рабочий ток аппарата, расположенного со стороны питания, должен быть выше, чем номинальный ток защитного аппарата дифференциального тока, расположенного со стороны нагрузки.

Время-токовая кривая несрабатывания – это кривая, показывающая максимальное значение времени, в течение которого дифференциальный ток с более высоким значением, чем дифференциальный ток несрабатывания (равный $0,51 \cdot I_{\Delta n}$), проходит через автоматический выключатель дифференциального тока, не вызывая срабатывания.

В заключение, селективность между двумя аппаратами дифференциального тока, соединенными последовательно, может быть достигнута:

- для ВДТ типа S, расположенных со стороны питания (в соответствии с ГОСТ IEC 61008-1-2012 и ГОСТ Р 51327.1-2010), тип с временной выдержкой, выбором автоматических выключателей общего типа, расположенных ниже с $I_{\Delta n}$, равной одной трети от $I_{\Delta n}$ выключателей, расположенных выше;
- для электронных расцепителей дифференциального тока (RC221/222/223, RCQ) выбором верхнего (со стороны питания) аппарата с уставками тока и времени непосредственно больше, чем у нижнего (со стороны нагрузки) аппарата, обязательно принимая в расчет допустимые отклонения.

Для защиты от косвенных прикосновений в распределительных сетях системы ТТ максимальное время разъединения при $I_{\Delta n}$ не должно превышать 1 с (ГОСТ Р 50571-4-41-2009, п.413.1)

4 Защита человека

4.8 Максимальная длина кабеля, при которой обеспечивается защита человека

Как сказано в предыдущих разделах, стандартами определено максимальное время отключения для защитных устройств во избежание паталого-физиологических воздействий на человека, соприкасающегося с частями под напряжением.

Для защиты от косвенного прикосновения необходимо убедиться, что автоматический выключатель срабатывает в течение меньшего времени, чем максимальное время, определенное Стандартом; данная проверка осуществляется путем сравнения минимального тока короткого замыкания защищаемой открытой проводящей части с рабочим током, соответствующим времени, которое установлено Стандартом.

Минимальный ток короткого замыкания появляется при КЗ между фазными и защитными проводниками в самой дальней точке защищаемого проводника.

Для расчета минимального тока короткого замыкания может применяться приблизительный метод, учитывая что:

- как правило, в результате перегрева, вызванного током короткого замыкания, сопротивление проводника повышается на 50%, по сравнению со значением при 20°C
- в результате тока короткого замыкания напряжение питания снижается до 80%;
- реактивное сопротивление проводника учитывается только при поперечном сечении выше 95 мм².

Приведенные ниже формулы (для систем TN и IT) получены путем применения закона Ома к сопротивлению между защитным устройством и точкой аварии.

Расшифровка символов и постоянных формул:

- 0,8 – коэффициент, учитывающий снижение напряжения;
- 1,5 – коэффициент, учитывающий увеличение сопротивления проводника;
- U_l – номинальное линейное напряжение;
- U_0 – номинальное напряжение между фазой и землей;
- S – поперечное сечение фазного проводника;
- S_N – поперечное сечение нейтрального проводника;
- S_{PE} – поперечное сечение защитного проводника;
- ρ – удельное сопротивление проводника при 20°C;
- L – длина кабеля;

$$m = \frac{S \cdot n}{S_{PE}} - \text{отношение между общим поперечным сечением фазного проводника}$$

(поперечное сечение одного фазного проводника S , умноженное на число параллельных проводников n) и поперечным сечением защитного проводника S_{PE} , исходя из предположения, что они изготовлены из одного материала;

$$m_1 = \frac{S_N \cdot n}{S_{PE}} - \text{отношение между общим поперечным сечением нейтрального проводника}$$

(поперечное сечение одного нейтрального проводника S_N , умноженное на число параллельных проводников n) и поперечным сечением защитного проводника S_{PE} , исходя из предположения, что они изготовлены из одного материала;

- k_1 – поправочный коэффициент, учитывающий реактивное сопротивление кабелей с поперечным сечением больше 95 мм², выбираемый из следующей таблицы:

Поперечное сечение фазного проводника [мм²]	120	150	185	240	300
k_1	0,90	0,85	0,80	0,75	0,72

4 Защита человека

- k_2 – поправочный коэффициент, учитывающий параллельное соединение проводников, вычисляемый по следующей формуле:

$$k_2 = 4 \frac{n-1}{n}$$

где n – количество параллельных проводников на фазу;

- 1,2 – отклонение порога срабатывания магнитной защиты, допустимое Стандартом.

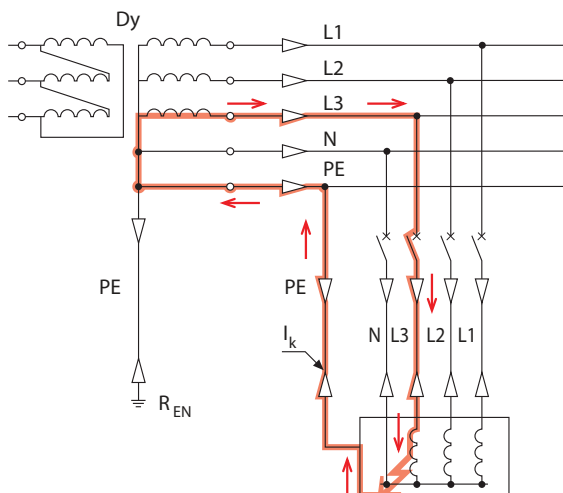
Система TN

Формула для оценки минимального тока короткого замыкания:

$$I_{kmin} = \frac{0,8 \cdot U_0 \cdot S}{1,5 \cdot 1,2 \cdot \rho \cdot (1+m) \cdot L} \cdot k_1 \cdot k_2$$

следовательно:

$$L = \frac{0,8 \cdot U_0 \cdot S}{1,5 \cdot 1,2 \cdot \rho \cdot (1+m) \cdot I_{kmin}} \cdot k_1 \cdot k_2$$



1SDC010043F0001

Система IT

Следующая формула действительна, когда второе замыкание на землю превращает систему IT в систему TN.

Необходимо отдельно проверить установки с распределенной и сосредоточенной нейтралью.

4 Защита человека

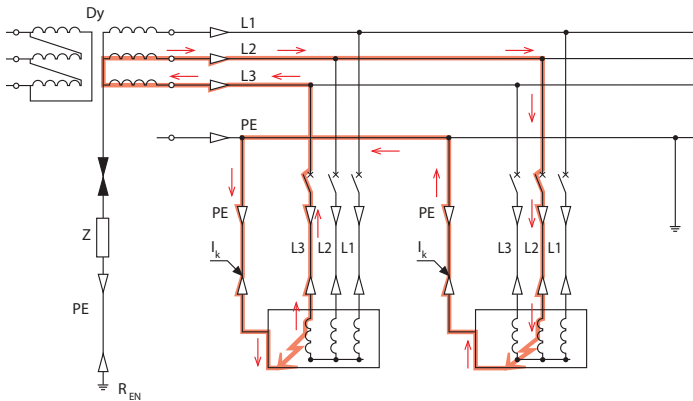
Сосредоточенная нейтраль

При возникновении второго замыкания на землю формула приобретает вид:

$$I_{kmin} = \frac{0,8 \cdot U_r \cdot S}{2 \cdot 1,5 \cdot 1,2 \cdot \rho \cdot (1+m) \cdot L} \cdot k_1 \cdot k_2$$

следовательно:

$$L = \frac{0,8 \cdot U_r \cdot S}{2 \cdot 1,5 \cdot 1,2 \cdot \rho \cdot (1+m) \cdot I_{kmin}} \cdot k_1 \cdot k_2$$



1SDC010044F0001

Нейтраль распределена

Случай А: трехфазные цепи в системе IT с распределенной нейтралью
Формула:

$$I_{kmin} = \frac{0,8 \cdot U_0 \cdot S}{2 \cdot 1,5 \cdot 1,2 \cdot \rho \cdot (1+m) \cdot L} \cdot k_1 \cdot k_2$$

следовательно:

$$L = \frac{0,8 \cdot U_0 \cdot S}{2 \cdot 1,5 \cdot 1,2 \cdot \rho \cdot (1+m) \cdot I_{kmin}} \cdot k_1 \cdot k_2$$

Случай В: трехфазные + нейтральные цепи в системе IT с распределенной нейтралью

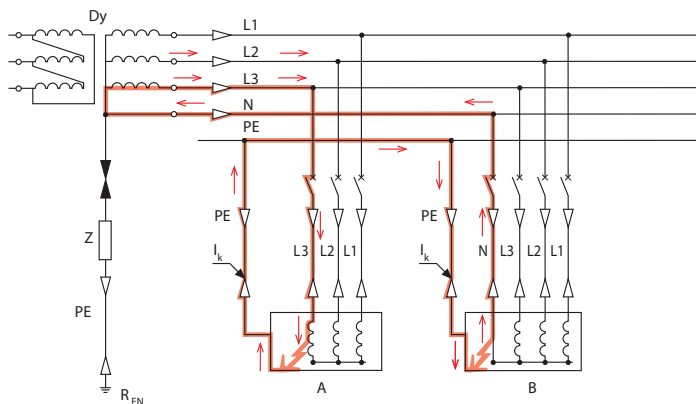
Формула:

$$I_{kmin} = \frac{0,8 \cdot U_0 \cdot S_N}{2 \cdot 1,5 \cdot 1,2 \cdot \rho \cdot (1+m_1) \cdot L} \cdot k_1 \cdot k_2$$

следовательно:

$$L = \frac{0,8 \cdot U_0 \cdot S_N}{2 \cdot 1,5 \cdot 1,2 \cdot \rho \cdot (1+m_1) \cdot I_{kmin}} \cdot k_1 \cdot k_2$$

4 Защита человека



1SDCO10045F0001

Примечания для использования таблиц

Таблицы, показывающие максимально защищаемую длину, составлены с учетом следующих условий:

- один кабель на фазу;
- номинальное напряжение 400 В (трехфазная система);
- кабели медные;
- нейтраль сосредоточенная, только для системы IT;
- поперечное сечение защитного проводника в соответствии с Таблицей 1:

Таблица 1: Поперечное сечение защитного проводника

Поперечное сечение фазного проводника S [мм ²]	Поперечное сечение защитного проводника S_{PE} [мм ²]
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	$S/2$

Примечание: фазный и защитный проводники, имеют одинаковую изоляцию и материал проводников.

При использовании функции электронного расцепителя S (задержка срабатывания при коротком замыкании) для определения максимальной защищаемой длины, необходимо убедиться, что время срабатывания меньше, чем значение времени, указанное в Таблице 1 раздела 4.5 для систем TN и в Таблице 1 разделе 4.6 для систем IT.

Для условий, отличных от перечисленных, необходимо применять приведенные ниже поправочные коэффициенты.

4 Защита человека

Поправочные коэффициенты

Поправочные коэффициенты для параллельных проводников каждой из фаз: значение максимально защищаемой длины должно быть умножено на следующий коэффициент:

n	2	3	4	5	6	7	8
k_p	2	2,7	3	3,2	3,3	3,4	3,5

n - количество параллельных проводников на фазу

Поправочный коэффициент для трехфазного напряжения, отличного от 400 В: значение максимально защищаемой длины должно быть умножено на следующий коэффициент:

напряжение [В]	230	400	440	500	690
k_v	0,58	1	1,1	1,25	1,73

Для однофазных систем 230 В поправочный коэффициент не применяется.

Поправочный коэффициент для алюминиевых кабелей: значение максимально защищаемой длины должно быть умножено на следующий коэффициент:

k_{Al}	0,64
----------	------

Поправочный коэффициент для поперечного сечения защитного проводника S_p , отличного от поперечного сечения: значение максимально защищаемой длины должно быть умножено на коэффициент, соответствующий поперечному сечению фазного проводника и отношению между защитным проводником (PE) и поперечными сечениями фазы:

S_{PE}/S	0,5	0,55	0,6	0,66	0,75	0,87	1	1,25	1,5	2
k_{PE}										
$\leq 16 \text{ мм}^2$	0,67	0,71	0,75	0,80	0,86	0,93	1,00	1,11	1,20	1,33
25 мм ²	0,85	0,91	0,96	1,02	1,10	1,19	1,28	1,42	1,54	1,71
35 мм ²	1,06	1,13	1,20	1,27	1,37	1,48	1,59	1,77	1,91	2,13
>35 мм ²	1,00	1,06	1,13	1,2	1,29	1,39	1,5	1,67	1,8	2,00

Поправочный коэффициент для распределенной нейтрали в системе IT: значение максимально защищаемой длины должно быть умножено на 0,58.

5 Фотоэлектрические установки

5.1 Принцип работы

Фотоэлектрическая (ФЭ) установка позволяет быстро преобразовывать солнечную энергию непосредственно в электрическую без использования дополнительных видов топлива. Фактически, фотоэлектрическая (ФЭ) технология основана на фотоэлектрическом эффекте, в результате которого некоторые из «активированных» должным образом полупроводников при попадании на них солнечного излучения вырабатывают электричество.

Основные преимущества фотоэлектрических (ФЭ) установок:

- распределенная генерация, при необходимости;
- отсутствие выброса загрязняющих веществ;
- сохранение горючих полезных ископаемых;
- надежность установки вследствие отсутствия подвижных частей (срок эксплуатации, как правило, более 20 лет);
- низкие затраты на эксплуатацию и техобслуживание;
- модульность системы (для увеличения мощности установки достаточно увеличить количество панелей) в соответствии с реальными требованиями потребителей.

Однако, по причине незрелости как технической, так и экономической стороны рынка начальная стоимость проекта ФЭ установки достаточно высока. Кроме этого, генерация электроэнергии по причине непредсказуемости источника солнечной энергии достаточно нестабильна.

Годовая выработка электроэнергии ФЭ установкой зависит от различных факторов, среди которых:

- нестабильность солнечного излучения в месте установки;
- наклон и ориентация панелей;
- наличие или отсутствие затемнения;
- технические характеристики компонентов установки (основные модули и инверторы).

Основные области применения фотоэлектрических установок:

1. установки с системами аккумуляции для потребителей, изолированных от сети;
2. установки для потребителей, подключенных к сети низкого напряжения;
3. солнечные ФЭ установки, подключенные, как правило, к сети среднего напряжения.

Специальные тарифы для стимулирования возобновляемой энергетики предусмотрены только для вариантов применения 2 и 3 в установках с номинальной мощностью не менее 1 кВт.

ФЭ установка, в основном, состоит из генератора (ФЭ панели), опорной рамы для монтажа панелей на земле, здания или конструкции здания, системы управления питанием и кондиционированием, системы аккумуляции энергии при необходимости, электрических и распределительных НКУ, в которых размещается оборудование коммутации и защиты, а также соединительные кабели.

5 Фотоэлектрические установки

5.1 Основные компоненты фотоэлектрических установок

5.2.1 Фотоэлектрический генератор

Основным компонентом ФЭ генератора является фотоэлектрическая ячейка, в которой происходит преобразование солнечного излучения в электрический ток.

Ячейка состоит из тонкого слоя полупроводникового материала, как правило, обработанного надлежащим образом кремния, толщиной около 0,3 мм и площадью от 100 до 225 см².

Кремний, содержащий четыре валентных электрона (четырёхвалентный), «активируется» добавлением трехвалентных атомов (например, добавлением бора-Р) на один слой и пятивалентных атомов (например, добавлением фосфора-N) на другой. В области р образуется избыток дырок, в то время как в области n - избыток электронов.

В контактной области между двумя различно активированными слоями (Р-N переход), электроны направляются от электроноизбыточной половины (N) к половине бедной электронами (Р), тем самым создавая накопление отрицательного заряда в области Р. Двойной эффект происходит для дырок электронов с накоплением положительного заряда в области N. Таким образом, электрическое поле создается поперек перехода и предотвращает дальнейшее рассеяние электрических зарядов.

При воздействии внешнего напряжения переход позволяет току течь только в одном направлении (диодное функционирование).

При попадании солнечного света на ячейку благодаря фотоэлектрическому эффекту¹ некоторые пары электрон-дырок возникают как в области N, так и в области Р.

Внутреннее электрическое поле позволяет избыточным электронам (извлеченным при поглощении фотонов из части материала) отделяться от дырок и толкает их в противоположные направления друг от друга. Следовательно, после прохождения электронами обедненной области перехода они не могут вернуться назад, так как электрическое поле предотвращает их движение в обратном направлении.

При присоединении перехода к внешнему проводнику образуется замкнутая цепь, в которой ток течет от слоя N с более высоким потенциалом к слою P с более низким потенциалом, пока ячейка освещается.

Кремниевый отрезок, способствующий выработке тока, - это область, окружающая переход P-N; электрические заряды формируются в удаленных областях, но электрическое поле, которое приводит их в движение, отсутствует, и таким образом они воссоединяются.

Следовательно, важно, чтобы площадь фотоэлектрической ячейки была как можно больше: чем больше площадь, тем выше генерируемый ток.

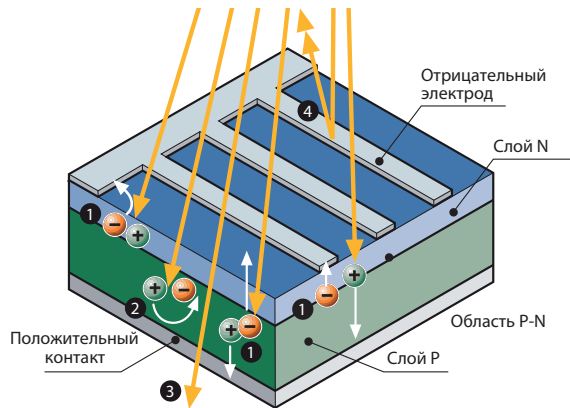
¹ Фотоэлектрический эффект возникает, когда электрон в валентной зоне материала (как правило, полупроводника) продвигается в зону проводимости благодаря поглощению одного полного энергетического фотона (квант электромагнитного излучения), попадающего на материал. Фактически, в полупроводниковых материалах, как и в изоляционных материалах, валентные электроны не могут двигаться свободно, но в полупроводниковых материалах по сравнению с изоляционными, энергетический зазор между зоной валентности и зоной проводимости (типовой для проводниковых материалов) настолько мал, что электроны могут легко перемещаться в зону проводимости при получении энергии извне. Такая энергия может поступать от солнечного излучения, вызывая фотоэлектрический эффект.

5 Фотоэлектрические установки

На рисунке 1 представлены фотоэлектрический эффект и энергетический обмен, показывающие, что значительный процент поступающей солнечной энергии не преобразуется в электрическую энергию.

Фотоэлектрический эффект

- 1 Разделение заряда
- 2 Воссоединение
- 3 Передача
- 4 Отражение и затемнение контактов передней поверхности



Из 100% поступающей солнечной энергии:

- **3%** потери на отражение и затемнение контактов передней поверхности
- **23%** фотонов с высокой длиной волны и недостаточной энергией для свободных электронов; вырабатывается тепло
- **32%** фотонов с короткой длиной волны с избытком энергии (передача)
- **8,5%** воссоединение свободных носителей заряда
- **20%** создание градиента электрического поля в ячейке, в первую очередь в обедненных областях
- **0,5%** потери мощности в соединительных проводниках между панелями
- = **13%** пригодной к использованию электрической энергии.

В стандартных рабочих условиях (излучение 1 Вт/м^2 при температуре 25°C) ФЭ ячейка генерирует ток около 3 А с напряжением $0,5 \text{ В}$ и максимальной мощностью $1,5\text{-}1,7$ пиковых Вт.

На рынке представлены фотоэлектрические модули, укомплектованные комплектом ячеек.

Наиболее распространенный вариант - 36 ячеек в 4 параллельных ряда, соединенных последовательно на площади от $0,5$ до 1 м^2 .

Несколько соединенных механически и электрически модулей образуют панель, представляющую собой типовую конструкцию, которую можно закрепить на грунте или здании.

Несколько последовательно соединенных электрически панелей образуют батарею или несколько батарей, которые в свою очередь соединяются электрически в параллель для генерации требуемой мощности и образуют генератор или фотоэлектрическое поле.

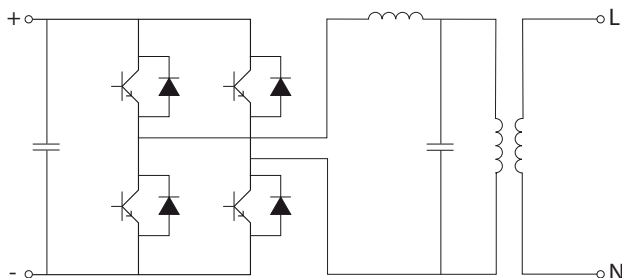
5 Фотоэлектрические установки

5.2.2 Инвертор

Система поддержания качества электроэнергии и регулирования мощности состоит из инвертора, который преобразует постоянный ток в переменный, а также контролирует качество выходной энергии, подаваемой в сеть, посредством индуктивно-емкостного фильтра, расположенного внутри инвертора.

Транзисторы, используемые в качестве бесконтактных переключателей, управляются сигналом на размыкание-замыкание, который в простейшем режиме, приводит к прямоугольному сигналу на выходе.

Принципиальная схема однофазного инвертора



Для получения максимально синусоидальной формы сигнала используется более сложная технология - Широтно-Импульсная Модуляция (ШИМ); технология ШИМ позволяет добиться регуляции как частоты, так и действующего значения выходной формы сигнала.

Мощность, вырабатываемая ФЭ генератором зависит от его режима работы. Для максимального повышения уровня выработки энергии установкой генератор необходимо настроить под текущую нагрузку таким образом, чтобы рабочая точка генератора всегда соответствовала максимальной точке текущей нагрузки энергоснабжения. Для этого внутри инвертора устанавливается управляемый преобразователь, так называемое устройство слежения за точкой максимальной мощности (MPPT). Устройство слежения поминутно рассчитывает пару значений генератора «напряжение-ток», при которых достигается максимально допустимая мощность.

Промышленные системы слежения за точкой максимальной мощности определяют точку максимальной мощности на характеристической кривой генератора, создавая, с постоянной периодичностью, небольшие варианты нагрузок, которые определяют несколько значений отношения напряжение-ток $I \times V$. Далее система сравнивает эти значения с последним значением максимальной мощности, и определяет наиболее близкое новое значение максимальной мощности. При повышении нагрузки процесс повторяется относительно этого значения максимальной мощности. По причине различных требований к эксплуатационным характеристикам инверторы, работающие на независимую нагрузку отличаются от инверторов, работающих в составе сети:

- инверторы, работающие на независимую нагрузку, должны максимально точно обеспечивать постоянство напряжения на стороне переменного тока при изменении производительности генератора и изменениях нагрузки;
- инверторы, работающие в составе сети, должны максимально точно воспроизводить напряжение сети, при этом, по возможности, оптимизировать и увеличивать вырабатываемую ФЭ панелями мощность.

5 Фотоэлектрические установки

5.3 Типология фотоэлектрических установок

5.3.1 Автономные установки

К автономным установкам относятся установки, не подключенные к сети и состоящие из ФЭ панелей и системы аккумулятирования, которая обеспечивает подачу электрической энергии даже при слабом освещении и в темноте. ФЭ генератор вырабатывает постоянный ток, поэтому если потребительской установке требуется переменный ток, то необходимо установить инвертор. Такие установки являются предпочтительными с технической и экономической точки зрения относительно комплектов двигатель-генератор при отсутствии или удаленном расположении электрической сети.

Кроме этого, в автономных конфигурациях габариты ФЭ поля увеличены для того, чтобы во время солнечного излучения обеспечивалась как подача питания, так и перезарядка накопительных аккумуляторов с определенным коэффициентом запаса, учитывающим дни слабого освещения.

На данный момент автономные установки наиболее распространены для питания:

- оборудования подачи воды,
- радио ретрансляторов, станций наблюдения за погодой, сейсмическими изменениями и станций передачи данных,
- осветительных систем,
- систем указателей для дорог, пристаней и аэропортов,
- систем электроснабжения в передвижных домах,
- рекламных щитов,
- высокогорных укрытий.

5.3.2 Установки, подключенные к сети

Установки, постоянно работающие в составе сети, получают мощность из сети в те часы, когда ФЭ генератор не может вырабатывать энергию, необходимую для удовлетворения запросов потребителей.

И напротив, если ФЭ система вырабатывает избыточную электрическую мощность, излишек передается в сеть, которая, в свою очередь, может функционировать, как большой аккумулятор: следовательно, подключенные к сети системы, не нуждаются в аккумуляторных батареях.

Эти установки дают преимущество распределенной, взамен централизованной, генерации: по сути, энергия, вырабатываемая вблизи зоны потребления, имеет более высокую ценность, чем производимая традиционными крупными электростанциями, так как сокращаются потери на передачу и распределение энергии крупными электросистемам. Кроме этого, производство энергии в часы солнечного излучения позволяет снизить затраты сети в течение дня, когда потребность в энергии выше.

5 Фотоэлектрические установки

5.4 Заземление и защита от косвенного прикосновения

Понятие заземления применительно к фотоэлектрической (ФЭ) системе может распространяться как на открытые проводящие части (например, металлическую раму панелей), так и на систему энергоснабжения (токоведущие части ФЭ системы, например, ячейки).

ФЭ систему можно заземлить, только если она гальванически изолирована от электрической сети посредством трансформатора. На первый взгляд, изолированная ФЭ система может показаться безопаснее для людей, прикасающихся к токоведущим частям; на самом деле, сопротивление изоляции токоведущих частей относительно земли имеет свои пределы, и при прикосновении человека к токоведущим частям через него проходит ток, возвращающийся через это сопротивление. Этот ток повышается в результате уменьшения сопротивления изоляции относительно земли при увеличении напряжения установки относительно земли и размера установки. Помимо этого, физический износ изоляторов со временем и в условиях влажности сам по себе приводит к снижению сопротивления изоляции. Следовательно, на достаточно крупных станциях, ток, проходящий через человека при прикосновении к токоведущим частям, может привести к смертельному поражению электрическим током, поэтому преимущество изолированных систем над заземленными действительно только для маленьких установок.

5.4.1 Установки с трансформатором

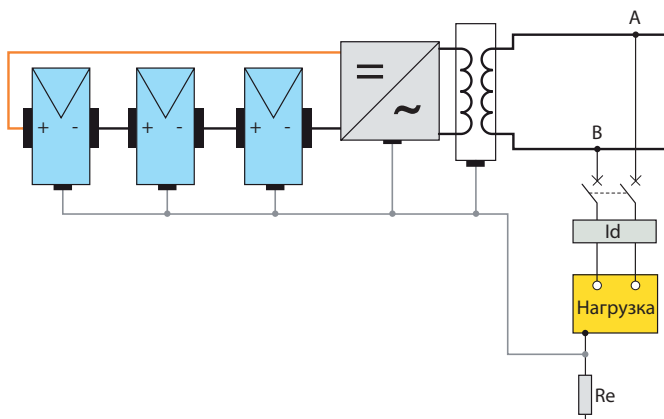
Для защиты от косвенного прикосновения в установках с трансформатором, помимо различий между изолированной или заземленной ФЭ системой, необходимо учитывать расположение открытых проводящих частей: со стороны нагрузки или со стороны питания трансформатора².

5.4.1.1 Открытые проводящие части со стороны нагрузки трансформатора

Установка с системой IT

В данном типе установки токоведущие части изолированы от земли, в то время как открытые проводящие части заземлены³ (Рисунок 2).

Рисунок 2



² В этом случае понятия со стороны питания и со стороны нагрузки относятся к направлению электрической мощности, вырабатываемой ФЭ установкой.

³ Для обеспечения безопасности система заземления ФЭ установки объединена с системой заземления потребителя.

5 Фотоэлектрические установки

В этом случае сопротивление заземления R_e открытых проводящих частей должно отвечать следующему условию (CEI 64-8):

$$R_e \leq \frac{120}{I_d} \quad (1)$$

где I_d - ток первого замыкания на землю, который неизвестен заранее, но который, как правило, очень низок на маленьких станциях.

Следовательно, сопротивление заземления R_e потребительской установки, которое определяется для короткого замыкания в сети, как правило, удовлетворяет только отношению 1.

Так как ФЭ генератор является генератором тока, то при двойном замыкании на землю напряжение взаимосвязанных открытых проводящих частей должно быть ниже, чем:

$$I_{sc} \cdot R_{eqp} \leq 120 \text{ В} \quad (2)$$

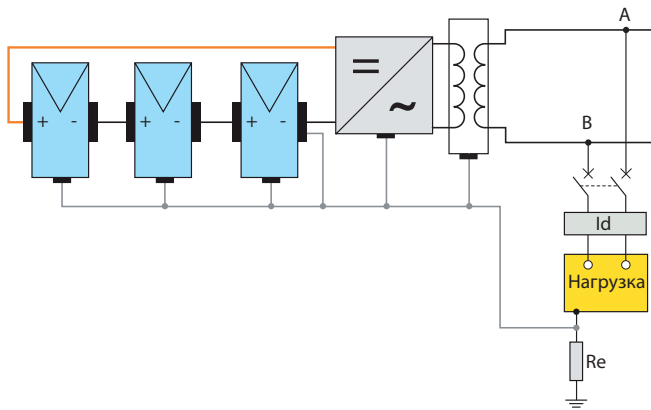
где I_{sc} - ток короткого замыкания задействованных ячеек, а R_{eqp} - сопротивление проводника, связывающего открытые проводящие части, затронутые замыканием. Например, если $R_{eqp} = 1$ Ом (значение, округленное в большую сторону), отношение (2) действительно для тока I_{sc} , не превышающего 120 А и свойственного для маленьких установок; таким образом, напряжение прикосновения в случае второго замыкания на землю является не опасным.

Напротив, для крупных станций необходимо снижать вероятность возникновения второго замыкания на землю до допустимых пределов, устраняя первое замыкание на землю, отслеживаемое контроллером изоляции (как внутри инвертора, так и снаружи).

Установка с системой TN

В данном типе установки токоведущие части и открытые проводящие части подключены к одной системе заземления потребительской установки. Тем самым, образуется система TN на стороне постоянного тока (Рисунок 3).

Рисунок 3



5 Фотоэлектрические установки

При замыкании на землю короткое замыкание протекает также, как и в обычных системах TN, но такой ток нельзя отследить расцепителями максимального тока, так как характерной особенностью ФЭ установок является генерация токов короткого замыкания со значениями, незначительно превышающими номинальный ток. Следовательно, с точки зрения безопасности, заключения, сделанные в предыдущем параграфе⁴ для второго замыкания для систем IT, действительны и для данного замыкания.

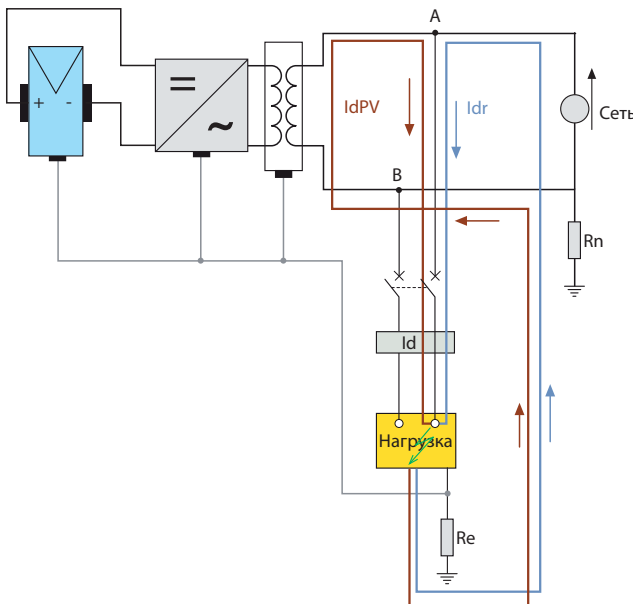
⁴ Стандарт МЭК 60364-7 рекомендует при монтаже целой установки на стороне постоянного тока (распределительные щиты, кабели и выводные щитки) использовать устройства класса II или с эквивалентной изоляцией.

5.4.1.2 Открытые проводящие части на стороне питания трансформатора

Рассмотрим систему сеть-потребитель типа ТТ.

Открытые проводящие части установки потребителя, защищенной автоматическими выключателями дифференциального тока, расположенными в начале установки потребителя (Рисунок 4), защищены как воздействия со стороны сети, так и со стороны ФЭ генератора.

Рисунок 4



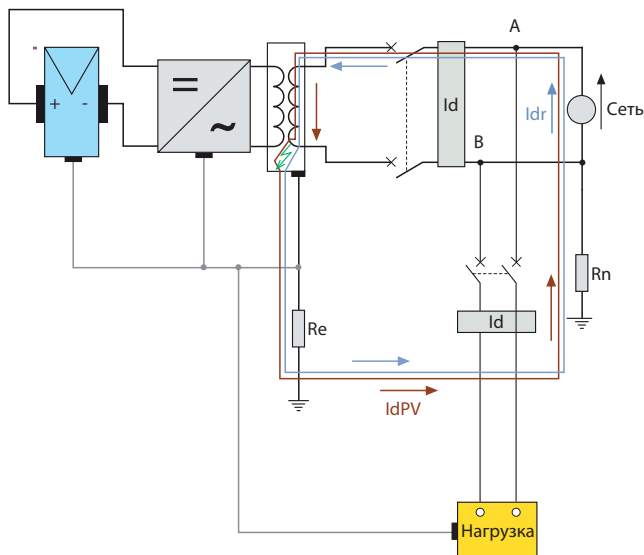
Между параллельными точками А-В и сетью не должно быть открытых проводящих частей, так как тогда, согласно нормативным требованиям, все открытые проводящие части потребительской установки в системе ТТ должны быть защищены автоматическим выключателем дифференциального тока.

5 Фотоэлектрические установки

Для открытых проводящих частей, расположенных выше параллельных точек А-В, таких как открытые проводящие части трансформатора, при его наличии, или инвертора, устройство отключения дифференциального тока⁵ должно располагаться, как показано на Рисунке 5; это устройство отключения дифференциального тока отслеживает токи утечки как со стороны сети, так и со стороны ФЭ генератора.

Если устройство отключения дифференциального тока срабатывает от тока замыкания на землю, то инвертор останавливается по причине недостаточного напряжения сети.

Рисунок 5

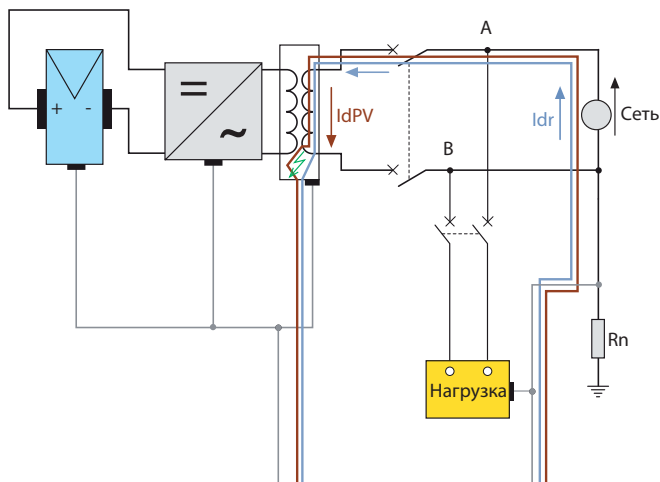


⁵ Номинальный дифференциальный ток должен быть согласован с сопротивлением заземления R_e в соответствии с традиционным для систем ТТ отношением: $R_e \leq \frac{50}{I_{dn}}$

5 Фотоэлектрические установки

С другой стороны, если в системе сеть-потребитель типа TN с подачей питания как со стороны сети, так и со стороны ФЭ генератора, ток короткого замыкания на стороне переменного тока приводит к срабатыванию выключателей максимального тока в течение времени, прописанного в Стандарте, автоматические выключатели дифференциального тока не требуются. (Рисунок 6).

Рисунок 6



5.4.2 Установки без трансформатора

При отсутствии трансформатора между ФЭ установкой и сетью все активные части ФЭ, являясь продолжением питающей сети, должны быть изолированы от земли, как правило, с точкой подключения к земле (система TT или TN).

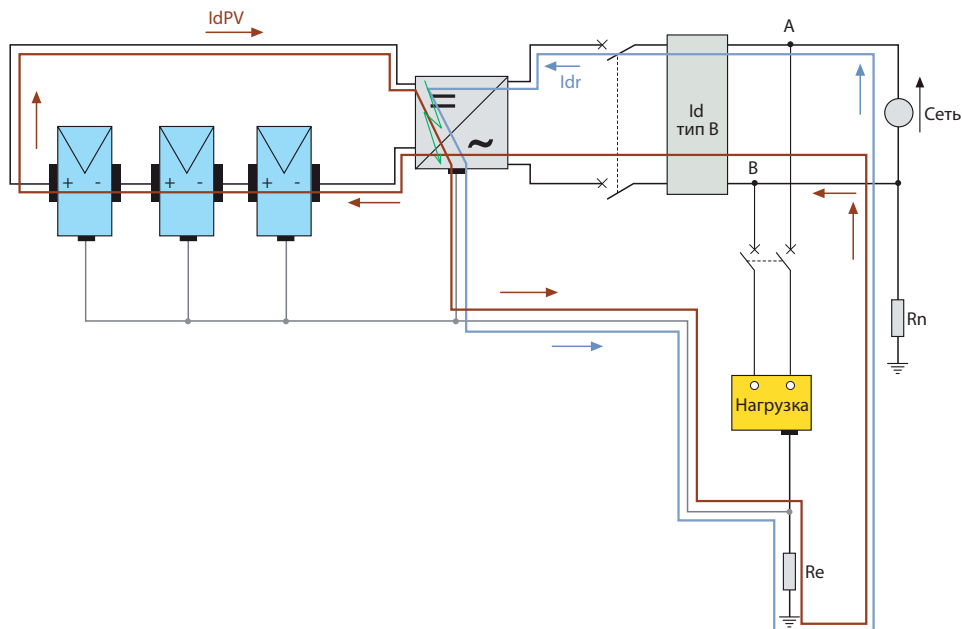
Для открытых проводящих частей установки потребителя и частей выше параллельных точек A-B информация, приведенная в пункте 5.4.1.2, также считается действительной.

Со стороны постоянного тока замыкание на землю открытых проводящих частей определяет срабатывание автоматического выключателя дифференциального тока, расположенного ниже инвертора (Рисунок 7). После срабатывания устройства отключения дифференциального тока инвертор останавливается по причине недостаточного напряжения сети, но короткое замыкание подпитывается ФЭ генератором. Так как ФЭ система относится к типу IT, то утверждения, сделанные в пункте 5.4.1.1.1, считаются действительными.

5 Фотоэлектрические установки

Ток, протекающий через автоматический выключатель при коротких замыканиях на землю в части постоянного тока и на участках проводки переменного тока до параллельных точек А-В (со стороны инвертора), содержит как постоянную, так и переменную составляющую. Поэтому автоматический выключатель должен быть с защитой отключения дифференциального тока типа В, за исключением случаев, когда в инвертор встроен гальванически развязывающий трансформатор на стороне выхода переменного тока (МЭК 60364-7)⁷.

Рисунок 7



⁶ Устройство отключения дифференциального тока типа В отслеживает следующие типы токов замыкания на землю:

- переменный (также при частоте превышающей частоту сети, например, до 1000 Гц);
- пульсирующий ненаправленный;
- постоянный.

⁷ В Стандарте CEI EN 62040-1 предписано, что для защиты ИБП (включая инвертор) от токов короткого замыкания на землю во всех случаях, когда возможно возникновение токов замыкания на землю с компонентами постоянного тока в соответствии с конструкцией ИБП, используются устройства отключения дифференциального тока типа В (для трехфазных ИБП) и типа А (для однофазных ИБП).

5 Фотоэлектрические установки

5.5 Защита от перегрузок и перенапряжений

В зависимости от местоположения фотоэлектрической установки следует, при необходимости, предусмотреть защиту ее различных участков от сверхтоков и перенапряжений атмосферного происхождения.

Ниже показаны условия для защиты от сверхтоков в ФЭ установке как на стороне питания (участок постоянного тока), так и на стороне нагрузки инвертора (участок переменного тока), а также способы защиты установки от ущерба, причиненного возможным прямым или косвенным повреждением⁸.

5.5.1 Защита от перегрузки со стороны постоянного тока

5.5.1.1 Защита кабелей

Если максимальный воздействующий на кабель ток $(1,25 I_{sc})^9$ не превышает допустимый длительный ток кабеля, то защищать кабель от сверхтоков не требуется (CEI 64-8/7).

Сверхтоки в кабелях на стороне постоянного тока возникают в следующих случаях:

- замыкание между полярностями ФЭ системы;
- замыкание на землю в системах заземления;
- двойного замыкания на землю в заземленно-изолированных системах.

Короткое замыкание на соединительном кабеле секции и вторичного шкафа подключений (замыкание 1 на Рисунке 8) подпитывается одновременно выше со стороны нагрузки данной секции ($I_{cc1} = 1,25 \cdot I_{sc}$) и ниже со стороны других секций $x-1$, подключенных к этому же инвертору ($I_{cc2} = (x-1) \cdot 1,25 \cdot I_{sc}$).

Для малогабаритной ФЭ установки, состоящей только из двух секций ($x=2$), это значит, что $I_{cc2} = 1,25 \cdot I_{sc} = I_{cc1}$, следовательно, защита от короткого замыкания для кабелей секции не требуется. И наоборот, при подключении к инвертору трех и более секций ($x \geq 3$), ток I_{cc2} превышает рабочий ток, следовательно, кабели должны быть защищены от короткого замыкания, при условии, что допустимый длительный ток кабелей ниже, чем I_{cc2} , т.е. $I_z < (x-1) \cdot 1,25 \cdot I_{sc}$.

Короткое замыкание между вторичным шкафом подключений и распределительным щитом инвертора (замыкание 2 на Рисунке 8) подпитывается всеми секциями y , присоединенными к вторичному шкафу подключений (I_{cc3}) и ниже остальными секциями $(x-y)$, относящимися к тому же распределительному щиту инвертора. Ток короткого замыкания $I_{cc3} = y \cdot 1,25 \cdot I_{sc}$ совпадает с рабочим током цепи между вторичным шкафом подключений и инвертором, при этом, ток $I_{cc4} = (x-y) \cdot 1,25 \cdot I_{sc}$ выше рабочего тока, если $x-y > y \Rightarrow x > 2y$.

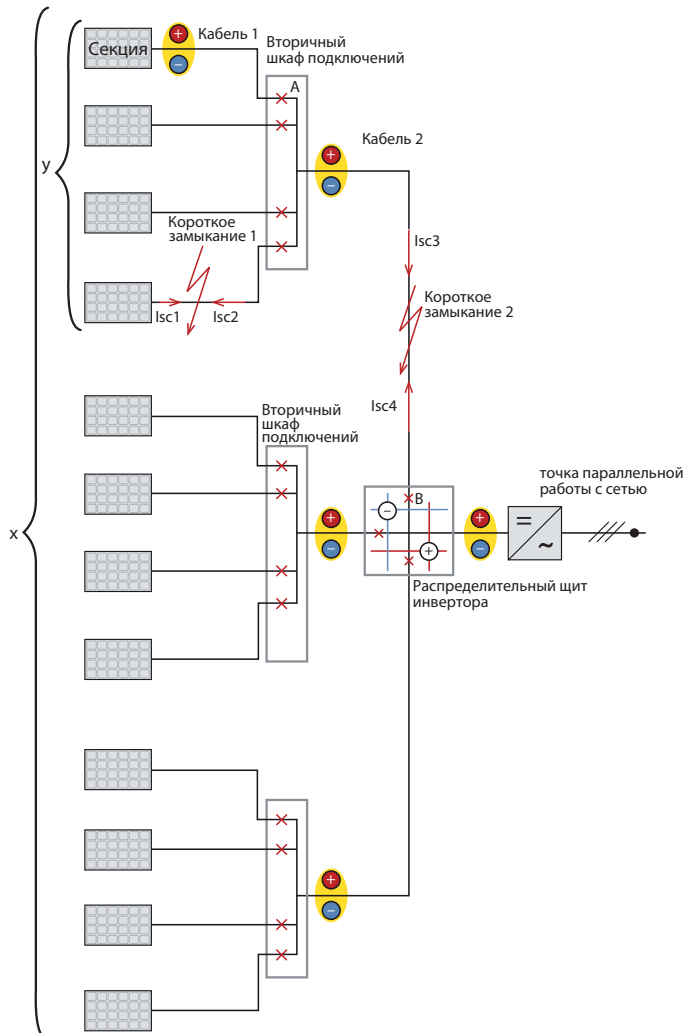
В этом случае, если допустимый длительный ток кабеля ниже I_{sc4} , т.е. $I_z < (x-y) \cdot 1,25 \cdot I_{sc}$, необходимо обеспечить защиту кабелей от короткого замыкания.

⁸ Информацию о применении коэффициента коррекции мощности потребительской установки при наличии ФЭ установки см. в Приложении Е брошюры QT8 «Коэффициент коррекции мощности и фильтрация гармоник в электрических установках».

⁹ I_{sc} - ток короткого замыкания в модуле при нормальных условиях испытания, и при превышении на 25% используются значения изоляции более 1кВт/м².

5 Фотоэлектрические установки

Рисунок 8



“А” обозначает устройство защиты во вторичном шкафу подключений для защиты “кабеля 1”, присоединяющего панель к распределительному щиту.

“В” обозначает устройство защиты, установленное в распределительном щите инвертора, для защиты «кабеля 2», соединяющего инвертор и вторичный шкаф подключений.

“у” количество панелей, подключенных к одному вторичному шкафу подключений.

“х” общее количество панелей, подключенных к одному инвертору.

5 Фотоэлектрические установки

5.5.1.2 Защита панелей от обратного тока

При затемнении или аварии секция становится пассивной, поглощая и рассеивая электрическую мощность, генерируемую другими секциями, подключенными параллельно к одному инвертору, так как ток протекает по данной секции в обратном направлении относительно стандартных условий и может привести к поломке модулей, которые способны выдерживать обратный ток номиналом от 2,5 до $3 I_{sc}$ (МЭК TS 62257-7-1).

Так как максимальный обратный ток для x панелей, подсоединенных параллельно к одному инвертору, равен $I_{inv} = (x-1) \cdot 1,25 \cdot I_{sc}$, то защищать панели не требуется $I_{inv} \leq 2,5 \cdot I_{sc}$, при условии, что $(x-1) \cdot 1,25 \leq 2,5$ $x \leq 3^{10}$.

5.5.1.3 Принцип работы инвертора

Короткое замыкание на стороне постоянного тока инвертора может подпитываться как от сети, так и от разряда конденсаторов внутри инвертора.

Ток сети возникает от рециркулирующих диодов мостового инвертора, который в данном случае выступает в роли мостового выпрямителя. Такой ток ограничен сопротивлениями трансформатора и индукторов внешней цепи, а также защитными предохранителями инвертора на стороне переменного тока, подобранными таким образом, чтобы они могли ограничивать тепловые эффекты возможных внутренних замыканий полупроводников.

Следовательно, протекающий I^2t будет, как правило, ограничен. Предположительно, окончательное значение тока $10I_n$ (внутренние конденсаторы полностью разряжены) может быть верхним пограничным значением. Этот ток присутствует при наличии инвертора с гальванической развязкой от сети 50Гц, в то время как у инвертора без трансформатора он является нулевым.

На практике, данные инверторы, как правило, оснащены вводным преобразователем постоянного тока DC/DC, который гарантирует работу ФЭ генератора на широком диапазоне напряжений; благодаря своему типу конструкции данный преобразователь содержит как минимум один блокирующий диод, который предотвращает подпитку короткого замыкания от тока сети.

Ток разряда конденсаторов ограничен кабелями между инвертором и коротким замыканием и затухает по экспоненте: чем меньше сопротивление соединяющих кабелей, тем выше начальный ток, но тем ниже постоянная времени разряда. Протекающая энергия ограничена до уровня, изначально сохраненного в конденсаторах. Более того, если последовательно с одним из двух полюсов подключен блокирующий диод или другое подобное устройство, эта подпитка короткого замыкания становится нулевой.

Каждый раз при падении постоянного напряжения в результате короткого замыкания на стороне постоянного тока инвертор отключается и, вероятно, отсоединяется от сети. Как правило, время отключения инвертора составляет около нескольких миллисекунд, в то время как время отсоединения может составить около нескольких долей миллисекунд. В период между отключением и отсоединением сеть может вызвать упомянутый выше эффект, в то время как внутренние конденсаторы, если они включены, участвуют до их полной разрядки.

¹⁰ Блокирующие диоды можно использовать, но они не заменяют защиту от сверхтоков (МЭК TS 62257-7-1), так как необходимо учитывать вероятность некачественного срабатывания блокирующего диода и его короткого замыкания. Кроме того, диоды приводят к потере мощности по причине падения напряжения на соединении. Эту потерю можно понизить применением диодов Шоттки с падением 0,4В вместо традиционных диодов с падением 0,7В. Однако, номинальное обратное напряжение диодов должно быть $\geq 2 U_{oc}$ и номинальный ток $\geq 1,25 I_{sc}$ (CEI Руководство 82-25).

5 Фотоэлектрические установки

При этом, влияние как сети, так и внутренних конденсаторов на короткое замыкание имеет исключительно переходную природу, и они не влияют на размер защитных, коммутационных и разъединительных устройств на стороне постоянного тока.

5.5.1.4 Выбор устройств защиты

Для защиты от коротких замыканий на стороне постоянного тока устройства должны подходить для использования на постоянном токе и иметь рабочее напряжение U_0 равное или выше максимального напряжения ФЭ генератора, которое равно $1,2 U_{oc}^{11}$ (МЭК TS 62257-7-1).

Кроме этого, устройства защиты должны располагаться в конце защищаемой цепи по направлению от секций к инвертору, то есть располагаться в разных распределительных щитах, вторичном шкафу подключений и щите инвертора, так как токи короткого замыкания поступают от других секций, то есть со стороны нагрузки, а не со стороны питания (МЭК TS 62257-7-1).

Во избежание нежелательного срабатывания в нормальных условиях работы устройства защиты, расположенные во вторичных шкафах подключений (устройство А на Рисунке 8), должны иметь номинальный ток I_n^{12} :

$$I_n \geq 1,25 \cdot I_{sc} \quad (3)$$

Эти устройства должны защищать:

- каждую отдельно взятую секцию от обратного тока;
- секцию соединительного кабеля¹³ ко вторичному шкафу подключений (кабель 1 на Рисунке 8), если его длительный выдерживаемый ток ниже максимального тока короткого замыкания других секций x-1, подсоединенных к тому же распределительному шкафу инвертора¹⁴, т.е. если:

$$I_z < I_{cc2} = (x - 1) \cdot 1,25 \cdot I_{sc} \quad (4)$$

Для защиты секции номинальный ток защитного устройства (термомагнитный выключатель или предохранитель) не должен превышать ток, заявленный производителем для защиты панели; при отсутствии указаний от производителя, действительно следующее выражение (МЭК TS 62257-7-1):

$$1,25 \cdot I_{sc} \leq I_n \leq 2 \cdot I_{sc} \quad (5)$$

¹¹ U_{oc} - напряжение холостого хода, поступающее от секций.

¹² Во избежание перегрева термомагнитных выключателей выражение [3] меняется на $I_n \geq 1,25 \cdot I_{sc}$ в то время как для магнитных выключателей $I_n \geq 1,25 \cdot I_{sc}$.

¹³ Защита от короткого замыкания только, если $I_z \geq 1,25 \cdot I_{sc}$.

¹⁴ Короткое замыкание $I_{cc1} = 1,25 \cdot I_{sc}$ (Рисунок 8) не играет существенной роли, так как допустимый длительный ток кабеля секции не ниже $1,25 \cdot I_{sc}$.

5 Фотоэлектрические установки

Устройство защиты соединительного кабеля необходимо подбирать таким образом, чтобы защита срабатывала для всех возможных значений тока короткого замыкания (МЭК 60364)¹⁵, вплоть до максимальных $(x-1) \cdot 1,25 \cdot I_{sc}$:

$$I_2 t \leq K^2 S^2 \quad (6)$$

Отключающая способность устройства не должна быть ниже тока короткого замыкания других секций n-1, то есть:

$$I_{cu} \geq (x-1) \cdot 1,25 \cdot I_{sc} \quad (7)$$

Устройства в распределительном щите инвертора должны защищать от короткого замыкания соединительные кабели вторичного шкафа подключений и щита инвертора, если допустимый длительный ток кабелей ниже $I_{cc4} = (x-y) \cdot 1,25 \cdot I_{sc}$ ¹⁶ (Рисунок 8).

В этом случае устройства защиты должны отвечать условиям (3) и (6), в то время как их допустимый длительный ток не должен быть ниже тока короткого замыкания других секций n-m, то есть:

$$I_{cu} \geq (x-y) \cdot 1,25 \cdot I_{sc} \quad (8)$$

Вкратце, кабель для подключения распределительного щита инвертора к инвертору защищать не требуется, если его допустимый длительный ток равен как минимум (CEI 64-8/7):

$$I_{cu} \geq (x) \cdot 1,25 \cdot I_{sc} \quad (9)$$

¹⁵ Для определения срабатывания магнитных автоматических выключателей, в случае если ток короткого замыкания превышает допустимый длительный ток защищаемого кабеля, значение I_3 , по возможности, необходимо установить на значение равное значению I_z кабеля. Кроме этого, если максимальное количество секций, подключенных к одному инвертору, равно 3, то возможно использование только магнитного автоматического выключателя в случае; в ином случае, для защиты секции необходимо использовать термоманитный автоматический выключатель, выбранный в соответствии с отношением (5).

¹⁶ Ток короткого замыкания $I_{sc3} = y \cdot 1,25 \cdot I_{sc}$ (Рисунок 8) не имеет значения, если допустимый длительный ток кабеля секции не ниже $y \cdot 1,25 \cdot I_{sc}$.

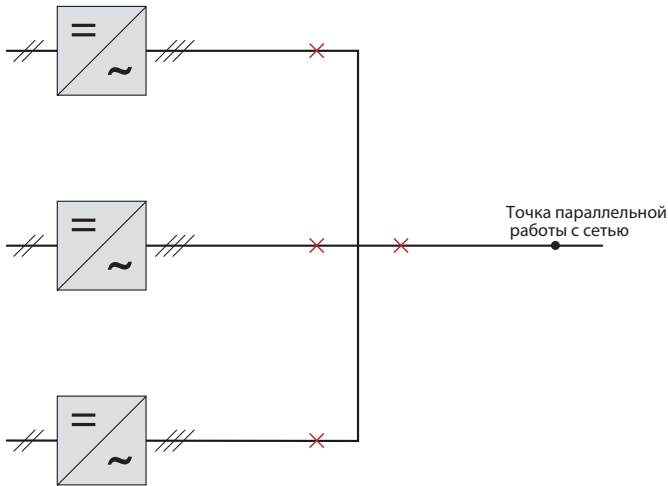
5 Фотоэлектрические установки

5.5.2 Защита от перегрузки со стороны переменного тока

Так как размер соединительного кабеля инвертора с точкой подключения к сети, как правило, выбирается таким образом, чтобы допустимый длительный ток был выше максимального тока, который может провести инвертор, защита от перегрузки не требуется. При этом, кабель должен быть защищен от короткого замыкания, подпитываемого сетью¹⁷, защитным устройством, расположенным рядом с точкой подключения к сети.

Для защиты такого кабеля можно использовать главный автоматический выключатель потребительской установки, если кабель выдерживает удельную пропускаемую энергию. При этом, срабатывание главного автоматического выключателя приведет к отключению всей потребительской установки. В мультиинверторных установках (см. Рисунок 9) наличие одной защиты для каждой линии позволяет в случае аварии одного инвертора, продолжить функционирование остальных линий, при условии, что автоматические выключатели на каждой линии согласованы по селективности с главным автоматическим выключателем.

Рисунок 9



¹⁷ Как правило, инвертор ограничивает выходные токи до значения, вдвое превышающего его номинальный ток, и переход в ненагруженное состояние на несколько десятых долей секунды по причине срабатывания внутренней защиты. Следовательно, подпитка тока короткого замыкания от инвертора ничтожно мала в сравнении с подпиткой тока от сети.

5 Фотоэлектрические установки

5.5.3 Выбор устройств коммутации и отключения

Установка разъединителя на каждой секции позволяет проводить проверку и техническое обслуживание секции без вывода из строя других частей ФЭ установки (CEI Guide 82-25 II ed.)¹⁸.

При проведении технического обслуживания необходимо исключить оба источника питания (сеть и ФЭ генератор), поэтому отключение инвертора должно быть возможным как со стороны постоянного тока, так и со стороны переменного тока (CEI 64-8/7).

На стороне постоянного тока инвертора должен быть установлен разъединитель, допускающий коммутацию под нагрузкой, например, выключатель-разъединитель. На стороне переменного тока устанавливается разъединитель общего типа.

В точке подключения к сети можно использовать установленное в этой точке устройство защиты; если это устройство расположено на удалении от инвертора, рекомендуется разместить разъединитель непосредственно на стороне нагрузки инвертора.

5.5.4 Защита от перенапряжений

Так как ФЭ установки, зачастую, располагаются вне помещений, они могут подвергаться перенапряжениям атмосферного происхождения: прямым, возникающим в результате попадания молнии в конструкцию здания, и косвенным, возникающим при ударе молнии вблизи здания, а также при попадании молнии в силовые и информационные линии передачи, подведенные к зданию. При попадании молнии в электрическую линию, подведенную к зданию, возникает гальваническая связь. Ток молнии приводит к повышению характеристического полного сопротивления линии, приводя к перенапряжению, которое может превысить импульсное выдерживаемое напряжение оборудования с последующим разрушением и опасностью возгорания.

Импульсный ток молнии приводит к возникновению электромагнитной связи, которая, в свою очередь, формирует в окружающем пространстве крайне изменчивое электромагнитное поле. Следовательно, изменения в магнитном поле приводят к перенапряжениям, воздействующим на близлежащие электрические цепи. Кроме перенапряжения атмосферного происхождения ФЭ установка может подвергаться внутренним коммутационным перенапряжениям.

5.5.4.1 Прямой удар молнии

Здания без системы молниезащиты¹⁹

Как правило, монтаж ФЭ установки не меняет габариты здания, следовательно, не влияет на частоту попаданий; поэтому принимать дополнительные меры по защите от возможных вспышек не требуется (CEI Guide 82-25 II ed.). С другой стороны, если ФЭ установка значительно меняет габариты здания, следует пересчитать вероятность попаданий в здание, и следовательно, рассмотреть необходимость установки системы молниезащиты (CEI Guide 82-25 II ed.).

¹⁸ При использовании автоматического выключателя функции коммутации и разъединения уже присутствуют.

¹⁹ Система молниезащиты включает в себя внешнюю (молниеотводы, грозовые разрядники и заземляющие электроды) и внутреннюю (средства защиты для снижения электромагнитного воздействия тока молнии, поступающего в защищаемую конструкцию) системы защиты.

5 Фотоэлектрические установки

Здания с системой молниезащиты

При наличии системы защиты от атмосферных разрядов²⁰, а также, если при монтаже ФЭ установки габариты здания не изменяются, и минимальное расстояние d между ФЭ установкой и установкой молниезащиты больше, чем безопасные расстояния (EN 62305-3), принимать дополнительные меры по защите новой установки не требуется (CEI Guide 82-25 II ed.).

С другой стороны, если габариты здания при монтаже ФЭ установки не изменяются, но минимальное расстояние d меньше, чем расстояние s , то установку молниезащиты следует расширить и подсоединить к металлоконструкциям ФЭ установки (CEI Guide 82-25, II ed.).

Наконец, если при монтаже ФЭ установки габариты здания изменяются, то необходимо провести новый анализ рисков попадания молнии или изменить систему молниезащиты (CEI Guide 82-25, II ed.).

Фотоэлектрическая установка на земле

При наземном монтаже ФЭ установки риск возгорания вследствие прямого попадания отсутствует, и опасность для человека представляет только напряжение при шаге и прикосновении. При сопротивлении поверхности более 5 кОм (например, каменистый заасфальтированный грунт минимальной толщиной 5 см или грунт, уложенный гравием минимальной толщиной 15 см), предпринимать какие-либо меры не требуется, так как напряжение прикосновения и шага пренебрежимо мало (CEI 81-10). При этом, если сопротивление почвы равно или ниже 5 кОм, то следует провести теоретическую проверку необходимости применения защитных мер от напряжения шага и прикосновения; хотя, вероятность попадания молнии в данной ситуации крайне мала, и следовательно, данный вопрос актуален только для очень крупных установок.

Косвенное попадание молнии

Если молния не попадает непосредственно в конструкцию ФЭ установки, то следует также принять меры по минимизации последствий перенапряжения, вызванного любым возможным косвенным попаданием молнии:

- экранирование цепей для снижения магнитного поля внутри оболочки с последовательным понижением индуцированного перенапряжения²¹;
- сокращение площади поворота (разворота) индуцированной цепи благодаря надлежащему взаимному расположению модулей, свиванию проводников и размещением проводника под напряжением максимально близко к ФЭ установке.

²⁰ К ней рекомендуется подключать установку защитного заземления для защиты от молнии.

²¹ Эффект экрана металлической оболочки вызывают токи, возникающие в самой оболочке; они создают магнитное поле, которое по закону Ленца противопоставляется источнику, формирующему их, а именно магнитному полю тока молнии; чем выше токи, возникающие в защитном экране (т.е. чем выше его проводимость), тем лучше эффект экранирования.

5 Фотоэлектрические установки

Для защиты оборудования все возможные, даже ограниченные, перенапряжения должны быть разряжены на землю посредством УЗИП (Устройство защиты от импульсных перенапряжений). По сути УЗИП - это устройства, сопротивление которых меняется в зависимости от действующего напряжения: при номинальном напряжении установки они имеют очень высокое сопротивление, а при повышенном напряжении их сопротивление понижается, извлекая сопровождающий перенапряжение ток и сохраняя значение напряжения в определенном диапазоне. В соответствии с функциональными характеристиками можно выделить следующие типы УЗИП:

- УЗИП коммутирующего типа, такие как искровые разрядники или управляемые тиристоры, сопротивление которых мгновенно снижается в ответ на скачок напряжения, в результате чего понижается напряжение на их концах;
- УЗИП ограничивающего типа, такие как варисторы или диоды Зенера (стабилитроны), сопротивление которых постепенно понижается с возрастанием напряжения на их концах;
- УЗИП комбинированного типа, которые совмещают в себе два упомянутых выше варианта, соединенных последовательно или параллельно.

Защита на стороне постоянного тока

Для защиты на стороне постоянного тока рекомендуется использовать варисторы УЗИП или комбинированные УЗИП. Инверторы, как правило, оснащены внутренней защитой от перенапряжения, но при добавлении УЗИП к выводам инвертора, его защита повышается и одновременно дает возможность избежать срабатывания внутренних защит, которые приводят к выводу инвертора из рабочего состояния с последующей задержкой в выработке энергии и вмешательством квалифицированного персонала.

Эти УЗИП должны иметь следующие параметры:

- Тип 2;
- Максимальное номинальное рабочее напряжение $U_e > 1,25 U_{oc}$;
- Уровень защиты $U_p \leq U_{inv}^{22}$;
- Номинальный ток разрядки $I_n \geq 5 \text{ кА}$;
- Наличие устройства теплового отключения с возможностью распознавания тока короткого замыкания при «старении» варистора и согласованием с соответствующей резервной защитой.

Так как импульсное выдерживаемое сопротивление модулей секций, как правило, выше, чем у инвертора, то УЗИП, предназначенный для защиты инвертора, обеспечивает также и защиту модулей, при условии, что расстояние между модулями и инвертором менее 10 м^{23} .

²² U_{inv} - импульсное выдерживаемое напряжение инвертора на стороне постоянного тока.

²³ УЗИП должно быть установлено на стороне питания (направление энергии ФЭ генератора) отключающего устройства инвертора для того, чтобы он также защищал модули, если отключающее устройство находится в разомкнутом положении.

5 Фотоэлектрические установки

Защита на стороне переменного тока

Подключенная к сети ФЭ установка подвергается также воздействию перенапряжений со стороны самой линии. При наличии разделительного трансформатора с заземляющим металлическим экраном инвертор защищен от перенапряжений самим трансформатором. При отсутствии трансформатора или при наличии трансформатора без экрана необходимо установить подходящее УЗИП ниже инвертора.

Эти УЗИП должны обладать следующими характеристиками:

- Тип 2;
- Максимальное номинальное рабочее напряжение $U_e > 1,1 U_o^{24}$;
- Уровень защиты $U_p \leq U_{inv}$;
- Номинальный ток разрядки $I_n \geq 5 \text{ кА}$;
- Наличие устройства теплового отключения с возможностью распознавания тока короткого замыкания при «старении» варистора и согласованием с соответствующей резервной защитой.

Если анализ рисков здания предписывает установку наружной системы молниезащиты, то УЗИП для защиты от прямого попадания молнии следует устанавливать в точке выработки электроэнергии. Эти УЗИП должны обладать следующими характеристиками:

- Тип 1;
- Максимальное номинальное рабочее напряжение $U_e > 1,1 U_o$;
- Уровень защиты $U_p \leq U_{inv}$;
- Импульсный ток $I_{imp} \geq 25 \text{ кА}$ для каждого полюса;
- Затухание сопутствующего тока I_{fi} , превышающего ток короткого замыкания в точке установки, и согласование с соответствующей резервной защитой.

²⁴ U_o - напряжение относительно земли для систем TT и TN; для системы IT оно составляет $U_e > 1,73 U_o$.

²⁵ U_{inv} - импульсное выдерживаемое напряжение инвертора на стороне переменного тока.

6 Расчет тока короткого замыкания

6.1 Общие положения

Короткое замыкание - это соединение с пренебрежимо низким полным электрическим сопротивлением между проводниками, находящимися под напряжением, имеющими разные потенциалы в нормальных условиях работы.

6.2 Типы аварийных ситуаций

В трехфазных цепях могут происходить следующие типы аварий:

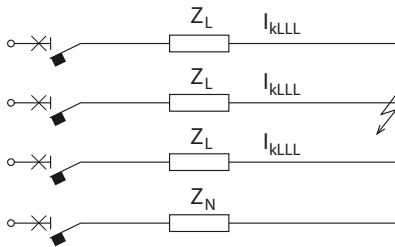
- трехфазное замыкание;
- двухфазное замыкание;
- однофазное замыкание на нейтраль;
- однофазное замыкание на землю.

В формулах ниже использованы следующие обозначения:

- I_k - ток короткого замыкания;
- U_r - номинальное линейное напряжение;
- Z_L - полное сопротивление фазного проводника;
- Z_N - полное сопротивление нейтрального проводника;
- Z_{PE} - полное сопротивление защитного проводника.

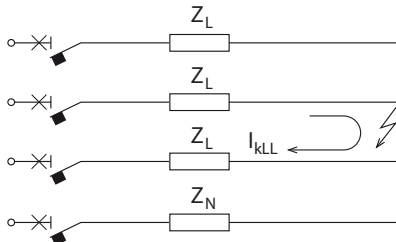
Таблица ниже показывает по типам аварий отношение между значениями тока короткого замыкания для симметричных замыканий (трехфазных) и тока короткого замыкания для несимметричных замыканий (двухфазных или однофазных) в случае повреждений, удаленных от источника питания.

Трехфазное замыкание



$$I_{kLLL} = \frac{U_r}{\sqrt{3}Z_L}$$
$$Z_L = \sqrt{R_L^2 + X_L^2}$$

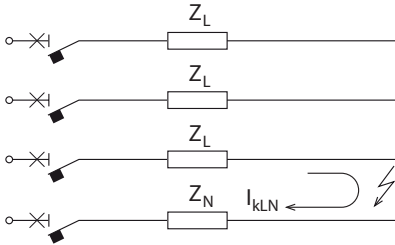
Двухфазное замыкание



$$I_{kLL} = \frac{U_r}{2Z_L} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{kLLL} = 0,87 I_{kLLL}$$

6 Расчет тока короткого замыкания

Однофазное замыкание на нейтраль



$$I_{kLN} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(Z_L + Z_N)}$$

если $Z_N = Z_N$ (поперечное сечение нейтрального проводника равно сечению фазного проводника):

$$I_{kLN} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(Z_L + Z_N)} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(2Z_L)} = 0,5 I_{kLLL}$$

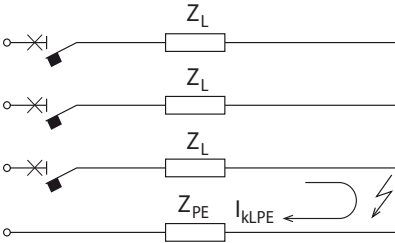
если $Z_N = 2Z_L$ (поперечное сечение нейтрального проводника в два раза меньше сечения фазного проводника):

$$I_{kLN} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(Z_L + Z_N)} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(3Z_L)} = 0,33 I_{kLLL}$$

если $Z_N \approx 0$ (граничное условие):

$$I_{kLN} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(Z_L + Z_N)} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(Z_L)} = I_{kLLL}$$

Однофазное замыкание на землю



$$I_{kLPE} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(Z_L + Z_{PE})}$$

если $Z_{PE} = Z_{PE}$ (поперечное сечение нейтрального проводника равно сечению фазного проводника):

$$I_{kLPE} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(Z_L + Z_{PE})} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(2Z_L)} = 0,5 I_{kLLL}$$

если $Z_{PE} = 2Z_L$ (поперечное сечение нейтрального проводника в два раза меньше сечения фазного проводника):

$$I_{kLPE} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(Z_L + Z_{PE})} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(3Z_L)} = 0,33 I_{kLLL}$$

если $Z_{PE} \approx 0$ (граничное условие):

$$I_{kLPE} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(Z_L + Z_{PE})} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(Z_L)} = I_{kLLL}$$

Следующая таблица позволяет быстро определить приблизительные значения тока короткого замыкания.

Примечание	Трёхфазное короткое замыкание	Двухфазное короткое замыкание	Однофазное замыкание на нейтраль	Однофазное замыкание на землю (система TN)
	I_{kLLL}	I_{kLL}	I_{kLN}	I_{kLPE}
I_{kLLL}	-	$I_{kLL} = 0,87 I_{kLLL}$	$I_{LN} = 0,5 I_{kLLL} (Z_L = Z_N)$ $I_{LN} = 0,33 I_{kLLL} (Z_L = 0,5 Z_N)$ $I_{LN} = I_{kLLL} (Z_N \approx 0)$	$I_{LPE} = 0,5 I_{kLLL} (Z_L = Z_{PE})$ $I_{LPE} = 0,33 I_{kLLL} (Z_L = 0,5 Z_{PE})$ $I_{LPE} = I_{kLLL} (Z_{PE} \approx 0)$
I_{kLL}	$I_{kLLL} = 1,16 I_{kLL}$	-	$I_{kLN} = 0,58 I_{kLL} (Z_L = Z_N)$ $I_{kLN} = 0,38 I_{kLL} (Z_L = 0,5 Z_N)$ $I_{kLN} = 1,16 I_{kLL} (Z_N \approx 0)$	$I_{kLPE} = 0,58 I_{kLL} (Z_L = Z_{PE})$ $I_{kLPE} = 0,38 I_{kLL} (Z_L = 0,5 Z_{PE})$ $I_{kLPE} = 1,16 I_{kLL} (Z_{PE} \approx 0)$
I_{kLN}	$I_{kLLL} = 2 I_{kLN} (Z_L = Z_N)$ $I_{kLLL} = 3 I_{kLN} (Z_L = 0,5 Z_N)$ $I_{kLLL} = I_{kLN} (Z_N \approx 0)$	$I_{kLL} = 1,73 I_{kLN} (Z_L = Z_N)$ $I_{kLL} = 2,6 I_{kLN} (Z_L = 0,5 Z_N)$ $I_{kLL} = 0,87 I_{kLN} (Z_N \approx 0)$	-	

6 Расчет тока короткого замыкания

6.3 Определение тока короткого замыкания: «метод мощности короткого замыкания»

Ток короткого замыкания может быть определен с помощью «метода мощности короткого замыкания». Этот метод позволяет определить приблизительное значение тока короткого замыкания в точке установки простым способом и получаемое значение достаточно точно. Этот способ дает тем более точные значения, чем более сходны коэффициенты мощности предполагаемых элементов (сетей, генераторов, трансформаторов, двигателей, кабелей с большим сечением и т.д.). «Метод мощности короткого замыкания» предполагает расчет тока короткого замыкания I_k на основе формулы:

Трехфазное короткое замыкание
$$I_k = \frac{S_k}{\sqrt{3} \cdot U_r}$$

Двухфазное короткое замыкание
$$I_k = \frac{S_k}{2 \cdot U_r}$$

где:

- S_k – полная мощность тока короткого замыкания в точке аварии;
- U_r – номинальное напряжение.

Для определения полной мощности тока короткого замыкания S_k необходимо принимать в расчет все элементы сети, которыми могут быть:

- элементы, которые вносят вклад в ток короткого замыкания: сеть, генераторы, двигатели;
- элементы, которые ограничивают значение тока короткого замыкания: проводники и трансформаторы.

Процедура расчета тока короткого замыкания предполагает следующие действия:

1. Расчет мощности короткого замыкания для разных элементов установки;
2. Расчет мощности короткого замыкания в точке аварии;
3. Расчет тока короткого замыкания.

6.3.1 Расчет мощности короткого замыкания для различных элементов электроустановки

Полная мощность тока короткого замыкания S_k должна быть определена для всех элементов, которые являются частью установки:

Сеть

Предполагается, что электрическая сеть включает в себя все элементы, расположенные выше точки питания.

6 Расчет тока короткого замыкания

Как правило, энергоснабжающая организация указывает значение полной мощности короткого замыкания (S_{knet}) в точке подключения питания. Однако, если известно значение тока короткого замыкания сети I_{knet} , значение мощности для трехфазных систем может быть вычислено с использованием следующей формулы:

$$S_{\text{knet}} = \sqrt{3} U_r I_{\text{knet}}$$

где U_r – номинальное напряжение в точке подключения питания.

Если вышеупомянутые данные недоступны, значения для S_{knet} , указанные в следующей таблице, могут быть взяты в качестве номинальных значений:

Напряжение сети U_r [кВ]	Мощность короткого замыкания S_{knet} [МВА]
До 20	500
До 32	750
До 63	1000

Генератор

Мощность короткого замыкания получают по формуле:

$$S_{\text{kgen}} = \frac{S_r \cdot 100}{X_{\text{d\%}}}$$

где $X_{\text{d\%}}^*$ – процентное значение сверхпереходного реактивного сопротивления (X_{d}'') или переходного реактивного сопротивления (X_{d}'), или синхронного реактивного сопротивления (X_{d}), в соответствии с моментом, в который оценивается мощность короткого замыкания. В общем, реактивные сопротивления выражены в процентах от номинального полного электрического сопротивления генератора (Z_{d}) по формуле:

$$Z_{\text{d}} = \frac{U_r^2}{S_r}$$

где U_r и S_r – номинальные напряжение и мощность генератора. Типичные значения могут быть:

- X_{d}'' от 10 % до 20 %;
- X_{d}' от 15 % до 40 %;
- X_{d} от 80 % до 300 %.

Как правило, рассматривают худший случай, когда присутствует сверхпереходное реактивное сопротивление.

В следующей таблице указаны приблизительные значения мощности короткого замыкания генераторов ($X_{\text{d}}'' = 12,5\%$):

S_r [кВА]	50	63	125	160	200	250	320	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3200	4000
S_{kgen} [МВА]	0,4	0,5	1,0	1,3	1,6	2,0	2,6	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,8	16,0	20,0	25,6	32,0

6 Расчет тока короткого замыкания

Асинхронные трехфазные двигатели

В условиях короткого замыкания электрические двигатели участвуют в аварийной ситуации короткое время (5-6 периодов).

Мощность может быть рассчитана в соответствии с током короткого замыкания двигателя (I_k) с применением следующего выражения:

$$S_{k\text{mot}} = \sqrt{3} \cdot U_r \cdot I_k$$

Типичные значения:

$S_{k\text{mot}} = 5 \div 7 S_{\text{rnom}}$
(I_k – около $5 \div 7 I_{\text{rnom}}$: 5 для малогабаритных двигателей и 7 для крупногабаритных двигателей).

Трансформаторы

Мощность короткого замыкания трансформатора ($S_{k\text{trafo}}$) может быть рассчитана с использованием следующей формулы:

$$S_{k\text{trafo}} = \frac{100}{u_k \%} \cdot S_r$$

В следующей таблице указаны приблизительные значения мощности короткого замыкания трансформаторов:

S_r [кВА]	50	63	125	160	200	250	320	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3200	4000
u_k %	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	6	6	6	6	6
$S_{k\text{trafo}}$ [МВА]	1,3	1,6	3,1	4	5	6,3	8	10	12,5	15,8	16	20	25	26,7	33,3			

Кабели

Достаточно точное значение мощности короткого замыкания кабеля дает следующее выражение:

$$S_{k\text{cable}} = \frac{U_r^2}{Z_c}$$

где Z_c – полное электрическое сопротивление кабеля:

$$Z_c = \sqrt{R_c^2 + X_c^2}$$

В следующей таблице даны приблизительные значения мощности короткого замыкания кабелей при 50 и 60 Гц, в соответствии с напряжением питания (длина кабеля = 10 м):

6 Расчет тока короткого замыкания

	230 [В]	400 [В]	440 [В]	500 [В]	690 [В]		230 [В]	400 [В]	440 [В]	500 [В]	690 [В]
S [мм ²]	S _{kable} [MBA] при 50 Гц						S _{kable} [MBA] при 60 Гц				
1,5	0,44	1,32	1,60	2,07	3,94		0,44	1,32	1,60	2,07	3,94
2,5	0,73	2,20	2,66	3,44	6,55		0,73	2,20	2,66	3,44	6,55
4	1,16	3,52	4,26	5,50	10,47		1,16	3,52	4,26	5,50	10,47
6	1,75	5,29	6,40	8,26	15,74		1,75	5,29	6,40	8,26	15,73
10	2,9	8,8	10,6	13,8	26,2		2,9	8,8	10,6	13,7	26,2
16	4,6	14,0	16,9	21,8	41,5		4,6	13,9	16,9	21,8	41,5
25	7,2	21,9	26,5	34,2	65,2		7,2	21,9	26,4	34,1	65,0
35	10,0	30,2	36,6	47,3	90,0		10,0	0,1	36,4	47,0	89,6
50	13,4	40,6	49,1	63,4	120,8		13,3	40,2	48,7	62,9	119,8
70	19,1	57,6	69,8	90,1	171,5		18,8	56,7	68,7	88,7	168,8
95	25,5	77,2	93,4	120,6	229,7		24,8	75,0	90,7	117,2	223,1
120	31,2	94,2	114,0	147,3	280,4		29,9	90,5	109,5	141,5	269,4
150	36,2	109,6	132,6	171,2	326,0		34,3	103,8	125,6	162,2	308,8
185	42,5	128,5	155,5	200,8	382,3		39,5	119,5	144,6	186,7	355,6
240	49,1	148,4	179,5	231,8	441,5		44,5	134,7	163,0	210,4	400,7
300	54,2	164,0	198,4	256,2	488,0		48,3	146,1	176,8	228,3	434,7

Если использовано n параллельных кабелей, то необходимо умножить значение, данное в таблице, на n . Если длина кабеля (L_{act}) отлична от 10 м, необходимо умножить значение, данное в таблице, на следующий коэффициент:

$$\frac{10}{L_{act}}$$

6.3.2 Расчет мощности короткого замыкания в точке повреждения

Правило определения мощности короткого замыкания в точке установки исходя из мощностей короткого замыкания различных элементов цепи аналогично соответствующему расчету эквивалентной проводимости. В частности:

- мощность последовательных элементов равна обратному значению суммы величин, обратных отдельным мощностям (как для параллельных сопротивлений);

$$S_k = \frac{1}{\sum \frac{1}{S_i}}$$

- мощность короткого замыкания параллельных элементов равна сумме отдельных мощностей короткого замыкания (как для последовательных сопротивлений):

$$S_k = \sum S_i$$

Элементы в цепи могут быть соединены последовательно или параллельно, рассматривая цепь относительно точки замыкания.

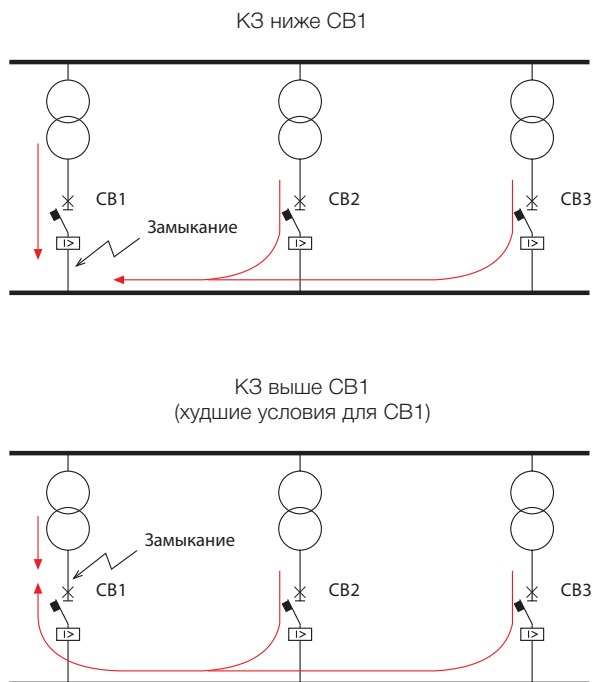
В случае разных параллельных ветвей распределение тока между различными ветвями должно быть рассчитано после вычисления тока короткого замыкания в точке аварии. Это следует сделать для обеспечения правильного выбора защитных устройств, установленных в ветвях.

6 Расчет тока короткого замыкания

6.3.3 Расчет тока короткого замыкания

Для определения тока короткого замыкания в установке должны быть известны как точка аварии, так и конфигурация системы, которые дают максимальный ток короткого замыкания, действующий на рассматриваемое устройство. При необходимости, следует принять в расчет влияние двигателей.

Например, в рассмотренном ниже случае, для автоматического выключателя СВ1 наихудшее условие появляется, когда авария происходит выше самого выключателя. Для определения отключающей способности автоматического выключателя необходимо учитывать вклад двух параллельных трансформаторов.



После определения эквивалентной мощности короткого замыкания в точке аварии можно рассчитать ток короткого замыкания, используя следующие формулы:

Трехфазное короткое замыкание

$$I_k = \frac{S_k}{\sqrt{3} \cdot U_r}$$

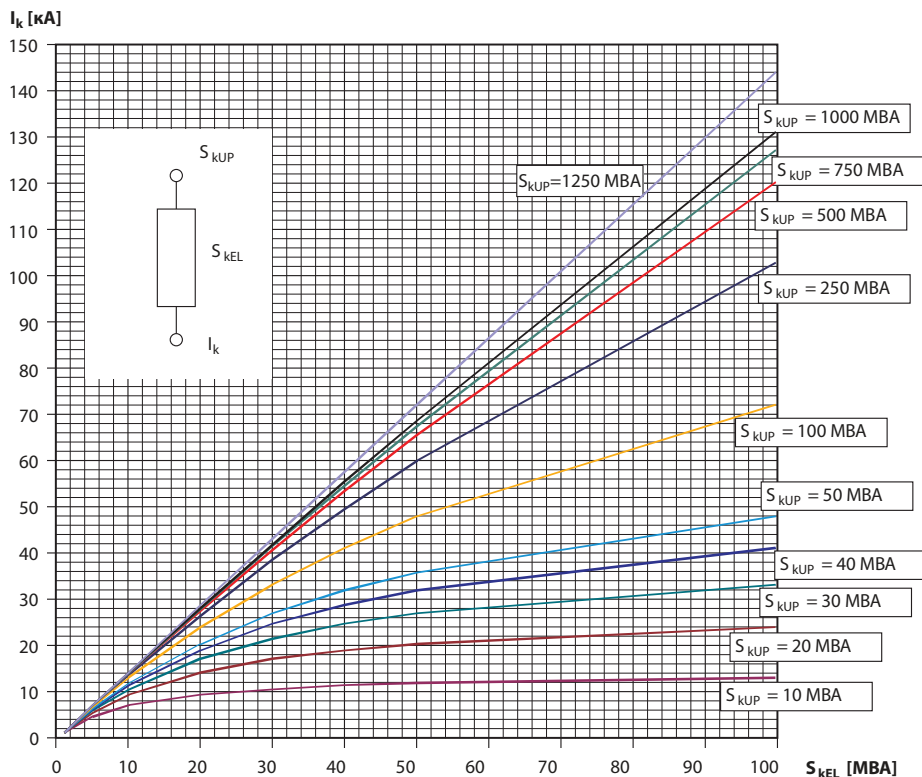
Двухфазное короткое замыкание

$$I_k = \frac{S_k}{2 \cdot U_r}$$

6 Расчет тока короткого замыкания

В качестве первого приближения, используя следующий график, можно вычислить трехфазный ток короткого замыкания ниже объекта с известной мощностью короткого замыкания (S_{kEL}); учитывая это значение и зная мощность короткого замыкания выше объекта (S_{kUP}), на оси Y можно определить значение I_k , выраженное в кА, при 400 В.

Рисунок 1: Графики для расчета тока трехфазного короткого замыкания при 400 В



1SDC010052F0001

6 Расчет тока короткого замыкания

6.3.4 Примеры

В следующих примерах показан расчет тока короткого замыкания для различных типов установок.

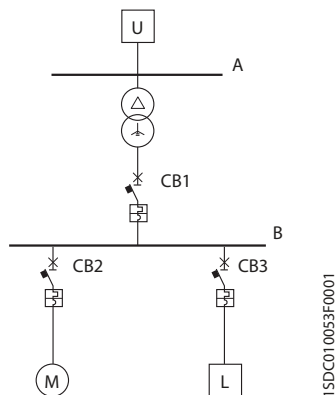
Пример 1

Вышерасположенная сеть: $U_r = 20000 \text{ В}$
 $S_{\text{кнет}} = 500 \text{ МВА}$

Трансформатор: $S_r = 1600 \text{ кВА}$
 $u_k \% = 6\%$
 $U_{1r} / U_{2r} = 20000 / 400$

Двигатель: $P_r = 220 \text{ кВт}$
 $I_{\text{кмт}} / I_r = 6,6$
 $\cos \varphi_r = 0,9$
 $\eta = 0,917$

Основная нагрузка: $I_{\text{н}} = 1443,4 \text{ А}$
 $\cos \varphi_r = 0,9$



Расчет мощности короткого замыкания для различных элементов

Сеть: $S_{\text{кнет}} = 500 \text{ МВА}$

Трансформатор: $S_{\text{ктрафо}} = \frac{100}{u_k \%} \cdot S_r = 26,7 \text{ МВА}$

Двигатель: $S_{\text{рмот}} = \frac{P_r}{\eta \cdot \cos \varphi_r} = 267 \text{ кВА}$

$S_{\text{кмт}} = 6,6 \cdot S_{\text{рмот}} = 1,76 \text{ МВА}$ для первых 5-6 периодов (при 50 Гц около 100 мс)

Расчет тока короткого замыкания для выбора автоматических выключателей

Выбор CB1

Для автоматического выключателя CB1 наихудшее условие наступает при аварии в цепи ниже автоматического выключателя. В случае аварии выше, на автоматический выключатель влияет только ток, протекающий от двигателя, который значительно меньше поступающего из сети.

6 Расчет тока короткого замыкания

Цепь, рассматриваемая в точке аварии, представлена последовательным соединением сети с трансформатором. В соответствии с предыдущими правилами, мощность короткого замыкания рассчитывается по следующей формуле:

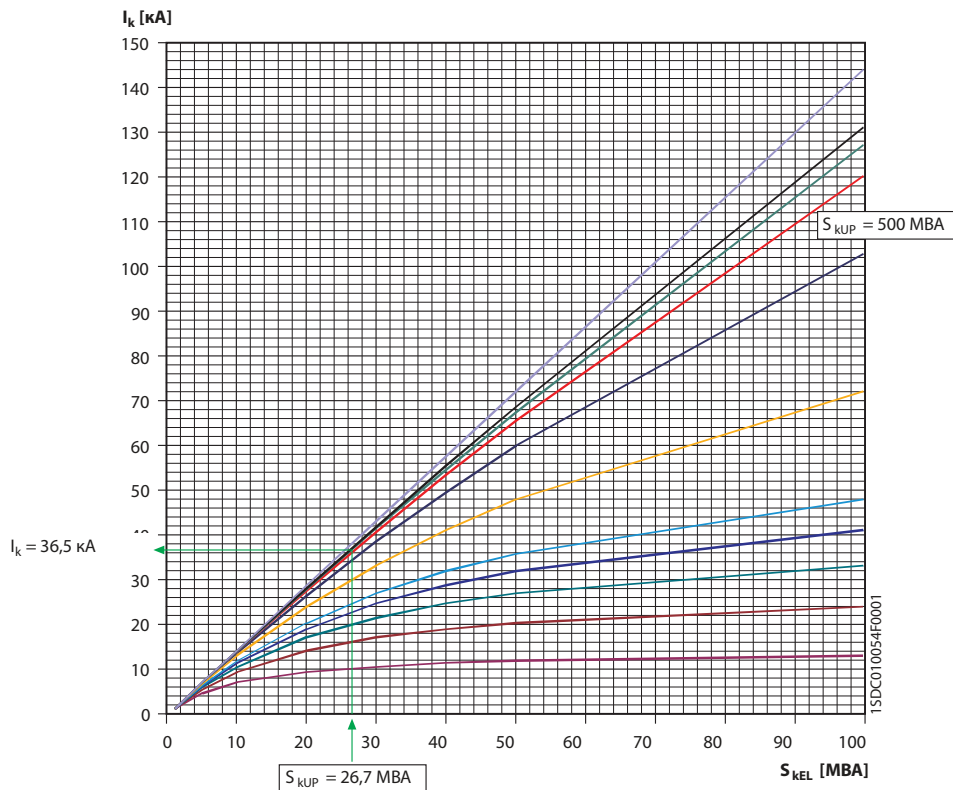
$$S_{\text{кCB1}} = \frac{S_{\text{кнет}} \cdot S_{\text{ктраfo}}}{S_{\text{кнет}} + S_{\text{ктраfo}}} = 25,35 \text{ МВА}$$

максимальный аварийный ток:

$$I_{\text{кCB1}} = \frac{S_{\text{кCB1}}}{\sqrt{3} \cdot U_r} = 36,6 \text{ кА}$$

Номинальный ток трансформатора на стороне низкого напряжения равен 2309 А; поэтому выбираем автоматический выключатель Еmax Е3N 2500.

Используя график, показанный на Рис.1, можно вычислить $I_{\text{кCB1}}$ используя $S_{\text{куп}} = S_{\text{кнет}} = 500 \text{ МВА}$ по значению $S_{\text{кEL}} = S_{\text{ктраfo}} = 26,7 \text{ МВА}$:



6 Расчет тока короткого замыкания

Выбор СВ2

Для автоматического выключателя СВ2 наихудшее условие наступает при аварии в цепи ниже автоматического выключателя. Цепь, рассматриваемая в точке аварии, представлена последовательным соединением сети с трансформатором. Ток короткого замыкания такой же, как для СВ1.

$$I_{кСВ1} = \frac{S_{кСВ1}}{\sqrt{3} \cdot U_r} = 36,6 \text{ кА}$$

Номинальный ток двигателя равен 385 А; таким образом, следует выбрать автоматический выключатель Tmax T5H 400.

Выбор СВ3

Для автоматического выключателя СВ3 наихудшее условие также наступает при аварии ниже автоматического выключателя.

Цепь, рассматриваемая в точке аварии, представлена двумя параллельными ветвями: двигатель и последовательное соединение сети с трансформатором. В соответствии с предыдущими правилами, мощность короткого замыкания рассчитывается по следующей формуле:

Двигатель/(Сеть + Трансформатор)

$$S_{кСВ3} = S_{кмot} + \frac{1}{\frac{1}{S_{кnet}} + \frac{1}{S_{ктраfo}}} = 27,11 \text{ МВА}$$

$$I_{кСВ3} = \frac{S_{кСВ3}}{\sqrt{3} \cdot U_r} = 39,13 \text{ кА}$$

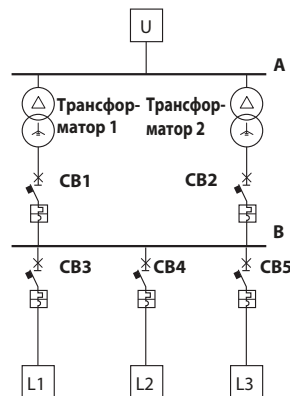
Номинальный ток нагрузки L равен 1443 А; следует выбрать автоматический выключатель Tmax T7S1600 или Emax X1B1600.

Пример 2

Цепь, показанная на схеме, состоит из источника, двух параллельных трансформаторов и трех нагрузок.

Вышерасположенная сеть: $U_{r1} = 20000 \text{ В}$
 $S_{кnet} = 500 \text{ МВА}$
 Трансформаторы 1 и 2: $S_r = 1600 \text{ кВА}$
 $u_k \% = 6\%$
 $U_{1r} / U_{2r} = 20000/400$

Нагрузка L1: $S_r = 1500 \text{ кВА}$; $\cos \varphi = 0,9$;
 Нагрузка L2: $S_r = 1000 \text{ кВА}$; $\cos \varphi = 0,9$;
 Нагрузка L3: $S_r = 50 \text{ кВА}$; $\cos \varphi = 0,9$.



1SDC010055SF0001

6 Расчет тока короткого замыкания

Расчет мощности короткого замыкания для различных элементов:

Сеть $S_{\text{knet}} = 500 \text{ МВА}$

Трансформаторы 1 и 2 $S_{\text{ktrafo}} = \frac{S_r}{u_k \%} \cdot 100 = 26,7 \text{ МВА}$

Выбор автоматических выключателей СВ1(СВ2)

Для автоматического выключателя СВ1 (СВ2) наихудшее условие наступает при аварии непосредственно ниже автоматического выключателя. В соответствии с предыдущими правилами, цепь, рассматриваемая в точке аварии, эквивалентна двум параллельным трансформаторам, соединенным последовательно с сетью: Сеть + (Трансформатор 1// Трансформатор 2).

Ток короткого замыкания, полученный таким образом, соответствует току короткого замыкания в шине. Этот ток, при заданной симметричной цепи, равномерно распределяется между двумя ветвями (половина на каждую). Ток, протекающий через СВ1 и СВ2, следовательно, равен половине тока в шине.

$$S_{\text{kbusbar}} = \frac{S_{\text{knet}} \cdot (S_{\text{trafo1}} + S_{\text{ktrafo2}})}{S_{\text{knet}} + (S_{\text{trafo1}} + S_{\text{ktrafo2}})} = 48,2 \text{ МВА}$$

$$I_{\text{kbusbar}} = \frac{S_{\text{kbusbar}}}{\sqrt{3} \cdot U_r} = 69,56 \text{ кА}$$

$$I_{\text{kCB1(2)}} = \frac{I_{\text{kbusbar}}}{2} = 34,78 \text{ кА}$$

Выбранные с учетом номинального тока трансформатора автоматические выключатели СВ1(СВ2) – это Emax E3N 2500.

Выбор автоматических выключателей СВ3-СВ4-СВ5

Для этих автоматических выключателей наихудшие условия наступают при аварии непосредственно ниже самих автоматических выключателей. Таким образом, необходимо принять в расчёт тока короткого замыкания в шине:

$$I_{\text{kCB3}} = I_{\text{kbusbar}} = 69,56 \text{ кА}$$

Выбранные с учетом тока нагрузок автоматических выключателей:

СВ3: Emax E3S 2500

СВ4: Emax E2S 1600

СВ5: Tmax T2H 160

6 Расчет тока короткого замыкания

6.4 Определение тока короткого замыкания в конце кабеля, как функции тока в его начале относительно источника

Следующая таблица позволяет определить трехфазный ток короткого замыкания в сети 400 В в нижней части одножильного медного кабеля при температуре 20° С. Известны значения:

- трехфазного тока короткого замыкания в верхней части кабеля;
- длина и поперечное сечение кабеля.

Сечение кабеля [мм ²]	Длина [м]																											
1,5	0,9 1,1 1,4 1,8 2,5 3,5 5,3 7 9,4 14																											
2,5	0,9 1 1,2 1,5 1,8 2,3 2,9 4,1 5,9 8,8 12 16 24																											
4	0,9 1,2 1,4 1,6 1,9 2,3 2,8 3,7 4,7 6,6 9,4 14 19 25 38																											
6	0,8 1,1 1,4 1,8 2,1 2,5 2,8 3,5 4,2 5,6 7 10 14 21 28 38 56																											
10	0,9 1,2 1,4 1,9 2,3 2,9 3,5 4,1 4,7 5,8 7 9,4 12 16 23 35 47 63 94																											
16	0,9 1,1 1,5 1,9 2,2 3 3,7 4,7 5,6 6,5 7,5 9,3 11 15 19 26 37 56 75 100 150																											
25	0,9 1,2 1,4 1,7 2,3 2,9 3,5 4,6 5,8 7,2 8,7 10 12 14 17 23 29 41 58 87 116 155 233																											
35	1,2 1,6 2 2,4 3,2 4 4,8 6,4 8 10 12 14 16 20 24 32 40 56 80 121 161 216 324																											
50	1,1 1,7 2,3 2,8 3,4 4,5 5,7 6,8 9 11 14 17 20 23 28 34 45 57 79 113 170 226 303 455																											
70	0,8 1,5 2,3 3,1 3,8 4,6 6,2 7,7 9,2 12 15 19 23 27 31 38 46 62 77 108 154 231 308 413																											
95	1 2 3 4 5 6 8 10 12 16 20 25 30 35 40 50 60 80 100 140 200 300 400																											
120	1,2 2,4 3,6 4,8 6 7,2 10 12 14 19 24 30 36 42 48 60 72 96 120 168 240 360 481																											
150	1,4 2,8 4,2 5,6 7 8,4 11 14 17 23 28 35 42 49 56 70 84 113 141 197 281 422																											
185	1,6 3,2 4,8 6,4 8 10 13 16 19 26 32 40 48 56 64 80 96 128 160 224 320 480																											
240	1,8 3,7 5,5 7,3 9,1 11 15 18 22 29 37 46 55 64 73 91 110 146 183 256 366 549																											
300	2 4 6 8 10 12 16 20 24 32 40 50 60 70 80 100 120 160 200 280 400																											
2x120	2,4 4,8 7,2 10 12 14 19 24 29 38 48 60 72 84 96 120 144 192 240 336 481																											
2x150	2,8 5,6 8,4 11 14 17 23 28 34 45 56 70 84 98 113 141 169 225 281 394 563																											
2x185	3,2 6,4 10 13 16 19 26 32 38 51 64 80 96 112 128 160 192 256 320 448																											
3x120	3,6 7,2 11 14 18 22 29 36 43 58 72 90 108 126 144 180 216 288 360 505																											
3x150	4,2 8,4 13 17 21 25 34 42 51 68 84 105 127 148 169 211 253 338 422																											
3x185	4,8 10 14 19 24 29 38 48 58 77 96 120 144 168 192 240 288 384 480																											

I_к верхней части

I_к нижней части

[kA]	[kA]																												
100	96	92	89	85	82	78	71	65	60	50	43	36	31	27	24	20	17	13	11	7,8	5,6	3,7	2,7	2,0	1,3				
90	86	83	81	78	76	72	67	61	57	48	42	35	31	27	24	20	17	13	11	7,8	5,6	3,7	2,7	2,0	1,3				
80	77	75	73	71	69	66	62	57	53	46	40	34	30	27	24	20	17	13	10	7,7	5,5	3,7	2,7	2,0	1,3				
70	68	66	65	63	62	60	56	53	49	43	38	33	29	26	23	19	16	13	10	7,6	5,5	3,7	2,7	2,0	1,3				
60	58	57	56	55	54	53	50	47	45	40	36	31	28	25	23	19	16	12	10	7,5	5,4	3,7	2,7	2,0	1,3				
50	49	48	47	46	45	44	43	41	39	35	32	29	26	23	21	18	15	12	10	7,3	5,3	3,6	2,6	2,0	1,3				
40	39	39	38	38	37	37	35	34	33	31	28	26	24	22	20	17	15	12	10	7,1	5,2	3,6	2,6	2,0	1,3				
35	34	34	34	33	33	32	32	31	30	28	26	24	22	20	19	16	14	11	10	7,1	5,1	3,5	2,6	2,0	1,3				
30	30	29	29	29	28	28	28	27	26	25	23	22	20	19	18	16	14	11	9,3	7,0	5,0	3,5	2,6	1,9	1,3				
25	25	24	24	24	24	24	23	23	22	21	21	19	18	17	16	14	13	11	9,0	6,8	5,0	3,4	2,6	1,9	1,3				
20	20	20	20	19	19	19	19	19	18	18	17	16	15	15	14	13	12	10	8,4	6,5	4,8	3,3	2,5	1,9	1,3				
15	15	15	15	15	15	14	14	14	14	14	13	13	12	12	12	11	10	8,7	7,6	6,1	4,6	3,2	2,5	1,9	1,3				
12	12	12	12	12	12	12	11	11	11	11	11	10	10	10	9,3	8,8	7,8	7,0	5,7	4,4	3,1	2,4	1,9	1,3					
10	10	10	10	10	10	10	10	9,5	9,4	9,2	9,0	8,8	8,5	8,3	8,1	7,7	7,3	6,5	5,9	5,0	3,9	2,9	2,3	1,8	1,2				
8,0	8,0	7,9	7,9	7,9	7,8	7,8	7,7	7,7	7,6	7,5	7,4	7,2	7,1	6,9	6,8	6,5	6,2	5,7	5,2	4,5	3,7	2,8	2,2	1,7	1,2				
6,0	6,0	5,9	5,9	5,9	5,9	5,8	5,8	5,8	5,7	5,6	5,5	5,4	5,3	5,2	5,1	4,9	4,8	4,4	4,1	3,6	3,1	2,4	2,0	1,6	1,1				
3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,9	2,9	2,9	2,9	2,8	2,8	2,8	2,7	2,7	2,6	2,5	2,4	2,2	2,0	1,7	1,4	1,2	0,9					

6 Расчет тока короткого замыкания

Примечание:

• В случае если значения I_k верхней части и длины кабеля не включены в таблицу, необходимо пользоваться:

- значением непосредственно выше I_k верхней части;
- значением непосредственно ниже для длины кабеля.

Эти приблизительные значения позволяют выполнить расчеты, обеспечивающие безопасность.

• В случае если параллельные кабели не представлены в таблице, длина должна быть разделена на количество параллельных кабелей.

Пример

Данные

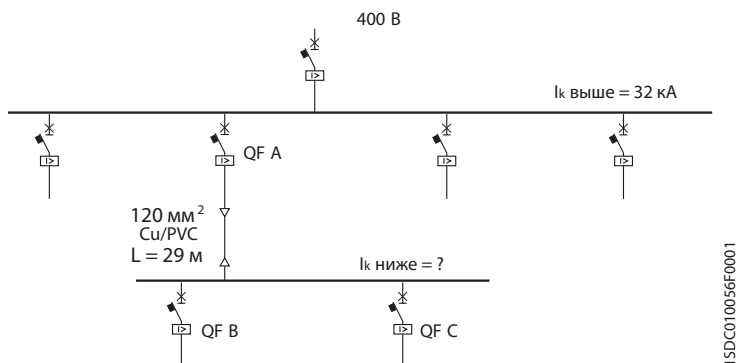
Номинальное напряжение = 400 В

Сечение кабеля = 120 мм²

Проводник = медь

Длина = 29 м

Ток короткого замыкания выше = 32 кА



Процедура

В строке верхней таблицы, где представлено поперечное сечение кабеля 120 мм², можно найти колонку для длины 29 м или непосредственно ниже (в данном случае 24). В колонке I_k верхней части можно найти строку со значением 32 кА или непосредственно над ней (в данном случае 35). На пересечении этой строки с найденной колонкой верхней таблицы можно найти значение тока короткого замыкания в нижней части кабеля, равное 26 кА.

6 Расчет тока короткого замыкания

6.5. Метод симметричных составляющих

6.5.1 Общие положения

Можно рассчитывать симметричную сбалансированную трехфазную сеть довольно простым способом путем редуцирования трехфазной сети до однофазной сети со значением номинального напряжения, равным линейному напряжению трехфазной системы.

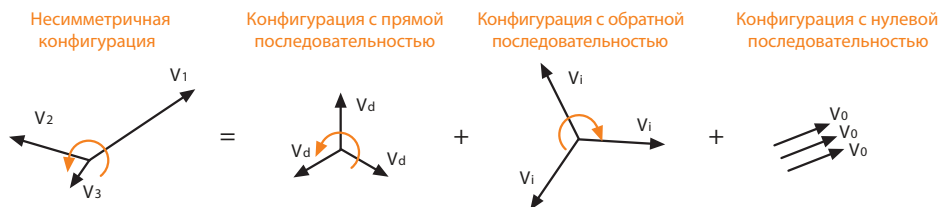
Несимметричные сети нельзя редуцировать до однофазной сети из-за указанной несбалансированности. В случае, когда упрощение невозможно, необходимо использовать методы анализа, типичные для решения электрических систем.

Процедура моделирования, позволяющая рассчитать несимметричную и несбалансированную сеть путем преобразования ее в группу из трех сбалансированных сетей, каждая из которых может быть представлена однофазной эквивалентной цепью, решение для которой выполняется проще, - это метод симметричных составляющих.

Данный метод получен на основе математических методов, согласно которым любая группа из трех векторов¹ может быть подразделена на три группы фазовых векторов со следующими характеристиками:

- сбалансированная группа, названная *прямой последовательностью*, сформированная тремя фазовыми векторами равной величины, со сдвигом на 120° и имеющими одинаковую фазовую последовательность с исходной системой;
- сбалансированная группа, названная *обратной последовательностью*, сформированная тремя фазовыми векторами равной величины, со сдвигом на 120° и имеющими обратную фазовую последовательность, по сравнению с исходной системой
- группа *нулевой последовательности*, сформированная тремя фазовыми векторами с равной величиной по фазе.

Рисунок 1



¹Фазовый вектор – векторное представление величины, изменяемой по времени. Сигнал типа

$v(t) = \sqrt{2} \cdot V \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi)$ представлен фазовым вектором $\vec{v} = V \cdot e^{j\varphi}$

6 Расчет тока короткого замыкания

6.5.2 Системы прямой, обратной и нулевой последовательности

Следующие отношения* представляют связь между величинами трехфазной сбалансированной сети и систем прямой, обратной и нулевой последовательности:

$$\begin{aligned}
 \bar{V}_0 &= \frac{1}{3} (\bar{V}_1 + \bar{V}_2 + \bar{V}_3) & \bar{I}_0 &= \frac{1}{3} (\bar{I}_1 + \bar{I}_2 + \bar{I}_3) & \bar{V}_1 &= \bar{V}_0 + \bar{V}_d + \bar{V}_i & \bar{I}_1 &= \bar{I}_0 + \bar{I}_d + \bar{I}_i \\
 \bar{V}_d &= \frac{1}{3} (\bar{V}_1 + \alpha \cdot \bar{V}_2 + \alpha^2 \cdot \bar{V}_3) & \bar{I}_d &= \frac{1}{3} (\bar{I}_1 + \alpha \cdot \bar{I}_2 + \alpha^2 \cdot \bar{I}_3) & \bar{V}_2 &= \bar{V}_0 + \alpha^2 \cdot \bar{V}_d + \alpha \cdot \bar{V}_i & \bar{I}_2 &= \bar{I}_0 + \alpha^2 \cdot \bar{I}_d + \alpha \cdot \bar{I}_i \\
 \bar{V}_i &= \frac{1}{3} (\bar{V}_1 + \alpha^2 \cdot \bar{V}_2 + \alpha \cdot \bar{V}_3) & \bar{I}_i &= \frac{1}{3} (\bar{I}_1 + \alpha^2 \cdot \bar{I}_2 + \alpha \cdot \bar{I}_3) & \bar{V}_3 &= \bar{V}_0 + \alpha \cdot \bar{V}_d + \alpha^2 \cdot \bar{V}_i & \bar{I}_3 &= \bar{I}_0 + \alpha \cdot \bar{I}_d + \alpha^2 \cdot \bar{I}_i
 \end{aligned}$$

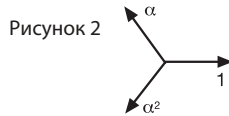
* В этих формулах индексы, соответствующие компонентам прямой, обратной и нулевой последовательностей, указаны обозначениями «d», «i» и «0» соответственно.

Комплексный множитель $\alpha = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$ представляет собой единичный вектор, который, при умножении на вектор, поворачивает его на 120° в положительном направлении (против часовой стрелки).

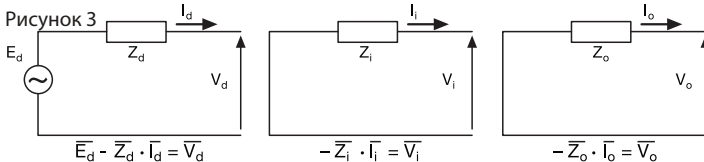
Комплексный множитель $\alpha^2 = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$ выполняет вращение на минус 120° . Некоторые полезные свойства этой группы трех векторов:

$$1 + \alpha + \alpha^2 = 0$$

$$|\alpha^2 - \alpha| = \sqrt{3}$$



Таким образом, реальная трехфазная сеть может быть заменена тремя однофазными цепями, соответствующим трем цепям - прямой, обратной и нулевой последовательности, путем замены каждого компонента соответствующей эквивалентной цепью. Если генераторы можно считать симметричными, как это имеет место на практике, то, рассматривая производимую ими группу последовательностей как прямую, три однофазные сети определяются следующими цепями и уравнениями:



Где:

- E_d - фазное напряжение ($E_d = \frac{U_r}{\sqrt{3}}$) выше точки КЗ

- Z - полное сопротивление системы выше точки КЗ

- I - ток КЗ

- V - напряжение, измеренное в точке КЗ

6 Расчет тока короткого замыкания

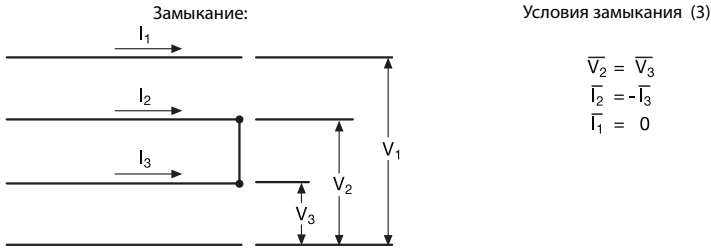
6.5.3 Расчет тока короткого замыкания с помощью метода симметричных составляющих

Не вдаваясь в детали теоретического курса, можно показать методику упрощения и расчетов электрической сети в условиях заранее определенного КЗ на следующем примере.

Изолированное межфазное КЗ

Схема, показывающая данное КЗ и связь между токами и напряжениями, может быть представлена следующим образом:

Рисунок 4

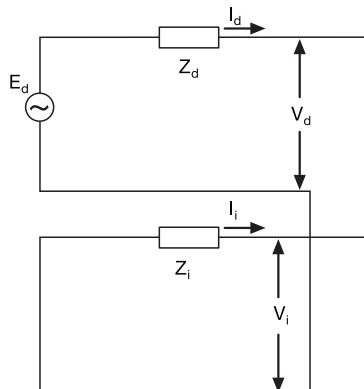


На основании заданных условий замыкания и формулы 1) получается:

$$\begin{aligned}\mathbf{V}_d &= \mathbf{V}_i \\ \mathbf{I}_d &= -\mathbf{I}_i \\ \mathbf{I}_o &= 0, \text{ поэтому } \mathbf{V}_o = 0\end{aligned} \quad (4)$$

Эти отношения, при их применении к трем цепям последовательностей, показанным на Рис. 3, позволяют определить группу последовательностей, эквивалентную анализируемой трехфазной цепи и представляющей начальные условия замыкания. Эта сеть может быть представлена следующим образом:

Рисунок 5



6 Расчет тока короткого замыкания

Расчитывая эту простую цепь, состоящую из последовательно соединенных элементов, относительно тока I_d , получаем следующее:

$$\bar{I}_d = \frac{\bar{E}_d}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i} \quad 5)$$

Применив формулы 2) в отношении тока и формулу 4) получаем, что:

$$\bar{I}_2 = (\alpha^2 - \alpha) \cdot \bar{I}_d \quad \bar{I}_3 = (\alpha - \alpha^2) \cdot \bar{I}_d$$

Так как $|(\alpha^2 - \alpha)|$ получается равным $\sqrt{3}$, значение тока междуфазного КЗ в двух короткозамкнутых фазах может быть выражено в виде:

$$|\bar{I}_2| = |\bar{I}_3| = |\bar{I}_{k2}| = \sqrt{3} \cdot \left| \frac{\bar{E}_d}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i} \right|$$

Применяя в отношении напряжения формулы 2) и определенные ранее формулы 4), получаем следующее:

$$\bar{V}_1 = 2 \cdot \bar{V}_i \quad 6) \text{ для фазы, не затронутой замыканием}$$

$$\bar{V}_2 = \bar{V}_3 = (\alpha^2 + \alpha) \cdot \bar{V}_d = -\bar{V}_d \quad 7) \text{ для фазы, затронутой замыканием}$$

Через цепь обратной последовательности, отношение 6) может быть представлено как

$$\bar{V}_1 = -2 \cdot \bar{Z}_i \cdot \bar{I}_i$$

В дополнение в вышесказанному следует:

$$\bar{V}_1 = \frac{2 \cdot \bar{Z}_i}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i} \cdot \bar{E}_d$$

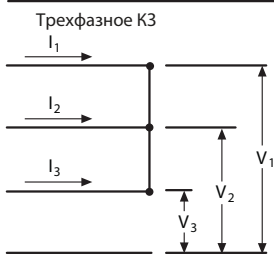
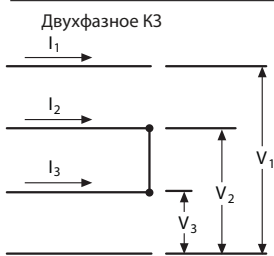
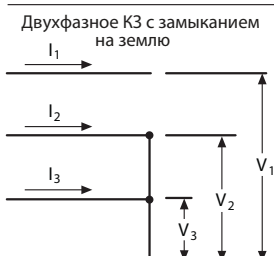
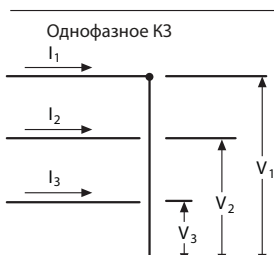
Для фаз, затронутых замыканием, так как $\bar{V}_d = \bar{V}_i = \frac{\bar{V}_1}{2}$, получаем:

$$\bar{V}_2 = \bar{V}_3 = -\frac{\bar{V}_1}{2} = -\frac{\bar{Z}_i \cdot \bar{E}_d}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i}$$

Обращаясь к предыдущему примеру, можно проанализировать все типы замыканий и выразить аварийные токи и напряжения как функции полных электрических сопротивлений компонентов последовательности.

6 Расчет тока короткого замыкания

Краткое изложение приведено ниже:

Тип замыкания	Условия замыкания:	Ток	Напряжения фаз
<p>Трехфазное КЗ</p> 	$\bar{V}_1 = \bar{V}_2 = \bar{V}_3$ $\bar{I}_1 + \bar{I}_2 + \bar{I}_3 = 0$	$ \bar{I}_{k3} = \bar{I}_1 = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot \bar{Z}_d }$	$\bar{V}_1 = \bar{V}_2 = \bar{V}_3 = 0$
<p>Двухфазное КЗ</p> 	$\bar{V}_2 = \bar{V}_3$ $\bar{I}_2 = -\bar{I}_3$	$ \bar{I}_{k2} = \bar{I}_2 = \frac{U_n}{ \bar{Z}_d + \bar{Z}_i }$	$ \bar{V}_1 = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot U_n \cdot \left \frac{\bar{Z}_i}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i} \right $ $ \bar{V}_d = \bar{V}_3 = \frac{U_n}{\sqrt{3}} \cdot \left \frac{\bar{Z}_i}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i} \right $
<p>Двухфазное КЗ с замыканием на землю</p> 	$\bar{V}_2 = \bar{V}_3 = 0$ $\bar{I}_1 = 0$	$ \bar{I}_2 = U_n \cdot \left \frac{(1 + \alpha^2) \cdot \bar{Z}_i + \bar{Z}_0}{\bar{Z}_d \cdot \bar{Z}_i + \bar{Z}_i \cdot \bar{Z}_0 + \bar{Z}_0 \cdot \bar{Z}_d} \right $ $ \bar{I}_3 = U_n \cdot \left \frac{(1 + \alpha) \cdot \bar{Z}_i + \bar{Z}_0}{\bar{Z}_d \cdot \bar{Z}_i + \bar{Z}_i \cdot \bar{Z}_0 + \bar{Z}_0 \cdot \bar{Z}_d} \right $ $ \bar{I}_{ground} = \bar{I}_2 + \bar{I}_3 = U_n \cdot \left \frac{\bar{Z}_i}{\bar{Z}_d \cdot \bar{Z}_i + \bar{Z}_i \cdot \bar{Z}_0 + \bar{Z}_0 \cdot \bar{Z}_d} \right $	$\bar{V}_2 = \bar{V}_3 = 0$ $ \bar{V}_1 = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot \left \frac{\bar{Z}_i \cdot \bar{Z}_0}{\bar{Z}_d \cdot \bar{Z}_i + \bar{Z}_i \cdot \bar{Z}_0 + \bar{Z}_0 \cdot \bar{Z}_d} \right $
<p>Однофазное КЗ</p> 	$\bar{V}_1 = 0$ $\bar{I}_2 = \bar{I}_3 = 0$	$ \bar{I}_{k1} = \bar{I}_1 = \frac{\sqrt{3} \cdot U_n}{ \bar{Z}_d + \bar{Z}_i + \bar{Z}_0 }$	$\bar{V}_1 = 0$ $ \bar{V}_2 = U_n \cdot \left \frac{\bar{Z}_i \cdot \alpha \cdot \bar{Z}_0}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i + \bar{Z}_0} \right $ $ \bar{V}_3 = U_n \cdot \left \frac{\alpha \cdot \bar{Z}_i + \bar{Z}_0}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i + \bar{Z}_0} \right $

6 Расчет тока короткого замыкания

6.5.4 Полное сопротивление электрооборудования при КЗ с прямой, обратной и нулевой последовательностью

Каждый элемент электрической сети (сеть – трансформатор – генератор – кабель) может быть представлен значением полного сопротивления прямой, обратной и нулевой последовательности.

Сеть

Под сетью понимается распределительная питающая электросеть (обычно среднего напряжения), от которой осуществляется питание электроустановки. Она характеризуется элементами прямой и обратной последовательности, тогда как полное сопротивление нулевой последовательности не учитывается, поскольку соединенные треугольником обмотки первичной цепи трансформатора препятствуют току нулевой последовательности. Относительно имеющихся полных сопротивлений можно записать:

$$Z_d = Z_i = Z_{\text{NET}} \frac{U_r}{\sqrt{3} \cdot I_{k3}}$$

Трансформатор

Он характеризуется элементами прямой и обратной последовательности; кроме того, в зависимости от соединения обмоток и от системы распределения на стороне низкого напряжения, может также присутствовать составляющая нулевой последовательности. Таким образом, можно заключить, что:

$$Z_d = Z_i = Z_T = \frac{uk \%}{100} \cdot \frac{U_r^2}{S_r}$$

а составляющая нулевой последовательности может быть выражена как:

$Z_o = Z_T$, когда возможно прохождение тока нулевой последовательности в двух обмотках

$Z_o = \infty$, когда невозможно прохождение тока нулевой последовательности в двух обмотках

Кабель

Он характеризуется элементами прямой, обратной и нулевой последовательности, которые изменяются в зависимости от пути возврата тока короткого замыкания.

В отношении составляющих прямой и обратной последовательностей можно сказать, что:

$$Z_d = Z_i = Z_c = R_c + j X_c$$

Для оценки полного сопротивления нулевой последовательности необходимо знать путь возврата тока:

$$Z_o = Z_c + j3 \cdot Z_{nc} = (R_c + 3 \cdot R_{nc}) + j (X_c + 3 \cdot X_{nc})$$

Возврат через нейтральный провод (однофазное замыкание на нейтраль)

$$Z_o = Z_c + j3 \cdot Z_{pec} = (R_c + 3 \cdot R_{pec}) + j (X_c + 3 \cdot X_{pec})$$

Возврат через PE (замыкание фаза - проводник PE в системе TN-S)

$$Z_o = Z_{ec} + j3 \cdot Z_{ec} = (R_c + 3 \cdot R_{ec}) + j (X_c + 3 \cdot X_{ec})$$

Возврат через землю (замыкание фаза-земля в системе TT), где:

- Z_c , R_c и X_c относятся к линейному проводнику
- Z_{nc} , R_{nc} и X_{nc} относятся к нейтральному проводнику
- Z_{pec} , R_{pec} и X_{pec} относятся к защитному проводнику PE
- Z_{ec} , R_{ec} и X_{ec} относятся к земле.

6 Расчет тока короткого замыкания

Синхронные генераторы

В общем, реактивные сопротивления прямой, обратной и нулевой последовательности у синхронных генераторов (а также электрических машин вращения) имеют разные значения.

При прямой последовательности используется только сверхпереходное реактивное сопротивление X_d'' и в этом случае расчет тока аварии дает максимальное значение.

Реактивное сопротивление обратной последовательности значительно меняется в диапазоне значений X_d'' и X_q'' . В первые моменты короткого замыкания X_d'' и X_q'' не сильно различаются и, следовательно, мы можем считать $X_1 = X_d''$. Напротив, если X_d'' и X_q'' значительно различаются, можно использовать значение, равное среднему значению двух реактивных сопротивлений, отсюда следует, что:

$$X_1 = \frac{X_d'' + X_q''}{2}.$$

Реактивное сопротивление нулевой последовательности также очень изменчиво и в результате получается меньше, чем два реактивных сопротивления, упомянутых выше. Для этого реактивного сопротивления может быть принято значение 0,1 – 0,7 - кратное значениям реактивного сопротивления обратной или прямой последовательности, которое рассчитывается следующим образом:

$$X_0 = \frac{x_0\%}{100} \cdot \frac{U_r^2}{S_r}$$

где $x_0\%$ – типовой параметр машины. Кроме того, составляющая нулевой последовательности находится также под воздействием условий заземления генератора посредством введения параметров R_G и X_G которые представляют сопротивление цепи заземления и реактивное сопротивление генератора соответственно. Если нейтраль звезды генератора недоступна или не заземлена, полное электрическое сопротивление цепи заземления составляет ∞ .

Таким образом, для полного сопротивления последовательностей необходимо учесть следующие выражения:

$$\begin{aligned}\bar{Z}_d &= (R_a + j \cdot X_d'') \\ \bar{Z}_1 &= (R_a + j \cdot X_d'') \\ \bar{Z}_n &= R_a + 3 \cdot R_G + j \cdot (X_n + 3 \cdot X_G)\end{aligned}$$

где R_a – сопротивление статора, определенное как $R_a = \frac{X_d''}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot T_a}$, с T_a в качестве временной постоянной статора.

6 Расчет тока короткого замыкания

Нагрузки

Если нагрузка пассивная, полное сопротивление считается бесконечным.

Если нагрузка не пассивная, как это может быть в случае с асинхронным двигателем, можно рассмотреть двигатель, представленный полным сопротивлением \bar{Z}_M для прямой и обратной последовательности, а для нулевой последовательности значение \bar{Z}_{0M} должно быть указано производителем. Кроме того, если двигатели не заземлены, полное сопротивление нулевой последовательности будет ∞ .

Таким образом:

$$\bar{Z}_d = \bar{Z}_i = \bar{Z}_M = (R_M + j \cdot X_M)$$

с \bar{Z}_M равным

$$Z_M = \frac{U_r^2}{I_{LR}} \cdot \frac{1}{S_r}$$

где:

I_{RL} – значение тока, когда ротор заблокирован двигателем

I_r – номинальный ток двигателя

$S_r = \frac{P_r}{(\eta \cdot \cos \varphi_r)}$ – номинальная полная мощность двигателя

Отношение $\frac{R_M}{X_M}$ часто известно; для двигателей низкого напряжения это отношение может считаться равным 0,42 с $X_M = \frac{Z_M}{\sqrt{1 + \left(\frac{R_M}{X_M}\right)^2}}$ из чего можно определить $X_M = 0,922 \cdot Z_M$.

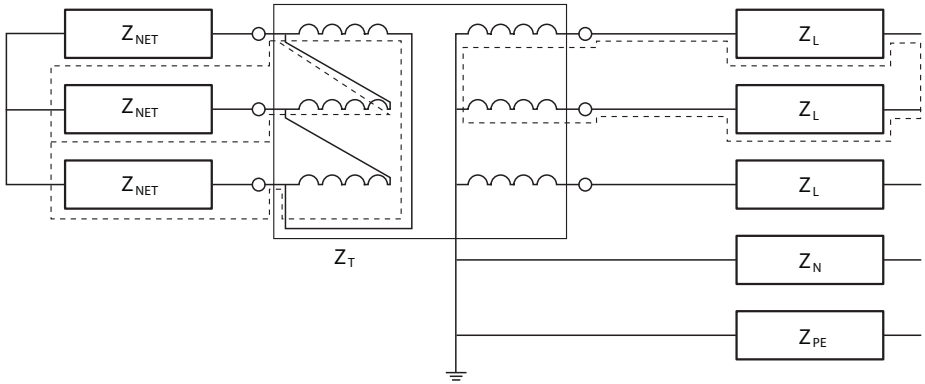
6 Расчет тока короткого замыкания

6.5.5 Формулы для расчета токов КЗ в зависимости от электрических параметров установки

На основе Таблицы 1 и формул, приведенных для полных электрических сопротивлений последовательностей, выраженных в зависимости от электрических параметров элементов установки, можно рассчитать различные токи короткого замыкания.

В следующем примере рассматривается сеть с трансформатором СН/НН с первичной обмоткой по схеме соединения треугольником и со вторичной обмоткой с заземленной нейтралью звезды. Предполагается, что межфазное короткое замыкание произошло ниже в кабельной распределительной линии.

Рисунок 6



С применением алгебры последовательностей

$$I_{k2} = \frac{\sqrt{3} \cdot E_d}{(Z_d + Z_i)}$$

полные сопротивления, важные для рассматриваемых прямой и обратной последовательностей, равны:

$$Z_d = Z_i = Z_{NET} + Z_T + Z_L$$

с учетом $E_d = \frac{U_r}{\sqrt{3}}$, получаем

$$I_{k2} = \frac{\sqrt{3} \cdot E_d}{(Z_d + Z_i)} = \frac{U_r}{2 \cdot (Z_{NET} + Z_T + Z_L)}$$

где:

U_r – номинальное напряжение на стороне низкого напряжения

Z_T – полное сопротивление трансформатора

Z_L – полное сопротивление фазного проводника

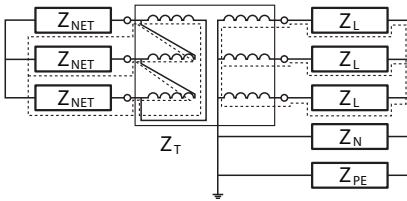
Z_{NET} – полное сопротивление питающей сети.

С учетом предыдущего примера, получаем Таблицу 2, приведенную на следующей странице, в которой даны выражения для токов короткого замыкания для различных типов КЗ.

6 Расчет тока короткого замыкания

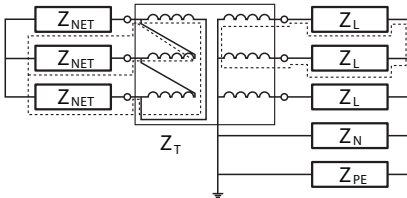
Таблица 2

Трехфазное
КЗ
 I_{k3}



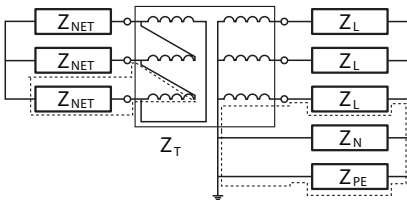
$$I_{k3} = \frac{U_r}{\sqrt{3} \cdot (Z_{NET} + Z_T + Z_L)}$$

Двухфазное
КЗ
 I_{k2}



$$I_{k2} = \frac{U_r}{2 \cdot (Z_{NET} + Z_T + Z_L)}$$

Однофазное
КЗ
 I_{k1} (замыкание линия
на нейтраль или
линия на РЕ)



$$I_{k1} = \frac{U_r}{\sqrt{3} \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot Z_{NET} + Z_T + Z_L + Z_{PE} \right)}$$

$$I_{k1} = \frac{U_r}{\sqrt{3} \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot Z_{NET} + Z_T + Z_L + Z_N \right)}$$

где:

 U_r – номинальное напряжение на стороне низкого напряжения Z_T – полное сопротивление трансформатора Z_L – полное сопротивление фазного проводника Z_{NET} – полное сопротивление питающей сети Z_{PE} – полное сопротивление защитного проводника (РЕ) Z_N – полное сопротивление нейтрального проводника

6 Расчет тока короткого замыкания

Таблица 3 ниже содержит выражения для токов КЗ с учетом определенных или неопределенных значений мощности вышерасположенной питающей электросети и расстояния от места повреждения до трансформатора.

Таблица 3

	Питание от сети конечной мощности		Питание от сети бесконечной мощности $Z_{NET} \rightarrow 0$	
	Вдали от трансформатора	Вблизи трансформатора $Z_L \rightarrow 0, Z_{PE} \text{ (о } Z_N) \rightarrow 0$	Вблизи трансформатора	Вблизи трансформатора $Z_L \rightarrow 0, Z_{PE} \text{ (о } Z_N) \rightarrow 0$
I_{k3}	$I_{k3} = \frac{U_f}{\sqrt{3} \cdot (Z_{NET} + Z_T + Z_L)}$	$I_{k3} = \frac{U_f}{\sqrt{3} \cdot (Z_{NET} + Z_T)}$	$I_{k3} = \frac{U_f}{\sqrt{3} \cdot (Z_T + Z_L)}$	$I_{k3} = \frac{U_f}{\sqrt{3} \cdot (Z_T)}$
I_{k2}	$I_{k2} = \frac{U_f}{2 \cdot (Z_{NET} + Z_T + Z_L)}$	$I_{k2} = \frac{U_f}{2 \cdot (Z_{NET} + Z_T)}$	$I_{k2} = \frac{U_f}{2 \cdot (Z_T + Z_L)}$	$I_{k2} = \frac{U_f}{2 \cdot (Z_T)}$
	$I_{k2} < I_{k3}$	$I_{k2} = 0,87 \cdot I_{k3}$	$I_{k2} = 0,87 \cdot I_{k3}$	$I_{k2} = 0,87 \cdot I_{k3}$
I_{k1}	$I_{k1} = \frac{U_f}{\sqrt{3} \cdot (\frac{2}{3} \cdot Z_{NET} + Z_T + Z_L + Z_{PE})}$	$I_{k1} = \frac{U_f}{\sqrt{3} \cdot (\frac{2}{3} \cdot Z_{NET} + Z_T)}$	$I_{k1} = \frac{U_f}{\sqrt{3} \cdot (Z_T + Z_L + Z_{PE})}$	$I_{k1} = \frac{U_f}{\sqrt{3} \cdot (Z_T)}$
	$I_{k1} > I_{k3}$ если $Z_{NET} > 3 \cdot Z_{PE}$	$I_{k1} > I_{k3}$	$I_{k1} \text{ " } I_{k3}$	$I_{k1} = I_{k3}$

6 Расчет тока короткого замыкания

6.6 Расчет пикового значения тока короткого замыкания

Электродинамические эффекты токов короткого замыкания особенно опасны для сборных шин, но они могут также повредить кабели.

Пиковый ток важен также для оценки значения I_{cm} автоматического выключателя.

Значение I_{cm} связано также со значением I_{cu} , согласно Таблице 16 Стандарта МЭК 60947-1 (ГОСТ Р 50030.1). С учетом тока короткого замыкания установки, оно должно быть $I_{cm} > I_{kp}$.

Пиковый ток установки может быть рассчитан с помощью следующей формулы (см. Стандарт МЭК 60909-0):

$$I_{kp} = I_k'' \cdot \sqrt{2} \cdot \left(1,02 + 0,98 \cdot e^{-\frac{3 \cdot R}{X}} \right)$$

где:

- I_k'' – ток короткого замыкания (среднеквадратичное значение) в начальный момент короткого замыкания
- R – резистивный компонент полного сопротивления короткого замыкания в точке замыкания
- X – реактивный компонент тока короткого замыкания в точке замыкания.

Если известен коэффициент мощности $\cos \varphi_k$, можно записать:

$$I_{kp} = I_k'' \cdot \sqrt{2} \cdot \left(1,02 + 0,98 \cdot e^{-\frac{3}{\tan \varphi_k}} \right)$$

6 Расчет тока короткого замыкания

6.7 Короткое замыкание в цепях с источником бесперебойного питания (ИБП)

Далее особое внимание уделено двойному преобразованию или постоянно действующему ИБП, относящимся к категории VFI (Voltage and Frequency Independent – Независимость от напряжения и частоты), в которой выходное напряжение не зависит от перепадов напряжения сети, а колебания частоты регулируются этим устройством в пределах нормативных пределов, предписанных стандартами; эта система характеризуется следующими рабочими условиями:

- в нормальных рабочих условиях, при наличии напряжения сети, нагрузка получает питание от сети через ИБП;
- в аварийных условиях (отсутствие сети) электропитание на нагрузку подается аккумуляторной батареей и преобразователем («автономное питание» с ИБП, отсоединенным от сети);
- в случае временного сверхтока, требующегося нагрузкой (например, пуск двигателя), электропитание нагрузки обеспечивается сетью через статический коммутатор, который исключает ИБП;
- в случае ремонта, например, вследствие неисправности в ИБП, нагрузка получает питание от сети через ручной обходной выключатель, с временным отключением ИБП.

Что касается выбора защитных устройств на стороне питания ИБП, необходимо знать характеристики сетевого напряжения и тока короткого замыкания; для выбора устройств защиты на стороне нагрузки необходимо знать значения тока, пропускаемого через ИБП.

Если электроснабжение нагрузок обеспечивается непосредственно от сети через обходную сеть, автоматический выключатель на стороне нагрузки также должен иметь отключающую способность (I_{cu}), соответствующую току короткого замыкания сети на стороне питания.

Кроме того, при необходимости, требуется оценка координации защиты в отношении условий эксплуатации.

6 Расчет тока короткого замыкания

Однако, для выбора подходящих устройств защиты важно различать два типа условий работы ИБП:

1) ИБП в нормальных условиях эксплуатации

а) Режим перегрузки:

- если вследствие возможного повреждения аккумуляторной батареи, этот режим приводит только к срабатыванию автоматического выключателя на стороне питания ИБП (также, вероятно срабатывание встроенной системы защиты аккумулятора);
- если по условиям нагрузки этот режим не может поддерживаться ИБП, он отключается от нагрузки статическим коммутатором.

б) Режим короткого замыкания:

Ток короткого замыкания ограничен размерами тиристоров в составе мостового преобразователя. На практике, ИБП может выдерживать максимальный ток короткого замыкания не более 150 – 200% номинального значения. В случае короткого замыкания преобразователь выдает максимальный ток в течение ограниченного времени (несколько сот миллисекунд) и затем переключается на сеть, так что электропитание нагрузки обеспечивается обходной цепью.

В этом случае селективность между автоматическим выключателем на стороне питания и автоматическим выключателем на стороне нагрузки имеет важное значение для отключения только той нагрузки, которая затронута повреждением.

Обходная цепь, которая также называется статическим коммутатором и образуется тиристорами, защищенными сверхбыстрыми плавкими предохранителями, может подавать питание на нагрузку с более высоким током, чем преобразователь; этот ток ограничивается размерами выбранных тиристоров, установленной мощностью и применяемыми защитными устройствами.

Тиристоры обходной цепи обычно выбираются с характеристиками, позволяющими выдерживать следующие условия перегрузки:

- 125% в течение 600 секунд;
- 150% в течение 60 секунд;
- 700% в течение 600 миллисекунд;
- 1000% в течение 100 миллисекунд.

Как правило, более подробные данные можно получить из технической документации, предоставляемой производителем.

6 Расчет тока короткого замыкания

2) ИБП в аварийных условиях

а) Режим перегрузки:

В этом режиме, который может вызвать срабатывание только автоматического выключателя со стороны нагрузки, питание осуществляется от АБ с преобразователем. В этом режиме перегрузки обычно имеют следующие время-токовые характеристики:

$1,15 \times I_n$ в течение бесконечного времени;

$1,25 \times I_n$ в течение 600 секунд;

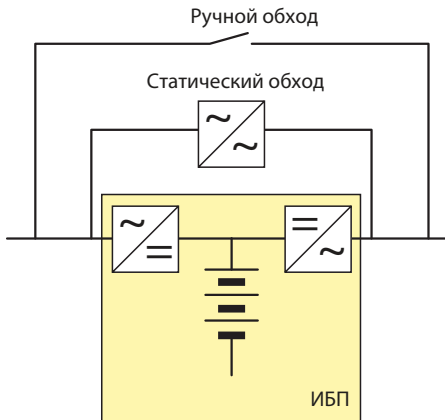
$1,5 \times I_n$ в течение 60 секунд;

$2 \times I_n$ в течение 1 секунды.

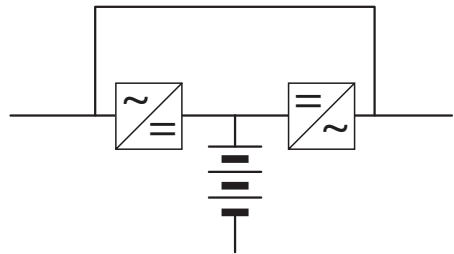
Как правило, более подробные данные можно получить из технической документации, предоставляемой производителем.

б) Режим короткого замыкания:

максимальный ток в направлении нагрузки ограничен только цепью преобразователя (со значением 150 - 200% номинального значения). Преобразователь выдает ток короткого замыкания в течение определенного периода времени, обычно ограниченного до нескольких миллисекунд, после чего ИБП отключает нагрузку, оставляя ее без питания. В этих условиях необходимо обеспечить селективность между автоматическим выключателем на стороне нагрузки и преобразователем, что очень сложно, вследствие уменьшенных величин времени срабатывания устройства защиты преобразователя.



ИБП действует со статическим коммутатором



ИБП в автономном режиме: питание нагрузок непосредственно от сети

Приложение А: Расчет тока нагрузки I_b

Общие нагрузки

Формула для вычисления общего тока нагрузки:

$$I_b = \frac{P}{k \cdot U_r \cdot \cos\varphi}$$

где:

- P - активная мощность [Вт];
- k - коэффициент, который имеет значение:
 - 1 для однофазных систем и систем постоянного тока;
 - $\sqrt{3}$ для трехфазных систем;
- U_r - номинальное действующее значение напряжения [В] (для трехфазных систем это линейное напряжение, для однофазных систем это фазное напряжение);
- cosφ - коэффициент мощности.

Таблица 1 позволяет определить ток нагрузки для некоторых значений мощности в соответствии с номинальным напряжением. Таблица была составлена с учетом того, что cosφ равен 0,9; для иных коэффициентов мощности значение из Таблицы 1 следует умножить на коэффициент, данный в Таблице 2, соответствующий действительному значению коэффициента мощности (cosφ_{act}).

Таблица 1: Ток нагрузки для трехфазных систем с cosφ = 0,9

	U _r [В]						
	230	400	415	440	500	600	690
P [кВт]	I _b [А]						
0,03	0,08	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03
0,04	0,11	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04	0,04
0,06	0,17	0,10	0,09	0,09	0,08	0,06	0,06
0,1	0,28	0,16	0,15	0,15	0,13	0,11	0,09
0,2	0,56	0,32	0,31	0,29	0,26	0,21	0,19
0,5	1,39	0,80	0,77	0,73	0,64	0,53	0,46
1	2,79	1,60	1,55	1,46	1,28	1,07	0,93
2	5,58	3,21	3,09	2,92	2,57	2,14	1,86
5	13,95	8,02	7,73	7,29	6,42	5,35	4,65
10	27,89	16,04	15,46	14,58	12,83	10,69	9,30
20	55,78	32,08	30,92	29,16	25,66	21,38	18,59
30	83,67	48,11	46,37	43,74	38,49	32,08	27,89
40	111,57	64,15	61,83	58,32	51,32	42,77	37,19
50	139,46	80,19	77,29	72,90	64,15	53,46	46,49
60	167,35	96,23	92,75	87,48	76,98	64,15	55,78
70	195,24	112,26	108,20	102,06	89,81	74,84	65,08
80	223,13	128,30	123,66	116,64	102,64	85,53	74,38
90	251,02	144,34	139,12	131,22	115,47	96,23	83,67
100	278,91	160,38	154,58	145,80	128,30	106,92	92,97
110	306,80	176,41	170,04	160,38	141,13	117,61	102,27
120	334,70	192,45	185,49	174,95	153,96	128,30	111,57
130	362,59	208,49	200,95	189,53	166,79	138,99	120,86
140	390,48	224,53	216,41	204,11	179,62	149,68	130,16
150	418,37	240,56	231,87	218,69	192,45	160,38	139,46
200	557,83	320,75	309,16	291,59	256,60	213,83	185,94

Приложение А: Расчет тока нагрузки I_b

P [кВт]	U _r [В]						
	230	400	415	440	500	600	690
	I _b [А]						
250	697,28	400,94	386,45	364,49	320,75	267,29	232,43
300	836,74	481,13	463,74	437,39	384,90	320,75	278,91
350	976,20	561,31	541,02	510,28	449,05	374,21	325,40
400	1115,65	641,50	618,31	583,18	513,20	427,67	371,88
450	1255,11	721,69	695,60	656,08	577,35	481,13	418,37
500	1394,57	801,88	772,89	728,98	641,50	534,58	464,86
550	1534,02	882,06	850,18	801,88	705,65	588,04	511,34
600	1673,48	962,25	927,47	874,77	769,80	641,50	557,83
650	1812,94	1042,44	1004,76	947,67	833,95	694,96	604,31
700	1952,39	1122,63	1082,05	1020,57	898,10	748,42	650,80
750	2091,85	1202,81	1159,34	1093,47	962,25	801,88	697,28
800	2231,31	1283,00	1236,63	1166,36	1026,40	855,33	743,77
850	2370,76	1363,19	1313,92	1239,26	1090,55	908,79	790,25
900	2510,22	1443,38	1391,21	1312,16	1154,70	962,25	836,74
950	2649,68	1523,56	1468,49	1385,06	1218,85	1015,71	883,23
1000	2789,13	1603,75	1545,78	1457,96	1283,00	1069,17	929,71

Таблица 2: Поправочные коэффициенты для тока нагрузки с $\cos\varphi$, отличным от 0,9

$\cos \varphi_{act}$	1	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7
$k_{\cos \varphi}^*$	0,9	0,947	1	1,059	1,125	1,2	1,286

*Для $\cos\varphi_{act}$, значения в таблице не представлены, $k_{\cos\varphi} = \frac{0,9}{\cos\varphi_{act}}$

Таблица 3 позволяет определить ток нагрузки для некоторых значений мощности в соответствии с номинальным напряжением. Таблица была составлена с учетом того, что $\cos\varphi$ равен 1; для иных коэффициентов мощности значение из Таблицы 3 следует умножить на коэффициент, данный в Таблице 4, соответствующий действительному значению коэффициента мощности ($\cos\varphi_{act}$).

Таблица 3: Ток нагрузки для однофазных систем с $\cos\varphi = 1$ или систем постоянного тока

P [кВт]	U _r [В]						
	230	400	415	440	500	600	690
	I _b [А]						
0,03	0,13	0,08	0,07	0,07	0,06	0,05	0,04
0,04	0,17	0,10	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06
0,06	0,26	0,15	0,14	0,14	0,12	0,10	0,09
0,1	0,43	0,25	0,24	0,23	0,20	0,17	0,14
0,2	0,87	0,50	0,48	0,45	0,40	0,33	0,29
0,5	2,17	1,25	1,20	1,14	1,00	0,83	0,72
1	4,35	2,50	2,41	2,27	2,00	1,67	1,45
2	8,70	5,00	4,82	4,55	4,00	3,33	2,90
5	21,74	12,50	12,05	11,36	10,00	8,33	7,25
10	43,48	25,00	24,10	22,73	20,00	16,67	14,49
20	86,96	50,00	48,19	45,45	40,00	33,33	28,99

Приложение А: Расчет тока нагрузки I_б

	U _л [В]						
	230	400	415	440	500	600	690
P [кВт]	I _б [А]						
30	130,43	75,00	72,29	68,18	60,00	50,00	43,48
40	173,91	100,00	96,39	90,91	80,00	66,67	57,97
50	217,39	125,00	120,48	113,64	100,00	83,33	72,46
60	260,87	150,00	144,58	136,36	120,00	100,00	86,96
70	304,35	175,00	168,67	159,09	140,00	116,67	101,45
80	347,83	200,00	192,77	181,82	160,00	133,33	115,94
90	391,30	225,00	216,87	204,55	180,00	150,00	130,43
100	434,78	250,00	240,96	227,27	200,00	166,67	144,93
110	478,26	275,00	265,06	250,00	220,00	183,33	159,42
120	521,74	300,00	289,16	272,73	240,00	200,00	173,91
130	565,22	325,00	313,25	295,45	260,00	216,67	188,41
140	608,70	350,00	337,35	318,18	280,00	233,33	202,90
150	652,17	375,00	361,45	340,91	300,00	250,00	217,39
200	869,57	500,00	481,93	454,55	400,00	333,33	289,86
250	1086,96	625,00	602,41	568,18	500,00	416,67	362,32
300	1304,35	750,00	722,89	681,82	600,00	500,00	434,78
350	1521,74	875,00	843,37	795,45	700,00	583,33	507,25
400	1739,13	1000,00	963,86	909,09	800,00	666,67	579,71
450	1956,52	1125,00	1084,34	1022,73	900,00	750,00	652,17
500	2173,91	1250,00	1204,82	1136,36	1000,00	833,33	724,64
550	2391,30	1375,00	1325,30	1250,00	1100,00	916,67	797,10
600	2608,70	1500,00	1445,78	1363,64	1200,00	1000,00	869,57
650	2826,09	1625,00	1566,27	1477,27	1300,00	1083,33	942,03
700	3043,48	1750,00	1686,75	1590,91	1400,00	1166,67	1014,49
750	3260,87	1875,00	1807,23	1704,55	1500,00	1250,00	1086,96
800	3478,26	2000,00	1927,71	1818,18	1600,00	1333,33	1159,42
850	3695,65	2125,00	2048,19	1931,82	1700,00	1416,67	1231,88
900	3913,04	2250,00	2168,67	2045,45	1800,00	1500,00	1304,35
950	4130,43	2375,00	2289,16	2159,09	1900,00	1583,33	1376,81
1000	4347,83	2500,00	2409,64	2272,73	2000,00	1666,67	1449,28

Таблица 4: Поправочные коэффициенты для тока нагрузки с cosφ, отличным от 1

cos φ _{act}	1	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7
k _{cos φ} *	1	1,053	1,111	1,176	1,25	1,333	1,429

* Для cosφ_{act}, значения в таблице не представлены, $k_{\cos \varphi} = \frac{1}{\cos \varphi_{act}}$

Осветительные цепи

Ток, потребляемый осветительной системой, может быть взят из каталога осветительного оборудования или приблизительно рассчитан по следующей формуле:

$$I_b = \frac{P_L n_L k_B k_N}{U_{л} \cos \varphi}$$

- P_Л - мощность лампы [Вт];
- n_Л - количество ламп на фазу;
- K_В - коэффициент, который имеет значение:
 - 1 для ламп, не нуждающихся во вспомогательном стартере;
 - 1,25 для ламп, нуждающихся во вспомогательном стартере;
- K_Н - коэффициент, который имеет значение:
 - 1 для ламп, соединенных по схеме «звезда»;
 - √3 для ламп, соединенных по схеме «треугольник»;
- U_л - номинальное напряжение ламп;
- cosφ - коэффициент мощности ламп, который имеет значение:
 - 0,4 для ламп без компенсации;
 - 0,9 для ламп с компенсацией;

Приложение А: Расчет тока нагрузки I_л

Двигатели

В Таблице 5 даны приблизительные значения тока нагрузки для некоторых трехфазных двигателей с короткозамкнутым ротором, частота вращения 1500 об/мин при 50 Гц в соответствии с номинальным напряжением.

Примечание: эти значения приведены исключительно в качестве справочных и могут меняться в зависимости от производителя двигателя и количества полюсов

Таблица 5: Ток нагрузки двигателя

Мощность двигателя		Номинальный ток двигателя при:							
[кВт]	PS = hp	220-230 В [А]	240 В [А]	380-400 В [А]	415 В [А]	440 В [А]	500 В [А]	600 В [А]	660-690 В [А]
0,06	1/12	0,38	0,35	0,22	0,20	0,19	0,16	0,12	—
0,09	1/8	0,55	0,50	0,33	0,30	0,28	0,24	0,21	—
0,12	1/6	0,76	0,68	0,42	0,40	0,37	0,33	0,27	—
0,18	1/4	1,1	1	0,64	0,60	0,55	0,46	0,40	—
0,25	1/3	1,4	1,38	0,88	0,85	0,76	0,59	0,56	—
0,37	1/2	2,1	1,93	1,22	1,15	1,06	0,85	0,77	0,7
0,55	3/4	2,7	2,3	1,5	1,40	1,25	1,20	1,02	0,9
0,75	1	3,3	3,1	2	2	1,67	1,48	1,22	1,1
1,1	1,5	4,9	4,1	2,6	2,5	2,26	2,1	1,66	1,5
1,5	2	6,2	5,6	3,5	3,5	3,03	2,6	2,22	2
2,2	3	8,7	7,9	5	5	4,31	3,8	3,16	2,9
2,5	3,4	9,8	8,9	5,7	5,5	4,9	4,3	3,59	3,3
3	4	11,6	10,6	6,6	6,5	5,8	5,1	4,25	3,5
3,7	5	14,2	13	8,2	7,5	7,1	6,2	5,2	4,4
4	5,5	15,3	14	8,5	8,4	7,6	6,5	5,6	4,9
5	6,8	18,9	17,2	10,5	10	9,4	8,1	6,9	6
5,5	7,5	20,6	18,9	11,5	11	10,3	8,9	7,5	6,7
6,5	8,8	23,7	21,8	13,8	12,5	12	10,4	8,7	8,1
7,5	10	27,4	24,8	15,5	14	13,5	11,9	9,9	9
8	11	28,8	26,4	16,7	15,4	14,4	12,7	10,6	9,7
9	12,5	32	29,3	18,3	17	15,8	13,9	11,6	10,6
11	15	39,2	35,3	22	21	19,3	16,7	14,1	13
12,5	17	43,8	40,2	25	23	21,9	19	16,1	15
15	20	52,6	48,2	30	28	26,3	22,5	19,3	17,5
18,5	25	64,9	58,7	37	35	32	28,5	23,5	21
20	27	69,3	63,4	40	37	34,6	30,6	25,4	23
22	30	75,2	68	44	40	37,1	33	27,2	25
25	34	84,4	77,2	50	47	42,1	38	30,9	28
30	40	101	92,7	60	55	50,1	44	37,1	33
37	50	124	114	72	66	61,9	54	45,4	42
40	54	134	123	79	72	67	60	49,1	44
45	60	150	136	85	80	73,9	64,5	54,2	49
51	70	168	154	97	90	83,8	73,7	61,4	56
55	75	181	166	105	96	90,3	79	66,2	60
59	80	194	178	112	105	96,9	85,3	71,1	66
75	100	245	226	140	135	123	106	90,3	82
80	110	260	241	147	138	131	112	96,3	86
90	125	292	268	170	165	146	128	107	98
100	136	325	297	188	182	162	143	119	107
110	150	358	327	205	200	178	156	131	118
129	175	420	384	242	230	209	184	153	135
132	180	425	393	245	242	214	186	157	140
140	190	449	416	260	250	227	200	167	145
147	200	472	432	273	260	236	207	173	152
160	220	502	471	295	280	256	220	188	170
180	245	578	530	333	320	289	254	212	190
184	250	590	541	340	325	295	259	217	200
200	270	626	589	370	340	321	278	235	215
220	300	700	647	408	385	353	310	260	235
250	340	803	736	460	425	401	353	295	268
257	350	826	756	475	450	412	363	302	280
295	400	948	868	546	500	473	416	348	320
315	430	990	927	580	535	505	445	370	337
355	480	1080	1010	636	580	549	483	405	366
400	545	1250	1130	710	650	611	538	450	410
450	610	1410	1270	800	740	688	608	508	460
475	645	1490	1340	850	780	730	645	540	485
500	680	1570	1420	890	830	770	680	565	510
560	760	1750	1580	1000	920	860	760	630	570
600	810	—	—	1080	990	920	810	680	610
670	910	—	—	1200	1100	1030	910	760	680

Приложение В: Гармоники

Что они собой представляют?

Периодический сигнал любой формы может быть представлен, как сумма синусоид (гармоник) с разными частотами, амплитудами и фазами; действительно, согласно теореме Фурье, любая периодическая функция с периодом T может быть представлена как суммирование:

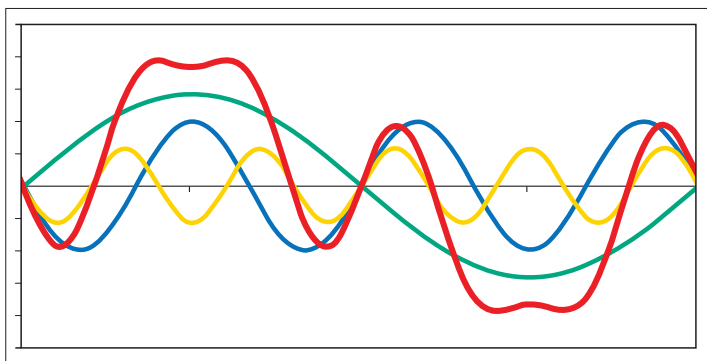
- синусоиды с периодом T рассматриваемого периодического сигнала;
- ряда синусоид с частотами, кратными целым числам частоты рассматриваемого периодического сигнала;
- возможной постоянной составляющей, если функция имеет среднее значение, отличное от нуля в периоде.

Гармоника с частотой, соответствующей периоду первоначальной формы кривой, называется основной гармоникой, а гармоника с частотой, в « n » раз большей, чем основная гармоника, называется гармонической составляющей порядка « n ».

Абсолютно синусоидальная форма кривой, соответствующая теореме Фурье, не представляет гармонических составляющих порядка, отличного от основной гармоник. Таким образом, понятно, почему в электрической системе нет гармоник, когда формы кривой тока и напряжения синусоидальные. Напротив, наличие гармоник в электрической системе является показателем искажения формы кривой напряжения или тока, и это подразумевает такое изменение электропитания, которое может привести к неисправности оборудования и защитных устройств.

Вывод: гармоники – это ничто иное, как составляющие искаженной формы кривой, и их использование позволяет нам проанализировать любую периодическую несинусоидальную форму кривой на основе различных составляющих синусоидальной формы кривой. На Рис. 1 ниже показано графическое представление данной концепции.

Рисунок 1



Обозначения:

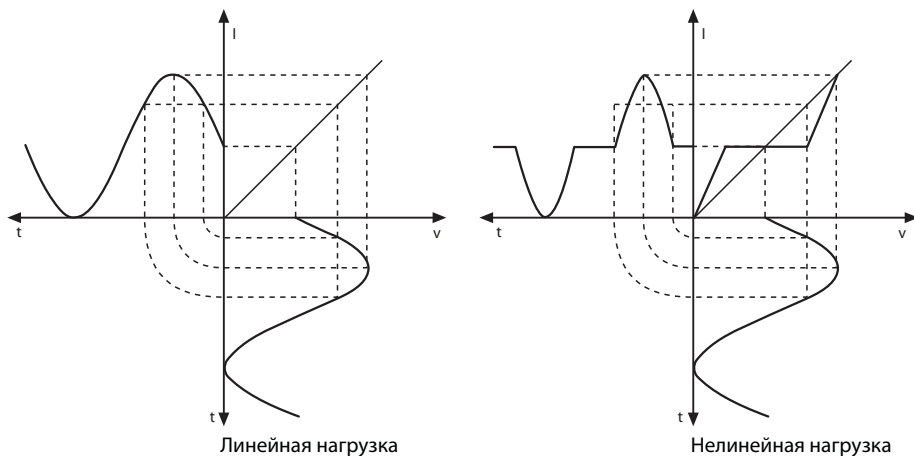
- несинусоидальная форма кривой
- первая гармоника (основная)
- третья гармоника
- пятая гармоника

Приложение В: Гармоники

Как образуются гармоники?

Гармоники образуются нелинейными нагрузками. Если подать синусоидальное напряжение на нагрузку такого типа, мы получим ток с несинусоидальной формой кривой. Схема на Рис.2 иллюстрирует пример несинусоидальной формы кривой тока, обусловленной нелинейной нагрузкой:

Рисунок 2



Как уже было сказано, эта несинусоидальная форма сигнала может быть разложена на гармоники. Если величины полного электрического сопротивления сети очень низкие, искажение напряжения от гармонического тока также очень малое и очень редко превышает уровень загрязнения, уже существующий в сети. Следовательно, напряжение может оставаться практически синусоидальным также при наличии гармоник тока.

Многие электронные устройства в результате функционирования формируют в цепи ток сильно отличающийся от синусоиды создающего его напряжения, что необходимо для решения задач изменения свойств переменного тока - частоты, действующего значения, получения постоянного тока и т.д. Основное оборудование, генерирующее гармоники:

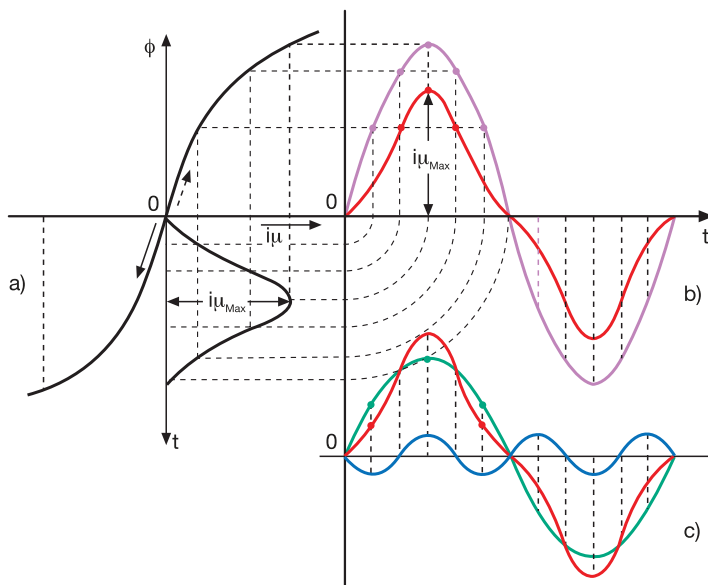
- персональные компьютеры;
- люминесцентные лампы;
- статические преобразователи;
- приводы с переменной скоростью;
- сварочные агрегаты.

В общем случае, искажение формы кривой происходит из-за наличия выпрямителей, полупроводниковые элементы которых пропускают ток только на протяжении части целого периода, таким образом производя прерывистые кривые с соответствующим введением многочисленных гармоник.

Приложение В: Гармоники

Причиной гармонического «загрязнения» могут быть также и трансформаторы; при подаче абсолютно синусоидального напряжения на трансформатор возникает синусоидальный поток намагничивания, но, вследствие явления магнитного насыщения железа, ток намагничивания не будет синусоидальным. На Рис. 3 приведено графическое представление этого явления:

Рисунок 3



Обозначения:

- ток намагничивания (i_μ)
- ток первой гармоники (основной)
- ток третьей гармоники
- поток намагничивания в зависимости от времени: $\phi = \phi_{\text{Max}} \sin \omega t$

Результирующая кривая тока намагничивания содержит многочисленные гармоники, самая значительная из которых – это третья гармоника. Однако следует заметить, что ток намагничивания обычно составляет низкую процентную долю от номинального тока трансформатора, и эффект искажения становится все более незначительным по мере возрастания нагрузки трансформатора.

Эффекты

Основные проблемы, вызываемые гармоническими токами:

- 1) перегрузка нейтрали;
- 2) увеличение потерь в сердечнике трансформатора;
- 3) увеличение потерь в обмотке трансформатора и его перегрев за счет усиления скин-эффекта.

Основные влияния гармонических напряжений:

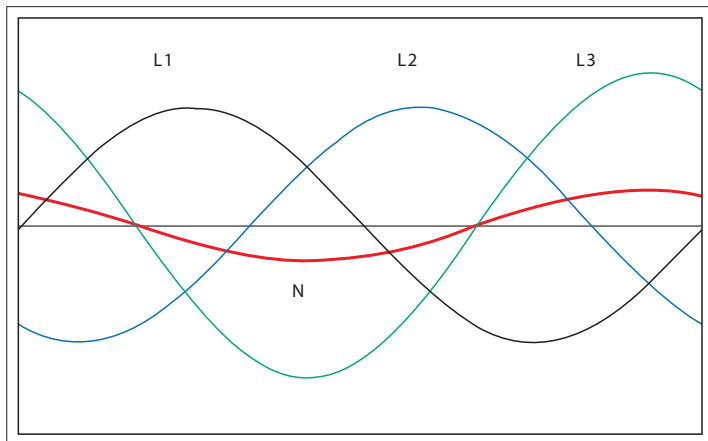
- 1) искажение напряжения;
- 2) нарушения крутящего момента асинхронных двигателей.

Приложение В: Гармоники

1) Перегрузка нейтралей

В трехфазной симметричной системе с нейтралью формы кривой между фазами смещены на фазовый угол 120° , так что, когда фазы одинаково нагружены, ток в нейтрали равен нулю. Наличие несбалансированных нагрузок (фаза - фаза, фаза - нейтраль и т.д.) вызывает появление несимметричного тока в нейтрали.

Рисунок 4



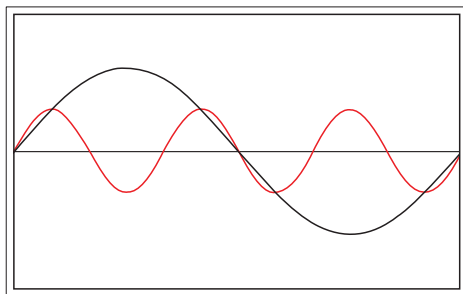
На Рис. 4 показана несбалансированная система токов (фаза 3 с нагрузкой на 30% выше, чем две другие фазы), и получаемый в результате ток в нейтрали выделен красным цветом. В таких условиях стандарты допускают выбор проводника нейтрали с поперечным сечением меньшим, чем фазные проводники. При наличии искажающих форму нагрузок необходимо правильно оценить эффект гармоник.

Действительно, хотя токи на частоте основной гармоники в трехфазах взаимно уничтожаются, составляющие третьей гармоники, имея период, равный третьему в основной гармонике, который эквивалентен фазовому сдвигу между фазами (см. Рис. 5), взаимно совпадают по фазе и, следовательно, суммируются в нейтральном проводнике, добавляясь к обычным токам небаланса. Это справедливо также и для гармоник, кратных трем (четных и нечетных, хотя нечетные преобладают).

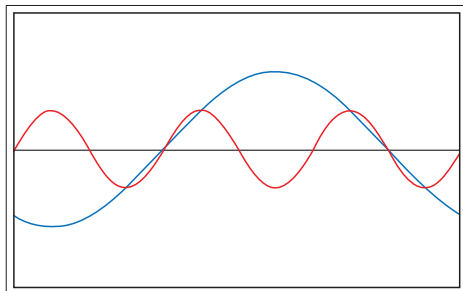
Приложение В: Гармоники

Рисунок 5

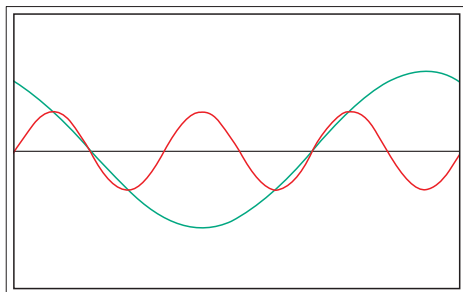
Фаза 1:
основная гармоника и 3^{-я} гармоника



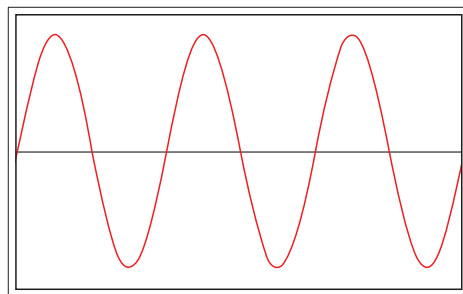
Фаза 2:
основная гармоника и 3^{-я} гармоника



Фаза 3:
основная гармоника и 3^{-я} гармоника



Результирующие токи трех фаз



Приложение В: Гармоники

2) Увеличение потерь в трансформаторах

Эффекты гармоник в трансформаторах включают в себя, в основном, три аспекта:

- а) увеличение потерь в железе (или потери холостого хода);
- б) увеличение потерь в меди;
- в) наличие гармоник, циркулирующих в обмотках.

а) Потери в железе обусловлены явлением гистерезиса и потерями от вихревых токов; потери вследствие гистерезиса пропорциональны частоте, а потери вследствие вихревых токов зависят от квадрата частоты.

б) Потери в меди соответствуют мощности, рассеянной вследствие Джоулевых потерь в обмотках трансформатора. По мере возрастания частоты (начиная с 350 Гц) ток имеет тенденцию уплотняться на поверхности проводников (скин-эффект); в этих условиях уменьшается поперечное сечение проводников для протекания тока, следовательно возрастают Джоулевы потери.

Два первых аспекта вызывают перегрев, что иногда приводит к ухудшению характеристик трансформатора.

в) Третий аспект имеет значение для эффектов гармоник третьего порядка (униполярные гармоники) в обмотках трансформатора. В случае обмоток со схемой соединения «треугольник», гармонические составляющие протекают через обмотки и не распространяются выше по сети, так как они все совпадают по фазе; таким образом, обмотки с соединением «треугольник» образуют барьер для гармоник третьего порядка, однако необходимо уделять особое внимание этому типу гармонических составляющих для выбора трансформатора с правильными характеристиками.

3) Усиление скин-эффекта

При повышении частоты токи имеют тенденцию протекать по внешней поверхности проводника. Это явление известно как скин-эффект, который больше всего выражен при высоких частотах. При частоте питания 50 Гц скин-эффект ничтожно мал, но при частоте 350 Гц, что соответствует 7-ой гармонике, поперечное сечение для прохождения тока уменьшается, вызывая увеличение сопротивления, дополнительные потери и нагревание.

При наличии гармоник высшего порядка необходимо учитывать скин-эффект, так как он влияет на срок службы кабелей. Для устранения этой проблемы можно использовать многожильные кабели или систему сборных шин, сформированную из множества простых изолированных проводников.

4) Искажение напряжения

Искаженный ток нагрузки (искажения вследствие нелинейной нагрузки) вызывает падение искаженного напряжения в кабеле, обусловленное полным электрическим сопротивлением. Получающаяся в результате форма кривой искаженного напряжения подается на все другие нагрузки, подсоединенные к той же цепи, вызывая в них гармонические токи, даже если это линейные нагрузки.

Решение состоит в том, чтобы разделить цепи, которые питают нагрузки, генерирующие гармоники, и цепи, питающие нагрузки, чувствительные к гармоникам.

5) Нарушения крутящего момента асинхронных двигателей

Искажение гармонического напряжения вызывает увеличение потерь вследствие вихревых токов в двигателях, как это наблюдается и в трансформаторах. Дополнительные потери происходят из-за образования гармонических полей в статоре, каждое из которых пытается вращать двигатель с разной скоростью, как вперед (1-ая, 4-ая, 7-ая, ...), так и назад (2-ая, 5-ая, 8-ая, ...). Токи высокой частоты, индуцированные в роторе, еще более увеличивают потери.

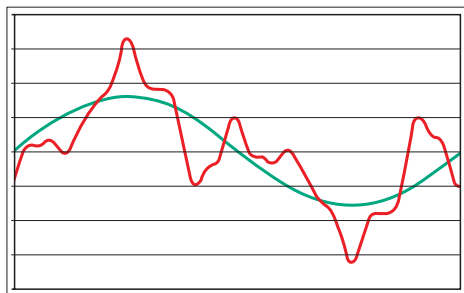
Приложение В: Гармоники

Основные формулы

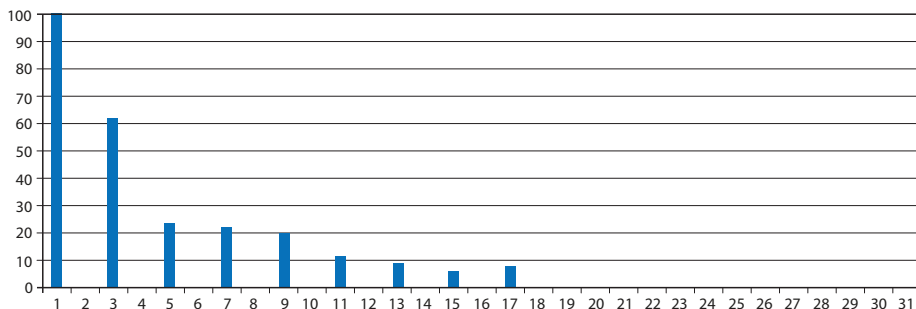
Определения основных величин, обычно используемых в анализе содержания гармоник, приведены ниже.

Частотный спектр

Частотный спектр является классическим представлением содержания гармоник в форме кривой и представляет собой гистограмму с указанием значения каждой гармоники в виде процентной доли от основной составляющей. Например, для следующей формы кривой:



частотный спектр составляет:



Частотный спектр показывает величину существующих гармонических составляющих.

Коэффициент амплитуды

Коэффициент амплитуды определяется как отношение амплитуды формы кривой к действующему значению.

$$k = \frac{I_p}{I_{rms}}$$

В случае абсолютно синусоидальных форм кривых он составляет $\sqrt{2}$, но при наличии гармоник он может достигать более высоких значений.

Высокие коэффициенты амплитуды вызывают необоснованное срабатывание защитных устройств.

Действующее значение

Действующее значение периодической формы кривой $e(t)$ определяется как:

$$E_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T e^2(t) dt}$$

Приложение В: Гармоники

Если действующие значения гармонических составляющих известны, можно легко рассчитать общее действующее значение по следующей формуле:

$$E_{rms} = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} E_n^2}$$

Общее гармоническое искажение (THD)

Общее гармоническое искажение определяется как:

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad \text{Общее гармоническое искажение по току}$$

$$THD_u = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_n^2}}{U_1} \quad \text{Общее гармоническое искажение по напряжению}$$

Коэффициент гармонического искажения является очень важным параметром, который дает информацию о содержании гармоник в формах кривой напряжения и тока и о необходимых мерах, которые нужно предпринять, если эти значения будут высокими. Для общего гармонического искажения $THD_i < 10\%$ и общего гармонического искажения $THD_u < 5\%$, содержание гармоник считается ничтожно малым и не требует каких-либо мер.

Испытания для автоматических выключателей

Аппаратура коммутационная и механизмы управления низковольтные комплектные

В приложении F Стандарта ГОСТ Р 50030.2-2010 (третье издание 2003 г.) указана информация относительно испытаний для проверки устойчивости расцепителей сверхтока к гармоникам.

В частности, Стандарт описывает форму кривой испытательного тока, при которой, в соответствии с заданными значениями введенного тока, расцепитель должен работать согласно предписаниям Стандарта.

Ниже приведены характеристики формы кривой испытательного тока, формируемые альтернативно одним из следующих способов:

1) основной гармоникой и 3-ей гармоникой, изменяемой в диапазоне от 72% до 88% от основной, с коэффициентом амплитуды 2, или 5-ой гармоникой, изменяемой в диапазоне от 45% до 55% от основной, с коэффициентом амплитуды 1,9

или

2) основной гармоникой и 3-ей гармоникой, выше 60% от основной; 5-ой гармоникой, выше 14% от основной, и 7-ой гармоникой, выше 7% от основной. Испытательный ток должен иметь коэффициент амплитуды $\geq 2,1$ и проходить в течение заданного времени $\leq 42\%$ от периода для каждого полупериода.

Приложение С: Расчет коэффициента k для кабелей (k²S²)

Используя формулу (1), можно определить минимальное сечение проводника S, предположив, что общий проводник подвергается адиабатическому нагреву от известной начальной температуры до определенной конечной температуры (допущение применимо, если авария устранена менее чем за 5 с):

$$S=\frac{\sqrt{I^2t}}{k} \tag{1}$$

где:

- S – поперечное сечение [мм²];
- I – действующее значение ожидаемого тока повреждения для замыкания с пренебрежимо малым полным сопротивлением, который может протекать через защитное устройство [A];
- t – время срабатывания защитного устройства с автоматическим расцеплением [с];

коэффициент k можно оценить, используя Таблицы 2÷7, приведенные ниже, или рассчитать согласно формуле (2):

$$k=\sqrt{\frac{Q_c (B+20)}{\rho_{20}} \ln \left(1+ \frac{\theta_f - \theta_i}{B+\theta_i}\right)} \tag{2}$$

где:

- Q_c – объемная теплоемкость материала проводника [Дж/°Смм³] при 20 °С;
- B – величина, обратная температурному коэффициенту сопротивления при 0 °С для проводника [°C];
- ρ₂₀ – удельное электрическое сопротивление материала проводника при 20 °С [Ом·мм];
- θ_i – начальная температура проводника [°C];
- θ_f – конечная температура проводника [°C];

В Таблице 1 даны значения вышеуказанных параметров.

Таблица 1: Значение параметров для различных материалов

Материал	B [°C]	Q _c [Дж/°Смм³]	ρ ₂₀ [Ом·мм]	$\sqrt{\frac{Q_c (B+20)}{\rho_{20}}}$
Медь	234,5	3,45 · 10 ⁻³	17,241 · 10 ⁻⁶	226
Алюминий	228	2,5 · 10 ⁻³	28,264 · 10 ⁻⁶	148
Свинец	230	1,45 · 10 ⁻³	214 · 10 ⁻⁶	41
Сталь	202	3,8 · 10 ⁻³	138 · 10 ⁻⁶	78

Приложение С: Расчет коэффициента k для кабелей (k^2S^2)

Таблица 2: Значения k для фазного проводника

	Изоляция проводника					
	ПВХ ≤ 300 мм ²	ПВХ ≤ 300 мм ²	EPR XLPE	Каучук 60 °C	Минеральная ПВХ	Неизолиро- ванный
Начальная температура °C	70	70	90	60	70	105
Конечная температура °C	160	140	250	200	160	250
Материал проводника:						
медь	115	103	143	141	115	135/115 ^a
алюминий	76	68	94	93	-	-
паяные (с оловом) соединения для медных проводников	115	-	-	-	-	-

^a Это значение должно быть использовано для неизолированных кабелей, доступных для прикосновения.

Таблица 3: Значения k для изолированных защитных проводников, не входящих в кабели и не находящихся в пучке с другими кабелями

Изоляция проводника	Температура °C ^b		Материал проводника		
	Начальная	Конечная	Медь	Алюминий Значение для k	Сталь
70 °C ПВХ	30	160/140 ^a	143/133 ^a	95/88 ^a	52/49 ^a
90 °C ПВХ	30	160/140 ^a	143/133 ^a	95/88 ^a	52/49 ^a
90 °C термоусадка	30	250	176	116	64
60 °C каучук	30	200	159	105	58
85 °C каучук	30	220	166	110	60
Силиконовый каучук	30	350	201	133	73

^a Нижнее значение относится к проводникам с ПВХ-изоляцией с поперечным сечением более 300 мм².

^b Температурные ограничения для различных видов изоляции указаны в Стандарте ГОСТ Р МЭК 60724-2009.

Приложение С: Расчет коэффициента k для кабелей (k^2S^2)

Таблица 4: Значения k для открытых защитных проводников в контакте с обкладкой кабеля, но не в пучке с другими кабелями

Обкладка кабеля	Температура °C ^a		Материал проводника		
	Начальная	Конечная	Медь	Алюминий Значение для k	Сталь
ПВХ	30	200	159	105	58
Полиэтилен	30	150	138	91	50
Сульфохлорированный полиэтилен	30	220	166	110	60

^a Температурные ограничения для различных видов изоляции даны в ГОСТ Р МЭК 60724-2009.

Таблица 5: Значения k для защитных проводников в виде жилы, введенной в кабель; или в пучке с другими кабелями; или изолированных проводников

Изоляция проводника	Температура °C ^b		Материал проводника		
	Начальная	Конечная	Медь	Алюминий Значение для k	Сталь
70 °C ПВХ	70	160/140 ^a	115/103 ^a	76/68 ^a	42/37 ^a
90 °C ПВХ	90	160/140 ^a	100/86 ^a	66/57 ^a	36/31 ^a
90 °C термоусадка	90	250	143	94	52
60 °C каучук	60	200	141	93	51
85 °C каучук	85	220	134	89	48
Силиконовый каучук	180	350	132	87	47

^a Нижнее значение относится к проводникам с ПВХ-изоляцией с поперечным сечением более 300 мм².

^b Температурные ограничения для различных видов изоляции указаны в Стандарте ГОСТ Р МЭК 60724-2009.

Приложение С: Расчет коэффициента k для кабелей (k^2S^2)

Таблица 6: Значения k для защитных проводников в виде металлического слоя кабеля, например, армированный, в металлической оплетке, коаксиальный проводник и т.п.

Изоляция проводника	Температура °C		Материал проводника			
	Начальная	Конечная	Медь	Значение для k		
				Алюминий	Свинец	Сталь
70 °C ПВХ	60	200	141	93	26	51
90 °C ПВХ	80	200	128	85	23	46
90 °C термоусадка	80	200	128	85	23	46
60 °C каучук	55	200	144	95	26	52
85 °C каучук	75	220	140	93	26	51
ПВХ с минеральным покрытием ^a	70	200	135	-	-	-
Минеральная, с неизолированной оболочкой	105	250	135	-	-	-

^a Это значение должно быть также использовано для неизолированных проводников, открытых для прикосновения или контакта с горючими материалами.

Таблица 7: Значения k для неизолированных проводников, где нет риска повреждения находящихся рядом материалов при указанной температуре

Изоляция проводника	Материал проводника						
	Начальная температура °C	Медь		Алюминий		Сталь	
		Максимальная температура °C	Значение k	Максимальная температура °C	Значение k	Максимальная температура °C	Значение k
Видимый и в зоне ограниченного доступа	30	228	500	125	300	82	500
Нормальные условия	30	159	200	105	200	58	200
Опасность возгорания	30	138	150	91	150	50	150

Приложение D: Основные физические величины и электротехнические формулы

Основные электрические и магнитные величины и единицы СИ

Величина	Обознач-е	Наимен-ие	Единица СИ	Обознач-е	Наимен-ие	Другие единицы	Обознач-е	Наимен-ие	Перевод единиц
I		ток	A		ампер				
V		напряжение	V		вольт				
R		сопротивление	Ω		ом				
G		проводимость	S		сименс				$G = 1/R$
X		реактивное сопротивление	Ω		ом				$X_L = \omega L$ $X_C = -1/\omega C$
B		реактивная проводимость	S		сименс				$B_L = -1/\omega L$ $B_C = \omega C$
Z		полное сопротивление	Ω		ом				
Y		полная проводимость	S		сименс				
P		активная мощность	Вт		ватт				
Q		реактивная мощность	вар		реактивный вольт-ампер				
S		полная мощность	ВА		вольт-ампер				
Q		электрический заряд	Кл		кулон	Ач		ампер·час	1 Кл = 1А·с 1 Ач = 3600 А·с
E		напряженность электрического поля	В/м		вольт на метр				
C		электроёмкость	Ф		фарад				1 Ф = 1 Кл/В
H		магнитное поле	А/м		ампер на метр				
B		магнитная индукция	Т		тесла	Г		гаусс	1 Тл = 1В·с/м ² 1 Г = 10 ⁻⁴ Тл
L		индуктивность	Гн		генри				1 Н = 1 Ом·с

Значения удельного сопротивления, удельной проводимости и температурного коэффициента при 20 °С для основных проводниковых материалов

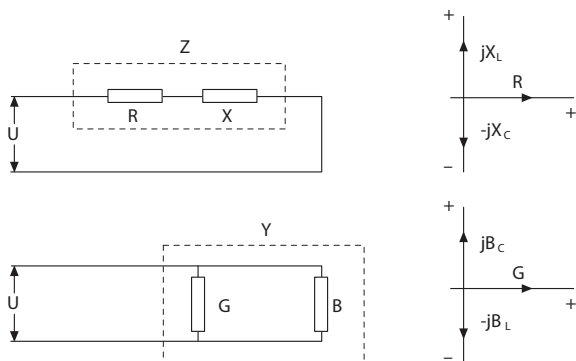
Проводник	Удельная проводимость		Температурный коэффициент α_{20}
	Удельное сопротивление ρ_{20} [мм ² Ом/м]	$\gamma_{20} = 1/\rho_{20}$ [м /мм ² Ом]	
Алюминий	0,0287	34,84	$3,8 \cdot 10^{-3}$
Латунь, медь - цинк 40	$\leq 0,067$	≥ 15	$2 \cdot 10^{-3}$
Константант	0,50	2	$-3 \cdot 10^{-4}$
Медь	0,0175	57,14	$3,95 \cdot 10^{-3}$
Золото	0,023	43,5	$3,8 \cdot 10^{-3}$
Железный провод	от 0, 1 до 0,15	от 10 до 6,7	$4,5 \cdot 10^{-3}$
Свинец	0,208	4,81	$3,9 \cdot 10^{-3}$
Магний	0,043	23,26	$4,1 \cdot 10^{-3}$
Манганин	0,43	2,33	$4 \cdot 10^{-6}$
Ртуть	0,941	1,06	$9,2 \cdot 10^{-4}$
Никель - хром 80/20	1	1	$2,5 \cdot 10^{-4}$
Никелин	0,43	2,33	$2,3 \cdot 10^{-4}$
Серебро	0,016	62,5	$3,8 \cdot 10^{-3}$
Цинк	0,06	16,7	$4,2 \cdot 10^{-3}$

Приложение D: Основные физические величины и электротехнические формулы

Основные электротехнические формулы

Полное сопротивление

Сопротивление проводника при температуре ϑ	$R_{\vartheta} = \rho_{\vartheta} \cdot \frac{\ell}{S}$
Проводимость проводника при температуре ϑ	$G_{\vartheta} = \frac{1}{R_{\vartheta}} = \chi_{\vartheta} \cdot \frac{S}{\ell}$
Удельное сопротивление проводника при температуре ϑ	$\rho_{\vartheta} = \rho_{20} [1 + \alpha_{20} (\vartheta - 20)]$
Емкостное сопротивление	$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = - \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$
Индуктивное сопротивление	$X_L = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$
Полное сопротивление	$Z = R + jX$
Модуль полного сопротивления	$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$
Сдвиг фаз	$\varphi = \arctan \frac{R}{X}$
Проводимость	$G = \frac{1}{R}$
Емкостная реактивная проводимость	$B_C = \frac{1}{X_C} = \omega \cdot C = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C$
Индуктивная реактивная проводимость	$B_L = \frac{1}{X_L} = - \frac{1}{\omega \cdot L} = - \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot L}$
Полная проводимость	$Y = G - jB$
Модуль полной проводимости	$Y = \sqrt{G^2 + B^2}$
Сдвиг фаз	$\varphi = \arctan \frac{B}{G}$



Приложение D: Основные физические величины и электротехнические формулы

Международная система единиц (СИ)

Основные единицы системы СИ

Величина	Обозначение	Наименование единицы
Длина	м	метр
Масса	кг	килограмм
Время	с	секунда
Электрический ток	А	ампер
Термодинамическая температура	К	кельвин
Количество вещества	моль	моль
Сила света	кд	кандела

Метрические приставки для кратных и дольных единиц

Множитель	Приставка	Обозначение	Множитель	Приставка	Обозначение
10^{24}	йота	Y	10^{-1}	деци	d
10^{21}	зета	Z	10^{-2}	санتي	c
10^{18}	экса	E	10^{-3}	мили	m
10^{15}	пета	P	10^{-6}	микро	μ
10^{12}	тера	T	10^{-9}	нано	n
10^9	гига	G	10^{-12}	пико	p
10^6	мега	M	10^{-15}	фемто	f
10^3	кило	k	10^{-18}	атто	a
10^2	гекто	h	10^{-21}	zepto	z
10	дека	da	10^{-24}	йокто	y

Приложение D: Основные физические величины и электротехнические формулы

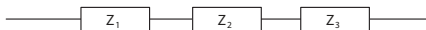
Основные величины и единицы СИ

Величина		Единица СИ		Другие единицы		Перевод единиц
Обознач-е	Наимен-ние	Обознач-е	Наимен-ние	Обознач-е	Наимен-ние	
Длина, площадь, объем						
l	длина	м	метр	in(дюйм)	дюйм	1 дюйм = 25,4 мм
				ft (фут)	фут	1 фут = 30,48 см
				phatom	фатом	1 фатом = 6 фут = 1,8288 м
				mile	миля	1 миля=1609,344 м
				sm	морская миля	1 м. миля = 1852 м
S	площадь	м ²	кв. метр	yd	ярд	1 ярд = 91,44 см
				a	ар	1 ар = 10 ² м ²
V	объем	м ³	куб. метр	ha (га)	гектар	1 га = 10 ⁴ м ²
				l	литр	1 л= 1 дм ³ = 10 ⁻³ м ³
				UK pt	пинта (англ.)	1 пинта (англ.) = 0,5683 дм ³
				UK gal	галлон (англ.)	1 галлон (англ.) = 4,5461 дм ³
				US gal	галлон (США)	1 галлон (США) = 3, 7855 дм ³
Углы						
α, β, γ	плоский угол	рад	радиан	°	градусы	1°= $\frac{\pi}{180}$ · rad
Ω	телесный угол	ср	стерадиан			
Масса						
m	масса, вес	кг	килограмм	lb	фунт	1 фунт = 0,45359 кг
ρ	плотность	кг/м ³	килограмм			
v	удельный объем	м ³ /кг	кубический метр на килограмм			
M	момент инерции	кг · м ²	килограмм на квадратный метр			
Время						
t	длительность	с	секунда			
f	частота	Гц	Герц			1 Гц = 1/с
ω	угловая частота	1/с	оборот в секунду			ω = 2πf
v	скорость	м/с	метров в секунду	км/ч	километр в час	1 км/ч = 0,2777 м/с
				миля/ч	миля в час	1 миль/ч=0,4470 м /с
				узел	кн	1 кн = 0,5144 м /с
g	ускорение	м/с ²	метров в секунду в квадрате			
Сила, энергия, мощность						
F	сила	Н	ньютон			1 Н = 1 кг · м/с ²
				кгс		1 кгс = 9,80665 Н
p	давление	Па	паскаль	бар	бар	1 Па = 1 Н/м ²
						1 бар= 10 ⁵ Па
W	энергия, работа	Дж	джоуль			1Дж=1 Вт · с = 1 Н · м
P	мощность	Вт	ватт	Hp	лошад. силы	1 л.с. = 745,7 Ватт
Температура и теплота						
T	температура	К	кельвин	°C	Цельсий	T[K] = 273,15 + T [°C] · (T [°F]-32)
Q	количество теплоты	Дж	джоуль			
S	энтропия	Дж/К	джоуль на кельвин			
Световые единицы						
I	сила света	кд	канделла			
L	яркость	кд/м ²	канделла на метр квадратный			
Φ	световой поток	лм	люмен			1 лм = 1кд · ср
E	освещенность	люкс				1 лк = 1лм/м ²

Приложение D: Основные физические величины и электротехнические формулы

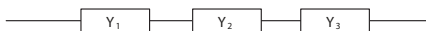
Полные сопротивления
при последовательном
соединении

$$Z = Z_1 + Z_2 + Z_3 + \dots$$



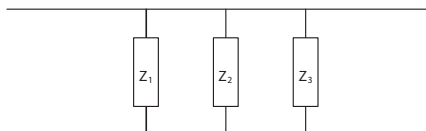
Полные проводимости
при последовательном
соединении

$$Y = \frac{1}{\frac{1}{Y_1} + \frac{1}{Y_2} + \frac{1}{Y_3} + \dots}$$



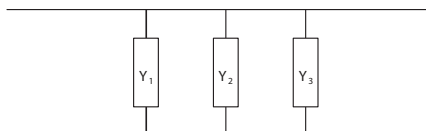
Полные сопротивления
при параллельном
соединении

$$Z = \frac{1}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} + \dots}$$

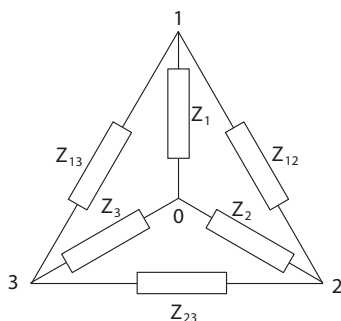


Полные проводимости
при параллельном
соединении

$$Y = Y_1 + Y_2 + Y_3 + \dots$$



Преобразования треугольник-звезда и звезда-треугольник



$Y \rightarrow \Delta$	$\Delta \rightarrow Y$
$Z_{12} = Z_1 + Z_2 + \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_3}$	$Z_1 = \frac{Z_{12} \cdot Z_{13}}{Z_{12} + Z_{13} + Z_{23}}$
$Z_{23} = Z_2 + Z_3 + \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_1}$	$Z_2 = \frac{Z_{12} \cdot Z_{23}}{Z_{12} + Z_{13} + Z_{23}}$
$Z_{13} = Z_3 + Z_1 + \frac{Z_3 \cdot Z_1}{Z_2}$	$Z_3 = \frac{Z_{23} \cdot Z_{13}}{Z_{12} + Z_{13} + Z_{23}}$

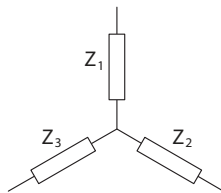
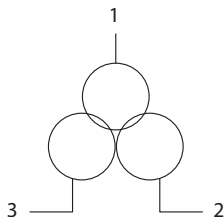
Приложение D: Основные физические величины и электротехнические формулы

Трансформаторы

Двухобмоточные трансформаторы

Номинальный ток	$I_r = \frac{S_r}{\sqrt{3} \cdot U_r}$
Мощность короткого замыкания	$S_k = \frac{S_r}{u_k \%} \cdot 100$
Ток короткого замыкания	$I_k = \frac{S_k}{\sqrt{3} \cdot U_r} = \frac{I_r}{u_k \%} \cdot 100$
Продольное полное сопротивление	$Z_T = \frac{u_k \%}{100} \cdot \frac{U_r^2}{S_r} = \frac{u_k \%}{100} \cdot \frac{S_r}{3 \cdot I_r^2}$
Продольное активное сопротивление	$R_T = \frac{p_k \%}{100} \cdot \frac{U_r^2}{S_r} = \frac{p_k \%}{100} \cdot \frac{S_r}{3 \cdot I_r^2}$
Продольное реактивное сопротивление	$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2}$

Трехобмоточные трансформаторы



$$Z_{12} = \frac{u_{12}}{100} \cdot \frac{U_r^2}{S_{r12}}$$

$$Z_1 = \frac{1}{2} (Z_{12} + Z_{13} - Z_{23})$$

$$Z_{13} = \frac{u_{13}}{100} \cdot \frac{U_r^2}{S_{r13}}$$

$$Z_2 = \frac{1}{2} (Z_{12} + Z_{23} - Z_{13})$$

$$Z_{23} = \frac{u_{23}}{100} \cdot \frac{U_r^2}{S_{r23}}$$

$$Z_3 = \frac{1}{2} (Z_{13} + Z_{23} - Z_{12})$$

Приложение D: Основные физические величины и электротехнические формулы

Падение напряжения и мощности

	одна фаза	три фазы	постоянный ток
Падение напряжения	$U = 2 \cdot I \cdot \ell \cdot (r \cos \varphi + x \sin \varphi)$	$U = \sqrt{3} \cdot I \cdot \ell \cdot (r \cos \varphi + x \sin \varphi)$	$U = 2 \cdot I \cdot \ell \cdot r$
Падение напряжения в процентах	$u = \frac{U}{U_r} \cdot 100$	$u = \frac{U}{U_r} \cdot 100$	$u = \frac{U}{U_r} \cdot 100$
Активная мощность	$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$	$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$	$P = U \cdot I$
Реактивная мощность	$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi$	$Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin \varphi$	–
Полная мощность	$S = U \cdot I = \sqrt{P^2 + Q^2}$	$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I = \sqrt{P^2 + Q^2}$	–
Коэффициент мощности	$\cos \varphi = \frac{P}{S}$	$\cos \varphi = \frac{P}{S}$	–
Потери мощности	$P = 2 \cdot \ell \cdot r \cdot I^2$	$P = 3 \cdot \ell \cdot r \cdot I^2$	$P = 2 \cdot \ell \cdot r \cdot I^2$

Обозначения

- ρ_{20} удельное сопротивление при 20 °C
- ℓ общая длина проводника
- α_{20} температурный коэффициент проводника при 20 °C
- θ температура проводника
- ρ_θ удельное сопротивление при температуре проводника
- ω угловая частота
- f частота
- r удельное сопротивление проводника на единицу длины
- x реактивное сопротивление проводника на единицу длины
- $u_k\%$ процентное напряжение короткого замыкания трансформатора
- S_r номинальная полная мощность трансформатора
- U_r номинальное напряжение трансформатора
- $p_k\%$ процент потерь полного сопротивления трансформатора в условиях короткого замыкания