

Оборудование для автоматизации

Электрические устройства

Справочник по электрооборудованию

Том 2

Содержание

Введение	2
1 Стандарты	
1.1 Общие положения.....	3
1.2 Стандарты МЭК и соответствующие им стандарты ГОСТ Р для электрооборудования.....	15
2 Защита фидеров	
2.1 Введение	22
2.2 Выбор кабелей и способов прокладки.....	25
2.2.1 Токопроводящая способность и способы прокладки	25
Наземные способы прокладки кабеля	31
Прокладка кабеля в земле	44
2.2.2 Падение напряжения	56
2.2.3 Джоулевы потери	66
2.3 Защита от перегрузки	67
2.4 Защита от короткого замыкания	70
2.5 Нейтральный и защитный проводники	82
2.6 Системы сборных шин (BTS).....	90
3 Защита электрического оборудования	
3.1 Защита и коммутация осветительных цепей	105
3.2 Защита и коммутация генераторов	114
3.3 Защита и коммутация двигателей	119
3.4 Защита и коммутация трансформаторов	139
4 Коррекция коэффициента мощности	
4.1 Общие положения.....	156
4.2 Методы коррекции коэффициента мощности	162
4.3 Автоматические выключатели для защиты и коммутации конденсаторных батарей.....	169
5 Защита человека	
5.1 Основные положения: воздействие тока на человека.....	172
5.2 Распределительные системы.....	175
5.3 Защита от прямых и косвенных прикосновений	178
5.4 Система TT	181
5.5 Система TN	184
5.6 Система IT	187
5.7 Аппараты дифференциального тока.....	189
5.8 Максимальная защищаемая длина для защиты людей.....	192
6 Расчет тока короткого замыкания	
6.1 Общие положения.....	209
6.2 Типологии повреждений	209
6.3 Определение тока короткого замыкания: "метод мощности короткого замыкания"	211
6.3.1 Расчет мощности короткого замыкания для разных элементов установки.....	211
6.3.2 Расчет мощности короткого замыкания в точке повреждения	214
6.3.3 Расчет тока короткого замыкания	215
6.3.4 Примеры	217
6.4 Определение тока короткого замыкания I_k в нижней части кабеля как функции тока верхней части.....	221
6.5 Алгебра последовательностей.....	223
6.5.1 Общие положения	223
6.5.2 Системы прямой, обратной и нулевой последовательности	224
6.3.1 Расчет тока короткого замыкания с помощью алгебры последовательностей	225
6.5.4 Полное сопротивление электрооборудования при КЗ с прямой, обратной и нулевой последовательностью.....	228
6.5.5 Формулы для расчета токов повреждения в зависимости от электрических параметров установки	231
6.6 Расчет пикового значения тока короткого замыкания	234
6.7 Соображения о влиянии ИБП на короткое замыкание	235
Приложение А: Расчет тока нагрузки I_b	238
Приложение В: Гармоники	242
Приложение С: Расчет коэффициента k для кабелей (k^2S^2)	250
Приложение D: Основные физические величины и электротехнические формулы	254

Введение

Цель и назначение

Целью настоящего справочника по электрооборудованию является обеспечение проектных организаций, разработчиков электрощитового оборудования, а также персонала, эксплуатирующего электрооборудование, всей необходимой информацией. Данный справочник не является ни теоретическим трудом, ни техническим каталогом. В дополнение к предыдущему изданию он ставит своей задачей помощь в правильном выборе оборудования для применения в самых разнообразных электроустановках. Том 2 справочника является переизданием “Учебного пособия по электроустановкам” (январь 2007).

Для определения параметров электрооборудования требуется знание различных факторов, касающихся, например, энергосистем, электрических проводников и других компонентов; это вынуждает инженера-проектировщика обращаться к многочисленным документам и техническим каталогам. Данный справочник 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 будет полезен инженерам-монтажникам и техникам по ремонту и обслуживанию своими краткими, но очень важными справочными данными по электротехнике, а инженерам по сбыту – таблицами для выбора, удобными для быстрого наведения справки об устройствах.

Применимость справочника по электрооборудованию

В некоторых таблицах, вследствие обобщения процесса выбора, указываются приблизительные значения величин. В каждом таком случае, где это возможно, приведены поправочные коэффициенты для реальных условий применения, которые могут отличаться от принятых условий. В целях безопасности таблицы составлены с завышенными величинами. Для более точных расчетов рекомендуется использовать разработанную АББ программу DOCWin, предназначенную для выбора оборудования и проведения необходимых расчетов при проектировании электроустановок.

1 Стандарты

1.1 Общие положения

В любой технической области, и в особенности в области электротехники, достаточным, если не обязательным, условием для разработки устройств в соответствии с **“современным уровнем развития техники”** и удовлетворения запросов заказчиков и сообщества, является четкое соблюдение всех правил и технических стандартов.

Таким образом, четкое знание стандартов является основополагающим фактором для правильного подхода к проблемам электроустановок, которые должны проектироваться в соответствии с **“приемлемым уровнем безопасности”**, который 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, опубликованные 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	IEC (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 публикует 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

1 Стандарты

спланирована и утверждена в установленном порядке.

CENELEC – Европейский комитет по электротехнической стандартизации

Европейский комитет по электротехнической стандартизации (CENELEC) был основан в 1973 г. В настоящее время комитет объединяет 30 стран (Австрия, Бельгия, Болгария, Кипр, Чешская республика, Дания, Эстония, Финляндия, Франция, Германия, Греция, Венгрия, Исландия, Ирландия, Италия, Латвия, Литва, Люксембург, Мальта, Нидерланды, Норвегия, Португалия, Польша, Румыния, Словакия, Словения, Испания, Швеция, Швейцария, Великобритания) и сотрудничает с 8 присоединившимися странами (Албания, Босния и Герцеговина, Тунис, Хорватия, бывшая Югославская Республика Македония, Сербия и Черногория, Турция, Украина), 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 публикация директив, которые должны быть приняты различными государствами-членами и введены в национальное законодательство.

После принятия директивы вступают в юридическую силу и становятся базисными 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 вводиться в эксплуатацию;
- согласованные стандарты, регистрационные номера которых опубликованы в Официальном бюллетене ЕС и которые введены в систему национальных стандартов, должны приниматься в соответствии с важнейшими требованиями;
- применение согласованных стандартов или других технических спецификаций является необязательным, и производитель вправе выбирать иные 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/СЕ “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 фактически применима для любых устройств, предназначенных для производства, преобразования, передачи, распределения и потребления электроэнергии, таких как: двигатели, трансформаторы, приборы, измерительные инструменты, защитные устройства и электротехнические материалы.

На следующие категории данная Директива не распространяется:

- электрооборудование, предназначенное для использования во взрывоопасной среде;
- 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.

(*) Новая Директива 2004/108/СЕ вступила в силу 20-го января 2005 года, но предполагается переходный период (до июля 2009 года), во время которого еще допускается выпуск на рынок или ввод в эксплуатацию аппаратуры и систем в соответствии с предыдущей Директивой 89/336/СЕ. Положения новой Директивы могут применяться, начиная с 20-го июля 2007 года.

Директива по ЭМС 89/336/ЕЭС* (“Электромагнитная совместимость”)

Директива по электромагнитной совместимости относится ко всем электрическим и электронным аппаратам, а также 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 (ИТ);
- 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 таковые отсутствуют, - общим стандартам.

1 Стандарты

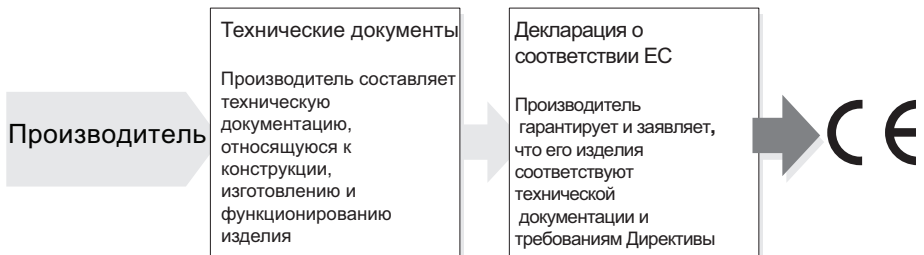
Знак соответствия Европейским стандартам (знак СЕ)

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



Маркировка СЕ 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 СЕ, за исключением тех случаев, когда такие меры являются оправданными на основании доказанного несоответствия продукции стандартам.

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



ASDC008045F0201

Морской регистр

Условия окружающей среды, в которых используются автоматические выключатели бортовых установок, могут отличаться от стандартных условий эксплуатации в промышленности. Фактически 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, морской регистр требует, чтобы аппаратура испытывалась в соответствии с утвержденным перечнем испытаний особого типа, наиболее важными из которых являются испытания на вибрационную стойкость, подверженность динамическому воздействию, влагостойкость и воздействие сухого нагрева.

1 Стандарты

Выключатели АББ (Tmax-Emax) утверждены следующими морскими регистрами:

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

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





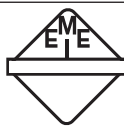



1 Стандарты

ГОСУДАРСТВО	Символ	Буквенное обозначение знака	Применение/Организация
АВСТРИЯ		ÖVE Обозначение прокладки кабеля	Кабели
БЕЛЬГИЯ		Знак CEBEC	Монтажные материалы и бытовые электроприборы
БЕЛЬГИЯ		Знак CEBEC	Кабелепроводы, каналы, провода и гибкие шнуры
БЕЛЬГИЯ		Сертификат соответствия	Монтажные материалы и бытовые электроприборы (в случае 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 широкой номенклатуры 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		DEMKO Знак подтверждения	Низковольтное оборудование. Этот знак гарантирует соответствие продукции требованиям (безопасности) согласно нормам "Стандарты для силовоточного оборудования"
ФИНЛЯНДИЯ		Знак безопасности Elektriska Inspektoratet	Низковольтное оборудование. Этот знак гарантирует соответствие продукции требованиям (безопасности) согласно нормам "Стандарты для силовоточного оборудования"
ФРАНЦИЯ		Знак ESC	Бытовые электроприборы
ФРАНЦИЯ		Знак NF	Провода и кабели – кабелепроводы, каналы, – монтажные материалы
ФРАНЦИЯ		NF Обозначение прокладки кабеля	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 так же монтажных принадлежностей, таких как вилки, розетки, предохранители, провода, кабели и другие компоненты (конденсаторы, системы заземления, патроны для ламп и электронные приборы)
ГЕРМАНИЯ		VDE Обозначение прокладки кабеля	Кабели и провода
ГЕРМАНИЯ		Знак VDE для кабелей	Для кабелей, изолированных шнуров, кабелепроводов, каналов
ГЕРМАНИЯ		Знак VDE-GS для технического оборудования	Знак безопасности технического оборудования. Присваивается после испытания и сертификации продукта Испытательной лабораторией Ассоциации немецких инженеров-электриков (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
ИРЛАНДИЯ		Знак IIRS	Электрическое оборудование

1 Стандарты

ГОСУДАРСТВО	Символ	Буквенное обозначение знака	Применение/Организация
ИТАЛИЯ		Знак IMQ	Знак наносят на электротехнические изделия для непрофессиональных пользователей. Он удостоверяет соответствие Европейским стандартам.
НОРВЕГИЯ		Норвежский знак подтверждения	Обязательная аттестация 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)
СИНГАПУР		SISIR	Электротехнические и неэлектротехнические изделия
СЛОВЕНИЯ		SIQ	Словенский институт качества и метрологии
ИСПАНИЯ		AEE	Электротехнические изделия. Эта марка находится под контролем Испанской электротехнической ассоциации (Asociación Electrotécnica Española)

1 Стандарты

ГОСУДАРСТВО	Символ	Буквенное обозначение знака	Применение/Организация
ИСПАНИЯ		AENOR	Asociación Española de Normalización y Certificación. (Испанская ассоциация по сертификации и стандартизации)
ШВЕЦИЯ		SEMKO Знак	Обязательный знак, подтверждающий безопасность низковольтных изделий и оборудования.
ШВЕЙЦАРИЯ		Знак безопасности	Низковольтное оборудование Швейцарии, подлежащее обязательной аттестации (безопасность).
ШВЕЙЦАРИЯ		–	Кабели, подлежащие обязательной аттестации
ШВЕЙЦАРИЯ		Знак безопасности SEV	Низковольтные изделия, подлежащие обязательной аттестации
ВЕЛИКОБРИТАНИЯ		Знак ASTA	Знак, гарантирующий соответствие нормам "Британского института стандартов"
ВЕЛИКОБРИТАНИЯ		Знак BSEC	Знак, гарантирующий соответствие нормам "Британского института стандартов" для проводников, кабелей и вспомогательных изделий.
ВЕЛИКОБРИТАНИЯ		BASEC Обозначение прокладки кабеля	Кабели

1 Стандарты

ГОСУДАРСТВО	Символ	Буквенное обозначение знака	Применение/Организация
ВЕЛИКОБРИТАНИЯ		BEAB Знак безопасности	Соответствие нормам "Британского института стандартов" для бытовой техники
ВЕЛИКОБРИТАНИЯ		BSI Знак безопасности	Соответствие нормам "Британского института стандартов"
ВЕЛИКОБРИТАНИЯ		BEAB Кайтмарк, знак качества Британского института стандартов	Соответствие нормам "Британского института стандартов" в отношении безопасности и рабочих характеристик
США		UNDERWRITERS LABORATORIES Знак	Электротехнические и неэлектротехнические изделия
США		UNDERWRITERS LABORATORIES Знак	Электрические и неэлектрические изделия
США		UL-подтверждение	Электротехнические и неэлектротехнические изделия
CEN		Знак CEN	Знак, установленный Европейским комитетом по стандартизации (CEN): Он гарантирует соответствие Европейским стандартам.
CENELEC		Знак	Кабели

1 Стандарты

ГОСУДАРСТВО	Символ	Буквенное обозначение знака	Применение/Организация
CENELEC		Знак согласования	Знак сертификации, подтверждающий, что согласованный кабель соответствует применимым стандартам CENELEC – обозначение прокладки кабеля
ЕС		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.)

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 подписавшей 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

СТАНДАРТ	ГОД	НАИМЕНОВАНИЕ
МЭК 60027-1	1992	Буквенные обозначения, используемые в электротехнике – Часть 1: Общие положения
МЭК 60034-1	2004	Вращающиеся электрические машины – Часть 1: Номинальные и эксплуатационные характеристики
МЭК 60617-DB-Snapshot	2007	Графические обозначения на схемах
МЭК 61082-1	2006	Подготовка документов, используемых в электротехнике - Часть 1: Правила
МЭК 60038	2002	Стандартные напряжения по МЭК
МЭК 60664-1	2002	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: Превышение 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	2006	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 60446	1999	Основные принципы безопасности для интерфейса человек-машина, маркировка и обозначения – обозначения проводников цветом или цифрами
МЭК 60447	2004	Основные принципы безопасности для интерфейса человек-машина, маркировка и обозначения – принципы срабатывания
МЭК 60947-1	2004	Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 1: Общие положения
ГОСТ Р 50030.1	2000	Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 1. Общие требования и методы испытаний

1 Стандарты

СТАНДАРТ	ГОД	НАИМЕНОВАНИЕ
МЭК 60947-2	2006	Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 2. Автоматические выключатели
ГОСТ Р 50030.2	1994	Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 2. Автоматические выключатели
МЭК 60947-3	2005	Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 3. Выключатели, разъединители, выключатели-разъединители и комбинации их с предохранителями
ГОСТ Р 50030.3	1999	Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 3. Выключатели, разъединители, выключатели-разъединители и комбинации их с предохранителями
МЭК 60947-4-1	2002	Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 4-1. Контактторы и пускатели. Электромеханические контактторы и пускатели
ГОСТ Р 50030.4.1	2002	Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 4-1. Контактторы и пускатели. Электромеханические контактторы и пускатели
МЭК 60947-4-2	2007	Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 4-2. Контактторы и пускатели – полупроводниковые контроллеры и пускатели электродвигателей переменного тока
МЭК 60947-4-3	2007	Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 4-3. Контактторы и пускатели – полупроводниковые контроллеры и контактторы для немоторных нагрузок
МЭК 60947-5-1	2003	Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 5-1. Устройства управления цепями и переключающие элементы – электромеханические устройства управления цепями
МЭК 60947-5-2	2004	Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 5-2. Устройства управления цепями и переключающие элементы – концевые выключатели
МЭК 60947-5-3	2005	Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 5-3. Устройства управления цепями и переключающие элементы – Требования кконцевым выключателям с определенным поведением в условиях короткого замыкания
МЭК 60947-5-4	2002	Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 5. Устройства управления цепями и переключающие элементы – Раздел 4: Методы оценки характеристик маломощных контактов. Специальные испытания.
МЭК 60947-5-5	2005	Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 5-5: Устройства управления цепями и переключающие элементы– Электрические аварийные выключатели с функцией механической блокировки
МЭК 60947-5-6	1999	Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 5-6. Устройства управления цепями и переключающие элементы – Интерфейс постоянного тока для бесконтактных датчиков и коммутирующих 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	2002	Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 6-2. Многофункциональная аппаратура – Коммутационное устройства (или оборудование) защиты и управления (CPS)
МЭК 60947-7-1	2002	Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 7. Вспомогательное оборудование – Раздел 1: Клеммные колодки для медных проводников

1 Стандарты

СТАНДАРТ	ГОД	НАИМЕНОВАНИЕ
МЭК 60947-7-2	2002	Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 7. Вспомогательное оборудование – Раздел 2: Клеммные колодки защитных медных проводников
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 51321.1	2000	Устройства комплектные низковольтные распределения и управления. Часть 1. Устройства, испытанные полностью или частично. Общие технические требования и методы испытаний
МЭК 60439-2	2005	Низковольтные комплектные устройства распределения и управления. Часть 2. Частные требования к системам сборных шин (шинопроводам)
ГОСТ 28668.1	2003	Низковольтные комплектные устройства 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
ГОСТ Р 51321.3		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 устройствам распределения и управления для строительных площадок
ГОСТ Р 51321.4	2000	Устройства комплектные низковольтные распределения и управления. Часть 4. Дополнительные требования и методы испытаний к устройствам распределения и управления для строительных площадок
МЭК 60439-5	2006	Устройства комплектные низковольтные распределения и управления. Часть 5. Особые требования к низковольтным комплектным устройствам для распределения мощности в сетях общего пользования
МЭК 61095	2000	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 комплектных устройств, прошедших частичные типовые испытания (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

1 Стандарты

СТАНДАРТ	ГОД	НАИМЕНОВАНИЕ
МЭК 60092-302	1997	Судовые электроустановки. Часть 302. Низковольтные комплектные устройства
МЭК 60092-350	2001	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	2001	Электроустановки зданий. Часть 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Глава 52. Электропроводки
ГОСТ Р 50571.15	1997	Электроустановки зданий. Часть 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Глава 52. Электропроводки
МЭК 60227		Кабели с поливинилхлоридной изоляцией номинального напряжения до 450/750 В включительно
	1998	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
	2003	Часть 1. Общие требования
	1998	Часть 2. Методы испытаний
	1994	Часть 3. Кабели с термостойкой силиконовой изоляцией
	2004	Часть 4. Шнуры и гибкие кабели
	1994	Часть 5. Лифтовые кабели
	1994	Часть 6. Кабели для электродов дуговой сварки
	1994	Часть 7. Кабели с термостойкой этиленвинилацетатной резиновой изоляцией
	2004	Часть 8: Шнуры для случаев применения, требующих особой гибкости
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	2006	Выключатели автоматические дифференциального тока без встроенной защиты от сверхтоков (ВДТ) бытового и аналогичного назначения. Часть 1. Общие положения.
МЭК 61008-2-1	1990	Выключатели автоматические дифференциального тока без встроенной защиты от сверхтоков (ВДТ) бытового и аналогичного назначения. Часть 2-1: Применяемость общих требований к ВДТ, функционально не зависящим от напряжения в сети

1 Стандарты

СТАНДАРТ	ГОД	НАИМЕНОВАНИЕ
МЭК 61008-2-2	1990	Выключатели автоматические дифференциального тока без встроенной защиты от сверхтоков (ВДТ) бытового и аналогичного назначения. Часть 2-2: Применяемость общих требований к ВДТ, функционально зависящим от напряжения в сети
МЭК 61009-1	2006	Автоматические выключатели дифференциального тока со встроенной защитой от сверхтоков (АВДТ) бытового и аналогичного назначения. Часть 1. Общие положения.
МЭК 61009-2-1	1991	Автоматические выключатели дифференциального тока со встроенной защитой от сверхтоков (АВДТ) бытового и аналогичного назначения. Часть 2-1: Применяемость общих требований к АВДТ, функционально не зависящим от напряжения в сети
МЭК 61009-2-2	1991	Автоматические выключатели дифференциального тока со встроенной защитой от сверхтоков (АВДТ) бытового и аналогичного назначения – Часть 2-2: Применяемость 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	2002	Переключатели для стационарных электрических установок бытового и аналогичного назначения. Часть 2. Частные требования. Глава 1. Электронные переключатели
МЭК 60669-2-2	2006	Переключатели для стационарных электрических установок бытового и аналогичного назначения. Часть 2. Частные требования. Глава 2. Переключатели дистанционного управления (RCS)
МЭК 60669-2-3	2006	Переключатели для стационарных электрических установок бытового и аналогичного назначения. Часть 2. Частные требования. Глава 3. Переключатели с выдержкой времени (TDS)
МЭК 60079-10	2002	Электрические аппараты для взрывоопасных газовых атмосфер – Часть 10: Классификация взрывоопасных зон
МЭК 60079-14	2002	Электрические аппараты для взрывоопасных газовых атмосфер – Часть 14: Электрические установки во взрывоопасных зонах (кроме шахт)
МЭК 60079-17	2002	Электрические аппараты для взрывоопасных газовых атмосфер – Часть 17: Наладка и монтаж электрических установок во взрывоопасных зонах (кроме шахт)
МЭК 60269-1	2006	Плавкие предохранители низковольтные. Часть 1. Общие требования
МЭК 60269-2	2006	Плавкие предохранители низковольтные. Часть 2. Дополнительные требования к предохранителям, предназначенным для использования квалифицированным персоналом (предохранители, главным образом, промышленного назначения), примеры предохранителей стандартизированной системы от А до I

1 Стандарты

СТАНДАРТ	ГОД	НАИМЕНОВАНИЕ
МЭК 60269-3	2006	Плавкие предохранители низковольтные – Часть 3-1: Дополнительные требования к предохранителям, предназначенным для эксплуатации неквалифицированным персоналом (предохранители, главным образом, бытового и аналогичного назначения) – Разделы с I по IV: примеры стандартизированной системы плавких предохранителей от А до F
МЭК 60127-1/10		Миниатюрные предохранители –
	2006	Часть 1. Определения для миниатюрных предохранителей и общие требования к миниатюрным плавким вставкам
	2003	Часть 2. Патронные плавкие вставки
	1988	Часть 3. Сверхминиатюрные плавкие вставки
	2005	Часть 4. Универсальные модульные плавкие вставки (UMF) 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	Электроустановки зданий. Основные положения
ГОСТ Р 51571.1	1993	Электроустановки зданий. Основные положения
МЭК 60364-4-41	2005	Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от поражения электрическим током
ГОСТ Р 50571.3	1994	Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от поражения электрическим током
МЭК 60364-4-42	2001	Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от тепловых воздействий
ГОСТ Р 50571.4	1994	Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от тепловых воздействий
МЭК 60364-4-43	2001	Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от сверхтока
ГОСТ Р 50571.5	1994	Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от сверхтока
МЭК 60364-4-44	2006	Электроустановки зданий. Часть 4. Защита и безопасность. Глава 44. Защита от резких отклонений напряжения и электромагнитных помех
МЭК 60364-5-51	2005	Электроустановки зданий. Часть 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Глава 51. Общие правила
МЭК 60364-5-52	2001	Электроустановки зданий. Часть 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Глава 52. Электропроводки
ГОСТ Р 50571.15	1997	Электроустановки зданий. Часть 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Глава 52. Электропроводки
МЭК 60364-5-53	2002	Электроустановки зданий. Часть 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Глава 53. Изоляция, коммутация и управление
МЭК 60364-5-54	2002	Электроустановки зданий. Часть 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Глава 54. Заземляющие устройства и защитные проводники
ГОСТ Р 50571.10	1996	Электроустановки зданий. Часть 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Глава 54. Заземляющие устройства и защитные проводники

1 Стандарты

СТАНДАРТ	ГОД	НАИМЕНОВАНИЕ
МЭК 60364-5-55	2002	Электроустановки зданий. Часть 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Глава 55. Прочее оборудование
МЭК 60364-6	2006	Электроустановки зданий Часть 6. Освидетельствование
МЭК 60364-7	1984... ...2006	Электроустановки зданий Часть 7. Требования к специальным установкам или местам расположения
МЭК 60529	2001	Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (Код IP)
МЭК 61032	1997	Защита персонала и оборудования, обеспечиваемая оболочками. Датчики для освидетельствования
МЭК/TR 61000-1-1	1992	Электромагнитная совместимость (ЭМС) Часть 1. Общие сведения. Глава 1. Применение и интерпретация основных определений и терминов
МЭК/TR 61000-1-3	2002	Электромагнитная совместимость (ЭМС) Часть 1. Общие сведения. Глава 3. Воздействие высотного ЭМИ для оборудования и систем общего назначения

2 Защита фидеров

2.1 Введение

Нижеследующие определения, относящиеся к электроустановкам, взяты из Стандарта МЭК 60050.

Характеристики электроустановок

Электроустановка (здания) Комплект подключенного электрического оборудования для выполнения конкретной задачи, имеющего координированные характеристики.

Ввод электропитания Точка, в которой осуществляется подача электроэнергии в электроустановку.

Нейтральный проводник (символ N) Проводник, соединенный с нейтральной точкой системы и способный проводить электроэнергию.

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 тока или искусственная нейтраль.

Проводник PEN Заземленный проводник, сочетающий функции как защитного, так и нейтрального проводника.

Температура окружающей среды Температура воздуха или другой среды, где должно применяться оборудование.

Напряжения

Номинальное напряжение (установки) Напряжение, указанное на установке или на части установки.

Примечание: действующее напряжение может отличаться от номинального напряжения на величину в пределах разрешенных допусков.

Токи

Расчетный ток (цепи) Ток, который, как предполагается, должен проходить в цепи при нормальной работе установки.

Нагрузочная способность по току (проводника) Максимальный ток, который может непрерывно протекать в проводнике при заданных условиях, причем его длительная температура не должна превышать расчетное значение.

Сверхток Любой ток, превышающий номинальное значение. У проводников номинальное значение является нагрузочной способностью по току.

Ток перегрузки (цепи) Сверхток, появляющийся в цепи при отсутствии повреждения в электрической цепи.

Короткое замыкание Сверхток, возникающий вследствие чрезвычайно низкого полного сопротивления между проводниками под напряжением, имеющими разные потенциалы в нормальных условиях работы.

2 Защита фидеров

Условный отключающий ток (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 в непредусмотренном месте электроустановки, но не короткое замыкание.

Ток аварии Ток, протекающий в данной точке сети вследствие аварии в другой точке этой сети.

Системы электропроводки

Система электропроводки 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 электрического оборудования установки, снабжаемая электроэнергией от одного ввода и защищенная от сверхтоков одними и теми же защитными устройствами.

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.

Комплектные распределительные устройства Оборудование для соединения с электрической цепью, предназначенное для выполнения одной или более из следующих функций: защита, управление, изоляция, коммутация.

Переносное оборудование Оборудование, которое передвигается при работе, или которое легко может быть перемещено с одного места на другое место, оставаясь присоединенным к источнику питания.

Ручное оборудование Переносное оборудование, которое должно находиться в руке оператора при нормальной эксплуатации, и у которого двигатель, если он имеется, является его неотъемлемой частью.

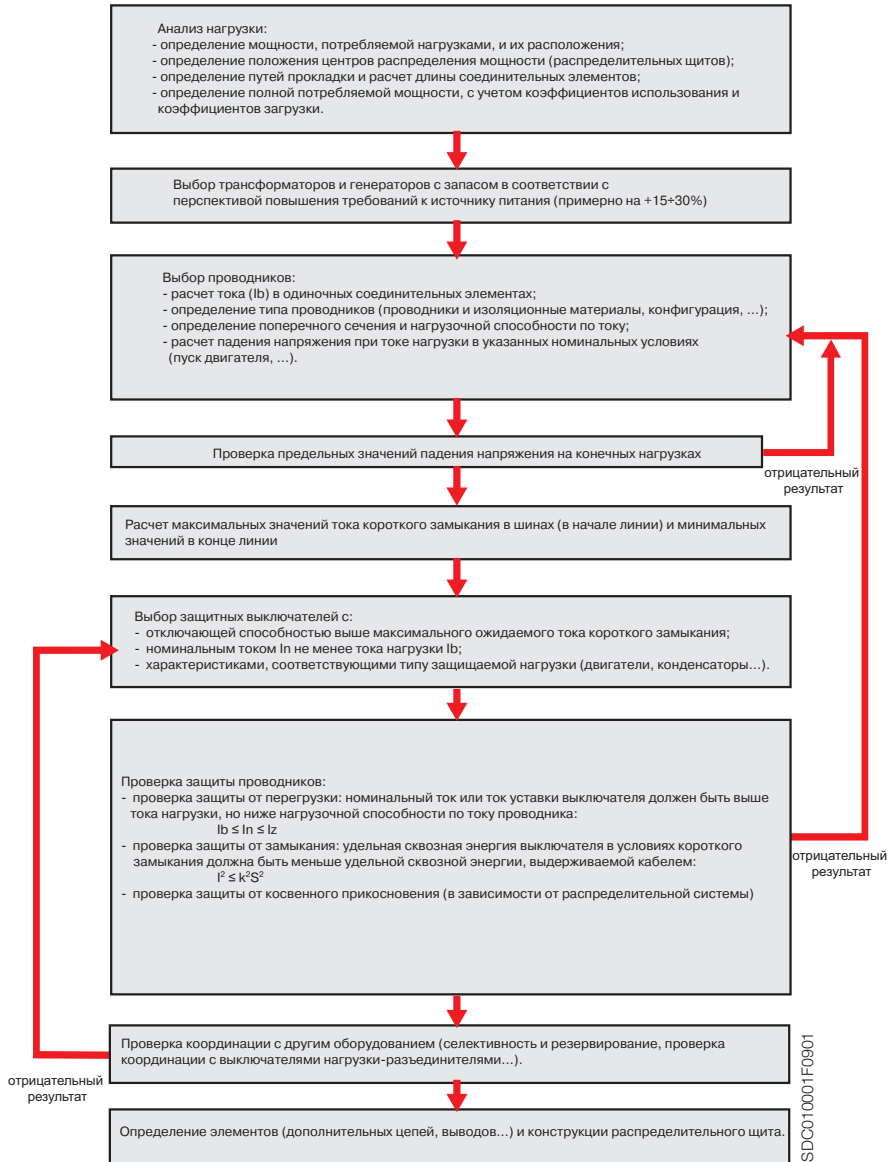
Стационарное оборудование Несъемное оборудование или оборудование, у которого отсутствует рукоятка для переноски и которое имеет такую массу, что его нельзя с легкостью переместить.

Несъемное оборудование Оборудование, прикрепленное к опоре или закрепленное иным образом в конкретном месте.

2 Защита фидеров

Проектирование электроустановки

На блок-схеме, приведенной ниже, указана рекомендуемая процедура проектирования электроустановки.



2 Защита фидеров

2.2 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.

2.2.1 Токопроводящая способность 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 меньше на величину от половины и до одной трети, чем у медного проводника.
- материал изоляции (отсутствует, ПВХ, сшитый полиэтилен (далее - XLPE) - этиленпропиленовый каучук (далее - EPR)): материал изоляции влияет на максимальную температуру в нормальных условиях и при коротком замыкании и, следовательно, на выбор поперечного сечения проводника [см. главу 2.4 “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.

Таблица 1: Выбор систем электропроводки

Проводники и кабели	Способ прокладки							
	Без креплений	Зажатые непосредственно	Кабеле-провод	Кабельный короб (включая плинтусный короб, короб на уровне пола)	Кабельный канал	Кабельная лестница Кабельный лоток Кабельные кронштейны	На изоляторах	Поддерживающая проволока
Неизолированные проводники	-	-	-	-	-	-	+	-
Изолированные проводники	-	-	+	+	+	-	+	-
Кабели в оболочке (включая экранированные и с минеральной изоляцией)	+	+	+	+	+	+	0	+
много- жильные	+	+	+	+	+	+	0	+
одно- жильные	0	+	+	+	+	+	0	+

+ Допустимо.

- Недопустимо.

0 Неприменимо, или, как правило, не применяется на практике.

2 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, D, 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 монтажа							
	Без креплений	С креплениями	Кабеле-провод	Кабельный короб (включая плинтусный короб, короб на уровне пола)	Кабельный канал	Кабельная лестница Кабельный лоток Кронштейны	На изоляторах	Поддерживающая проволока
В пустотах здания	40, 46, 15, 16	0	15, 16	-	0	30, 31, 32, 33, 34	-	-
Кабельный канал	56	56	54, 55	0	44	30, 31, 32, 33, 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	44, 45	0	-	-
На поверхности	-	20, 21	4, 5	6, 7, 8, 9, 12, 13, 14	6, 7, 8, 9	30, 31, 32, 33, 34	36	-
Воздушная линия	-	-	0	10, 11	-	30, 31, 32, 33, 34	36	35

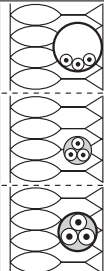
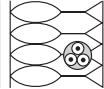
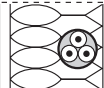
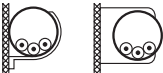
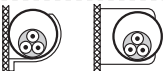
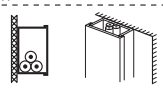
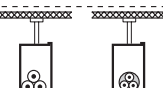
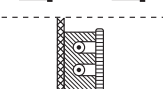
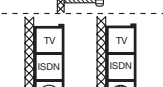
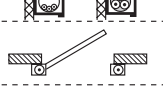
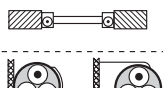
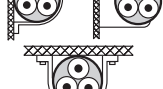


Номер в каждой ячейке соответствует порядковому номеру в Таблице 3.

- Недопустимо.

0 Неприменимо, или, как правило, не применяется на практике.

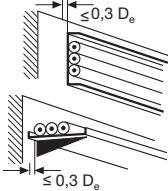
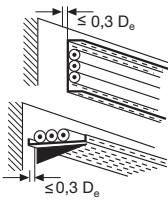
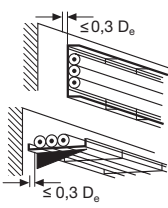
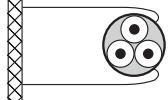

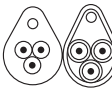

2 Защита фидеров

Таблица 3: Примеры способов прокладки

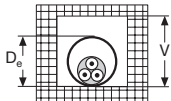
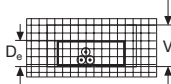
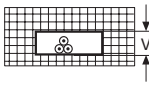
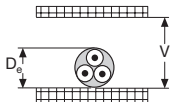


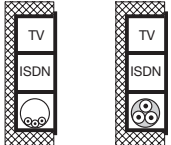
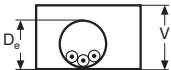
Способ прокладки	№ пункта	Описание	Эталонный способ прокладки, позволяющий достичь определенной нагрузочной способности по току
 Комната	1	Изолированные проводники или одножильные кабели в кабелепроводе в теплоизолированной стене	A1
 Комната	2	Многожильные кабели в кабелепроводе в теплоизолированной стене	A2
 Комната	3	Многожильный кабель непосредственно в теплоизолированной стене	A1
 4	4	Изолированные проводники или одножильные кабели в кабелепроводе на деревянной или кирпичной стене или на расстоянии менее 0,3 диаметра кабелепровода от нее	B1
 5	5	Многожильный кабель в кабелепроводе на деревянной или кирпичной стене или на расстоянии менее 0,3 диаметра кабелепровода от нее	B2
 6	6	Изолированные проводники или одножильные кабели в кабельном канале на деревянной стене – горизонтальное направление (6) – вертикальное направление (7)	B1
 7	7		
 8	8	Изолированные проводники или одножильный кабель в подвешенном кабельном канале (8) Многожильный кабель в подвешенном кабельном канале (9)	B1 (8) или B2 (9)
 9	9		
 12	12	Изолированные проводники или одножильный кабель, проложенные в профилированных коробах	A1
 13	13	Изолированные проводники или одножильные кабели в плитусе (13) Многожильный кабель в плитусе (14)	B1 (13) или B2 (14)
 14	14		
 15	15	Изолированные проводники в кабелепроводе или одножильный либо многожильный кабель в наличнике дверного короба	A1
 16	16	Изолированные проводники в кабелепроводе или одножильный или многожильный кабель в оконных рамах	A1
20	20	Одножильные или многожильные кабели: - закрепленные на деревянной стене, или на расстоянии менее 0,3 диаметра кабеля от нее (20) - закрепленные непосредственно под деревянным потолком (21)	C
21	21		

1SDCC10001FD201

2 Защита фидеров


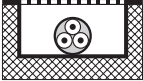



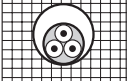

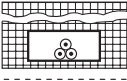
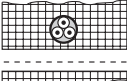

Способ прокладки	№ пункта	Описание	Эталонный способ прокладки, позволяющий достичь определенной нагрузочной способности по току
	30	На неперфорированном лотке 1	С
	31	На перфорированном лотке 1	Е или F
	32	На кронштейнах или на металлической сетке 1	Е или F
	33	На расстоянии более 0,3 диаметра кабеля от стены	Е или F или G
	34	На лестнице	Е или F
	35	Одножильный или многожильный кабели, имеющие поддерживающий провод внутри изоляции или подвешенные к нему	Е или F
	36	Открытые или изолированные проводники на изоляторах	G

2 Защита фидеров

Способ прокладки	№ пункта	Описание	Эталонный способ прокладки, позволяющий достичь определенной нагрузочной способности по току
	40	Одножильный или многожильный кабель в пустотах здания ²	$1,5D_e \leq V < 20 D_e$ B2 $V \geq 20 D_e$ B1
	24	Изолированные проводники в кабельном канале в пустотах здания ²	$1,5D_e \leq V < 20 D_e$ B2 $V \geq 20 D_e$ B1
	44	Изолированные проводники в кабельном канале в кирпичной кладке с тепловым сопротивлением не более $2 \frac{K \cdot M}{B \cdot T}$	$1,5D_e \leq V < 5 D_e$ B2 $5 D_e \leq V < 50 D_e$ B1
	46	Одножильный или многожильный кабель: - в пустотах потолка - в перекрытиях без опор ¹	$1,5D_e \leq V < 5 D_e$ B2 $5 D_e \leq V < 50 D_e$ B1
	50	Изолированные проводники или одножильный кабель в скрытом кабельном канале в полу	B1
	51	Многожильный кабель в скрытом кабельном канале в полу	B2
	52 53	Изолированные проводники или одножильные кабели в заглубленном кабельном канале (52) Многожильный кабель в заглубленном кабельном канале (53)	B1 (52) или B2 (53)
	54	Изолированные проводники или одножильные кабели в кабелепроводе в невентилируемом горизонтальном или вертикальном кабельном канале ²	$1,5D_e \leq V < 20 D_e$ B2 $V \geq 20 D_e$ B1

ISDC0010002FG201

2 Защита фидеров

Способ прокладки	№ пункта	Описание	Эталонный способ прокладки, позволяющий достичь определенной нагрузочной способности по току
	55	Изолированные проводники в кабелепроводе в открытом или вентилируемом кабельном канале в полу	B1
	56	Одножильный кабель в оболочке или многожильный кабель в открытом или вентилируемом горизонтальном или вертикальном кабельном канале	B1
	57	Одножильный или многожильный кабель непосредственно в кирпичной кладке с тепловым сопротивлением не более 2 К*м/Вт. Без дополнительной механической защиты.	C
	58	Одножильный или многожильный кабель непосредственно в кирпичной кладке с тепловым сопротивлением не более 2 К*м/Вт. С дополнительной механической защитой.	C
	59	Изолированные проводники или одножильные кабели в кабелепроводе в кирпичной кладке	B1
	60	Многожильные кабели в кабелепроводе в кирпичной кладке	B2
	70	Многожильный кабель в кабелепроводе или в кабельном канале в грунте	D
	71	Одножильный кабель в кабелепроводе или в кабельном канале в грунте	D
	72	Одножильный кабель в оболочке или многожильные кабели непосредственно в грунте - без дополнительной механической защиты	D
	73	Одножильные кабели в оболочке или многожильные кабели непосредственно в грунте - с дополнительной механической защитой	D

¹D₀ - 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 плоскости.

²D₀ - наружный диаметр канала или глубина кабельного трубопровода по вертикали.

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.

1SDC010003F0201

2 Защита фидеров

Наземные способы прокладки: выбор поперечного сечения в соответствии с нагрузочной способностью и способом прокладки

Нагрузочная способность кабеля, проложенного не в грунте, определяется с помощью следующей формулы:

$$I_z = I_0 k_1 k_2 = I_0 k_{tot}$$

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 ^(а) °C	Изоляция			
			Минеральная ^(а)	
	ПВХ	XLPE и EPR	с покрытием ПВХ или неизолированная и открытая прикосновению до 70°C	неизолированная, закрытая прикосновению 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

^(а) При более высокой температуре окружающей среды обращайтесь к производителю.

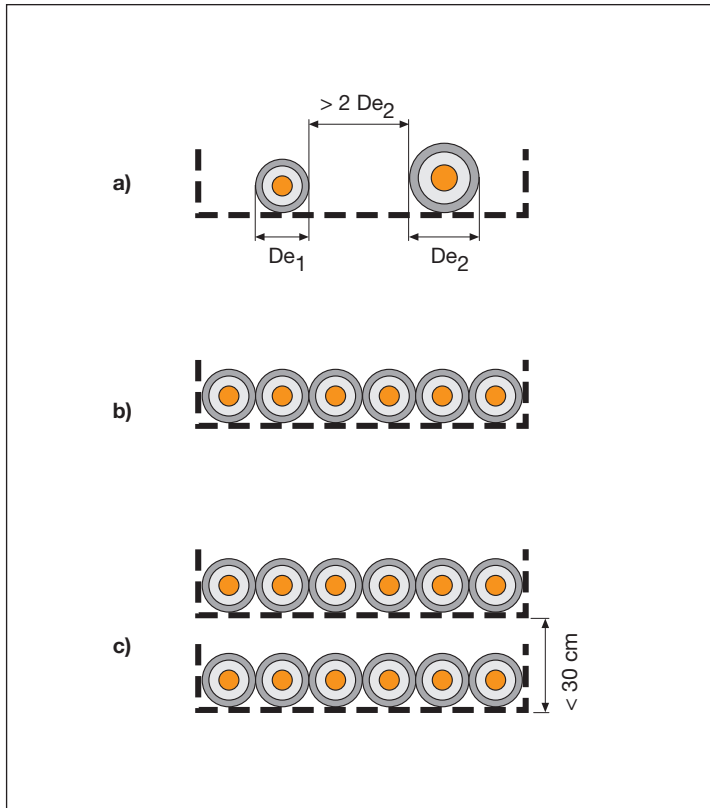
2 Защита фидеров

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

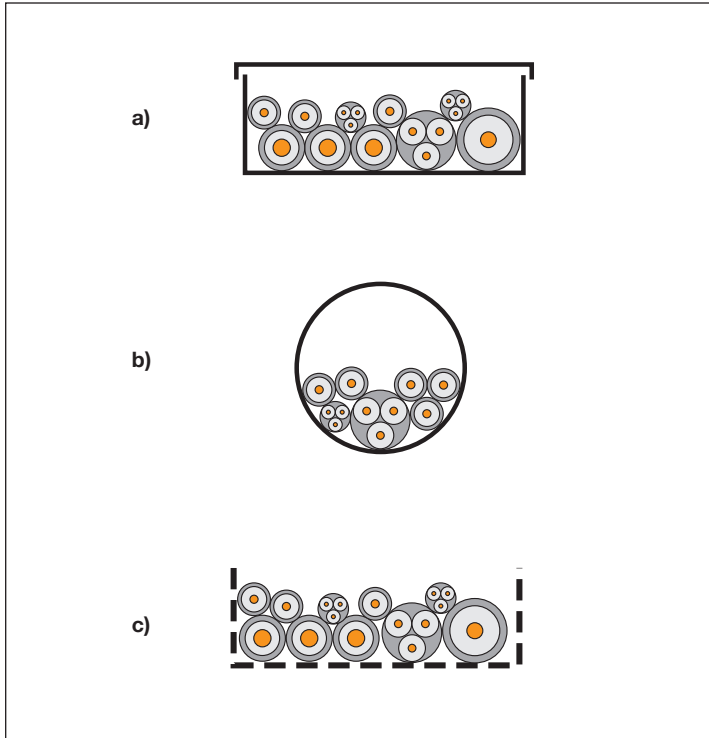
ряд: несколько цепей, образованных кабелями, проложенными рядом друг с другом, разделенными или неразделенными, в горизонтальном или вертикальном направлении. Кабели рядами прокладываются на стене, лотке, потолке, полу или на кабельной лестнице;



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.

2 Защита фидеров



Кабели в пучке: а) в коробе; б) в канале; с) на перфорированном лотке

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.

2 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.


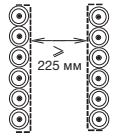
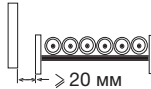
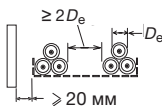
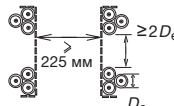
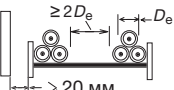
Таблица 5: Понижающий коэффициент для сгруппированных кабелей

№№ п/п	Способы прокладки	Количество цепей или многожильных кабелей											Способы прокладки	
		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 С	
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			Способы Е и F	
5	В один ряд на лестнице, опоре или планках и т.п.	1,00	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78				

- 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 содержащей $n/3$ цепей из трех нагруженных проводников.

2 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 2)	31	 <p>С касанием</p>	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	
Вертикальные перфорированные лотки (примечание 3)	31	 <p>С касанием</p>	1	0,96	0,86	–	Три кабеля с вертикальным расположением
			2	0,95	0,84	–	
Держатели лестничного типа, рейки и т.п. (примечание 2)	32 33 34	 <p>С касанием</p>	1	1,00	0,97	0,96	Три кабеля с горизонтальным расположением
			2	0,98	0,93	0,89	
			3	0,97	0,90	0,86	
Перфорированные лотки (примечание 2)	31	 <p>$\geq 2D_e$</p> <p>≥ 20 мм</p>	1	1,00	0,98	0,96	
			2	0,97	0,93	0,89	
			3	0,96	0,92	0,86	
Вертикальные перфорированные лотки (примечание 3)	31	 <p>С промежутком</p> <p>$\geq 2D_e$</p> <p>225 мм</p> <p>D_e</p>	1	1,00	0,91	0,89	Три кабеля, сложенные треугольником
			2	1,00	0,90	0,86	
Держатели лестничного типа, рейки и т.п. (примечание 2)	32 33 34	 <p>$\geq 2D_e$</p> <p>≥ 20 мм</p>	1	1,00	1,00	1,00	
			2	0,97	0,95	0,93	
			3	0,96	0,94	0,90	

ПРИМЕЧАНИЕ 1: Коэффициенты приведены для укладки кабелей в один ряд (или в треугольные группы), как показано в таблице, и не применимы, если кабели укладываются в несколько соприкасающихся рядов. Значения для таких способов установки могут оказаться существенно ниже и должны определяться соответствующим методом.


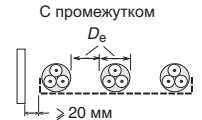
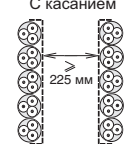
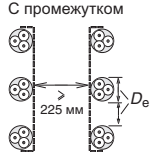

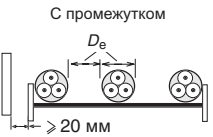
ПРИМЕЧАНИЕ 2: Приведенные значения соответствуют вертикальным промежуткам между лотками 300 мм. При меньших промежутках коэффициенты нужно уменьшать.

ПРИМЕЧАНИЕ 3: 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 4: Если цепи имеют более одного параллельного кабеля на каждую фазу, то для соблюдения условий данной таблицы каждый трехфазный набор проводников следует считать одной цепью.

2 Защита фидеров

Таблица 7: Понижающий коэффициент для многожильных кабелей со способом прокладки E

Способ прокладки согласно таблице 3		Число лотков	Число кабелей						
			1	2	3	4	6	9	
Перфорированные лотки (примечание 2)	31	 <p>С касанием</p>	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
		 <p>С промежутком</p>	1	1,00	1,00	0,98	0,95	0,91	–
			2	1,00	0,99	0,96	0,92	0,87	–
			3	1,00	0,98	0,95	0,91	0,85	–
Вертикальные перфорированные лотки (примечание 3)	31	 <p>С касанием</p>	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
		 <p>С промежутком</p>	1	1,00	0,91	0,89	0,88	0,87	–
			2	1,00	0,91	0,88	0,87	0,85	–
			3	1,00	0,91	0,88	0,87	0,85	–
			4	1,00	0,91	0,88	0,87	0,85	–
Держатели лестничного типа, рейки и т.п. (примечание 2)	32	 <p>С касанием</p>	1	1,00	0,87	0,82	0,80	0,79	0,78
			2	1,00	0,86	0,80	0,78	0,76	0,73
			3	1,00	0,85	0,79	0,76	0,73	0,70
	33 34	 <p>С промежутком</p>	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	–

ПРИМЕЧАНИЕ 1: Коэффициенты приведены для укладки кабелей в один ряд, как показано выше, и не применимы, если кабели укладываются в несколько соприкасающихся рядов. Значения для таких способов установки могут оказаться существенно ниже и должны определяться соответствующим методом.

ПРИМЕЧАНИЕ 2: Приведенные значения соответствуют вертикальным промежуткам между лотками 300 мм и расстоянию между лотками и стеной не менее 20 мм. При меньших промежутках коэффициенты нужно уменьшать.

ПРИМЕЧАНИЕ 3: Приведенные значения соответствуют горизонтальным промежуткам между лотками 225 мм, при установке лотков полка к полке. При меньших промежутках коэффициенты нужно уменьшать.

2 Защита фидеров

Выводы:

Для определения поперечного сечения кабеля необходимо использовать следующую процедуру:

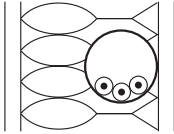
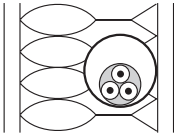
1. Определите способ прокладки по Таблице 3;
2. Определите по Таблице 4 поправочный коэффициент k_1 с учетом материала изоляции и температуры окружающей среды;
3. Используйте Таблицу 5 для кабелей, уложенных в ряд или пучком; Таблицу 6 для одножильных кабелей в один ряд на нескольких опорах; Таблицу 7 для многожильных кабелей в один ряд на нескольких опорах или указанную формулу в случае групп кабелей с различными поперечными сечениями для определения поправочного коэффициента k_2 , соответствующего количеству цепей или многожильных кабелей;
4. Рассчитайте значение тока I'_b путем деления тока нагрузки I_b (или номинального тока защитного устройства) на произведение рассчитанных поправочных коэффициентов:

$$I'_b = \frac{I_b}{k_1 k_2} = \frac{I_b}{k_{tot}}$$

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 $I_0 \geq I'_b$;
6. Реальная нагрузочная способность кабеля рассчитывается по формуле $I_2 = I_0 k_1 k_2$.

2 Защита фидеров

Таблица 8: Нагрузочная способность кабелей с изоляцией из ПВХ или EPR/XLPE (способ А-В-С)

S [мм ²]	Способ прокладки	A1												A2											
																									
	Проводник		Cu				Al				Cu				Al				Cu						
	Изоляция		XLPE EPR		ПВХ		XLPE EPR		ПВХ		XLPE EPR		ПВХ		XLPE EPR		ПВХ		XLPE EPR						
Нагруженные проводники		2	3	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					23	20					
2,5			26	23	19,5	18	20	19	15	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	19,5	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							
185			362	324	273	245	288	256	215	194	329	295	248	223	262	233	195	176							
240			424	380	321	286	338	300	252	227	386	346	291	261	307	273	229	207							
300			486	435	367	328	387	344	289	261	442	396	334	298	352	313	263	237							
400																									
500																									
630																									

2 Защита фидеров

B1						B2						C									
ПВХ		XLPE EPR		Al		ПВХ		XLPE EPR		Cu		ПВХ		XLPE EPR		Cu		Al		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
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
														441	371	344	299	324	283	261	227
														506	424	392	341	371	323	298	259
														599	500	461	403	439	382	352	305
														693	576	530	464	508	440	406	351


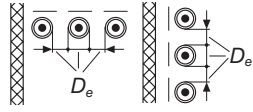
1SDC010006F0201

2 Защита фидеров

Таблица 8: Нагрузочная способность кабелей с изоляцией ПВХ или EPR/XLPE (способ E-F-G)

Способ прокладки	E								F										
	Cu		Al		Cu		Al		Cu		Al		Cu		Al				
Изоляция		XLPE	EPR	ПВХ	ПВХ	XLPE	EPR	ПВХ	ПВХ	XLPE	EPR	ПВХ	ПВХ	XLPE	EPR	ПВХ	ПВХ		
S[мм²]	Нагруженные проводники		2				3				2				3				
	1,5	26	22			23	18,5												
	2,5	36	30	28	23	32	25	24	19,5										
	4	49	40	38	31	42	34	32	26										
	6	63	51	49	39	54	43	42	33										
	10	86	70	67	54	75	60	58	46										
	16	115	94	91	73	100	80	77	61										
	25	149	119	108	89	127	101	97	78	161	131	121	98	135	110	103	84		
	35	185	148	135	111	158	126	120	96	200	162	150	122	169	137	129	105		
	50	225	180	164	135	192	153	146	117	242	196	184	149	207	167	159	128		
	70	289	232	211	173	246	196	187	150	310	251	237	192	268	216	206	166		
	95	352	282	257	210	298	238	227	183	377	304	289	235	328	264	253	203		
120	410	328	300	244	346	276	263	212	437	352	337	273	383	308	296	237			
150	473	379	346	282	399	319	304	245	504	406	389	316	444	356	343	274			
185	542	434	397	322	456	364	347	280	575	463	447	363	510	409	395	315			
240	641	514	470	380	538	430	409	330	679	546	530	430	607	485	471	375			
300	741	593	543	439	621	497	471	381	783	629	613	497	703	561	547	434			
400									940	754	740	600	823	656	663	526			
500									1083	868	856	694	946	749	770	610			
630									1254	1005	996	808	1088	855	899	711			

2 Защита фидеров

				G							
											
Cu		Al		Cu				Al			
XLPE EPR	ПВХ	XLPE EPR	ПВХ	XLPE EPR	ПВХ	XLPE EPR	ПВХ	XLPE EPR	ПВХ	XLPE EPR	ПВХ
3				3Н	3V	3Н	3V	3Н	3V	3Н	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

2 Защита фидеров

Таблица 9: Нагрузочная способность кабелей с минеральной изоляцией

	Способ прокладки	С								
		Температура металлической оболочки 70°C			Температура металлической оболочки 105°C			Температура металлической оболочки 125°C		
	Оболочка	С оплеткой ПВХ или неизолированный, доступный для прикосновения			Неизолированный кабель, недоступный для прикосновения			С оплеткой ПВХ или неизолированный, доступный для прикосновения		
Нагруженные проводники										
	S [мм²]	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 Для одножильных кабелей кабельные оболочки цепи соединяются на обоих концах.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Для неизолированных кабелей, доступных для прикосновения, значения следует умножать на 0,9.

ПРИМЕЧАНИЕ 3 De – это внешний диаметр кабеля.

ПРИМЕЧАНИЕ 4 При температуре металлической оболочки 105°C поправка для кабелей, объединенных в группу, не нужна.

2 Защита фидеров

E или F				G			
Температура металлической оболочки 105°C		Температура металлической оболочки 105°C		Температура металлической оболочки 70°C		Температура металлической оболочки 105°C	
Неизолированный кабель, недоступный для присоединения				С оплеткой ПВХ или неизолированный, доступный для присоединения		Неизолированный кабель, недоступный для присоединения	
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

TSD010007F0201

2 Защита фидеров

Прокладка кабеля в грунте: выбор поперечного сечения в соответствии с нагрузочной способностью и типом прокладки

Нагрузочная способность кабеля, проложенного в грунте, определяется с помощью следующей формулы:

$$I_z = I_0 k_1 k_2 k_3 = I_0 k_{\text{tot}}$$

где:

- 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

2 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

Количество цепей	Ноль (касание кабелей)	Диаметр одного кабеля	Расстояние между кабелями (а)		
			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

Многожильные кабели



Одножильные кабели



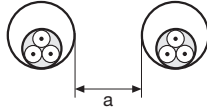
ПРИМЕЧАНИЕ: указанные величины относятся к глубине прокладки 0,7 м и удельному тепловому сопротивлению грунта 2,5 К·м/Вт.

2 Защита фидеров

Таблица 12: Понижающие коэффициенты для многожильных кабелей, проложенных в однонаправленных кабельных каналах в грунте

Количество цепей	Ноль (касание кабелей)	Расстояние между кабелями (а)		
		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

Многожильные кабели



ПРИМЕЧАНИЕ Указанные значения относятся к глубине прокладки 0,7 м и удельному тепловому сопротивлению грунта 2,5 К·м/Вт.

Таблица 13: Понижающие коэффициенты для одножильных кабелей, проложенных в однонаправленных кабельных каналах в грунте

Количество одножильных цепей из двух или трех кабелей	Ноль (касание кабельных каналов)	Расстояние между кабельными каналами (а)		
		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

Одножильные кабели



ПРИМЕЧАНИЕ Указанные значения относятся к глубине прокладки 0,7 м и удельному тепловому сопротивлению грунта 2,5 К·м/Вт.

2 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, 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

Уд. тепловое сопротивление, К·м/Вт	1	1,5	2	2,5	3
Поправочный коэффициент, k_3	1,18	1,1	1,05	1	0,96

Примечание 1: Общая точность поправочных коэффициентов - в пределах $\pm 5\%$.

Примечание 2: Поправочные коэффициенты применимы к кабелям, проложенным в кабельных трубопроводах в грунте; для кабелей, проложенных непосредственно в грунте, поправочные коэффициенты для термического сопротивления менее 2,5 К·м/Вт будут выше. Если требуются более точные значения, их можно рассчитать способами, указанными в Стандарте МЭК 60287.

Примечание 3: Поправочные коэффициенты применимы к кабельным трубопроводам, уложенным в грунт на глубину до 0,8 м.

2 Защита фидеров

Выводы:

Используйте следующую методику для определения поперечного сечения кабеля:

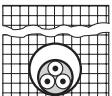
1. Определите по Таблице 10 поправочный коэффициент k_1 с учетом материала изоляции и температуры грунта;
2. Используйте Таблицы 11, 12, 13 или формулу для групп кабелей с разным сечением, чтобы определить поправочный коэффициент k_2 с учетом расстояния между кабелями или кабельными тросопроводами;
3. 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 $I_0 \geq I'_b$, в соответствии со способом прокладки, материалами изоляции и проводника и количеством проводников под нагрузкой;
6. Реальная нагрузочная способность кабеля рассчитывается по формуле

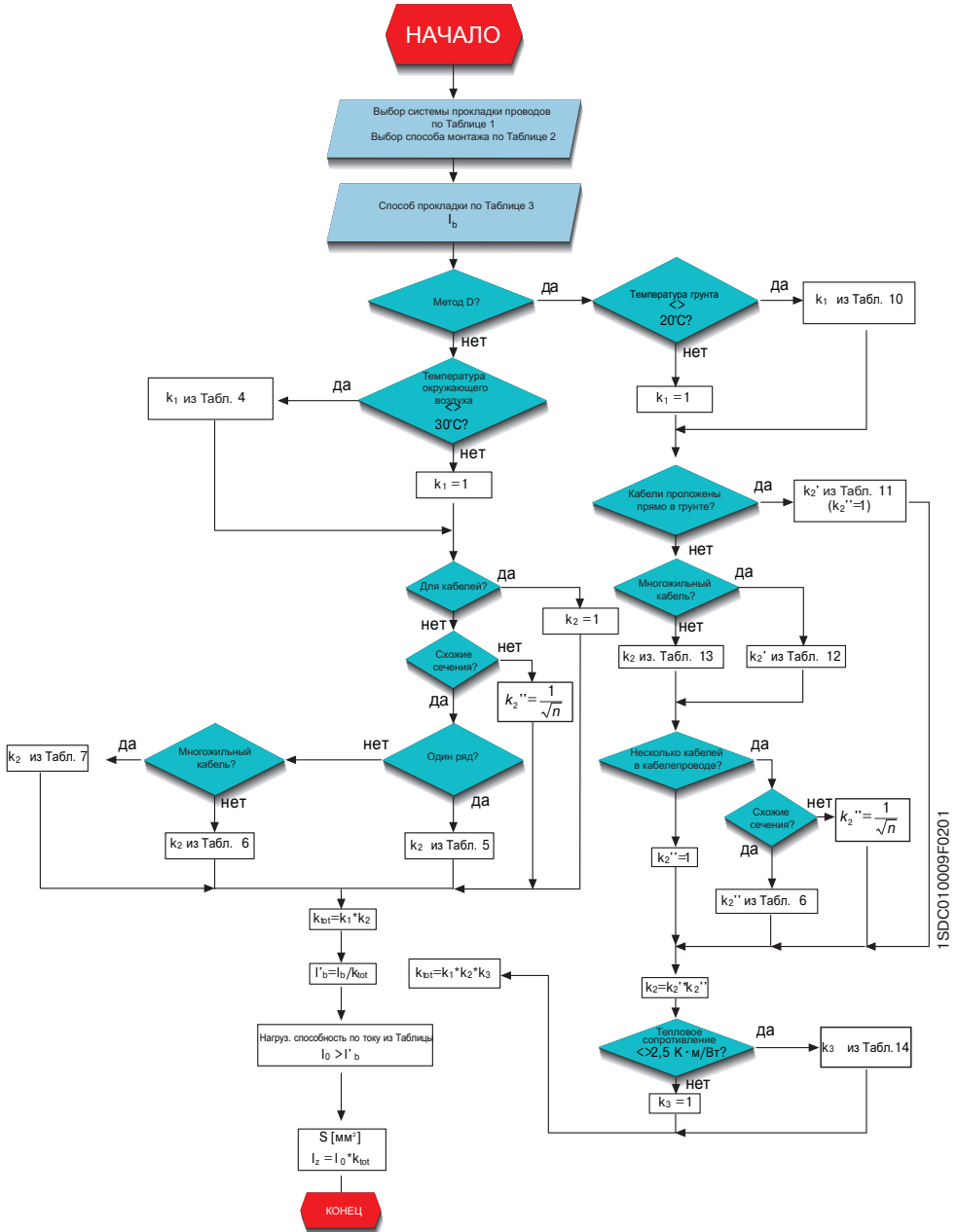
$$I_z = I_0 k_1 k_2 k_3$$

Таблица 15: Нагрузочная способность кабелей, проложенных в грунте

S [мм ²]	Способ прокладки	D							
									
	Проводник	Cu				Al			
		Сшитый полиэтилен (XLPR) Этиленпропиленовый каучук (EPR)		ПВХ		Сшитый полиэтилен (XLPR) Этиленпропиленовый каучук (EPR)		ПВХ	
Изоляция	2	3	2	3	2	3	2	3	
1,5		26	22	22	18				
2,5		34	29	29	24	26	22	22	18,5
4		44	37	38	31	34	29	29	24
6		56	46	47	39	42	36	36	30
10		73	61	63	52	56	47	48	40
16		95	79	81	67	73	61	62	52
25		121	101	104	86	93	78	80	66
35		146	122	125	103	112	94	96	80
50		173	144	148	122	132	112	113	94
70		213	178	183	151	163	138	140	117
95		252	211	216	179	193	164	166	138
120		287	240	246	203	220	186	189	157
150		324	271	278	230	249	210	213	178
185		363	304	312	258	279	236	240	200
240		419	351	361	297	322	272	277	230
300		474	396	408	336	364	308	313	260

1SDC010008F0201

2 Защита фидеров



2 Защита фидеров

Примечания к таблицам нагрузочной способности и относительно проводников под нагрузкой

В Таблицах 8, 9 и 15 приведена нагрузочная способность проводников под нагрузкой (токонесущие провода) в нормальных условиях эксплуатации.

В однофазных цепях под нагрузкой находятся два проводника.

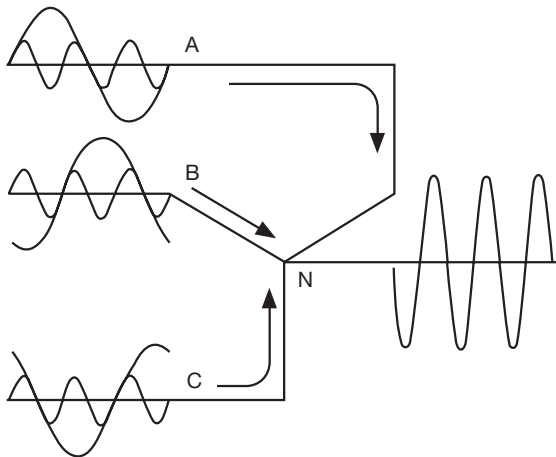
В сбалансированных или немного несбалансированных трехфазных цепях имеются три проводника под нагрузкой, так как ток в нейтральном проводнике ничтожно мал.

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 пятижильных кабелях с четырьмя токопроводящими жилами

В случае, когда нейтральный проводник проводит ток без соответствующего снижения нагрузки фазных проводов, при оценке токопроводящей способности цепи необходимо учитывать ток в нейтральном проводнике.

Этот ток в нейтрали возникает вследствие фазных токов с гармонической составляющей, которая не исчезает в нейтрали. Самая важная гармоника, которая сохраняется в нейтрали, обычно третья гармоника. Величина тока в нейтрали вследствие третьей гармоники может превышать величину фазного тока промышленной частоты. В таком случае ток в нейтрали существенно повлияет на нагрузочную способность кабелей в цепи.



2 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, как 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-ая, 12-ая 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 фазном токе	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 поправочный коэффициент;

k_{III} - содержание третьей гармоники фазного тока;

2 Защита фидеров

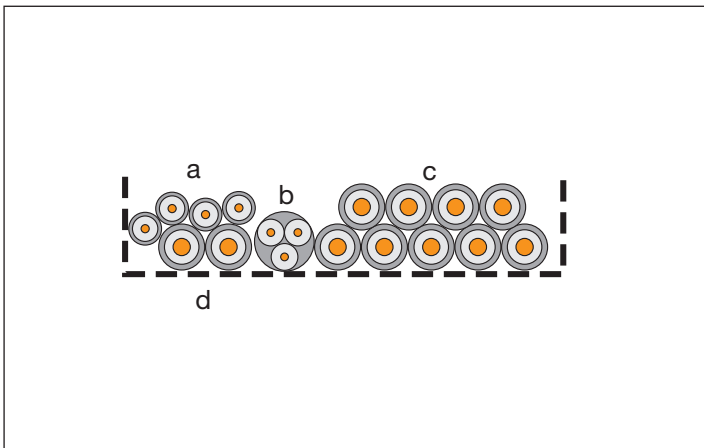
Пример выбора кабеля в сбалансированной трехфазной цепи без гармоник

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: : 100 А

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 (3 на фазу) кабелей, 9x95 мм²;
 - d) трехфазной цепью, состоящей из 2 одножильных кабелей, 2x70 мм²;



1SDCC010008F0001

2 Защита фидеров

Порядок расчета:

• Тип прокладки:

В Таблице 3 можно найти соответствующий способу прокладки номер, применяемый в расчетах. В данном примере, соответствующий номер - 31, который соответствует способу E (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 a), b) и d) представляет собой отдельную цепь;
 - цепь c) 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 E, 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

$$I_2 = 238 \cdot 0,87 \cdot 0,54 = 111,81 \text{ A}$$

2 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, соответствующий номер - 31, который соответствует способу E (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,

$$k_2 = 1$$

После определения k_1 и k_2 проводится расчет I'_b по формуле:

$$I'_b = \frac{I_b}{k_1 k_2} = 115 \text{ A}$$

2 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 мм^2 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 мм^2 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 мм^2 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 мм^2 с нагрузочной способностью 238 А.

2 Защита фидеров

2.2.2 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*: чем больше падает напряжение, тем слабее становится луч, и свет приобретает красноватый оттенок;
- *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 50571.15) “Электроустановки зданий. Выбор и монтаж электрооборудования – Системы электропроводки” В пункте 5.25 говорится, что “при отсутствии иных соображений рекомендуется, чтобы на практике падение напряжения между точкой ввода электропитания и оборудованием не превышало 4% от номинального напряжения установки. Иные соображения касаются пускового времени двигателей и оборудования с высоким броском пускового тока. Временные условия, такие как переходное напряжение и изменение напряжения вследствие аномальной работы, можно не принимать во внимание.”
- 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 напряжение в нормальных рабочих условиях было совместимо с условиями, возникающими от пускового тока ламп”.

2 Защита фидеров

Расчет падения напряжения

Для электропровода с полным сопротивлением Z , падение напряжения рассчитывается по следующей формуле:

$$\Delta U = kZI_b = kI_b \frac{L}{n} (r \cos \varphi + x \sin \varphi) \text{ [В]} \quad (1)$$

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_z ;
- L [км] - длина проводника;
- n - количество параллельных проводников на фазу;
- r [Ом/км] - сопротивление одного кабеля на километр;
- x [Ом/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 нижеследующей Таблице 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.

2 Защита фидеров

Таблица 1: Сопротивление и реактивное сопротивление на единицу длины медных кабелей

S [мм ²]	Одножильный кабель		Двух/трехжильный кабель	
	r[Ом/км] при 80 [°C]	x[Ом/км]	r[Ом/км] при 80 [°C]	x[Ом/км]
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 [мм ²]	Одножильный кабель		Двух/трехжильный кабель	
	r[Ом/км] при 80 [°C]	x[Ом/км]	r[Ом/км] при 80 [°C]	x[Ом/км]
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

2 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]	cosφ = 1			
	Одножильный		Двухжильный	Трехжильный
	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	0,84
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]	cosφ = 0,9			
	Одножильный		Двухжильный	Трехжильный
	однофазный	трехфазный	однофазный	трехфазный
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

2 Защита фидеров

Таблица 5: Удельное падение напряжения при $\cos\varphi = 0,85$ для медных кабелей

S[мм ²]	cosφ = 0,85			
	Одножильный		Двухжильный	Трёхжильный
	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

S[мм ²]	cosφ = 0,8			
	Одножильный		Двухжильный	Трёхжильный
	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

2 Защита фидеров

Таблица 7: Удельное падение напряжения при $\cos\varphi = 0,75$ для медных кабелей

S[мм ²]	$\cos\varphi = 0,75$			
	Одножильный		Двужильный однофазный	Трехжильный 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

S[мм ²]	$\cos\varphi = 1$			
	Одножильный		Двужильный однофазный	Трехжильный 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

2 Защита фидеров

Таблица 9: Удельное падение напряжения при $\cos\varphi = 0,9$ для алюминиевых кабелей

S[мм ²]	cosφ = 0,9			
	Одножильный		Двужильный	Трёхжильный
	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

S[мм ²]	cosφ = 0,85			
	Одножильный		Двужильный	Трёхжильный
	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

2 Защита фидеров

Таблица 11: Удельное падение напряжения при $\cos\varphi = 0,8$ для алюминиевых кабелей

S[мм ²]	$\cos\varphi = 0,8$			
	Одножильный		Двухжильный однофазный	Трехжильный трехфазный
	однофазный	трехфазный		
1,5	39,22	33,96	39,95	34,59
2,5	23,67	20,50	24,07	20,84
4	14,85	12,86	15,09	13,07
6	9,94	8,61	10,08	8,73
10	6,05	5,24	6,09	5,27
16	3,85	3,34	3,87	3,35
25	2,47	2,14	2,49	2,16
35	1,81	1,57	1,82	1,57
50	1,37	1,18	1,37	1,18
70	0,98	0,85	0,97	0,84
95	0,74	0,64	0,73	0,63
120	0,61	0,53	0,59	0,51
150	0,51	0,45	0,50	0,44
185	0,43	0,38	0,42	0,36
240	0,36	0,31	0,34	0,30
300	0,31	0,27	0,30	0,26

Таблица 12: Удельное падение напряжения при $\cos\varphi = 0,75$ для алюминиевых кабелей

S[мм ²]	$\cos\varphi = 0,75$			
	Одножильный		Двухжильный однофазный	Трехжильный трехфазный
	однофазный	трехфазный		
1,5	36,80	31,87	37,47	32,45
2,5	22,23	19,25	22,58	19,56
4	13,95	12,08	14,17	12,27
6	9,35	8,09	9,47	8,20
10	5,69	4,93	5,72	4,96
16	3,63	3,15	3,64	3,15
25	2,34	2,02	2,35	2,03
35	1,72	1,49	1,72	1,49
50	1,30	1,13	1,30	1,12
70	0,94	0,81	0,92	0,80
95	0,71	0,62	0,70	0,60
120	0,59	0,51	0,57	0,49
150	0,50	0,43	0,49	0,42
185	0,42	0,37	0,41	0,35
240	0,35	0,31	0,34	0,29
300	0,31	0,27	0,29	0,25

2 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 :

$$\Delta u\% = \frac{\Delta U}{U_r} \cdot 100 = \frac{4,28}{690} \cdot 100 = 0,62\%$$

2 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 2.2.1 “Нагрузочная способность и способы прокладки”), может иметь отрицательный результат.

Для определения правильного поперечного сечения максимальное значение ΔU_{xmax} , рассчитанное с помощью формулы:

$$\Delta U_{\text{xmax}} = \frac{\Delta u \% \cdot U_r}{100 \cdot I_b \cdot L} \quad (3)$$

сравнивается с соответствующими значениями Таблиц 4÷12 путем выбора наименьшего поперечного сечения со значением ΔU_x , меньшим чем ΔU_{xmax} .

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 :

$$I_b = \frac{P_u}{\sqrt{3} \cdot U_r \cdot \cos \varphi} = \frac{35000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,9} = 56 \text{ A}$$

Таблица 8 в Главе 2.2.1 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 на ток 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:

$$\Delta U_{\text{xmax}} = \frac{\Delta u \% \cdot U_r}{100 \cdot I_b \cdot L} = \frac{2\% \cdot 400}{100 \cdot 56 \cdot 0,14} = 1,02 \text{ В/(А} \cdot \text{км)}$$

2 Защита фидеров

В Таблице 4 можно выбрать поперечное сечение 50 мм².

Для этого поперечного сечения $\Delta U_x = 0,81 < 1,02 \text{ В}/(\text{А} \cdot \text{км})$.

Используя это значение, получаем:

$$\Delta U = \Delta U_x \cdot I_b \cdot L = 0,81 \cdot 56 \cdot 0,14 = 6,35 \text{ В}$$

Это соответствует значению в процентах:

$$\Delta u \% = \frac{\Delta U}{U_r} \cdot 100 = \frac{6,35}{400} \cdot 100 = 1,6\%$$

2.2.3 Джоулевы 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:

$$P_j = \frac{3 \cdot r \cdot I_b^2 \cdot L}{1000} [\text{Вт}]$$

а в однофазной системе по формуле:

$$P_j = \frac{2 \cdot r \cdot I_b^2 \cdot L}{1000} [\text{Вт}]$$

где:

- I_b - ток нагрузки [А];
- r - фазное сопротивление на единицу длины кабеля при 80°C [Ом/км] (см. Таблицу 1);
- L - длина кабеля [м];

Таблица 1: Значения сопротивления [Ом/км] одножильных и многожильных кабелей из меди и алюминия при 80°C

S [мм ²]	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

2 Защита фидеров

2.3 Защита от перегрузки

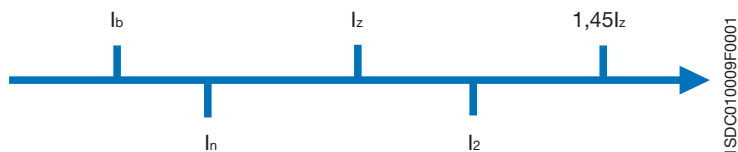
Стандарт МЭК 60364-4-43 (ГОСТ Р 50571.5) “Электроустановки зданий. Требования по обеспечению безопасности. Защита от сверхтока” предписывает координацию между проводниками и устройствами защиты от перегрузки (обычно они установлены в начале защищаемого проводника), заключающуюся в обеспечении соответствия 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 $I_n \leq I_z$, формула $I_2 \leq 1,45 \cdot I_z$ будет также подтверждена.

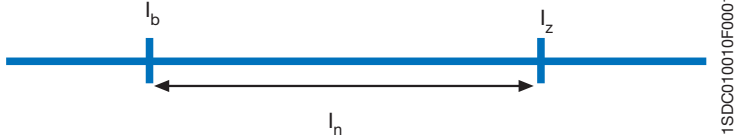
Если в качестве защитного устройства применяется плавкий предохранитель, важно также проверить формулу (2), так как в Стандарте МЭК 60269-2-1 “Низковольтные предохранители” указано, что ток $1,6 \cdot I_n$ должен автоматически расплавлять предохранитель. В этом случае, формула (2) приобретает вид $1,6 \cdot I_n \leq 1,45 \cdot I_z$ или $I_n \leq 0,9 \cdot I_z$.

2 Защита фидеров

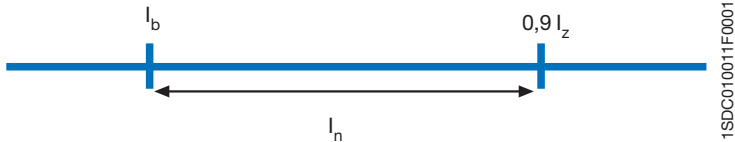
Выводы: Для выполнения защиты от перегрузки с помощью плавкого предохранителя, необходимо обеспечить следующее:

$$I_b \leq I_n \leq 0,9 \cdot I_z$$

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

$P_r = 70$ кВт; $U_r = 400$ В; $\cos \varphi = 0,9$; трехфазная нагрузка, $I_b = 112$ А

Характеристики кабеля

$I_z = 134$ А

Подходит устройство защиты (автоматический выключатель АББ серии Tmax) с характеристиками:

T1B160 TMD $I_n 125$; ток уставки $I1 = 125$ А

2 Защита фидеров

Пример 2

Характеристики нагрузки

$P_r = 80$ кВт; $\cos\varphi = 0,9$; $U_r = 400$ В; трехфазная нагрузка, $I_b = 128$ А

Характеристики кабеля

$I_z = 171$ А

Подходит устройство защиты (автоматический выключатель АББ серии Tmax) с характеристиками:

T2N160 PR221DS-LS $I_n 160$; ток уставки $I1 = 0,88 \times I_n = 140,8$ 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 (автоматический выключатель АББ серии Tmax) с характеристиками:

T3N250 TMD $I_n 200$; ток уставки $I1 = 0,9 \times I_n = 180$ А

Пример 4

Характеристики нагрузки

$P_r = 25$ кВт; $\cos\varphi = 0,9$; $U_r = 230$ В ; однофазная нагрузка, $I_b = 121$ А

Характеристики кабеля

$I_z = 134$ А

Подходит устройство защиты (автоматический выключатель АББ серии Tmax) с характеристиками:

T1B160 1P TMF $I_n 125$

2 Защита фидеров

2.4 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 3.4 «Характеристические кривые удельной сквозной энергии») или может быть получена прямым расчетом для случая нетокоограничивающих устройств без выдержки времени;
- S – поперечное сечение кабеля [мм^2]; 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 $\leq 300 \text{ мм}^2$	ПВХ $> 300 \text{ мм}^2$	Этиленпропиленовый каучук (EPR) Сшитый полиэтилен (XLPE)	Каучук 60°C	Минеральная	
					ПВХ	Без изоляции
Номинальная температура $^\circ\text{C}$	70	70	90	60	70	105
Максимальная температура $^\circ\text{C}$	160	140	250	200	160	250
Материал проводника:						
Медь	115	103	143	141	115	135/115 ^a
Алюминий	76	68	94	93	-	-
спаянные оловом соединения медных проводов	115	-	-	-	-	-
^a 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 МЭК 60724.					

1SDCC010010F0201

2 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 $k^2 S^2$ [(кА)² с]

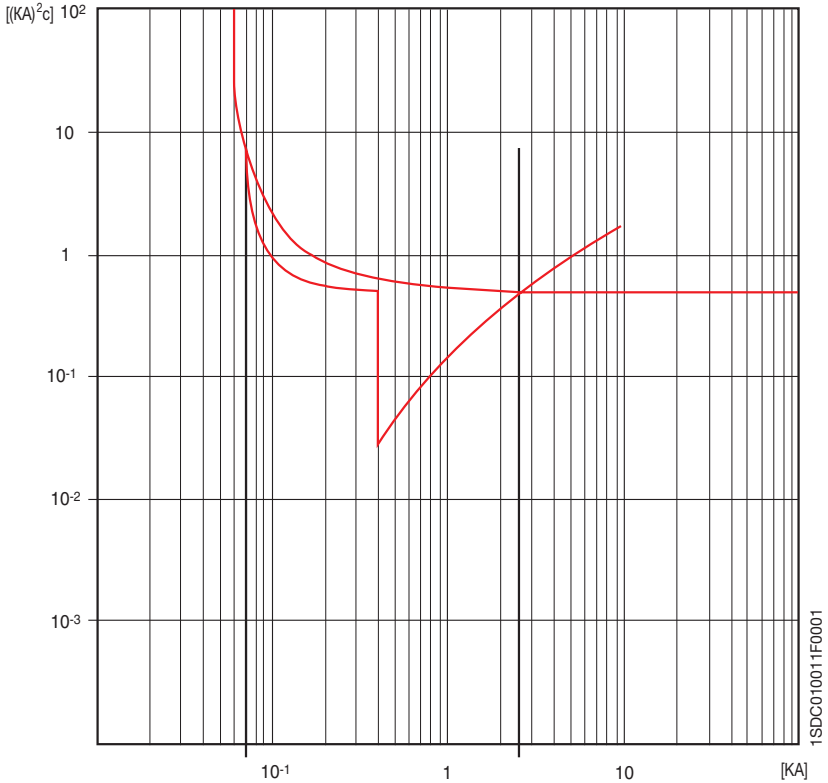
Кабель		k	Поперечное сечение [мм ²]							
			1.5	2.5	4	6	10	16	25	35
ПВХ	Cu	115	$2,98 \cdot 10^{-2}$	$8,27 \cdot 10^{-2}$	$2,12 \cdot 10^{-1}$	$4,76 \cdot 10^{-1}$	1,32	3,39	8,27	$1,62 \cdot 10^1$
	Al	76	$1,30 \cdot 10^{-2}$	$3,61 \cdot 10^{-2}$	$9,24 \cdot 10^{-2}$	$2,08 \cdot 10^{-1}$	$5,78 \cdot 10^{-1}$	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	$1,06 \cdot 10^1$

Кабель		k	Поперечное сечение [мм ²]							
			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	$2,16 \cdot 10^1$	$4,24 \cdot 10^1$	$7,81 \cdot 10^1$	$1,25 \cdot 10^2$	$1,95 \cdot 10^2$	$2,96 \cdot 10^2$	$4,98 \cdot 10^2$	$7,78 \cdot 10^2$

1SD0010002F0901

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.

2 Защита фидеров



1SDC010011F0001

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.

2 Защита фидеров

На следующих страницах представлены несколько таблиц, действительных для напряжения 400 В, в которых указывается минимальное поперечное сечение кабеля (медные кабели), защищенного от короткого замыкания, в зависимости от автоматического выключателя и от тока короткого замыкания, равно отключающей способности самого автоматического выключателя.

Эти таблицы не относятся к защите кабелей от перегрузки. Кроме того, эти таблицы показывают минимальное поперечное сечение, которое можно применить; однако на этапе проектирования необходимо выбирать проводники в соответствии с реальными характеристиками установки (ток КЗ, состояние нейтрали и т.д.) путем анализа характеристических кривых применяемого автоматического выключателя.

Автоматический выключатель			Фазный проводник Изоляция ПВХ	
Тип	I _{cu} (кА)	Номинальный ток (А)	Фазный проводник (мм ²)	K ² S ²
T1 160	B=16 C=25	16*-32	6	476100
		40**-160	10	1322500
T1 160	N=36	32-160	10	1322500

Автоматический выключатель			Фазный проводник Изоляция - этиленпропиленовый каучук (EPR)	
Тип	I _{cu} (кА)	Номинальный ток (А)	Фазный проводник (мм ²)	K ² S ²
T1 160	B=16 C=25	16*-20	4	327184
		25-160	6	736164
T1 160	N=36	32-100	6	736164
		125-160	10	2044900

* I_n=16 и I_n=20 имеются только для T1B

**с автоматическими выключателями типа T1B I_n=40/50/63 можно использовать кабель 6 мм², с изоляцией ПВХ.

2 Защита фидеров

Автоматический выключатель			Фазный проводник Изоляция ПВХ	
Тип	I _{cu} (кА)	Номинальный ток (А)	Фазный проводник (мм ²)	K ² c ²
T2 160	N=36 кА S=50 кА H=70 кА	1-4	1,5	29756,25
		5*-8	2,5	82656,25
		10-50	4	211600
		63-160	6	476100
	L=85 кА	1-3,2	1,5	29756,25
		4-8	2,5	82656,25
		10-32	4	211600
		40-160	6	476100

Автоматический выключатель			Фазный проводник Изоляция EPR	
Тип	I _{cu} (кА)	Номинальный ток (А)	Фазный проводник (мм ²)	K ² c ²
T2 160	N=36 кА S=50 кА H=70 кА	1-6.3	1,5	46010,25
		8**-10	2,5	127806,25
		12.5-63	4	327184
		80-160	6	736164
	L=85 кА	1-5	1,5	46010,25
		6.3-10	2,5	127806,25
		12.5-50	4	327184
		63-160	6	736164

* с автоматическими выключателями типа T2N In=5 А можно использовать кабель 1,5 мм², с изоляцией ПВХ

** с автоматическими выключателями типа T2N In=8 А и T2S I=8 А можно использовать кабель 1,5 мм², с изоляцией EPR

2 Защита фидеров

Автоматический выключатель			Фазный проводник Изоляция ПВХ		Фазный проводник Изоляция EPR	
Тип	I _{cu} (кА)	Номинальный ток (А)	Фазный проводник (мм ²)	K ² s ²	Фазный проводник (мм ²)	K ² s ²
T3	N=36 S=50	63-250	16	3385600	10	2044900

Автоматический выключатель			Фазный проводник Изоляция ПВХ	
Тип	I _{cu} (кА)	Номинальный ток (А)	Фазный проводник (мм ²)	Макс. энергия (I ² t)
T4	N=36 S=50 H=70 L=120 V=200	20-50	6	476100
		80-250	10	1322500

Автоматический выключатель			Фазный проводник Изоляция EPR	
Тип	I _{cu} (кА)	Номинальный ток (А)	Фазный проводник (мм ²)	Макс. энергия (I ² t)
T4	N=36 S=50 H=70 L=120 V=200	20	4	327184
		32-80	6	736164
		100-250	10*	2044900

* с автоматическими выключателями типа T4N можно использовать кабель 6 мм², с изоляцией из этиленпропиленового каучука (EPR)

2 Защита фидеров

Автоматический выключатель			Фазный проводник Изоляция ПВХ		Фазный проводник Изоляция EPR	
Тип	I _{cu} (кА)	Номинальный ток (А)	Фазный проводник (мм ²)	Макс. энергия (I ² t)	Фазный проводник (мм ²)	Макс. энергия (I ² t)
T5	N=36 S=50	320-630	16	3385600	16	5234944
T5	H=70 L=120 V=200	320-630	25	8265625		

Автоматический выключатель			Фазный проводник Изоляция ПВХ		Фазный проводник Изоляция EPR	
Тип	I _{cu} (кА)	Номинальный ток (А)	Фазный проводник (мм ²)	Макс. энергия (I ² t)	Фазный проводник (мм ²)	Макс. энергия (I ² t)
T6	N=36 S=50 H=70 L=100	630*	35	16200625	35	25050025
		800**	50	33062500		
		1000**				

* с автоматическими выключателями типа T6N (I_{cu}=36 кА) можно использовать кабель 25 мм², с изоляцией из этиленпропиленового каучука (EPR)

** с автоматическими выключателями типа T6N (I_{cu}=36 кА) можно использовать кабель 35 мм², с изоляцией ПВХ

Автоматический выключатель			Фазный проводник Изоляция ПВХ		Фазный проводник Изоляция EPR	
Тип	I _{cu} (кА)	Номинальный ток (А)	Фазный проводник (мм ²)	Макс. энергия (I ² t)	Фазный проводник (мм ²)	Макс. энергия (I ² t)
T7	S=50 H=70 V=150	400-1250	50	33062500	50*	51122500
T7	L=120	400-1600	70	64802500	50	51122500

* с автоматическими выключателями типа T7S (I_{cu}=50 кА) можно использовать кабель 35 мм², с изоляцией из этиленпропиленового каучука (EPR)

2 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 Ом·мм²/м, равное:
 - 0,018 для меди;
 - 0,027 для алюминия;
- L - длина защищенного проводника [м];
- S - поперечное сечение проводника [мм²];
- k_{sec} - поправочный коэффициент, учитывающий реактивное сопротивление кабеля с поперечным сечением более 95 мм²:

S [мм ²]	120	150	185	240	300
k_{sec}	0,9	0,85	0,80	0,75	0,72

- k_{par} - поправочный коэффициент для параллельных проводников:

кол - во параллельных проводников	2	3	4	5
k_{par}^*	2	2,7	3	3,2

* $k_{par} = 4 \cdot (n-1)/n$, где: n = число параллельных проводников в каждой фазе,

- 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:

$$I_{kmin} > 1,2 \cdot I_3 \quad (3)$$

где:

- I_3 - это ток уставки, при котором срабатывает магнитная защита автоматического выключателя;
- 1,2 - допустимое отклонение порога срабатывания.

2 Защита фидеров

Пример

Выбор автоматического выключателя СВ1

Параметры системы:

Номинальное напряжение 400 В

$I_k = 30$ кА

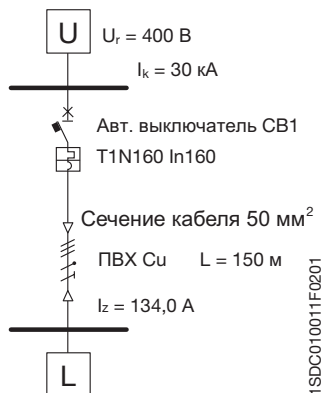
Параметры кабеля:

Медный проводник с изоляцией ПВХ

Длина $L = 150$ м

Поперечное сечение кабеля $S = 50$ мм²

$I_z = 134$ А



Защита от короткого замыкания в начале провода

$T1N160 In = 160$ (отключающая способность 36 кА при 400 В)

I^2t (при 30 кА) = $7,5 \cdot 10^{-1}$ (кА)²с (по кривым удельной сквозной энергии, см. том 1 раздел 3.4)

$k^2S^2 = 115^2 \cdot 50^2 = 3,31 \cdot 10^1$ (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 ($k_{sec}=1$ и $k_{par}=1$) составляет:

$$I_{kmin} = \frac{0,8 \cdot U \cdot k_{sec} \cdot k_{par}}{1,5 \cdot \rho \cdot \frac{2L}{S}} = 1,98 \text{ кА}$$

Магнитная уставка автоматического выключателя T1N160 In 160 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 Оммм²/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.

2 Защита фидеров

Таблица 3: Максимальная защищаемая длина [м]

I ₃ [A]	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			

2 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] (трехфазная величина)	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:

$$\text{если } S = S_N \rightarrow k_d = 0,58;$$

$$\text{если } S = 2 \cdot S_N \rightarrow k_d = 0,39.$$

Поправочный коэффициент для алюминиевых проводников: k_r

Если кабель из алюминия, умножьте значение длины, взятой из вышеприведенной таблицы, на поправочный коэффициент $k_r = 0,67$.

2 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:

$$L = L_0 k_v k_d k_r$$

Пример 1

Сосредоточенная нейтраль

Номинальное напряжение = 400 В.

Защитное устройство: T2N160 TMD In100

Магнитная уставка: $I_3 = 1000$ А

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: T3S250 TMD In200

Магнитная уставка: $I_3 = 2000$ А

Поперечное сечение фазного проводника = 300 мм²

Поперечное сечение нейтрального проводника = 150 мм²

Для $I_3 = 2000$ А 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.

2 Защита фидеров

2.5 Нейтральный и защитный проводники

Нейтральный проводник

Нейтральный проводник – это проводник, соединенный с нейтральной точкой системы (которая обычно, но не обязательно, 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 расцепления 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.

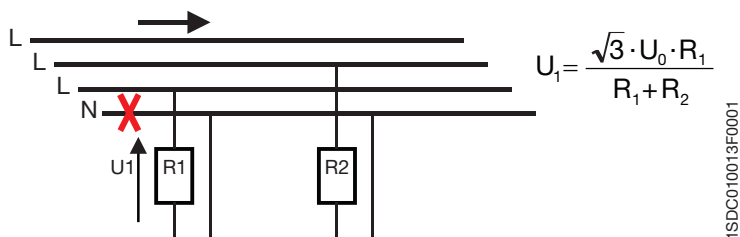


Рисунок 1: Обрыв нейтрального проводника

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.

2 Защита фидеров

Системы TT 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 не обязательно 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.

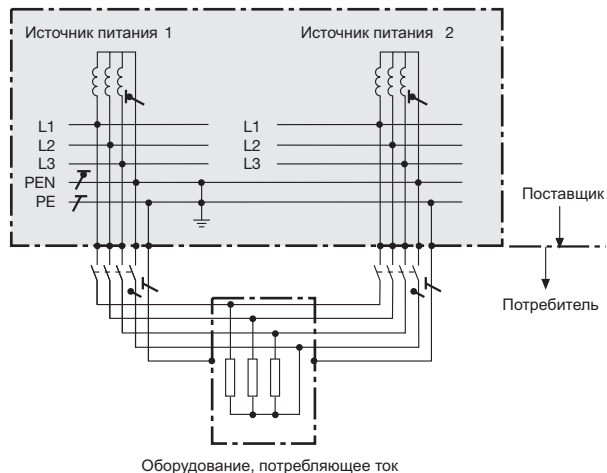
В системах TN-S нет необходимости в отсоединении нейтрали, если условия питания таковы, что нейтральный проводник может считаться надежно присоединенным к потенциалу земли.

Как было упомянуто выше, в системах TN-C 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).

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.

Рисунок 2: Трехфазная система с резервным источником питания с 4-х полюсным выключателем

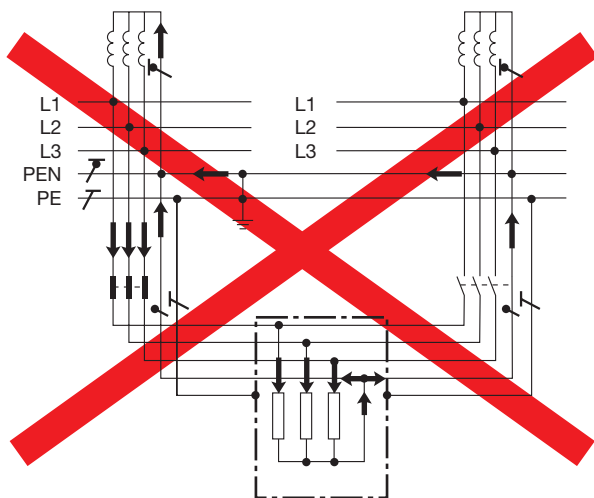


1SDC010012F0201

2 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



1SDC010014FC001

Система IT:

Стандарт не рекомендует установку 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).

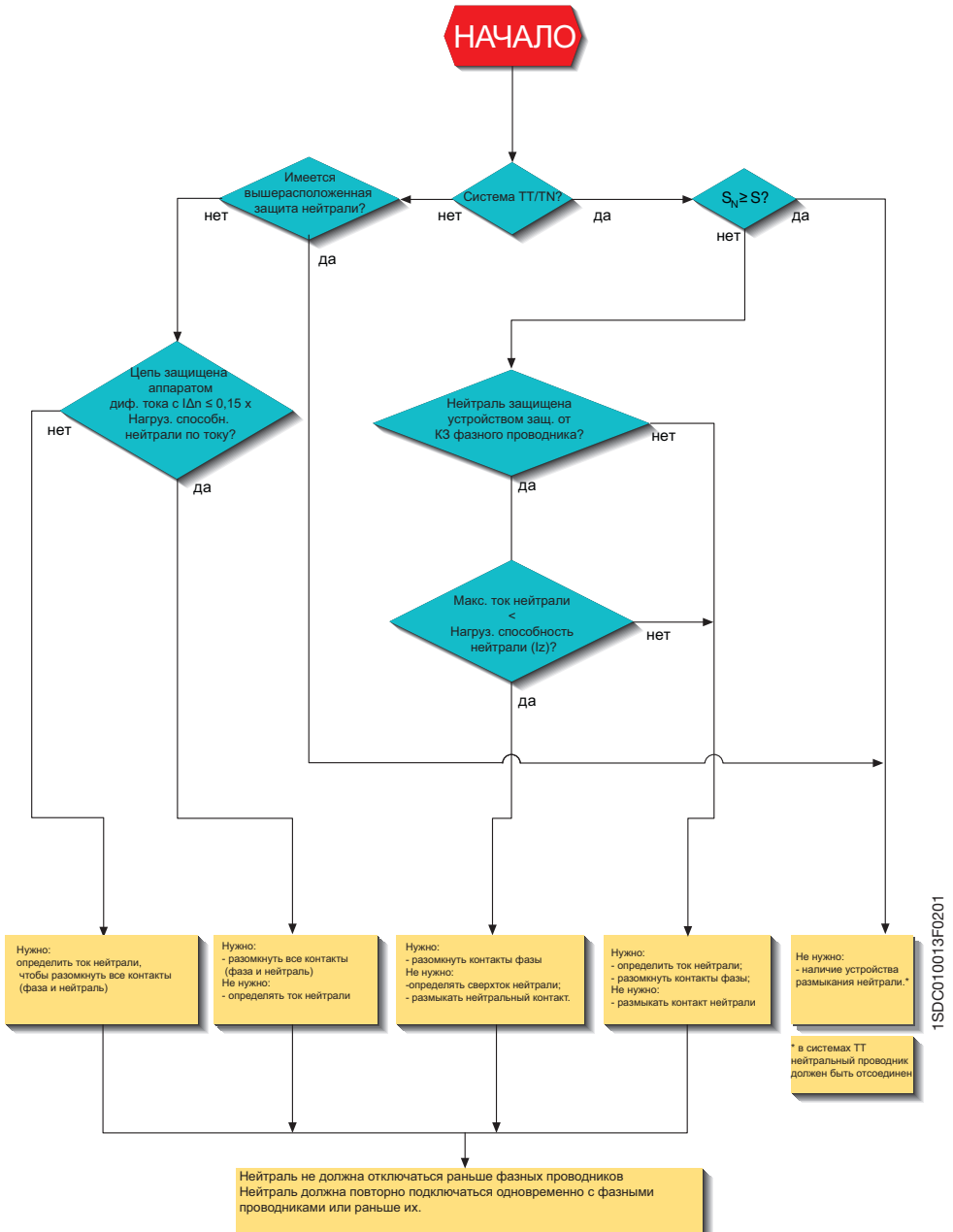
Нет необходимости контроля сверхтоков в нейтральном проводнике в следующих случаях:

- нейтральный проводник защищен от короткого замыкания вышерасположенным защитным устройством;
- цепь защищена устройством дифференциального тока с номинальным дифференциальным током, составляющим $0,15 \times I_n \cdot N$ в сравнении с 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.

2 Защита фидеров



2 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 [мм ²]	Мин. поперечное сеч. нейтрали S _N [мм ²]
Однофазные/двухфазные цепи		
Cu/Al	Любое	S*
Трехфазные цепи		
Cu	S ≤ 16	S*
	S > 16	16
Трехфазные цепи		
Al	S ≤ 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 должно быть определено в соответствии с предписаниями раздела 2.2.1. «Нагрузочная способность и способы прокладки».

2 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 [мм ²]	Минимальное поперечное сечение соответствующего защитного проводника [мм ²]	
	Если защитный и линейный проводники выполнены из одного материала	Если защитный и линейный проводники выполнены из разных материалов
$S \leq 16$	S	$\frac{k_1}{k_2} \cdot S$
$16 < S \leq 35$	16^*	$\frac{k_1}{k_2} \cdot 16$
$S > 35$	$\frac{S}{2}^*$	$\frac{k_1}{k_2} \cdot \frac{S}{2}$

Где
 k_1 – значение k для линейного проводника, выбранное из Таблицы 1 главы 2.4 в соответствии с материалами проводника и изолятора;
 k_2 – значение k для защитного проводника.
 * Для проводника PEN допускается уменьшение сечения только в соответствии с правилами определения размеров нейтрального проводника.

1SDCO10014F0201

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];

2 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 провода	Температура °C ^b		Материал проводника		
	Начальная	Конечная	Медь	Алюминий	Сталь
			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
90 °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 мм.²
^b Температурные пределы для разных типов изоляции приведены в МЭК 60724.

1SDC010015F0201

Таблица 4: Значения k для защитных проводников в виде жилы, встроенной в кабель или связанной с другими кабелями, или изолированных проводников

Изоляция проводника	Температура °C ^b		Материал проводника		
	Начальная	Конечная	Медь	Алюминий	Сталь
			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
90 °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 мм.²
^b Температурные пределы для разных типов изоляции приведены в МЭК 60724.

1SDC010015F0201

2 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 мм² Cu/16 мм² Al при обеспечении защиты от механических повреждений;
- 4 мм² Cu/16 мм² 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 мм² Cu или 16 мм² 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 мм² Cu или 16 мм² 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.

2 Защита фидеров

2.6 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 60439 - 1 «Низковольтные комплектные устройства – Часть 1: Устройства, испытанные полностью и частично» (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 $\cos\phi$, а также тип нагрузок, подача питания к которым осуществляется посредством одной и той же системы сборных шин.

2 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	20	25	30	35	40	45	50
k_t	1,2	1,17	1,12	1,08	1,05	1	0,95	0,85

2 Защита фидеров

Примечание: В нижеприведенных таблицах указаны типичные параметры систем сборных шин, имеющихся на рынке

Таблица 2: Нагрузочная способность I_{20} медных систем сборных шин

Типоразмер	Обобщенный тип	Количество проводников	I_{20} [A]	r_{ph}^* [мОм/м]	x_{ph} [мОм/м]	U_r [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

* Здесь и далее индекс r_{ph} относится к фазным шинам, сопротивление фазы приведено для значения I_{20} .

2 Защита фидеров

Типоразмер	Обобщенный тип	Количество проводников	I_{z0} [A]	r_{ph}^* [мОм/м]	x_{ph} [мОм/м]	U_r [В]
800	800А 4 пров. Си	4	800	0,047	0,122	1000
800	800А 5 пров. Си	5	800	0,047	0,122	1000
800	800А 4 пров. Си	4	800	0,038	0,027	1000
800	800А 4 пров. Си	4	800	0,072	0,122	500
800	800А 5 пров. Си	5	800	0,072	0,122	500
1000	1000А 4 пров. Си	4	1000	0,038	0,120	1000
1000	1000А 5 пров. Си	5	1000	0,038	0,120	1000
1000	1000А 4 пров. Си	4	1000	0,037	0,026	1000
1000	1000А 4 пров. Си	4	1000	0,038	0,097	1000
1000	1000А 4 пров. Си	4	1000	0,068	0,120	500
1000	1000А 5 пров. Си	5	1000	0,068	0,120	500
1200	1200А 4 пров. Си	4	1200	0,035	0,021	1000
1250	1250А 4 пров. Си	4	1250	0,034	0,023	1000
1250	1250А 4 пров. Си	4	1250	0,035	0,076	1000
1500	1500А 4 пров. Си	4	1500	0,030	0,022	1000
1600	1600А 4 пров. Си	4	1600	0,025	0,018	1000
1600	1600А 4 пров. Си	4	1600	0,034	0,074	1000
2000	2000А 4 пров. Си	4	2000	0,020	0,015	1000
2000	2000А 4 пров. Си	4	2000	0,025	0,074	1000
2400	2400А 4 пров. Си	4	2400	0,019	0,012	1000
2500	2500А 4 пров. Си	4	2500	0,016	0,011	1000
2500	2500А 4 пров. Си	4	2500	0,019	0,040	1000
3000	3000А 4 пров. Си	4	3000	0,014	0,011	1000
3000	3000А 4 пров. Си	4	3000	0,017	0,031	1000
3200	3200А 4 пров. Си	4	3200	0,013	0,009	1000
3200	3200А 4 пров. Си	4	3200	0,015	0,031	1000
4000	4000А 4 пров. Си	4	4000	0,011	0,007	1000
4000	4000А 4 пров. Си	4	4000	0,011	0,026	1000
5000	5000А 4 пров. Си	4	5000	0,008	0,005	1000
5000	5000А 4 пров. Си	4	5000	0,008	0,023	1000

*Спротивление фазы при I_{z0}

2 Защита фидеров

Таблица 3: Нагрузочная способность I_{z0} алюминиевых систем сборных шин

Типоразмер	Обобщенный тип	Количество проводников	I_{z0} [A]	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

2 Защита фидеров

Типоразмер	Обобщенный тип	Количество проводников	I_{z0} [A]	r_{ph}^* [мОм/м]	x_{ph} [мОм/м]	U_r [В]
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

*Сопrotивление фазы при I_{z0}

2 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. Должна выполняться следующая формула:

$$I_b \leq I_n \leq I_z \quad (3)$$

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.

ПРИМЕЧАНИЕ

- Не требуется проводить проверку защиты от короткого замыкания, если размеры модульных автоматических выключателей до 63 А 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.

Защита от короткого замыкания.

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:

$$I^2 t_{CB} \leq I^2 t_{BTS} \quad (4)$$

где:

- $I^2 t_{CB}$ – удельная сквозная энергия (интеграл Джоуля) автоматического выключателя при максимальном значении тока короткого замыкания в точке установки. Это значение можно получено методом экстраполяции по графикам, показанным в томе 1, раздел 3.4;
- $I^2 t_{BTS}$ – энергия, которую система BTS выдерживает без повреждения, обычно указывается производителем (см. Таблицы 4 и 5).

Защита от электродинамических явлений

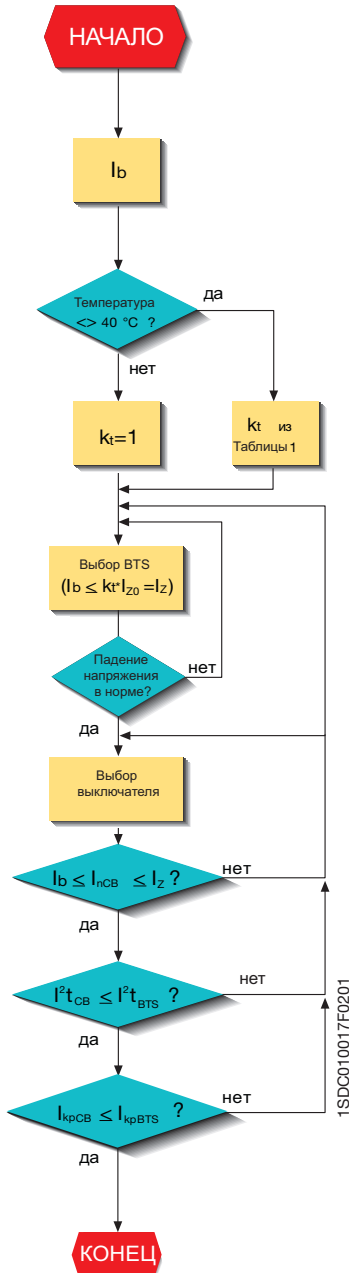
Должно выполняться следующее условие:

$$I_{кр CB} \leq I_{кр BTS} \quad (5)$$

где:

- $I_{кр CB}$ – пиковый ток, ограниченный автоматическим выключателем при максимальном значении тока короткого замыкания в точке установки. Это значение может быть получено методом экстраполяции из графиков ограничения;
- $I_{кр BTS}$ – максимальное пиковое значение тока системы сборных шин (BTS) (см. Таблицы 4 и 5).

2 Защита фидеров



2 Защита фидеров

Таблица 4: Значения энергии, выдерживаемой без повреждений, и пикового тока для медных систем BTS

Типоразмер	Обобщенный тип	I_{ph}^{2t} [(кА) ² с]	I_N^{2t} [(кА) ² с]	I_{PE}^{2t} [(кА) ² с]	I_{peakph} [кА]	I_{peakN} [кА]
25	25А 4 пров. Cu	0,48	0,48	0,48	10	10
25	25А 4 пров. Cu	0,64	0,64	0,64	10	10
25	25А 4+4 пров. Cu	0,64	0,64	0,64	10	10
40	40А 4 пров. Cu	0,73	0,73	0,73	10	10
40	40А 4 пров. Cu	1	1	1	10	10
40	40А 4+4 пров. Cu	1	1	1	10	10
40	40А 4 пров. Cu	7,29	7,29	7,29	10	10
63	63А 4 пров. Cu	7,29	7,29	7,29	10	10
100	100А 4 пров. Cu	20,25	20,25	20,25	10	10
160	160А 4 пров. Cu	30,25	30,25	30,25	10	10
160	160А 4 пров. Cu	100	60	60	17	10,2
160	160А 5 пров. Cu	100	100	100	17	10,2
160	160А 4 пров. Cu	100	100	100	17	10,2
250	250А 4 пров. Cu	312,5	187,5	187,5	52,5	31,5
250	250А 5 пров. Cu	312,5	312,5	312,5	52,5	31,5
250	250А 4 пров. Cu	169	101,4	101,4	26	15,6
250	250А 5 пров. Cu	169	169	169	26	15,6
250	250А 4 пров. Cu	169	169	169	26	15,6
315	315А 4 пров. Cu	312,5	187,5	187,5	52,5	31,5
315	315А 5 пров. Cu	312,5	312,5	312,5	52,5	31,5
350	350А 4 пров. Cu	169	101,4	101,4	26	15,6
350	350А 5 пров. Cu	169	169	169	26	15,6
350	350А 4 пров. Cu	169	169	169	26	15,6
400	400А 4 пров. Cu	900	540	540	63	37,8
400	400А 5 пров. Cu	900	900	900	63	37,8
500	500А 4 пров. Cu	756,25	453,75	453,75	58	34,8
500	500А 5 пров. Cu	756,25	756,25	756,25	58	34,8
500	500А 4 пров. Cu	756,25	756,25	756,25	58	34,8
630	630А 4 пров. Cu	1296	777,6	777,6	75,6	45,4
630	630А 5 пров. Cu	1296	1296	1296	75,6	45,4
700	700А 4 пров. Cu	756,25	453,75	453,75	58	34,8
700	700А 5 пров. Cu	756,25	756,25	756,25	58	34,8
700	700А 4 пров. Cu	756,25	756,25	756,25	58	34,8

2 Защита фидеров

Типоразмер	Обобщенный тип	$I_{2t_{ph}}^2$ [(кА) ² с]	$I_{2t_N}^2$ [(кА) ² с]	$I_{2t_{PE}}^2$ [(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

2 Защита фидеров

Таблица 5: Значения энергии, выдерживаемой без повреждения, и пикового тока для алюминиевых систем ВТS

Типоразмер	Обобщенный тип	$I_{ph}^2 t_{ph}$ [(кА) ² с]	$I_N^2 t_N$ [(кА) ² с]	$I_{PE}^2 t_{PE}$ [(кА) ² с]	I_{reakph} [кА]	I_{reakN} [кА]
160	160А 4 пров. Al	112,5	67,5	67,5	30	18
160	160А 5 пров. Al	112,5	112,5	112,5	30	18
160	160А 4 пров. Al	100	60	60	17	10,2
160	160А 5 пров. Al	100	100	100	17	10,2
160	160А 4 пров. Al	100	100	100	17	10,2
250	250А 4 пров. Al	312,5	187,5	187,5	52,5	31,5
250	250А 5 пров. Al	312,5	312,5	312,5	52,5	31,5
250	250А 4 пров. Al	169	101,4	101,4	26	15,6
250	250А 5 пров. Al	169	169	169	26	15,6
250	250А 4 пров. Al	169	169	169	26	15,6
315	315А 4 пров. Al	625	375	375	52,5	31,5
315	315А 5 пров. Al	625	625	625	52,5	31,5
315	315А 4 пров. Al	169	101,4	101,4	26	15,6
315	315А 5 пров. Al	169	169	169	26	15,6
315	315А 4 пров. Al	169	169	169	26	15,6
400	400А 4 пров. Al	900	540	540	63	37,8
400	400А 5 пров. Al	900	900	900	63	37,8
400	400А 4 пров. Al	625	375	375	52,5	31,5
400	400А 5 пров. Al	625	625	625	52,5	31,5
400	400А 4 пров. Al	625	625	625	52,5	31,5
500	500А 4 пров. Al	625	375	375	52,5	31,5
500	500А 5 пров. Al	625	625	625	52,5	31,5
500	500А 4 пров. Al	625	625	625	52,5	31,5
630	630А 4 пров. Al	1296	777,6	777,6	75,6	45,4
630	630А 5 пров. Al	1296	1296	1296	75,6	45,4
630	630А 4 пров. Al	1444	1444	866,4	80	48
630	630А 4 пров. Al	1024	614,4	614,4	67,5	40,5
630	630А 5 пров. Al	1024	1024	1024	67,5	40,5

2 Защита фидеров

Типоразмер	Обобщенный тип	$I_{2t_{ph}}^2$ [(кА) ² с]	$I_{2t_N}^2$ [(кА) ² с]	$I_{2t_{PE}}^2$ [(кА) ² с]	I_{peakph} [кА]	I_{peakN} [кА]
630	630А 4 пров. АІ	1024	1024	1024	67,5	40,5
800	800А 4 пров. АІ	1296	777,6	777,6	75,6	45,4
800	800А 5 пров. АІ	1296	1296	1296	75,6	45,4
800	800А 4 пров. АІ	1764	1764	1058,4	88	52,8
800	800А 4 пров. АІ	1024	614,4	614,4	67,5	40,5
800	800А 5 пров. АІ	1024	1024	1024	67,5	40,5
800	800А 4 пров. АІ	1024	1024	1024	67,5	40,5
1000	1000А 4 пров. АІ	6400	6400	3840	176	105,6
1000	1000А 4 пров. АІ	1600	1600	960	84	50,4
1200	1200А 4 пров. АІ	6400	6400	3840	176	105,6
1250	1250А 4 пров. АІ	6400	6400	3840	176	105,6
1250	1250А 4 пров. АІ	2500	2500	1500	105	63
1500	1500А 4 пров. АІ	6400	6400	3840	176	105,6
1600	1600А 4 пров. АІ	6400	6400	3840	176	105,6
1600	1600А 4 пров. АІ	2500	2500	1500	105	63
2000	2000А 4 пров. АІ	6400	6400	3840	176	105,6
2000	2000А 4 пров. АІ	3600	3600	2160	132	79,2
2250	2250А 4 пров. АІ	4900	4900	2940	154	92,4
2400	2400А 4 пров. АІ	25600	25600	15360	352	211,2
2500	2500А 4 пров. АІ	25600	25600	15360	352	211,2
2500	2500А 4 пров. АІ	8100	8100	4860	198	118,8
3000	3000А 4 пров. АІ	25600	25600	15360	352	211,2
3200	3200А 4 пров. АІ	25600	25600	15360	352	211,2
3200	3200А 4 пров. АІ	8100	8100	4860	198	118,8
4000	4000А 4 пров. АІ	25600	25600	15360	352	211,2
4000	4000А 4 пров. АІ	8100	8100	4860	198	118,8
4500	4500А 4 пров. АІ	10000	10000	6000	220	132

2 Защита фидеров

Защита отходящих фидеров

Если отходящий фидер, который обычно состоит из отводящего кожуха, 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;
- с) рядом нет воспламеняющихся материалов.

Во взрывоопасной и пожароопасной среде защита от короткого замыкания всегда необходима.

- защита от перегрузки:

нагрузочная способность фидера обычно ниже таковой у системы BTS. Таким образом, защита фидера от перегрузки также необходима.

Защитное устройство от перегрузки может быть установлено внутри проходного щитка или на вводной панели.

В последнем случае защита от перегрузки может также осуществляться автоматическим выключателем, защищающим единичный отходящий фидер, только если сумма их номинальных токов ниже или равна нагрузочной способности I_z отходящего фидера.

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:

2 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	Нагрузка сконцентрирована на концах	0,25
	Нагрузка распределена равномерно	0,125

- I_b - ток нагрузки [А];
- L – длину 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.

Процентное значение падения напряжения, полученное из:

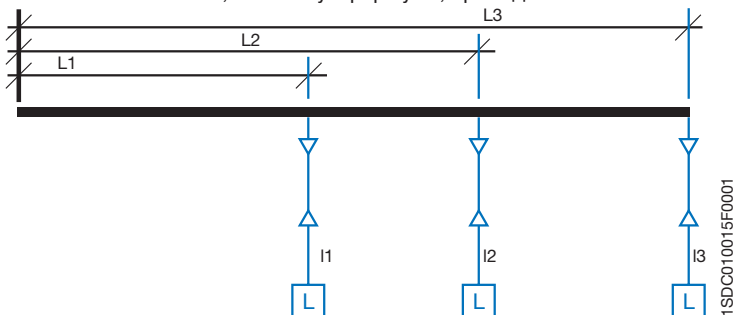
$$\Delta u\% = \frac{\Delta u}{U_r} \cdot 100\% \quad (7)$$

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, падение напряжения может быть рассчитано более точно, используя формулы, приведенные ниже.



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):

$$\Delta u = \sqrt{3} [r_t (I_1 L_1 \cos\varphi_1 + I_2 L_2 \cos\varphi_2 + I_3 L_3 \cos\varphi_3) + x (I_1 L_1 \sin\varphi_1 + I_2 L_2 \sin\varphi_2 + I_3 L_3 \sin\varphi_3)]$$

2 Защита фидеров

По существу, эта формула принимает вид:

$$\Delta u = \frac{\sqrt{3} r_t \cdot \sum I_i \cdot L_i \cdot \cos \varphi_{mi} + x \cdot \sum I_i \cdot L_i \cdot \sin \varphi_{mi}}{1000} \text{ [V]} \quad (8)$$

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 – расстояние до i -ой нагрузки от начала системы сборной шины [м].

Потери за счет эффекта Джоуля

Потери за счет эффекта Джоуля происходят вследствие наличия у систем BTS электрического 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:

$$P_j = \frac{3 \cdot r_t \cdot I_b^2 \cdot L}{1000} \text{ [Вт]} \quad (9a)$$

Потери в однофазных системах:

$$P_j = \frac{2 \cdot r_t \cdot I_b^2 \cdot L}{1000} \text{ [Вт]} \quad (9b)$$

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			$P_{tot}=P_1+P_2+P_3$

3 Защита электрического оборудования

3.1 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; так же 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

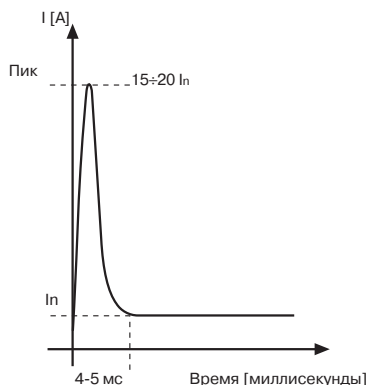
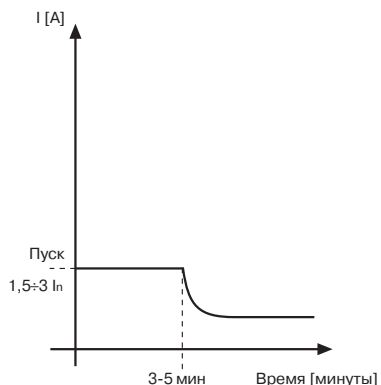


График пускового тока



1SDC010003F0901

Наиболее распространенными являются лампы следующих типов:

- лампы накаливания;
- галогенные;
- люминесцентные;
- разрядные высокой интенсивности: ртутные, галоидные 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.

3 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 (дроссель); 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 регулируемыми 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.

3 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.

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.

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 высокой интенсивности	Без конденсатора	-	2In	2 ÷ 8 мин
	С конденсатором	20In	2In	2 ÷ 8 мин

Приборы коммутации и защиты

Стандарт МЭК 60947-4-1 (ГОСТ Р 50030.4.1) определяет две особые категории применения для контакторов управления лампами:

- АС-5а включение электрических разрядных ламп;
- АС-5b включение ламп накаливания.

Документация, прилагаемая производителем, содержит таблицы для выбора контакторов в соответствии с количеством контролируемых ламп и их типом.

3 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.

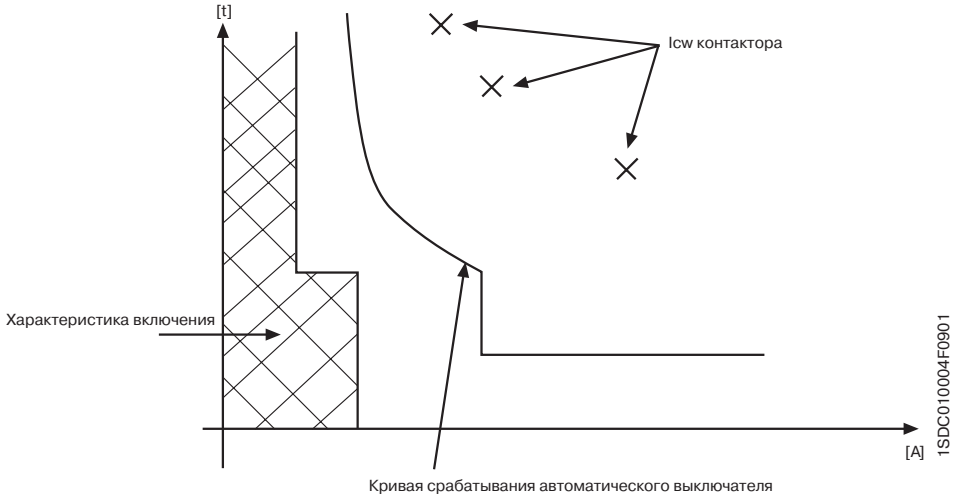
(*) Для расчета смотрите Приложение В: Расчет тока нагрузки I_b

Таблица 1: Лампы накаливания и галогенные лампы

U _n = 400 В		I _k = 15 кА					
Лампа накаливания/галогенная лампа							
Тип автоматического выключателя		S200P D20	S200P D20	S200P D25	S200P D32	S200P D50	
Уставка PR221 DS		----	----	----	----	----	
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	

3 Защита электрического оборудования

Рисунок 1: Приблизительный пример координации ламп с защитными и коммутационными устройствами



T2N160 In63	T2N160 In63	T2N160 In100	T2N160 In100	T2N160 In100	T2N160 In160
L= 0,68- A S= 8- B	L= 0,92- A S= 10- B	L= 0,68- A S= 8- B	L= 0,76- A S= 8- B	L= 1- A S= 10- B	L= 0,68- A S= 7- B
A40	A50	A63	A75	A95	A110
Кол-во 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

1SDCC010032F0201

3 Защита электрического оборудования

Таблица 2: Люминесцентные лампы

U _r = 400 В		k= 15 кА					
Люминесцентная лампа без конденсатора							
Тип автоматического выключателя		S200P D16	S200P D20	S200P D20	S200P D32	S200P D40	
Уставка PR221 DS							
Тип контактора		A26	A26	A26	A26	A30	
Ном. мощность [Вт]	Ном. ток I _b [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		k= 15 кА					
Люминесцентная лампа с конденсатором PFC							
Тип автоматического выключателя		S200P D25	S200P D25	S200P D32	S200P D40	S200P D63	
Уставка PR221 DS		---	---	---	---	---	
Тип контактора		A26	A26	A26	A26	A30	
Ном. мощность [Вт]	Ном. ток I _b [А]	Конденсатор [мкФ]					
20	0,18	5	83	94	105	155	215
40	0,26	5	58	65	75	107	150
65	0,42	7	35	40	45	66	92
80	0,52	7	28	32	36	53	74
100	0,65	16	23	26	29	43	59
110	0,7	18	21	24	27	40	55

3 Защита электрического оборудования

S200P D50	S200P D63	T2N160 In100	T2N160 In100	T2N160 In100	T2N160 In160
		L= 0,68- A S= 10- B	L= 0,76- A S= 10- B	L= 0,96- A- S= 10- B	S= 0,68- A S= 10- B
A40	A50	A63	A75	A95	A110
Кол-во 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

1SDC010033F0201

T2N160 In63	T2N160 In63	T2N160 In100	T2N160 In100	T2N160 In100
L= 0,68- A S= 8- B	L= 1- A S= 10- B	L= 0,68- A S= 10- B	L= 0,76- A S= 10- B	L= 0,96- A S= 10- B
A40	A50	A63	A75	A95
Кол-во ламп на фазу				
233	335	360	400	530
160	230	255	280	365
100	142	158	173	225
80	115	126	140	180
64	92	101	112	145
59	85	94	104	135

3 Защита электрического оборудования

Таблица 3: Разрядные лампы высокой интенсивности

U _r = 400 В		I _k = 15 кА					
Разрядные лампы без конденсатора							
Тип выключателя		S200P D16	S200P D20	S200P D20	S200P D32	S200P D40	
Уставки PR221 DS							
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 выключателя		S200P D16	S200P D20	S200P D20	S200P D32	S200P D40	
Уставки PR221 DS		---	---	---	---	---	
Тип контактора		A26	A26	A26	A26	A30	
Ном. мощность [Вт]	Номинальный 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

3 Защита электрического оборудования

	S200P D40	S200P D50	S270 D63	T2N160 In100	T2N160 In100	T2N160 In160
				L= 0,8- B S= 6,5- B	L= 1- B S= 8- B	L= 0,8- B S= 6,5- B
	A40	A50	A63	A75	A95	A110
Кол-во 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	T2N160 In100	T2N160 In100	T2N160 In100	T2N160 In160	T2N160 In160
	---	L= 0,8- B S= 6,5- B	L= 0,88- B S= 6,5- B	L= 1- B S= 6,5- B	L= 0,84- B S= 4,5- B	L= 0,88- B S= 4,5- B
	A40	A50	A63	A75	A95	A110
Кол-во 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

1SDC010034F0201

Пример:

Коммутация и защита осветительной системы, питаемой от трехфазной сети с параметрами $U_{г} = 400 \text{ В}$, $I_{к} = 15 \text{ кА}$, 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 АВВ Tmax T2N160 In63 с электронным расцепителем PR221/DS; с защитой L, установленной на 0,92; кривой А и защитой S, установленной на 10; кривой В;
- контактор А50.

3 Защита электрического оборудования

3.2 Защита и коммутация генераторов

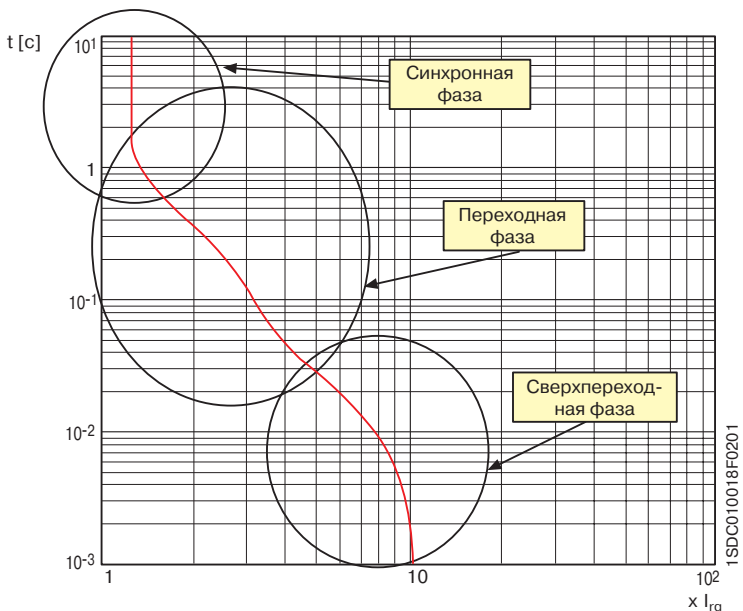
Увеличивающаяся потребность в бесперебойном электроснабжении привела к учащению использования генераторов аварийного питания, в качестве как резервных, так и параллельных с электросетью общего пользования.

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).



3 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 термомагнитными расцепителями: низкая магнитная уставка срабатывания: $I_3 = (2,5 \div 3) \cdot I_{rn}$;
- 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):

$$I_3 \geq I_{kg}$$

3 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 (МССВ) могут быть оснащены как термомангнитными расцепителями (ТМГ), так и электронными расцепителями.

Таблица 1 *

400 В

S ₁₀ [кВа]	MCB	MCCB	ACB
4	S200 B6	T2 160	
6	S200 B10		
7	S200 B13		
9	S200 B16		
11	S200 B25		
14	S200 B32		
17	S200 B50		
19	S200 B63		
21	S280 B80		
22	S280 B100		
28			
31			
35			
38			
42			
44			
48			
55			
69			
80			
87			
100			
111			
138			
159	T3 250 T4 250		
173			
180			
190	T4 320		
208			
218			
242	T5 400		
277			
308			
311	T5 630		
346			
381			
415			
436			
484			
554			
692			
727			
865			
1107			
1730			
2180			
2214			
2250			
2500			
2800			
3150			
3500			
		T3 250 T4 250	
		T4 320	
		T5 400	
		T5 630	X1 630
		T6 800	X1 800
		T7 1000	X1 1000**
		T7 1250	X1 1250**
		T7 1600	X1 1600**
			E3 2500
			E3 3200
			E4 4000
			E6 5000
			E6 6300

Таблица 2

440 В

S ₁₀ [кВа]	MCB	MCCB	ACB
4	S200 B6	T2 160	
6	S200 B8		
7	S200 B10		
9	S200 B13		
11	S200 B16		
14	S200 B20		
17	S200 B25		
19	S200 B32		
21	S200 B40		
22	S200 B50		
28	S200 B63		
31	S280 B80		
35	S280 B100		
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			
		T3 250 T4 250	
		T4 320	
		T5 400	
		T5 630	X1 630
		T6 800	X1 800**
		T7 1000	X1 1000**
		T7 1250	X1 1250**
		T7 1600	X1 1600**
			E3 2500
			E3 3200
			E4 3600
			E4 4000
			E6 5000

1SDC010016F0001

* В Таблицах с 1 по 4: MCB - миниатюрные (модульные) автоматические выключатели; MCCB - автоматические выключатели в литом корпусе; ACB - воздушные автоматические выключатели.

** Для данного применения можно также использовать автоматический выключатель серии Emax типа E1.

3 Защита электрического оборудования

Таблица 3

500 В

S _{ог} [кВА]	MCB	MCCB	ACB
4		T2 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			
		T3 250 T4 250	
		T4 320	
		T5 400	
		T5 630	X1 630
		T6 800	X1 800**
		T7 1000	X1 1000**
		T7 1600	X1 1600**
			E2 2000
			E3 3200
			E4 4000
			E6 5000

Таблица 4

690 В

S _{ог} [кВА]	MCB	MCCB	ACB
4		T2 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			
		T3 250 T4 250	
		T4 320	
		T5 400	
		T5 630	X1 630
		T6 800	X1 800**
		T7 1000	X1 1000**
		T7 1600	X1 1600**
			E2 2000
			E3 2500
			E3 3200

1SDC010017F0001

** Для данного применения можно также использовать автоматический выключатель серии Emax типа E1.

3 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)

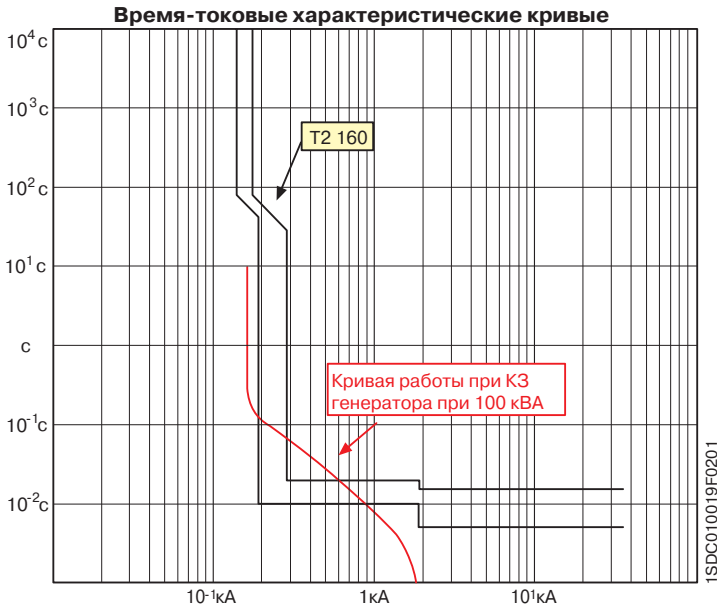
$T''_d = 5,5$ мс (сверхпереходная постоянная времени)

$T'_d = 39,3$ мс (переходная постоянная времени)

Из Таблицы 2 выбираем автоматический выключатель АББ серии Tmax T2N160 с $I_n = 160$ А, с электронным расцепителем PR221-LS. Для правильной защиты генератора должны быть заданы следующие уставки:

функция L: $0,84 \cdot I_n - A$, соответствующая 134,4 А, значение выше, чем I_{rg}

функция I: $1,5 \cdot I_n$



3 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.

3 Защита электрического оборудования

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.

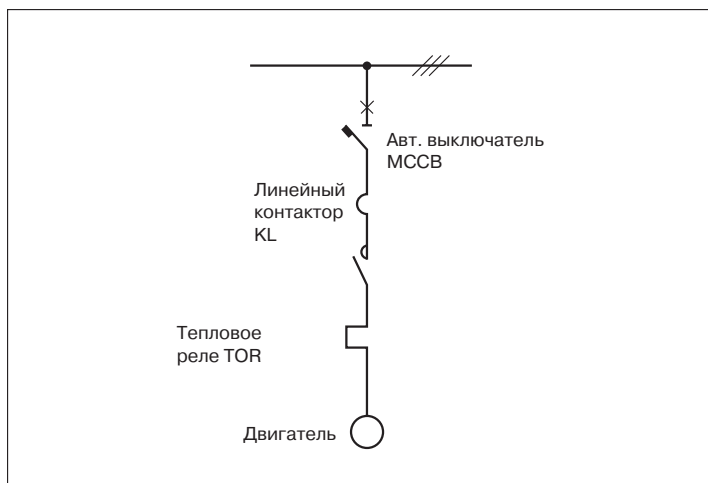
Методы пуска

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 серией недостатков, включая, например:

- высокое потребление тока и соответствующее падение напряжения, что может повредить другим частям системы, подключенным к сети;
- интенсивное ускорение, которое оказывает негативное влияние на компоненты механических передач (ремни, цепи, механические соединения и т.д.), сокращая срок их службы.



3 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-Δ), который:

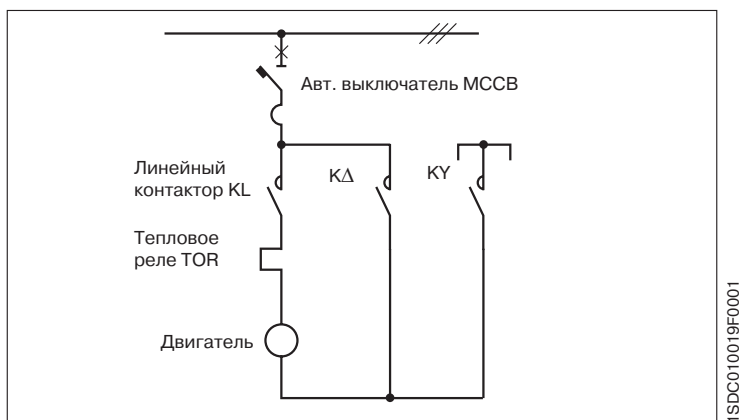
- при пуске обмотки статора соединяет «звездой», таким образом обеспечивая уменьшение пикового значения пускового тока;
- как только двигатель развивает нормальную скорость, происходит переключение на схему «треугольник».

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».

3 Защита электрического оборудования

Тепловое реле TOR, включенное в цепь «треугольника», способно выявить любые токи 3-ей 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» KΔ

$\frac{I_r}{3}$ контактор «звезды» KY

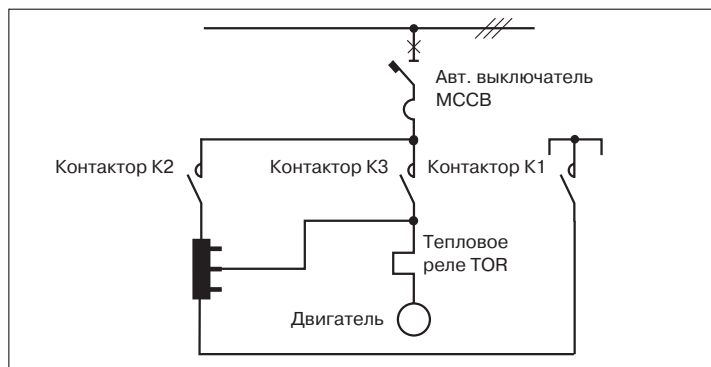
$\frac{I_r}{\sqrt{3}}$ тепловое реле перегрузки

где I_r – номинальный ток двигателя.

Пуск через автотрансформатор

Пуск через автотрансформатор – это наиболее функциональный метод, используемый для пуска при пониженном напряжении, но так же 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 K2 и K1 замыкаются.

3 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 К3 замыкается. Впоследствии контактор К2 размыкается, исключая автотрансформатор из схемы и обеспечивая полное напряжение питания двигателя.

Пуск с индуктивными реакторами или резисторами

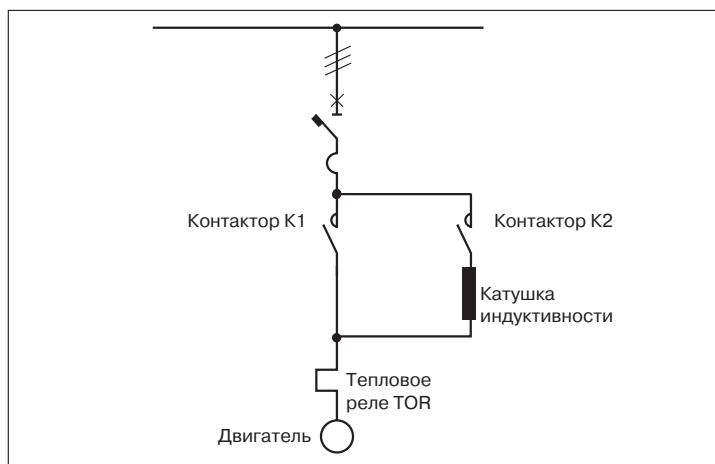
Этот тип пуска используется для двигателей с простыми роторами или роторами с двойной «беличьей клеткой». Снижение напряжения питания достигается путем включения индуктивных реакторов или резисторов последовательно с обмотками статора. При пуске ток ограничивается до величины, кратной $2,5 \div 3,5$ 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 (эффект Джоуля), даже при ограничении времени начальной фазы.

При снижении напряжения двигателя в K ($0,6 \div 0,8$) 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).

3 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 (T_p)
10 A	$2 < T_p \leq 10$
10	$4 < T_p \leq 10$
20	$6 < T_p \leq 20$
30	$9 < T_p \leq 30$

Где T_p – время срабатывания теплового реле из холодного состояния при 7,2-кратном токе уставки (например: расцепитель в классе 10 при значении тока, установленном на 7,2-кратную величину, 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 повреждены. Пускатель в этом случае еще будет выведен из работы и подлежит проверке; при необходимости, 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 сваривание 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 предписаниями 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 PR212MP – контактор.

3 Защита электрического оборудования

Следующие таблицы демонстрируют доступные комбинации оборудования:

**Таблица 3: 400 В 50 кА Прямой пуск Нормальный Тип 2
(Tmax – Контактор – TOR)**

Двигатель		Авт. выключатель в литом корпусе MCCB		Контактор	Тепловое реле перегрузки		
P _e [кВт]	I _r [A]	Тип	I ₃ [A]	Тип	Тип	Уставка тока	
						мин. [A]	макс. [A]
0,37	1,1	T2S160 MF 1.6	21	A9	TA25DU1.4	1	1,4
0,55	1,5	T2S160 MF 1.6	21	A9	TA25DU1.8	1,3	1,8
0,75	1,9	T2S160 MF 2	26	A9	TA25DU2.4	1,7	2,4
1,1	2,8	T2S160 MF 3.2	42	A9	TA25DU4	2,8	4
1,5	3,5	T2S160 MF 4	52	A16	TA25DU5	3,5	5
2,2	5	T2S160 MF 5	65	A26	TA25DU6.5	4,5	6,5
3	6,6	T2S160 MF 8.5	110	A26	TA25DU8.5	6	8,5
4	8,6	T2S160 MF 11	145	A30	TA25DU11	7,5	11
5,5	11,5	T2S160 MF 12.5	163	A30	TA25DU14	10	14
7,5	15,2	T2S160 MA 20	210	A30	TA25DU19	13	19
11	22	T2S160 MA 32	288	A30	TA42DU25	18	25
15	28,5	T2S160 MA 52	392	A50	TA75DU42	29	42
18,5	36	T2S160 MA 52	469	A50	TA75DU52	36	52
22	42	T2S160 MA 52	547	A50	TA75DU52	36	52
30	56	T2S160 MA 80	840	A63	TA75DU80	60	80
37	68	T2S160 MA 80	960	A75	TA75DU80	60	80
45	83	T2S160 MA 100	1200	A95	TA110DU110	80	110
55	98	T3S250 MA 160	1440	A110	TA110DU110	80	110
75	135	T3S250 MA 200	1800	A145	TA200DU175	130	175
90	158	T3S250 MA 200	2400	A185	TA200DU200	150	200
110	193	T4S320 PR221-I In320	2720	A210	E320DU320	100	320
132	232	T5S400 PR221-I In400	3200	A260	E320DU320	100	320
160	282	T5S400 PR221-I In400	4000	A300	E320DU320	100	320
200	349	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	545	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

1SDC010022F0201

3 Защита электрического оборудования

**Таблица 4: 400 В 50 кА Прямой пуск Тяжелый Тип 2
(Tmax – Контактор – TOR)**

Двигатель		Авт. выключатель в литом корпусе MCCB		Контактор	Тепловое реле перегрузки			
P _e [кВт]	I _r [А]	Тип	I ₃ [А]	Тип	Тип**	Число витков первичной обмотки ПТ	Уставка тока	
							мин. [А]	макс. [А]
0,37	1,1	T2S160 MF 1.6	21	A9	TA25DU1.4*		1	1,4
0,55	1,5	T2S160 MF 1.6	21	A9	TA25DU1.8*		1,3	1,8
0,75	1,9	T2S160 MF 2	26	A9	TA25DU2.4*		1,7	2,4
1,1	2,8	T2S160 MF 3.2	42	A9	TA25DU4*		2,8	4
1,5	3,5	T2S160 MF 4	52	A16	TA25DU5*		3,5	5
2,2	5	T2S160 MF 5	65	A26	TA25DU6.5*		4,5	6,5
3	6,6	T2S160 MF 8.5	110	A26	TA25DU8.5*		6	8,5
4	8,6	T2S160 MF 11	145	A30	TA25DU11*		7,5	11
5,5	11,5	T2S160 MF 12.5	163	A30	TA450SU60	4	10	15
7,5	15,2	T2S160 MA 20	210	A30	TA450SU60	3	13	20
11	22	T2S160 MA 32	288	A30	TA450SU60	2	20	30
15	28,5	T2S160 MA 52	392	A50	TA450SU80	2	23	40
18,5	36	T2S160 MA 52	469	A50	TA450SU80	2	23	40
22	42	T2S160 MA 52	547	A50	TA450SU60		40	60
30	56	T2S160 MA 80	840	A63	TA450SU80		55	80
37	68	T2S160 MA 80	960	A95	TA450SU80		55	80
45	83	T2S160 MA 100	1200	A110	TA450SU105		70	105
55	98	T3S250 MA 160	1440	A145	TA450SU140		95	140
75	135	T3S250 MA 200	1800	A185	TA450SU185		130	185
90	158	T3S250 MA 200	2400	A210	TA450SU185		130	185
110	193	T4S320 PR221-I In320	2720	A260	E320DU320		100	320
132	232	T5S400 PR221-I In400	3200	A300	E320DU320		100	320
160	282	T5S400 PR221-I In400	4000	AF400	E500DU500		150	500
200	349	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	545	T6S800 PR221-I In800	8000	AF750	E800DU800		250	800
355	610	T6S800 PR221-I In800	8000	AF750	E800DU800		250	800

1SDC010020F0201

* Обеспечьте обходной контактор того же размера во время пуска двигателя

** Для расцепителей типа E выберите класс расцепления 30

*** 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

3 Защита электрического оборудования

**Таблица 5: 400 В 50 кА Y/Δ Нормальный Тип 2
(Tmax – Контактор – TOR)**

Двигатель		Авт. выключатель в литом корпусе MCCB		Контактор			Тепловое реле перегрузки	
P_e [кВт]	I_r [А]	Тип	I_z [А]	Тип ЛИНЕЙ.	Тип ТРЕУГ.	Тип ЗВЕЗДА	Тип	Уставка тока [А]
18,5	36	T2S160 MA52	469	A50	A50	A26	TA75DU25	18-25
22	42	T2S160 MA52	547	A50	A50	A26	TA75DU32	22-32
30	56	T2S160 MA80	720	A63	A63	A30	TA75DU42	29-42
37	68	T2S160 MA80	840	A75	A75	A30	TA75DU52	36-52
45	83	T2S160 MA100	1050	A75	A75	A30	TA75DU63	45 - 63
55	98	T2S160 MA100	1200	A75	A75	A40	TA75DU63	45 - 63
75	135	T3S250 MA160	1700	A95	A95	A75	TA110DU90	66 - 90
90	158	T3S250 MA200	2000	A110	A110	A95	TA110DU110	80 - 110
110	193	T3S250 MA200	2400	A145	A145	A95	TA200DU135	100 - 135
132	232	T4S320 PR221-I In320	2880	A145	A145	A110	E200DU200	60 - 200
160	282	T5S400 PR221-I In400	3600	A185	A185	A145	E200DU200	60 - 200
200	349	T5S630 PR221-I In630	4410	A210	A210	A185	E320DU320	100 - 320
250	430	T6S630 PR221-I In630	5670	A260	A260	A210	E320DU320	100 - 320
290	520	T6S630 PR221-I In630	6300	AF400	AF400	A260	E500DU500	150 - 500
315	545	T6S800 PR221-I In800	7200	AF400	AF400	A260	E500DU500	150 - 500
355	610	T6S800 PR221-I In800	8000	AF400	AF400	A260	E500DU500	150 - 500

MA: регулируемый расцепитель только магнитного типа

**Таблица 6: 400 В 50 кА Прямой пуск Нормальный и Тяжелый Тип 2
(Tmax с расцепителем MP-Контактор)**

Двигатель		Авт. выключатель в литом корпусе MCCB			Контактор	Группа
P_e [кВт]	I_r [А]	Тип	I_1^* диапазон [А]	I_z [А]	Тип	[А]
30	56	T4S250 PR222MP In100	40-100	600	A95	95
37	68	T4S250 PR222MP In100	40-100	700	A95	95
45	83	T4S250 PR222MP In100	40-100	800	A95	95
55	98	T4S250 PR222MP In160	64-160	960	A145	145
75	135	T4S250 PR222MP In160	64-160	1280	A145	145
90	158	T4S250 PR222MP In200	80-200	1600	A185	185
110	193	T5S400 PR222MP In320	128-320	1920	A210	210
132	232	T5S400 PR222MP In320	128-320	2240	A260	260
160	282	T5S400 PR222MP In320	128-320	2560	AF400**	320
200	349	T5S400 PR222MP In400	160-400	3200	AF400	400
250	430	T6S800 PR222MP In630	252-630	5040	AF460	460
290	520	T6S800 PR222MP In630	252-630	5670	AF580	580
315	545	T6S800 PR222MP In630	252-630	5670	AF580	580
355	610	T6S800 PR222MP In630	252-630	5670	AF750	630

(*) для тяжелого пуска установите класс электронного расцепителя на класс 30

(**) для нормального пуска используйте AF300

TSDC010023F0201

3 Защита электрического оборудования

**Таблица 7: 440 В 50 кА Прямой пуск Нормальный Тип 2
(Tmax – Контактор – TOR)**

Двигатель		Авт. выключатель в литом корпусе MCCB		Контактор	Тепловое реле перегрузки		
P _e [кВт]	I _r [A]	Тип	I _з [A]	Тип	Тип	Уставка тока	
						мин. [A]	макс. [A]
0,37	1	T2H160 MF 1	13	A9	TA25DU1.4	1	1,4
0,55	1,4	T2H160 MF 1.6	21	A9	TA25DU1.8	1,3	1,8
0,75	1,7	T2H160 MF 2	26	A9	TA25DU2.4	1,7	2,4
1,1	2,2	T2H160 MF 2.5	33	A9	TA25DU3.1	2,2	3,1
1,5	3	T2H160 MF 3.2	42	A16	TA25DU4	2,8	4
2,2	4,4	T2H160 MF 5	65	A26	TA25DU5	3,5	5
3	5,7	T2H160 MF 6.5	84	A26	TA25DU6.5	4,5	6,5
4	7,8	T2H160 MF 8.5	110	A30	TA25DU11	7,5	11
5,5	10,5	T2H160 MF 11	145	A30	TA25DU14	10	14
7,5	13,5	T2H160 MA 20	180	A30	TA25DU19	13	19
11	19	T2H160 MA 32	240	A30	TA42DU25	18	25
15	26	T2H160 MA 32	336	A50	TA75DU32	22	32
18,5	32	T2H160 MA 52	469	A50	TA75DU42	29	42
22	38	T2H160 MA 52	547	A50	TA75DU52	36	52
30	52	T2H160 MA 80	720	A63	TA75DU63	45	63
37	63	T2H160 MA 80	840	A75	TA75DU80	60	80
45	75	T2H160 MA 100	1050	A95	TA110DU90	65	90
55	90	T4H250 PR221-I In160	1200	A110	TA110DU110	80	110
75	120	T4H250 PR221-I In250	1750	A145	E200DU200	60	200
90	147	T4H250 PR221-I In250	2000	A185	E200DU200	60	200
110	177	T4H250 PR221-I In250	2500	A210	E320DU320	100	320
132	212	T5H400 PR221-I In320	3200	A260	E320DU320	100	320
160	260	T5H400 PR221-I In400	3600	A300	E320DU320	100	320
200	320	T5H630 PR221-I In630	4410	AF 400	E500DU500	150	500
250	410	T6H630 PR221-I In630	5355	AF 460	E500DU500	150	500
290	448	T6H630 PR221-I In630	6300	AF 580	E500DU500*	150	500
315	500	T6H800 PR221-I In800	7200	AF 580	E800DU800	250	800
355	549	T6H800 PR221-I In800	8000	AF 580	E800DU800	250	800

1SDC010024F0201

* 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

3 Защита электрического оборудования

**Таблица 8: 440 В 50 кА Прямой пуск Тяжелый Тип 2
(Tmax – Контактор – TOR)**

Двигатель		Авт. выключатель в литом корпусе MCCB		Контактор	Тепловое реле перегрузки			
P _e [кВт]	I _r [A]	Тип	I ₃ [A]	Тип	Тип**	Число витков первичной обмотки ТТ	Уставка тока	
							Мин. [A]	Макс. [A]
0,37	1	T2H160 MF 1	13	A9	TA25DU1.4*		1	1,4
0,55	1,4	T2H160 MF 1.6	21	A9	TA25DU1.8*		1,3	1,8
0,75	1,7	T2H160 MF 2	26	A9	TA25DU2.4*		1,7	2,4
1,1	2,2	T2H160 MF 2.5	33	A9	TA25DU3.1*		2,2	3,1
1,5	3	T2H160 MF 3.2	42	A16	TA25DU4*		2,8	4
2,2	4,4	T2H160 MF 5	65	A26	TA25DU5*		3,5	5
3	5,7	T2H160 MF 6.5	84	A26	TA25DU6.5*		4,5	6,5
4	7,8	T2H160 MF 8.5	110	A30	TA25DU11*		7,5	11
5,5	10,5	T2H160 MF 11	145	A30	TA25DU14*		10	14
7,5	13,5	T2H160 MA 20	180	A30	TA450SU60	4	10	15
11	19	T2H160 MA 32	240	A30	TA450SU80	3	18	27
15	26	T2H160 MA 32	336	A50	TA450SU60	2	20	30
18,5	32	T2H160 MA 52	469	A50	TA450SU80	2	28	40
22	38	T2H160 MA 52	547	A50	TA450SU80	2	28	40
30	52	T2H160 MA 80	720	A63	TA450SU60		40	60
37	63	T2H160 MA 80	840	A95	TA450SU80		55	80
45	75	T2H160 MA 100	1050	A110	TA450SU105		70	105
55	90	T4H250 PR221-I In160	1200	A145	E200DU200		60	200
75	120	T4H250 PR221-I In250	1750	A185	E200DU200		60	200
90	147	T4H250 PR221-I In250	2000	A210	E320DU320		100	320
110	177	T4H250 PR221-I In250	2500	A260	E320DU320		100	320
132	212	T5H400 PR221-I In320	3200	A300	E320DU320		100	320
160	260	T5H400 PR221-I In400	3600	AF400	E500DU500		150	500
200	320	T5H630 PR221-I In630	4410	AF460	E500DU500		150	500
250	410	T6H630 PR221-I In630	5355	AF580	E500DU500***		150	500
290	448	T6H630 PR221-I In630	6300	AF750	E500DU500***		150	500
315	500	T6H800 PR221-I In800	7200	AF 750	E800DU800		250	800
355	549	T6H800 PR221-I In800	8000	AF 750	E800DU800		250	800

* Обеспечьте обходной контактор того же размера во время пуска двигателя

** Для расцепителей типа E выберите класс расцепления 30

*** 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

1SDC010021 F0201

3 Защита электрического оборудования

**Таблица 9: 440 В 50 кА Y/Δ Нормальный Тип 2
(Tmax – Контактор – TOR)**

Двигатель		Авт. выключатель в литом корпусе MCCB		Контактор			Тепловое реле перегрузки	
P_e [кВт]	I_r [A]	Тип	I_z [A]	Тип ЛИНЕЙ.	Тип ТРЕУГ.	Тип ЗВЕЗДА	Тип	Уставка тока
18,5	32	T2H160 MA52	392	A 50	A 50	A 16	TA75DU25	18-25
22	38	T2H160 MA52	469	A 50	A 50	A 26	TA75DU25	18-25
30	52	T2H160 MA80	720	A 63	A 63	A 26	TA75DU42	29-42
37	63	T2H160 MA80	840	A 75	A 75	A 30	TA75DU42	29-42
45	75	T2H160 MA80	960	A 75	A 75	A30	TA75DU52	36-52
55	90	T2H160 MA100	1150	A 75	A 75	A40	TA75DU63	45 - 63
75	120	T4H250 PR221-I In250	1625	A95	A95	A75	TA80DU80	60-80
90	147	T4H250 PR221-I In250	1875	A95	A95	A75	TA110DU110	80-110
110	177	T4H250 PR221-I In250	2250	A145	A145	A95	E200DU200	60-200
132	212	T4H320 PR221-I In320	2720	A145	A145	A110	E200DU200	60-200
160	260	T5H400 PR221-I In400	3200	A185	A185	A145	E200DU200	60-200
200	320	T5H630 PR221-I In630	4095	A210	A210	A185	E320DU320	100-320
250	410	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	500	T6H630 PR221-I In630	6300	AF400	AF400	A260	E500DU500	150 - 500
355	549	T6H800 PR221-I In800	7200	AF400	AF400	A260	E500DU500	150 - 500

MA: регулируемый расцепитель только магнитного типа

**Таблица 10: 440 В 50 кА Прямой пуск Нормальный и Тяжелый Тип 2
(Tmax с расцепителем MP-Контактор)**

Двигатель		Авт. выключатель в литом корпусе MCCB			Контактор	Группа
P_e [кВт]	I_r [A]	Тип	I_1^* диапазон [A]	I_z [A]	Тип	[A]
30	52	T4H250 PR222MP In100	40-100	600	A95	93
37	63	T4H250 PR222MP In100	40-100	700	A95	93
45	75	T4H250 PR222MP In100	40-100	800	A95	93
55	90	T4H250 PR222MP In160	64-160	960	A145	145
75	120	T4H250 PR222MP In160	64-160	1120	A145	145
90	147	T4H250 PR222MP In200	80-200	1400	A185	185
110	177	T5H400 PR222MP In320	128-320	1920	A210	210
132	212	T5H400 PR222MP In320	128-320	2240	A260	240
160	260	T5H400 PR222MP In320	128-320	2560	AF400**	320
200	320	T5H400 PR222MP In400	160-400	3200	AF400	400
250	370	T6H800 PR222MP In630	252-630	4410	AF460	460
290	436	T6H800 PR222MP In630	252-630	5040	AF460	460
315	500	T6H800 PR222MP In630	252-630	5040	AF580	580
355	549	T6H800 PR222MP In630	252-630	5670	AF580	580

(*) для тяжелого пуска установить класс электронного расцепителя на класс 30

(**) при нормальном пуске используйте AF300

1SDC010025F0201

3 Защита электрического оборудования

**Таблица 11: 500 В 50 кА Прямой пуск Нормальный Тип 2
(Tmax – Контактор – TOR)**

Двигатель		Авт. выключатель в литом корпусе (MCCB)		Контактор	Тепловое реле (TOR)		
P _e [кВт]	I _r [A]	Тип	I _з [A]	Тип	Тип	Уставка тока	
						мин. [A]	макс. [A]
0,37	0,88	T2L160 MF 1	13	A9	TA25DU1.0	0,63	1
0,55	1,2	T2L160 MF 1.6	21	A9	TA25DU1.4	1	1,4
0,75	1,5	T2L160 MF 1.6	21	A9	TA25DU1.8	1,3	1,8
1,1	2,2	T2L160 MF 2.5	33	A9	TA25DU3.1	2,2	3,1
1,5	2,8	T2L160 MF 3.2	42	A16	TA25DU4	2,8	4
2,2	4	T2L160 MF 4	52	A26	TA25DU5	3,5	5
3	5,2	T2L160 MF 6.5	84	A26	TA25DU6.5	4,5	6,5
4	6,9	T2L160 MF 8.5	110	A30	TA25DU8.5	6	8,5
5,5	9,1	T2L160 MF 11	145	A30	TA25DU11	7,5	11
7,5	12,2	T2L160 MF 12.5	163	A30	TA25DU14	10	14
11	17,5	T2L160 MA 20	240	A30	TA25DU19	13	19
15	23	T2L160 MA 32	336	A50	TA75DU25	18	25
18,5	29	T2L160 MA 52	392	A50	TA75DU32	22	32
22	34	T2L160 MA 52	469	A50	TA75DU42	29	42
30	45	T2L160 MA 52	624	A63	TA75DU52	36	52
37	56	T2L160 MA 80	840	A75	TA75DU63	45	63
45	67	T2L160 MA 80	960	A95	TA80DU80	60	80
55	82	T2L160 MA 100	1200	A110	TA110DU90	65	90
75	110	T4H250 PR221-I In160	1440	A145	E200DU200	60	200
90	132	T4H250 PR221-I In250	1875	A145	E200DU200	60	200
110	158	T4H250 PR221-I In250	2250	A185	E200DU200	60	200
132	192	T4H320 PR221-I In320	2720	A210	E320DU320	100	320
160	230	T5H400 PR221-I In400	3600	A260	E320DU320	100	320
200	279	T5H400 PR221-I In400	4000	A300	E320DU320	100	320
250	335	T5H630 PR221-I In630	4725	AF 400	E 500DU500	150	500
290	394	T6H630 PR221-I In630	5040	AF 460	E 500DU500	150	500
315	440	T6H630 PR221-I In630	6300	AF 580	E 500DU500*	150	500
355	483	T6H630 PR221-I In630	6300	AF 580	E 800DU800	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

1SDC010026F0201

3 Защита электрического оборудования

**Таблица 12: 500 В 50 кА Прямой пуск
Тяжелый Тип 2 (Tmax – Контактор – TOR)**

Двигатель		Авт. выключатель в литом корпусе (MCCB)		Контактор	Тепловое реле (TOR)			
P _e [кВт]	I _r [A]	Тип	I _з [A]	Тип	Тип**	Число витков первичной об- мотки ТТ	Уставка тока	
							мин.	макс.
0,37	0,88	T2L160 MF1	13	A9	TA25DU1.0*		0,63	1
0,55	1,2	T2L160 MF 1.6	21	A9	TA25DU1.4*		1	1,4
0,75	1,5	T2L160 MF 1.6	21	A9	TA25DU1.8*		1,3	1,8
1,1	2,2	T2L160 MF 2.5	33	A9	TA25DU3.1*		2,2	3,1
1,5	2,8	T2L160 MF 3.2	42	A16	TA25DU4 *		2,8	4
2,2	4	T2L160 MF4	52	A26	TA 25DU5 *		3,5	5
3	5,2	T2L160 MF 6.5	84	A26	TA25DU6.5*		4,5	6,5
4	6,9	T2L160 MF 8.5	110	A30	TA25DU8.5*		6	8,5
5,5	9,1	T2L160 MF 11	145	A30	TA25DU11*		7,5	11
7,5	12,2	T2L160 MF 12.5	163	A30	TA450SU60	4	10	15
11	17,5	T2L160 MA 20	240	A30	TA450SU60	3	13	20
15	23	T2L160 MA 32	336	A50	TA450SU60	2	20	30
18,5	29	T2L160 MA 52	392	A50	TA450SU80	2	27,5	40
22	34	T2L160 MA 52	469	A50	TA450SU80	2	27,5	40
30	45	T2L160 MA 52	624	A63	TA450SU60		40	60
37	56	T2L160 MA 80	840	A75	TA450SU60		40	60
45	67	T2L160 MA 80	960	A95	TA450SU80		55	80
55	82	T2L160 MA 100	1200	A145	TA450SU105		70	105
75	110	T4H250 PR221-I In160	1440	A145	E200DU200		60	200
90	132	T4H250 PR221-I In250	1875	A185	E200DU200		60	200
110	158	T4H250 PR221-I In250	2123	A210	E320DU320		100	320
132	192	T4H320 PR221-I In320	2720	A260	E320DU320		100	320
160	230	T5H400 PR221-I In400	3200	A300	E320DU320		100	320
200	279	T5H400 PR221-I In400	3600	AF400	E500DU500		150	500
250	335	T5H630 PR221-I In630	4725	AF460	E500DU500		150	500
290	394	T6H630 PR221-I In630	5040	AF580	E500DU500***		150	500
315	440	T6H630 PR221-I In630	6300	AF750	E500DU500***		150	500
355	483	T6H630 PR221-I In630	6300	AF750	E500DU500		150	500

TSC010021F0201

* Обеспечьте обходной контактор того же размера во время пуска двигателя

** Для расцепителей типа E выберите класс расщепления 30

*** Комплекта соединений не имеется. Для использования комплекта соединений необходима замена на расцепитель E800DU800

MA: регулируемый расцепитель только магнитного типа MF: фиксированный расцепитель только магнитного типа

3 Защита электрического оборудования

**Таблица 13: 500 В 50 кА Y/Δ Нормальный
Тип 2 (Tmax – Контактор – TOR)**

Двигатель		Авт. выключатель в литом корпусе (MCCB)		Контактор			Тепловое реле (TOR)	
P_e [кВт]	I_r [А]	Тип	I_z [А]	ЛИНИЯ Тип	ТРЕУГОЛЬНИК Тип	ЗВЕЗДА Тип	Тип	Уставка тока
22	34	T2L160 MA52	430	A 50	A 50	A 16	TA75DU25	18-25
30	45	T2L160 MA52	547	A 63	A 63	A 26	TA75DU32	22-32
37	56	T2L160 MA80	720	A 75	A 75	A 30	TA75DU42	29-42
45	67	T2L160 MA80	840	A 75	A 75	A30	TA75DU52	36 - 52
55	82	T2L160 MA100	1050	A 75	A 75	A30	TA75DU52	36 - 52
75	110	T4H250 PR221-I In250	1375	A95	A95	A50	TA80DU80	60-80
90	132	T4H250 PR221-I In250	1750	A95	A95	A75	TA110DU90	65-90
110	158	T4H250 PR221-I In250	2000	A110	A110	A95	TA110DU110	80-110
132	192	T4H320 PR221-I In320	2560	A145	A145	A95	E200DU200	60-200
160	230	T4H320 PR221-I In320	2880	A145	A145	A110	E200DU200	60-200
200	279	T5H400 PR221-I In400	3400	A210	A210	A145	E320DU320	100-320
250	335	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	440	T6L630 PR221-I In630	5760	AF400	AF400	A210	E500DU500	150 - 500
355	483	T6L630 PR221-I In630	6300	AF400	AF400	A260	E500DU500	150 - 500

МА: регулируемый расцепитель только магнитного типа

**Таблица 14: 500 В 50 кА Прямой пуск Нормальный и Тяжелый Тип 2
(Tmax с расцепителем MP-Контактор)**

Двигатель		Авт. выключатель в литом корпусе (MCCB)			Контактор	Группа
P_e [кВт]	I_r [А]	Тип	Диапазон I_1^* [А]	I_z [А]	Тип	[А]
30	45	T4H250 PR222MP In100	40-100	600	A95	80
37	56	T4H250 PR222MP In100	40-100	600	A95	80
45	67	T4H250 PR222MP In100	40-100	700	A145	100
55	82	T4H250 PR222MP In100	40-100	800	A145	100
75	110	T4H250 PR222MP In160	64-160	1120	A145	145
90	132	T4H250 PR222MP In160	64-160	1280	A145	145
110	158	T4H250 PR222MP In200	80-200	1600	A185	170
132	192	T5H400 PR222MP In320	128-320	1920	A210	210
160	230	T5H400 PR222MP In320	128-320	2240	A260	260
200	279	T5H400 PR222MP In400	160-400	2800	AF400**	400
250	335	T5H400 PR222MP In400	160-400	3200	AF400	400
290	395	T6H800 PR222MP In630	252-630	5040	AF460	460
315	415	T6H800 PR222MP In630	252-630	5040	AF460	460
355	451	T6H800 PR222MP In630	252-630	5670	AF580	580

(*) при пуске в тяжелом режиме установите класс расцепления электронного расцепителя на класс 30

(**) в случае нормального пуска используйте AF300

1SDC010027F0201

3 Защита электрического оборудования

**Таблица 15: 690 В 50 кА Прямой пуск Нормальный Тип 2
(Тmax–Контактор-ТТ-TOR)**

Двигатель		Авт. выключатель в литом корпусе (MCCB)		Контактор	ТТ		Тепловое реле перегрузки		
P _e [кВт]	I _e [А]	Тип	I _з [А]	Тип	KORC	Число витков первичной обмотки	Тип	Уставка тока	
								мин. [А]	макс. [А]
0,37	0,6	T2L160 MF 1	13	A9			TA25DU0.63	0,4	0,63
0,55	0,9	T2L160 MF 1	13	A9			TA25DU1	0,63	1
0,75	1,1	T2L160 MF1.6	21	A9			TA25DU14	1	1,4
1,1	1,6	T2L160 MF1.6	21	A9			TA25DU18	1,3	1,8
1,5	2	T2L160 MF2.5	33	A9			TA25DU24	1,7	2,4
2,2	2,9	T2L160 MF3.2	42	A9			TA25DU3.1*	2,2	3,1
3	3,8	T2L160 MF 4	52	A9			TA25DU4*	2,8	4
4	5	T2L160 MF 5	65	A9			TA25DU5*	3,5	5
5,5	6,5	T2L160 MF6.5	84	A9			TA25DU6.5*	4,5	6,5
		T4L250 PR221-IIn 100	150	A95	4L185R/4	13**	TA25DU24	6	8,5
7,5	8,8	T4L250 PR221-IIn 100	150	A95	4L185R/4	10**	TA25DU24	7,9	11,1
11	13	T4L250 PR221-IIn 100	200	A95	4L185R/4	7**	TA25DU24	11,2	15,9
15	18	T4L250 PR221-IIn 100	250	A95	4L185R/4	7**	TA25DU31	15,2	20,5
18,5	21	T4L250 PR221-IIn 100	300	A95	4L185R/4	6	TA25DU31	17,7	23,9
22	25	T4L250 PR221-IIn 100	350	A95	4L185R/4	6	TA25DU4	21,6	30,8
30	33	T4L250 PR221-IIn 100	450	A145	4L185R/4	6	TA25DU5	27	38,5
37	41	T4L250 PR221-IIn 100	550	A145	4L185R/4	4	TA25DU4	32,4	46,3
45	49	T4L250 PR221-IIn 100	700	A145	4L185R/4	4	TA25DU5	40,5	57,8
55	60	T4L250 PR221-IIn 100	800	A145	4L185R/4	3	TA25DU5	54	77,1
75	80	T4L250 PR221-IIn 160	1120	A145			E200DU200	65	200
90	95	T4L250 PR221-IIn 160	1280	A145			E200DU200	65	200
110	115	T4L250 PR221-IIn 250	1625	A145			E200DU200	65	200
132	139	T4L250 PR221-IIn 250	2000	A185			E200DU200	65	200
160	167	T4L250 PR221-IIn 250	2250	A185			E200DU200	65	200
200	202	T5L400 PR221-IIn 320	2720	A210			E320DU320	105	320
250	242	T5L400 PR221-IIn 400	3400	A300			E320DU320	105	320
290	301	T5L630 PR221-IIn 630	4410	AF400			E500DU500	150	500
315	313	T5L630 PR221-IIn 630	4410	AF400			E500DU500	150	500
355	370	T5L630 PR221-IIn 630	5355	AF580			E500DU500***	150	500

ISDC010108F0201

Дополнительную информацию о KORC можно найти в каталоге "Брошюра KORC 1GB00-04"

(*) Координация типа 1

(**) Поперечное сечение кабеля равно 4 мм²

(***) Комплекта соединений для контактора не имеется; для использования монтажного комплекта обеспечьте E800DU800

3 Защита электрического оборудования

**Таблица 16: 690 В 50 кА Прямой пуск
Тяжелый Тип 2 (Tmax – Контактор – TOR)**

Двигатель		Автом. выключ. в литом корпусе (MCCB)		Контактор	Тепловое реле перегрузки			
P _e [кВт]	I _r [A]	Тип	I ₃ [A]	Тип	Тип	Число витков первичной обмотки	Уставка тока	
							мин. [A]	макс. [A]
0,37	0,6	T2L160 MF1	13	A9	TA25DU0.63(X)		0,4	0,63
0,55	0,9	T2L160 MF1	13	A9	TA25DU1(X)		0,63	1
0,75	1,1	T2L160 MF1.6	21	A9	TA25DU1.4(X)		1	1,4
1,1	1,6	T2L160 MF1.6	21	A9	TA25DU1.8(X)		1,3	1,8
1,5	2	T2L160 MF2.5	33	A9	TA25DU2.4(X)		1,7	2,4
2,2	2,9	T2L160 MF3.2	42	A9	TA25DU3.1*(X)		2,2	3,1
3	3,8	T2L160 MF4	52	A9	TA25DU4 *(X)		2,8	4
4	5	T2L160 MF5	65	A9	TA25DU5 *(X)		3,5	5
5,5	6,5	T2L160 MF6.5	84	A9	TA25DU6.5*(X)		4,5	6,5
		T4L250PR221-IIn 100	150	A95	TA450SU60	7**	5,7	8,6
7,5	8,8	T4L250PR221-IIn 100	150	A95	TA450SU60	5**	8	12
11	13	T4L250PR221-IIn 100	200	A95	TA450SU60	4**	10	15
15	18	T4L250PR221-IIn 100	250	A95	TA450SU60	3**	13	20
18,5	21	T4L250PR221-IIn 100	300	A95	TA450SU80	3	18	27
22	25	T4L250PR221-IIn 100	350	A95	TA450SU60	2	20	30
30	33	T4L250PR221-IIn 100	450	A145	TA450SU80	2	27,5	40
37	41	T4L250PR221-IIn 100	550	A145	TA450SU60		40	60
45	49	T4L250PR221-IIn 100	700	A145	TA450SU60		40	60
55	60	T4L250PR221-IIn 100	800	A145	TA450SU80		55	80
75	80	T4L250PR221-IIn 160	1120	A145	TA450SU105		70	105
90	95	T4L250PR221-IIn 160	1280	A145	TA450SU105		70	105
110	115	T4L250PR221-IIn 250	1625	A185	TA450SU140		95	140
132	139	T4L250PR221-IIn 250	2000	A210	E320DU320		105	320
160	167	T4L250PR221-IIn 250	2250	A210	E320DU320		105	320
200	202	T5L400PR221-IIn 320	2720	A260	E320DU320		105	320
250	242	T5L400PR221-IIn 400	3400	AF400	E500DU500		150	500
290	301	T5L630PR221-IIn 630	4410	AF400	E500DU500		150	500
315	313	T5L630PR221-IIn 630	4410	AF460	E500DU500		150	500
355	370	T5L630PR221-IIn 630	5355	AF580	E500DU500***		150	500

TSD0010109F0201

(*) Координация типа 1

(**) Поперечное сечение кабеля равно 4 мм²

(***) Комплекта соединений для контактора не имеется; для использования монтажного комплекта обеспечьте E800DU800

(X) Обеспечьте обходной контактор во время пуска двигателя

3 Защита электрического оборудования

Таблица 17: 690 В 50 кА Y/Δ Нормальный тип 2 (Тmax – Контактор – ТТ – TOR)

Двигатель		Литой корпус		Контактор			ТТ		Тепловое реле перегрузки	
Р _e [кВт]	I _r [А]	Тип	I _з [А]	Линия	Тре- уголь- ник	Звезда	KORK	Число витков первич- ной об- мотки	Тип	Уставка тока [А]
5,5	6,5*	T4L250PR221-Ilн100	150	A95	A95	A26	4L185R/4*	13	TA25DU2.4**	6-8,5
7,5	8,8*	T4L250PR221-Ilн100	150	A95	A95	A26	4L185R/4*	10	TA25DU2.4**	7,9-11,1
11	13*	T4L250PR221-Ilн100	200	A95	A95	A26	4L185R/4*	7	TA25DU2.4**	11,2-15,9
15	18*	T4L250PR221-Ilн100	250	A95	A95	A26	4L185R/4*	7	TA25DU3.1**	15,2-20,5
18,5	21	T4L250PR221-Ilн100	300	A95	A95	A30	4L185R/4*	6	TA25DU3.1**	17,7-23,9
22	25	T4L250PR221-Ilн100	350	A95	A95	A30	4L185R/4*	6	TA25DU4*	21,6-30,8
30	33	T4L250PR221-Ilн100	450	A145	A145	A30	4L185R/4*	6	TA25DU5*	27-38,5
37	41	T4L250PR221-Ilн100	550	A145	A145	A30			TA75DU52*	36-52
45	49	T4L250PR221-Ilн100	650	A145	A145	A30			TA75DU52*	36-52
55	60	T4L250PR221-Ilн100	800	A145	A145	A40			TA75DU52*	36-52
75	80	T4L250PR221-Ilн160	1120	A145	A145	A50			TA75DU52	36-52
90	95	T4L250PR221-Ilн160	1280	A145	A145	A75			TA75DU63	45-63
110	115	T4L250PR221-Ilн160	1600	A145	A145	A75			TA75DU80	60-80
132	139	T4L250PR221-Ilн250	1875	A145	A145	A95			TA200DU110	80-110
160	167	T4L250PR221-Ilн250	2125	A145	A145	A110			TA200DU110	80-110
200	202	T4L320PR221-Ilн320	2720	A185	A185	A110			TA200DU135	100-135
250	242	T5L400PR221-Ilн400	3200	AF400	AF400	A145			E500DU500	150 -500
290	301	T5L400PR221-Ilн400	4000	AF400	AF400	A145			E500DU500	150 -500
315	313	T5L630PR221-Ilн630	4410	AF400	AF400	A185			E500DU500	150 -500
355	370	T5L630PR221-Ilн630	5040	AF400	AF400	A210			E500DU500	150 -500
400	420	T5L630PR221-Ilн630	5670	AF460	AF460	A210			E500DU500	150 -500
450	470	T5L630PR221-Ilн630	6300	AF460	AF460	A260			E500DU500	150 -500

1SDC010110F0201

Дополнительную информацию о KORK можно найти в каталоге “брошюра KORK 1GB00-04”

(*) Поперечное сечение кабеля равно 4 мм²

(**) Реле перегрузки соединяйте выше узла линия-треугольник

3 Защита электрического оборудования

Таблица 18: 690 В 50 кА Прямой пуск Нормальный и Тяжелый Тип 2 (Тmax с расцепителем МР-Контактор)

Двигатель		Автоматический выключатель в литом корпусе (MCCB)			Контактор	Группа
P_e [кВт]	I_r [А]	Тип	* диапазон I_1 [А]	I_3 [А]	Тип	[А]
45	49	T4L250 PR222MP In100	40-100	600	A145	100
55	60	T4L250 PR222MP In100	40-100	600	A145	100
75	80	T4L250 PR222MP In100	40-100	800	A145	100
90	95	T4L250 PR222MP In160	64-160	960	A145	120
110	115	T4L250 PR222MP In160	64-160	1120	A145	120
132	139	T4L250 PR222MP In160	64-160	1440	A185	160
160	167	T4L250 PR222MP In200	80-200	1600	A185	170
200	202	T5L400 PR222MP In320	128-320	1920	A210	210
250	242	T5L400 PR222MP In320	128-320	2240	A300	280
290	301	T5L400 PR222MP In400	160-400	2800	AF400	350
315	313	T5L400 PR222MP In400	160-400	3200	AF400	350

1SDC010114F0201

(*) при пуске в тяжелом режиме установите класс расцепления электронного расцепителя на класс 30

3 Защита электрического оборудования

Пример:

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 5 в соответствующей строке можно найти следующую информацию:

- I_r (номинальный ток): 349 А;
- устройство защиты от короткого замыкания: автоматический выключатель T5S630 PR221-I In630;
- порог магнитного расцепления: $I_3 = 4410$ А;
- главный контактор: А 210;
- контактор в цепи «треугольник»: А 210;
- контактор в цепи «звезда»: А 185;
- 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 МР 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 6 в соответствующей строке можно найти следующую информацию:

- I_r (номинальный ток): 98 А;
- устройство защиты от короткого замыкания: автоматический выключатель T4S250 PR222MP* In160;
- порог магнитного расцепления: $I_3 = 960$ А;
- контактор: А145.

* для тяжелого пуска установите класс срабатывания электронного расцепителя на класс 30

3 Защита электрического оборудования

3.4 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 затухают за несколько секунд.

Кривая, поясняющая эти переходные процессы на графике время-ток и называемая "пусковой ток I_0 ", зависит от типоразмеров трансформатора и может быть определена с использованием следующей формулы (мощность короткого 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;

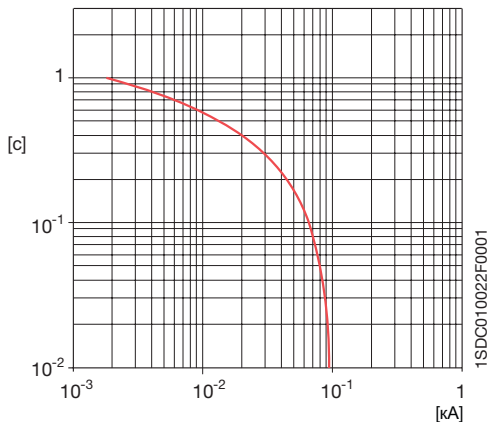
I_{1r} - номинальный ток первичной обмотки;

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
[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.



3 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:

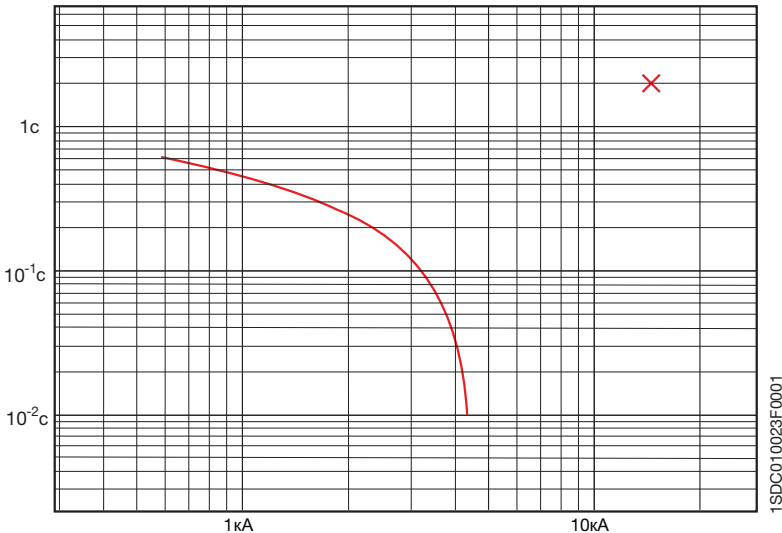
- U_r – номинальное напряжение трансформатора [В];
- Z_{Net} – полное сопротивление короткого замыкания сети [Ом];
- Z_t – полное сопротивление короткого замыкания трансформатора; исходя из номинальной мощности трансформатора (S_r [ВА]) и напряжения короткого замыкания ($u_k\%$), оно равно:

$$Z_t = \frac{u_k \%}{100} \frac{U_r^2}{S_r} \quad [\text{Ом}] \quad (2)$$

Предполагая, что мощность питающей сети бесконечна ($Z_{\text{Net}} = 0$), формула (1) преобразуется в:

$$I_k = \frac{U_r}{\sqrt{3} \cdot (Z_t)} = \frac{U_r}{\sqrt{3} \cdot \left(\frac{u_k \%}{100} \frac{U_r^2}{S_r} \right)} = \frac{100 S_r}{\sqrt{3} \cdot u_k \% \cdot U_r} \quad [\text{A}] \quad (3)$$

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).



3 Защита электрического оборудования

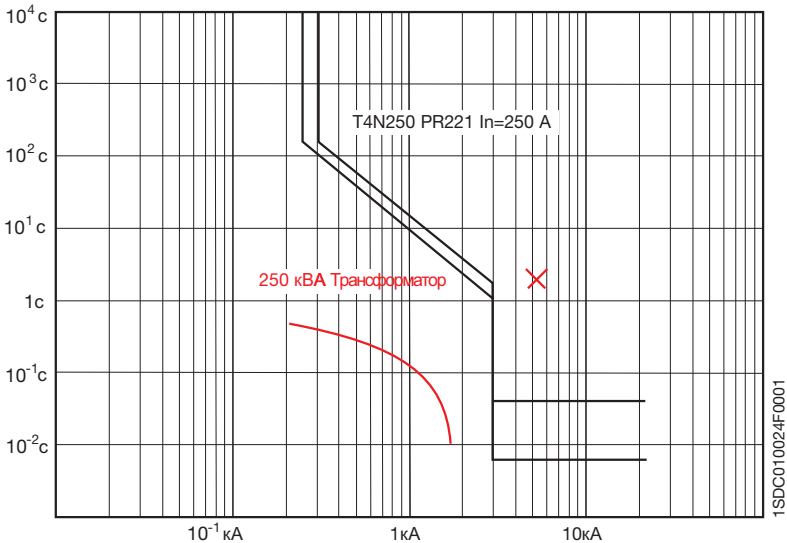
Таким образом, для правильной защиты трансформатора и предотвращения нежелательных отключений кривая срабатывания устройства защиты должна располагаться над кривой пускового тока и ниже точки перегрузки.

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 $u_k=4\%$.



1SDC010024F0001

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.

3 Защита электрического оборудования

V_{1n}=400 В

Трансформатор		Автоматический выключатель АББ			
S _r [кВА]	I _{1n} [А]	Автоматический выключатель с термагнитным расцепителем		Автоматический выключатель с электронным расцепителем	
		Тип	In [А]	Тип	In [А]
1 x 63	91	T1B-C-N	125	T2N-S-H-L-V	160
1 x 100	144	T3N-S	200	T4N-S-H-L-V	250
1 x 125	180	T3N-S	250	T4N-S-H-L-V	250
1 x 160	231	T3N-S	250	T4N-S-H-L-V	250
1 x 200	289	T5N-S-H-L-V	320	T4N-S-H-L-V	320
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	T5N-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

V_{1n}=440 В

Трансформатор		Автоматический выключатель АББ			
S _r [кВА]	I _{1n} [А]	Автоматический выключатель с термагнитным расцепителем		Автоматический выключатель с электронным расцепителем	
		Тип	In [А]	Тип	In [А]
1 x 63	83	T1B-C-N	125	T2N-S-H-L-V	160
1 x 100	131	T3N-S	200	T4N-S-H-L-V	250
1 x 125	164	T3N-S	200	T4N-S-H-L-V	250
1 x 160	210	T3N-S	250	T4N-S-H-L-V	250
1 x 200	262	T5N-S-H-L-V	320	T4N-S-H-L-V	320
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	T5N-S-H-L-V	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

3 Защита электрического оборудования

$V_n=690$ В

Трансформатор		Автоматический выключатель АББ			
S_r [кВА]	I_{1n} [А]	Автоматический выключатель с термомагнитным расцепителем		Автоматический выключатель с электронным расцепителем	
		Тип	I_n [А]	Тип	I_n [А]
1 x 63	53	T1B-C-N	80	T2N-S-H-L-V	80
1 x 100	84	T1B-C-N	125	T2N-S-H-L-V	160
1 x 125	105	T1B-C-N	125	T2N-S-H-L-V	160
1 x 160	134	T1B-C-N	160	T2N-S-H-L-V	160
1 x 200	168	T3N-S	200	T4N-S-H-L-V	250
1 x 250	209	T3N-S	250	T4N-S-H-L-V	250
1 x 315	264	T5N-S-H-L-V	320	T4N-S-H-L-V	320
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	T5N-S-H-L-V	630
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].

3 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):

$$I_k = \frac{100 \cdot I_r}{u_k \%} \quad (5)$$

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.

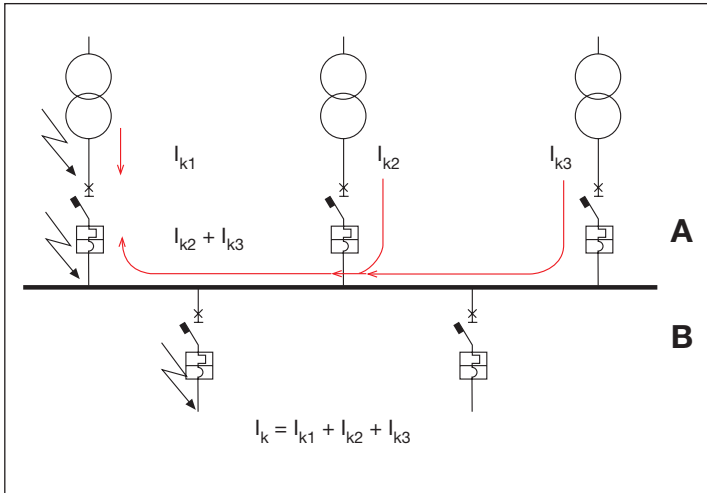
Если короткое замыкание произошло выше того же автоматического выключателя, то протекающий ток короткого замыкания создается другими двумя параллельными трансформаторами.

(*) Для выполнения правильной защиты от перегрузки рекомендуется использовать термометрическое оборудование или другие защитные устройства, способные контролировать температуру внутри трансформаторов.

3 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 трех трансформаторов, в соответствии с предположением, что мощность короткого замыкания вышерасположенной питающей сети 750 МВА и нагрузки статические.



3 Защита электрического оборудования

Выбор автоматического выключателя

Следующие таблицы показывают возможные варианты выбора автоматических выключателей АББ в соответствии с характеристиками защищаемых трансформаторов, пояснения к обозначениям в таблицах приведены в примере выбора автоматических выключателей, следующем за таблицами.

Таблица 1: Защита и коммутация трансформаторов напряжением 230 В

Трансформатор				Авт. выключатель "А" (сторона НН)											
S _r [кВА]	ц _к [%]	Транс. I _r [А]	Шина I _b [А]	Фидер трансф. I _к [кА]	Авт. выключатель АББ	Расцепитель		Шина I _к							
						In [А]	мин. уставка	[кА]	32 А	63 А	125 А	160 А	250 А	400 А	
1 x 63	4	158	158	3,9	T1B160*	160	1	3,9	S200	T1B160					
2 x 63		158	316	3,9	T1B160*	160	1	7,9	S200	T1B160	T3N250				
1 x 100	4	251	251	6,3	T4N320	320	0,79	6,3	S200	T1B160					
2 x 100		251	502	6,2	T4N320	320	0,79	12,5	S200	T1B160	T3N250	T5N400			
1 x 125	4	314	314	7,8	T5N400	400	0,79	7,8	S200	T1B160	T3N250				
2 x 125		314	628	7,8	T5N400	400	0,79	15,6	S200	T1B160	T3N250	T5N400			
1 x 160	4	402	402	10,0	T5N630	630	0,64	10,0	S200	T1B160	T3N250				
2 x 160		402	803	9,9	T5N630	630	0,64	19,9	S200	T1B160	T3N250	T5N400			
1 x 200	4	502	502	12,5	T5N630	630	0,8	12,5	S200	T1B160	T3N250	T5N400			
2 x 200		502	1004	12,4	T5N630	630	0,8	24,8		T1B160	T3N250	T5N400			
1 x 250	4	628	628	15,6	T5N630	630	1	15,6	S200	T1B160	T3N250	T5N400			
2 x 250		628	1255	15,4	T5N630	630	1	30,9		T1C160	T3N250	T5N400			
1 x 315	4	791	791	19,6	T6N800	800	1	19,6		T1B160	T3N250	T5N400			
2 x 315		791	1581	19,4	T6N800	800	1	38,7		T1C160	T3N250	T5N400			
1 x 400	4	1004	1004	24,8	T7S1250/X1B1250**	1250	0,81	24,8		T1B160	T3N250	T5N400			
2 x 400		1004	2008	24,5	T7S1250/X1B1250**	1250	0,81	48,9		T1N160	T3N250	T5N400			
1 x 500	4	1255	1255	30,9	T7S1600/X1B1600**	1600	0,79	30,9		T1C160	T3N250	T5N400			
2 x 500		1255	2510	30,4	T7S1600/X1B1600**	1600	0,79	60,7		T2N160	T3S250	T5N400			
1 x 630	4	1581	1581	38,7	T7S1600/X1B1600**	1600	1	38,7		T1C160	T3N250	T5N400			
2 x 630		1581	3163	37,9	T7S1600/X1B1600**	1600	1	75,9		T2S160	T3S250	T5S400			
3 x 630		1581	4744	74,4	T7S1600/E2S1600	1600	1	111,6		T2L160	T4L250	T5L400			
1 x 800	5	2008	2008	39,3	E3N2500	2500	0,81	39,3		T1C160	T3N250	T5N400			
2 x 800		2008	4016	38,5	E3N2500	2500	0,81	77,0		T2S160	T3S250	T5S400			
3 x 800		2008	6025	75,5	E3H2500	2500	0,81	113,2		T2L160	T4L250	T5L400			
1 x 1000	5	2510	2510	48,9	E3N3200	3200	0,79	48,9		T1N160	T3N250	T5N400			
2 x 1000		2510	5020	47,7	E3N3200	3200	0,79	95,3		T2N160	T4H250	T5H400			
3 x 1000		2510	7531	93,0	E3H3200	3200	0,79	139,5		T4L250	T4L250	T5L400			
1 x 1250	5	3138	3138	60,7	E3N3200	3200	1	60,7		T2N160	T3S250	T5N400			
2 x 1250		3138	6276	58,8	E3N3200	3200	1	117,7		T2L160	T4L250	T5L400			
3 x 1250		3138	9413	114,1	E4V3200	3200	1	171,2		T4L250	T4L250	T5L400			

* в этом случае можно также использовать автоматические выключатели серии Tmax, оснащенные электронными расцепителями

** в этом случае можно также использовать автоматический выключатель серии Emax типа E1

3 Защита электрического оборудования

Авт. выключатель "В" (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				
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				

1SD0010035F0201

3 Защита электрического оборудования

Таблица 2: Защита и коммутация трансформаторов напряжением 400 В

Трансформатор				Авт. выключатель "А" (сторона НН)				Расцепитель							
S _T	ц _k	Транс. I _T	Шина I _B	Фидер трансф. I _k	Авт. выключатель АББ	In [A]	мин. уставка	Шина I _k							
[кВА]	[%]	[A]	[A]	[кА]				[кА]	32 A	63 A	125 A	160 A	250 A	400 A	
1 x 63	4	91	91	2,2	T1B*	100	0,92	2,2	S200						
2 x 63		91	182	2,2	T1B*	100	0,92	4,4	S200	T1B160					
1 x 100		144	144	3,6	T1B*	160	0,91	3,6	S200	T1B160					
2 x 100		144	288	3,6	T1B*	160	0,91	7,2	S200	T1B160					
1 x 125	4	180	180	4,5	T3N250*	200	0,73	4,5	S200	T1B160					
2 x 125		180	360	4,4	T3N250*	200	0,73	8,8	S200	T1B160					
1 x 160	4	231	231	5,7	T3N250*	250	0,93	5,7	S200	T1B160					
2 x 160		231	462	5,7	T3N250*	250	0,93	11,4	S200M	T1B160			T3N250		
1 x 200	4	289	289	7,2	T4N320	320	0,91	7,2	S200	T1B160			T3N250		
2 x 200		289	578	7,1	T4N320	320	0,91	14,2	S200M	T1B160			T3N250	T5N400	
1 x 250	4	361	361	8,9	T5N400	400	0,91	8,9	S200	T1B160			T3N250		
2 x 250		361	722	8,8	T5N400	400	0,91	17,6		T1C160			T3N250	T5N400	
1 x 315	4	455	455	11,2	T5N630	630	0,73	11,2	S200M	T1B160			T3N250	T5N400	
2 x 315		455	910	11,1	T5N630	630	0,73	22,2		T1C160			T3N250	T5N400	
1 x 400	4	577	577	14,2	T5N630	630	0,92	14,2	S200M	T1B160			T3N250	T5N400	
2 x 400		577	1154	14	T5N630	630	0,92	28		T1N160			T3N250	T5N400	
1 x 500	4	722	722	17,7	T6N800	800	0,91	17,7	S200M	T1C160			T3N250	T5N400	
2 x 500		722	1444	17,5	T6N800	800	0,91	35,9		T1N160			T3N250	T5N400	
1 x 630	4	909	909	22,3	T7S1000/X1B1000**	1000	0,91	22,3	T1C160				T3N250	T5N400	
2 x 630		909	1818	21,8	T7S1000/X1B1000**	1000	0,91	43,6	T2S160				T3S250	T5S400	
3 x 630		909	2727	42,8	T7S1000/X1N1000**	1000	0,91	64,2	T2H160				T4H250	T5H400	
1 x 800		5	1155	1155	22,6	T7S1250/X1B1250**	1250	0,93	22,6	T1C160				T3N250	T5N400
2 x 800	1155		2310	22,1	T7S1250/X1B1250**	1250	0,93	44,3	T2S160				T3S250	T5S400	
3 x 800	1155		3465	43,4	T7S1250/X1N1250**	1250	0,93	65	T2H160				T4H250	T5H400	
1 x 1000	5		1443	1443	28,1	T7S1600/X1B1600**	1600	0,91	28,1	T1N160				T3N250	T5N400
2 x 1000		1443	2886	27,4	T7S1600/X1B1600**	1600	0,91	54,8	T2H160				T4H250	T5H400	
3 x 1000		1443	4329	53,5	T7H1600/E2N1600	1600	0,91	80,2	T2L160				T4L250	T5L400	
1 x 1250		5	1804	1804	34,9	E2B2000	2000	0,91	34,9	T1N160				T3N250	T5N400
2 x 1250	1804		3608	33,8	E2B2000	2000	0,91	67,7	T2H160				T4H250	T5H400	
3 x 1250	1804		5412	65,6	E2S2000	2000	0,91	98,4	T4L250				T4L250	T5L400	
1 x 1600	6,25		2309	2309	35,7	E3N2500	2500	0,93	35,7	T1N160				T3N250	T5N400
2 x 1600		2309	4618	34,6	E3N2500	2500	0,93	69,2	T2H160				T4H250	T5H400	
3 x 1600		2309	6927	67	E3S2500	2500	0,93	100,6	T4L250				T4L250	T5L400	
1 x 2000		6,25	2887	2887	44,3	E3N3200	3200	0,91	44,3	T2S160				T3S250	T5S400
2 x 2000	2887		5774	42,6	E3N3200	3200	0,91	85,1	T4L250				T4L250	T5L400	
3 x 2000	2887		8661	81,9	E3H3200	3200	0,91	122,8	T4V250				T4V250	T5V400	
1 x 2500	6,25		3608	3608	54,8	E4S4000	4000	0,91	54,8	T2H160				T4H250	T5H400
1 x 3125	6,25	4510	4510	67,7	E6H5000	5000	0,91	67,7	T2H160				T4H250	T5H400	

* в этом случае можно также использовать автоматические выключатели серии Tmax, оснащенные электронными расцепителями

** в этом случае можно также использовать автоматический выключатель серии Emax типа E1

3 Защита электрического оборудования

Авт. выключатель "В" (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

1SDC010036F0201

3 Защита электрического оборудования

Таблица 3: Защита и коммутация трансформаторов напряжением 440 В

Трансформатор				Авт. выключатель "А" (сторона НН)				Шина I _к						
S _г [кВА]	u _к [%]	Транс. I _г [А]	Шина I _б [А]	Фидер трансф. I _к [кА]	Авт. выключатель АББ	Расцепитель		I _к [кА]	32 А	63 А	125 А	160 А	250 А	400 А
						In [А]	мин. уставка							
1 x 63	4	83	83	2,1	T1B160*	100	0,83	2,1		S200				
2 x 63		83	165	2,1	T1B160*	100	0,83	4,1	S200	T1B160				
1 x 100	4	131	131	3,3	T1B160*	160	0,82	3,3	S200					
2 x 100		131	262	3,3	T1B160*	160	0,82	6,5		T1B160				
1 x 125	4	164	164	4,1	T3N250*	200	0,82	4,1	S200	T1B160				
2 x 125		164	328	4,1	T3N250*	200	0,82	8,1		T1B160		T3N250		
1 x 160	4	210	210	5,2	T3N250*	250	0,84	5,2	S200	T1B160				
2 x 160		210	420	5,2	T3N250*	250	0,84	10,4		T1C160		T3N250		
1 x 200	4	262	262	6,5	T4N320	320	0,82	6,5		T1B160				
2 x 200		262	525	6,5	T4N320	320	0,82	12,9		T1C160		T3N250	T5N400	
1 x 250	4	328	328	8,1	T5N400	400	0,82	8,1		T1B160		T3N250		
2 x 250		328	656	8,1	T5N400	400	0,82	16,1		T1N160		T3N250	T5N400	
1 x 315	4	413	413	10,2	T5N630	630	0,66	10,2		T1C160		T3N250		
2 x 315		413	827	10,1	T5N630	630	0,66	20,2		T1N160		T3N250	T5N400	
1 x 400	4	525	525	12,9	T5N630	630	0,83	12,9		T1C160		T3N250	T5N400	
2 x 400		525	1050	12,8	T5N630	630	0,83	25,6		T2N160		T3S250	T5N400	
1 x 500	4	656	656	16,1	T6N800	800	0,82	16,1		T1N160		T3N250	T5N400	
2 x 500		656	1312	15,9	T6N800	800	0,82	31,7		T2S160		T3S250	T5S400	
1 x 630	4	827	827	20,2	T7S1000/X1B1000**	1000	0,83	20,2		T1N160		T3N250	T5N400	
2 x 630		827	1653	19,8	T7S1000/X1B1000**	1000	0,83	39,7		T2S160		T3S250	T5S400	
3 x 630	5	827	2480	38,9	T7S1000/X1B1000**	1000	0,83	58,3		T2L160		T4H250	T5H400	
1 x 800		1050	1050	20,6	T7S1250/X1B1250**	1250	0,84	20,6		T1N160		T3N250	T5N400	
2 x 800	5	1050	2099	20,1	T7S1250/X1B1250**	1250	0,84	40,3		T2S160		T4H250	T5H400	
3 x 800		1050	3149	39,5	T7S1250/X1B1250**	1250	0,84	59,2		T2L160		T4H250	T5H400	
1 x 1000	5	1312	1312	25,6	T7S1600/X1B1600**	1600	0,82	25,6		T2N160		T3S250	T5N400	
2 x 1000		1312	2624	24,9	T7S1600/X1B1600**	1600	0,82	49,8		T2H160		T4H250	T5H400	
3 x 1000	5	1312	3936	48,6	T7H1600/X1N1600**	1600	0,82	72,9		T2L160		T4L250	T5L400	
1 x 1250		1640	1640	31,7	E2B2000	2000	0,82	31,7		T2S160		T3S250	T5S400	
2 x 1250	6,25	1640	3280	30,8	E2B2000	2000	0,82	61,5		T2L160		T4H250	T5H400	
3 x 1250		1640	4921	59,6	E2N2000	2000	0,82	89,5		T4L250		T4L250	T5L400	
1 x 1600	6,25	2099	2099	32,5	E3N2500	2500	0,84	32,5		T2S160		T3S250	T5S400	
2 x 1600		2099	4199	31,4	E3N2500	2500	0,84	62,9		T2L160		T4H250	T5H400	
3 x 1600	6,25	2099	6298	60,9	E3N2500	2500	0,84	91,4		T4L250		T4L250	T5L400	
1 x 2000		2624	2624	40,3	E3N3200	3200	0,82	40,3		T2S160		T4H250	T5H400	
2 x 2000	6,25	2624	5249	38,7	E3N3200	3200	0,82	77,4		T4L250		T4L250	T5L400	
3 x 2000		2624	7873	74,4	E3S3200	3200	0,82	111,7		T4V250		T4V250	T5V400	
1 x 2500	6,25	3280	3280	49,8	E4S4000	4000	0,82	49,8		T2H160		T4H250	T5H400	
1 x 3125	6,25	4100	4100	61,5	E6H5000	5000	0,82	61,5		T2L160		T4H250	T5H400	

* в этом случае можно также использовать автоматические выключатели серии Tmax, оснащенные электронными расцепителями

** в этом случае можно также использовать автоматический выключатель серии Emax типа E1

3 Защита электрического оборудования

Авт. выключатель "В" (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								
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		
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	

1SDC010037R0201

3 Защита электрического оборудования

Таблица 4: Защита и коммутация трансформаторов напряжением 690 В

Трансформатор				Авт. выключатель "А" (сторона НН)			Расцепитель		Шина I _k					
S _T	цк	Трансф. I _T	Шина I _D	Фидер трансф. I _k	Авт. выключатель АББ	In [A]	мин. уставка	[кА]	32 А	63 А	125 А	160 А	250 А	400 А
[кВА]	[%]	[А]	[А]	[кА]										
1 x 63	4	53	53	1,3	T1B*	63	0,84	1,3	T1B160					
2 x 63		53	105	1,3	T1B*	63	0,84	2,6	T1B160					
1 x 100	4	84	84	2,1	T1B*	100	0,84	2,1	T1B160					
2 x 100		84	167	2,1	T1B*	100	0,84	4,2	T1N160					
1 x 125	4	105	105	2,6	T1B*	125	0,84	2,6	T1B160					
2 x 125		105	209	2,6	T1B*	125	0,84	5,2	T1N160					
1 x 160	4	134	134	3,3	T1C*	160	0,84	3,3	T1C160					
2 x 160		134	268	3,3	T1C*	160	0,84	6,6	T2S160					
1 x 200	4	167	167	4,2	T3N250*	200	0,84	4,2	T1N160					
2 x 200		167	335	4,1	T3N250*	200	0,84	8,3	T2L160				T4N250	
1 x 250	4	209	209	5,2	T3S250*	250	0,84	5,2	T1N160					
2 x 250		209	418	5,1	T3S250*	250	0,84	10,3	T4N250				T4N250	
1 x 315	4	264	264	6,5	T4N320	320	0,82	6,5	T2S160					
2 x 315		264	527	6,5	T4N320	320	0,82	12,9	T4N250				T4N250	T5N400
1 x 400	4	335	335	8,3	T5N400	400	0,84	8,3	T2L160				T4N250	
2 x 400		335	669	8,2	T5N400	400	0,84	16,3	T4N250				T4N250	T5N400
1 x 500	4	418	418	10,3	T5N630	630	0,66	10,3	T4N250				T4N250	
2 x 500		418	837	10,1	T5N630	630	0,66	20,2	T4S250				T4S250	T5S400
1 x 630	4	527	527	12,9	T5N630	630	0,84	12,9	T4N250				T4N250	T5N400
2 x 630		527	1054	12,6	T5N630	630	0,84	25,3	T4H250				T4H250	T5H400
3 x 630		527	1581	24,8	T5S630	630	0,84	37,2	T4H250				T4H250	T5H400
1 x 800	5	669	669	13,1	T6N800	800	0,84	13,1	T4N250				T4N250	T5N400
2 x 800		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	T4N250				T4N250	T5N400
2 x 1000		837	1673	15,9	T7S1000/X1B1000**	1000	0,84	31,8	T4H250				T4H250	T5H400
3 x 1000		837	2510	31,0	T7H1000/X1B1000**	1000	0,84	46,5	T4L250				T4L250	T5L400
1 x 1250	5	1046	1046	20,2	T7S1250/X1B1250**	1250	0,84	20,2	T4S250				T4S250	T5S400
2 x 1250		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	T4S250				T4S250	T5S400
2 x 1600		1339	2678	20,1	T7S1600/X1B1600**	1600	0,84	40,1	T4L250				T4L250	T5L400
3 x 1600		1339	4016	38,9	T7H1600/X1B1600**	1600	0,84	58,3	T4L250				T4L250	T5L400
1 x 2000	6,25	1673	1673	25,7	E2B2000	2000	0,84	25,7	T4H250				T4H250	T5H400
2 x 2000		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

* в этом случае можно также использовать автоматические выключатели серии Tmax, оснащенные электронными расцепителями

** в этом случае можно также использовать автоматический выключатель серии Emax типа E1

3 Защита электрического оборудования

Авт. выключатель "В" (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
T5S630								
T5H630								
T5H630	T7H800/X1B800	T7H1000/X1B1000	T7H1250/X1B1250					
T5H630	T6L800/X1B800							
T5H630	T7H800/X1N800	T7H1000/X1N1000	T7H1250/X1N1250	T7H1600/X1N1600				
T5N630								
T5H630	T7H800/X1B800	T7H1000/X1B1000	T7H1250/X1B1250					
T5L630	T7L800/X1N800	T7L1000/X1N1000	T7L1250/X1N1250	T7L1600/X1N1600	E2N2000			
T5S630	T6S800/X1B800							
T5H630	T7H800/X1B800	T7H1000/X1B1000	T7H1250/X1B1250	T7H1600/X1N1600				
T5L630	T7V800/E2S800	T7V1000/E2S1000	T7V1250/ES21250	E2S1600	E2S2000			
T5S630	T6S800/X1B800	T7S1000/X1B1000						
T5L630	T7H800/X1B800	T7H1000/X1B1000	T7H1250/X1B1250	T7H1600/X1B1600	E2B2000			
T5L630	T7V800/E2S800	T7V1000/X1B1000	T7V1250/ES21250	E2S1600	E2S2000	E3N2500	E3N3200	
T5H630	T6L800/X1N800	T7S1000/E2S1000	T7S1250/X1N1250					
T5L630	T7L800/X1N800	T7L1000/X1N1000	T7L1250/X1N1250	T7L1600/X1N1600	E2N2000	E3N2500		
T5V630	E3S1000		E3S1250	E3S1600	E3S2000	E3S2500	E3S3200	E4S4000
T5H630	T7H800/X1B800	T7H1000/X1B1000	T7H1250/X1B1250	T7H1600/X1B1600				
T5H630	T7H800/X1B800	T7H1000/X1B1000	T7H1250/X1B1250	T7H1600/X1B1600	E2B2000			

1SDCC010038F0201

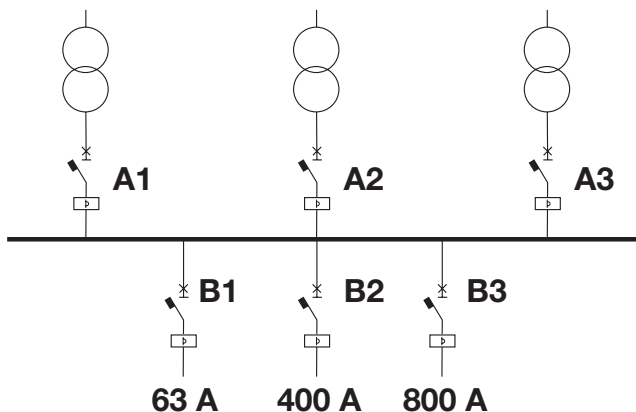
3 Защита электрического оборудования

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

3 Защита электрического оборудования

Из Таблицы 2, из строки, относящейся к трансформаторам 3 x 630 кВА, получаем:

Автоматические выключатели уровня А (сторона низкого напряжения трансформатора)

- I_T 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.

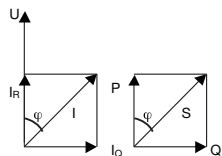
Автоматические выключатели уровня В (отходящие фидеры)

- I_k шины (64,2 кА) – ток короткого замыкания, создаваемый всеми тремя трансформаторами;
- для фидера 63 А, выбираем автоматический выключатель В1 Tmax T2N160;
- для фидера 400 А, выбираем автоматический выключатель В2 Tmax T5N400;
- для фидера 800 А, выбираем автоматический выключатель В3 Tmax T6N800 или Tmax X1N800.

Сделанный выбор не учитывает требования селективности/резервной защиты. Для правильного выбора для различных случаев смотрите соответствующие разделы справочника.

4 Коррекция коэффициента мощности

4.1 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 .

$$\cos\varphi = \frac{I_R}{I} = \frac{P}{S} \quad (1)$$

Коэффициент мощности (\cos) определяется как соотношение активной составляющей I_R и значения полного тока I ; φ - это угол между напряжением U и током I .

Это дает:

$$\tan\varphi = \frac{Q}{P} \quad (2)$$

Реактивный коэффициент нагрузки ($\tan\varphi$) является соотношением реактивной и активной мощности.

4 Коррекция коэффициента мощности

Таблица 1 показывает несколько типовых коэффициентов мощности:

Таблица 1: Типовые коэффициенты мощности

Нагрузка	$\cos \varphi$	$\tan \varphi$
	коэффициент мощности	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	1,0±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 действие, повышающее коэффициент мощности в определенных участках электроустановки путем локального снабжения необходимой реактивной мощностью, с целью уменьшить значение тока до эквивалентного потребляемой мощности и, следовательно, полной мощности, потребляемой из вышерасположенной системы. Таким образом, линия и питающий генератор могут быть выбраны для более низкого значения полной мощности, требуемой нагрузкой.

В частности, как показано на Рис. 1 и Рис. 2, повышение коэффициента мощности нагрузки:

- уменьшает относительное падение напряжения $u_{гр}$ на единицу передаваемой активной мощности;
- увеличивает передаваемую активную мощность и уменьшает потери при прочих равных параметрах системы.

4 Коррекция коэффициента мощности

Рисунок 1: Относительное падение напряжения

Падение напряжения на единицу передаваемой активной мощности

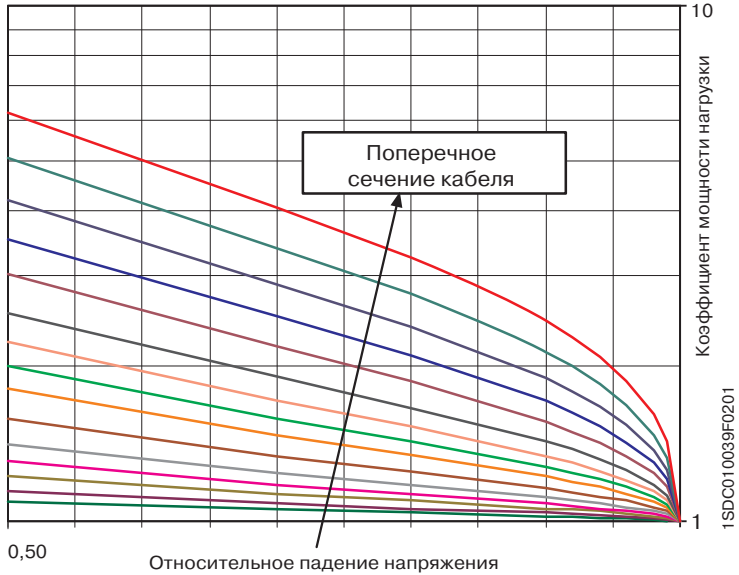
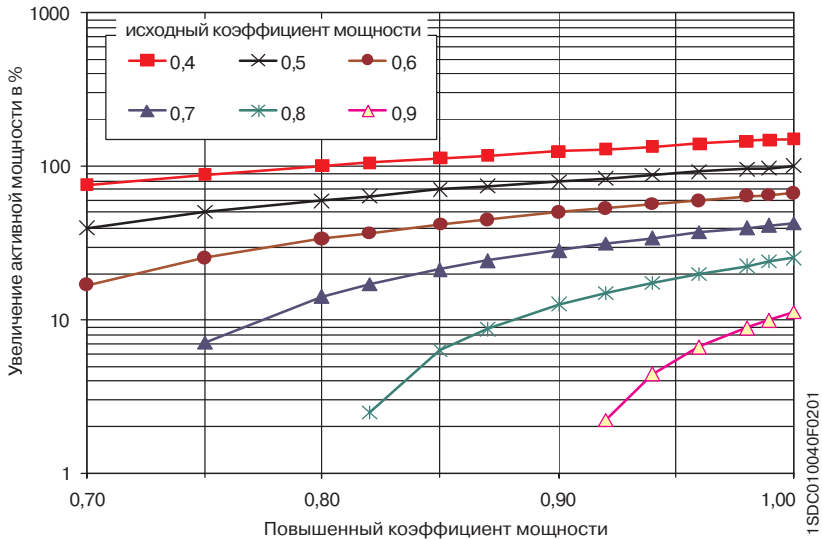


Рисунок 2: Передаваемая активная мощность

Активная мощность повышается при равных параметрах системы



4 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 с 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:

$$Q_c = Q_2 - Q_1 = P \cdot (\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2) \quad (3)$$

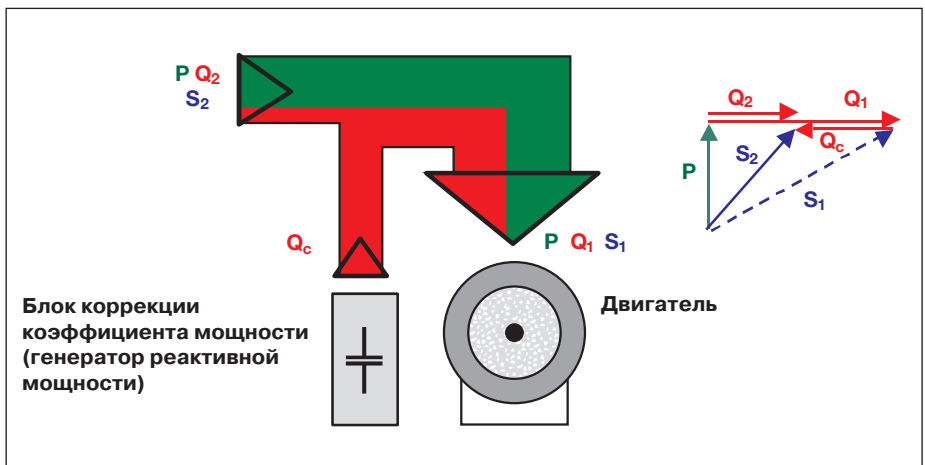
где:

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.



4 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

4 Коррекция коэффициента мощности

Пример

Представим, что необходимо изменить коэффициент мощности трехфазной системы ($U_T = 400 \text{ В}$), 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:

$$Q_C = K_C \cdot P = 0,335 \cdot 300 = 106,5 \text{ кВАр}$$

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».

4 Коррекция коэффициента мощности

Характеристики конденсатора, указанные на заводской табличке:

- номинальное напряжение U_r , 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	$C = \frac{Q_c}{2\pi f_r \cdot U_r^2}$	$C = \frac{Q_c}{2\pi f_r \cdot U_r^2}$	$C = \frac{Q_c}{2\pi f_r \cdot U_r^2 \cdot 3}$
Номинальный ток элементов	$I_c = 2\pi f_r \cdot C \cdot U_r$	$I_{lc} = 2\pi f_r \cdot C \cdot U_r / \sqrt{3}$	$I_{lc} = 2\pi f_r \cdot C \cdot U_r$
Линейный ток	$I_l = I_c$	$I_l = I_{lc}$	$I_l = I_{lc} \cdot \sqrt{3}$

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 выводах до 75 В за 3 минуты, как определено соответствующим Стандартом.

4.2 Методы коррекции коэффициента мощности

Единая коррекция коэффициента мощности

Единая 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 $\cos \varphi$ происходит систематически и автоматически с выгодой не только для организации, занимающейся распределением электропитания, но и для внутренней распределительной системы потребителя в целом.

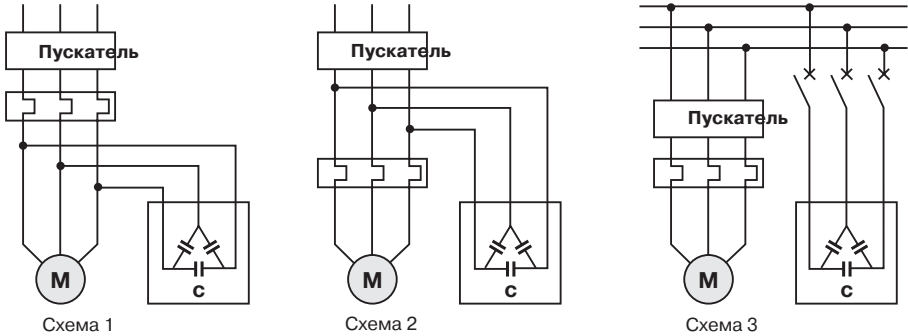
Этот тип коррекции коэффициента мощности рекомендуется в случаях большого количества потребителей с постоянным коэффициентом нагрузки и мощности и с длительным временем работы.

Индивидуальная коррекция коэффициента мощности применяется для двигателей и люминесцентных ламп. В данном случае блоки конденсаторов или маленькие осветительные конденсаторы соединены непосредственно с нагрузками.

4 Коррекция коэффициента мощности

Индивидуальная коррекция коэффициента мощности для двигателей

Следующие рисунки показывают типовые схемы соединения:



1SDC010028F0001

В случае прямого соединения (Схема 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 Рис. 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 [A] является только реактивным, если напряжение выражено в вольтах, мы имеем:

$$Q_c = 0,9 Q_0 = 0,9 \frac{\sqrt{3} U_r I_0}{1000} \text{ [кВАр]} \quad (6)$$

Ток I_0 обычно указывается в документации, поставляемой производителем двигателя.

4 Коррекция коэффициента мощности

В Таблице 3 даны 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		После коррекции	
		$\cos \varphi_r$	I_r [А]	$\cos \varphi_2$	I_2 [А]
400 В / 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	24,2
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
400 В / 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

4 Коррекция коэффициента мощности

P_r [кВт]	Q_c [кВАр]	До коррекции		После коррекции	
		$\cos \varphi_r$	I_r [А]	$\cos \varphi_2$	I_2 [А]
400 В / 50 Гц / 6 полюсов / 1000 об/мин					
7,5	5	0,79	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
37	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
400 В / 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
110	35	0,83	202	0,94	178,8
132	50	0,8	250	0,93	214,6

4 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

Трансформатор – это электрическое устройство чрезвычайной важности, которое из-за требований системы непрерывно находится в эксплуатации.

В частности, 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:

$$Q_c = \sqrt{\left(\frac{i_0\%}{100} \cdot S_r\right)^2 - P_{fe}^2} + K_L^2 \cdot \sqrt{\left(\frac{u_k\%}{100} \cdot S_r\right)^2 - P_{cu}^2} \approx \left(\frac{i_0\%}{100} \cdot S_r\right) + K_L^2 \cdot \left(\frac{u_k\%}{100} \cdot S_r\right) \text{ [кВАр]} \quad (7)$$

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 то время как использование упрощенной формулы дает:

$$Q_c = \left(\frac{i_0\%}{100} \cdot S_r\right) + K_L^2 \cdot \left(\frac{u_k\%}{100} \cdot S_r\right) = \left(\frac{1,8\%}{100} \cdot 630\right) + 0,6^2 \cdot \left(\frac{4\%}{100} \cdot 630\right) = 20,4 \text{ кВАр}$$

4 Коррекция коэффициента мощности

В Таблице 4 дана 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

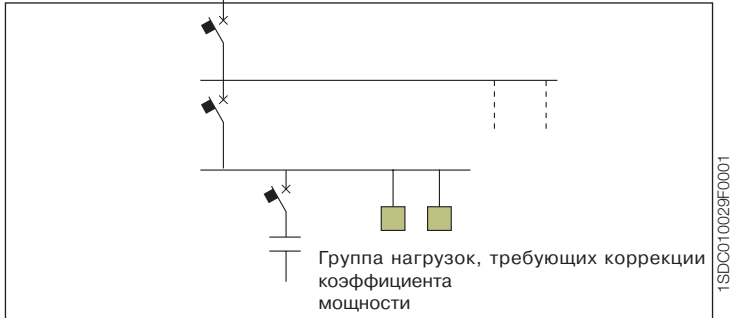
S_r [кВА]	$\cos\varphi$ [%]	i_o [%]	Q_c [кВАр]		Коэффициент нагрузки K_L				
			P_{fe} [кВт]	P_{cu} [кВт]	0	0,25	0,5	0,75	1
Масляный распределительный трансформатор СН/НН									
50	4	2,9	0,25	1,35	1,4	1,5	1,8	2,3	2,9
100	4	2,5	0,35	2,30	2,5	2,7	3,3	4,3	5,7
160	4	2,3	0,48	3,20	3,6	4	5	6,8	9,2
200	4	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.

4 Коррекция коэффициента мощности

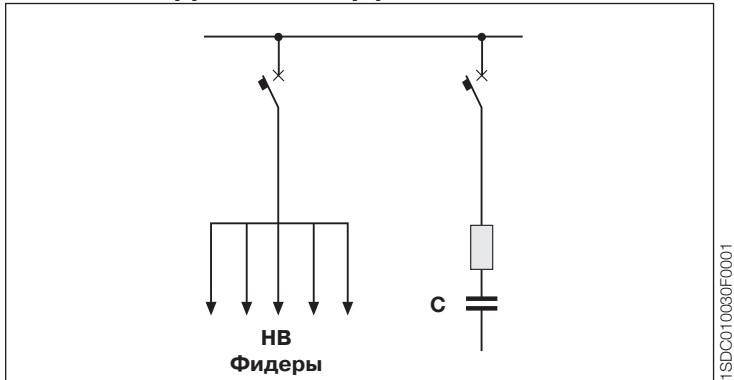
Групповая коррекция коэффициента мощности



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.

4 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.

4.3 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 этих пиковых токов;
2. выдерживать периодические или 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_{rc} (из-за возможного присутствия гармоник в напряжении сети);

- допускается 15% отклонение от значения емкости.

Максимальный ток, который может потребляться конденсаторной батареей, I_{cmax} составляет:

$$I_{cmax} = 1,3 \cdot 1,15 \frac{Q_c}{\sqrt{3} U_r} \gg 1,5 I_{rc} \quad (8)$$

Таким образом:

- номинальный ток автоматического выключателя должен быть больше чем $1,5 \cdot I_{rc}$;
- уставка защиты от перегрузки должна быть равной $1,5 \cdot I_{rc}$.

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_{rc}).

Таким образом:

- автоматический выключатель должен иметь соответствующую включающую способность;
- уставка мгновенной защиты от короткого замыкания не должна вызывать непредусмотренных срабатываний.

4 Коррекция коэффициента мощности

Обычно также соблюдается второе условие:

- для термомангнитных расцепителей магнитная защита должна быть установлена на значение не меньше чем $10 \cdot I_{\text{сmax}}$

$$I_3 \geq 10 \cdot I_{\text{сmax}} = 15 \cdot I_{\text{rc}} = 15 \cdot \frac{Q_c}{\sqrt{3} \cdot U_r} \quad (9)$$

- для электронных расцепителей мгновенная защита от короткого замыкания должна быть выключена ($I_3 = \text{OFF}$ (ВЫКЛ.))

Далее следуют сводные таблицы для автоматических выключателей: для определения исполнения в соответствии с отключающей способностью см. том 1, раздел 3.1 «Общие характеристики».

Следующие обозначения используются в таблицах (они относятся к максимальным значениям):

- $I_{\text{нCB}}$ = номинальный ток защитного расцепителя [A];
- I_{rc} = номинальный ток подключенной конденсаторной батареи [A];
- Q_c = мощность конденсаторной батареи, которая может быть присоединена [кВАр], в соответствии с указанным напряжением и частотой 50 Гц;
- N_{mech} = механическая износостойкость;
- f_{mech} = частота циклов механического срабатывания [циклов/час];
- N_{el} = электрическая износостойкость с учетом напряжения 415 В для автоматических выключателей в литом корпусе T_{max} (Таблица 5 и 6) и напряжения 440 В для воздушных автоматических выключателей (Таблица 7);
- f_{el} = частота электрических циклов [циклов/час];

Таблица 5: Сводная таблица для автоматических выключателей в литом корпусе T_{max}

Тип АВ	$I_{\text{нCB}}$ [A]	I_{rc} [A]	Q_c [кВАр]				N_{mech}	f_{mech} [ц/ч]	N_{el}	f_{el} [ц/ч]
			400 В	440 В	500 В	690 В				
T1 B-C-N 160	160	107	74	81	92	127	25000	240	8000	120
T2 N-S-H-L 160*	160	107	74	81	92	127	25000	240	8000	120
T3 N-S 250*	250	166	115	127	144	199	25000	240	8000	120
T4 N-S-H-L-V 250	250	166	115	127	144	199	20000	240	8000	120
T4 N-S-H-L-V 320	320	212	147	162	184	254	20000	240	6000	120
T5 N-S-H-L-V 400	400	267	185	203	231	319	20000	120	7000	60
T6 N-S-H-L-V 630	630	421	291	302	364	502	20000	120	7000	60
T6 N-S-H-L 800	800	533	369	406	461	637	20000	120	5000	60
T7 S-H-L 1000	1000	666	461	507	576	795	10000	60	2000	60
T7 S-H-L 1250	1250	833	577	634	721	994	10000	60	2000	60
T7 S-H-L- 1600	1600	1067	739	813	924	1275	10000	60	2000	60

*для втычного исполнения необходимо сократить максимальную мощность конденсаторной батареи на 10%

4 Коррекция коэффициента мощности

Таблица 7: Сводная таблица для воздушных автоматических выключателей Emax

Тип АВ	I_{ncv}	I_{rc}	Q_C [кВАр]				N_{mech}	f_{mech}	N_{el}	f_{el}
	(А)		400 В	440 В	500 В	690 В				
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

5 Защита человека

5.1 Основные положения: воздействие тока на человека

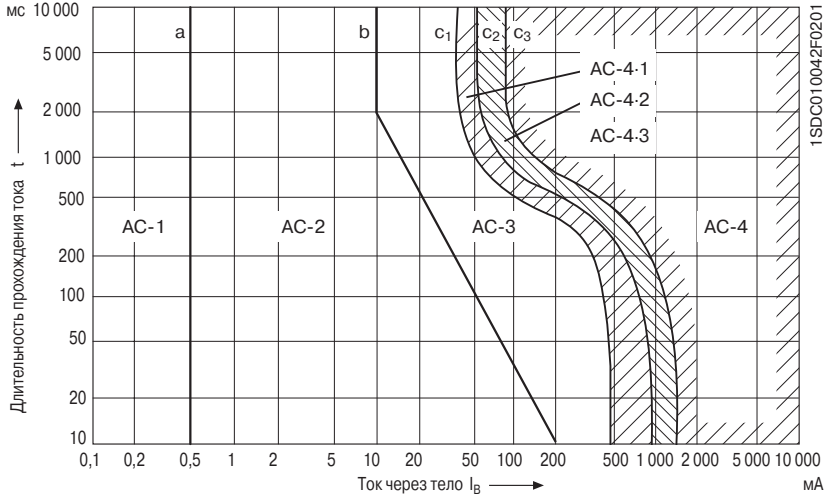
Опасность для человека вследствие контакта с частями, находящимися под напряжением, возникает из-за протекания тока через человеческое тело. Возможны следующие последствия:

- **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 контакте с такими токами 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 кардицикла. 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 графике время-ток четыре зоны, с которыми соотносятся физиологические воздействия переменного тока ($15 \div 100$ Гц), проходящего через человеческое тело.

5 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 паталого-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 длительности протекания тока менее 10 мс, ограничение для тока, проходящего через тело, для линии b сохраняется постоянным на уровне 200 мА.

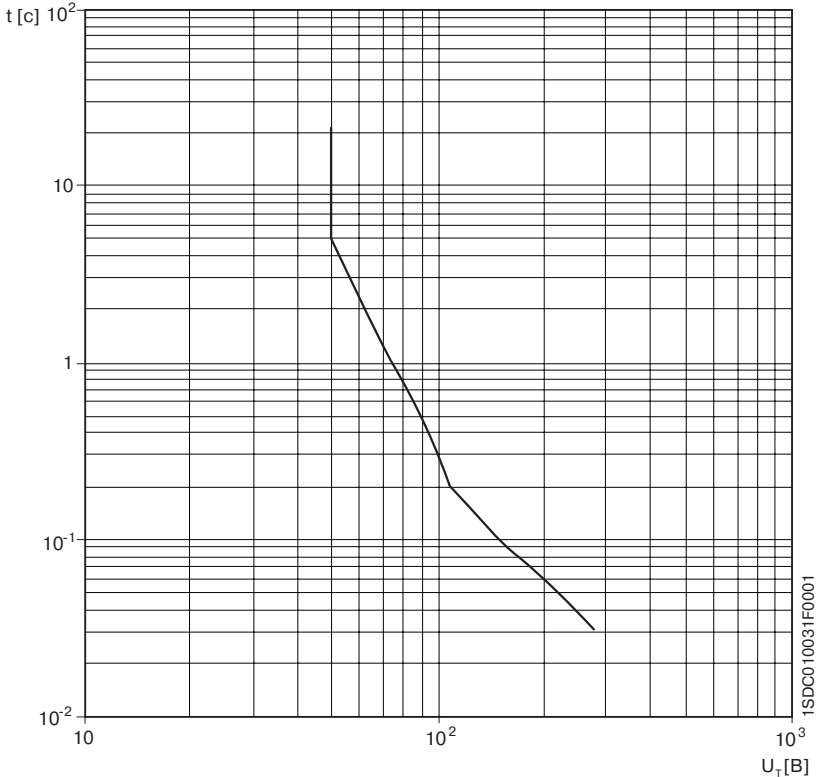
Данный Стандарт также содержит соответствующий график для постоянного тока. Используя закон Ома, можно определить кривую безопасности для разрешенных напряжений, после расчета полного сопротивления человеческого тела. Полное сопротивление человеческого тела зависит от многих факторов. Вышеупомянутый Стандарт дает разные значения полного сопротивления в зависимости от напряжения прикосновения и пути протекания тока.

5 Защита человека

Стандарт МЭК 60479-1 позволяет использовать ориентировочные значения полного сопротивления, обозначенные на рисунке, чтобы можно было получить кривую безопасности время-напряжение (Рис. 2), относящуюся к полному напряжению прикосновения U_T (т.е. напряжение, которое из-за нарушения изоляции присутствует между частью проводника и достаточно удаленной точкой заземления с нулевым потенциалом).

Это дает максимальное значение напряжения прикосновения в режиме холостого хода; таким образом, из соображений безопасности принимаются в расчет наиболее неблагоприятные условия.

Рисунок 2: Кривая безопасности



Из данной кривой безопасности следует, что для всех значений напряжения ниже 50 В допустимый разброс времени не определен; при 50 В допустимое время 5 с. Кривая, показанная на рисунке, относится к обычному местоположению; в особых случаях сопротивление человеческого тела по отношению к земле меняется и, следовательно, допустимое значение напряжения для неопределенного времени должно быть ниже 25 В.

Таким образом, если защита от косвенных прикосновений достигается путем разъединения цепи, необходимо убедиться, что такое отключение осуществляется в соответствии с кривой безопасности для любой распределительной системы.

5 Защита человека

5.2 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 МЭК 60364-1 классифицирует распределительные системы двумя буквами.

Первая буква показывает отношение силовой системы к земле:

- T: 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:

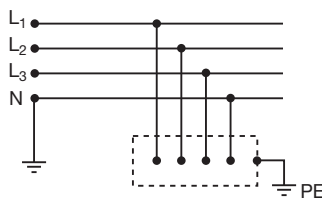
- T: прямое электрическое соединение открытых токопроводящих частей с землей;
- N: прямое электрическое соединение открытых токопроводящих частей с точкой заземления энергосистемы.

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).

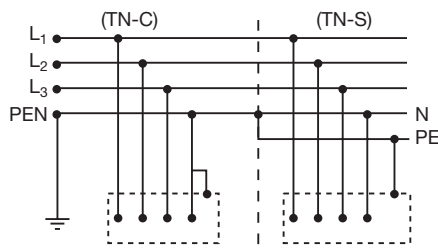
Существуют три типа распределительных систем:

Система TT



1SDCO10032F0001

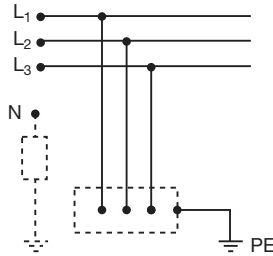
Система TN



1SDCO10033F0001

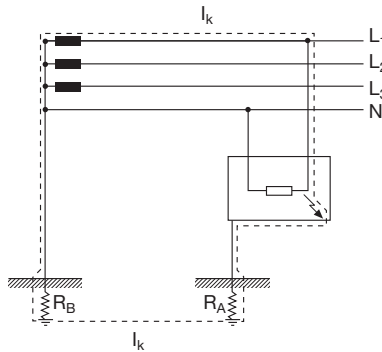
5 Защита человека

Система IT



1SDCC010034F0001

В системах **IT** нейтральный проводник и открытые токопроводящие части соединены с электрически независимыми заземляющими электродами; ток КЗ течет через землю к нейтральной точке питания (Рис. 1):



1SDCC010035F0001

Рис. 1

В установках типа **IT** нейтральный проводник соединен с центром звезды источника питания, он обычно распределен и служит для получения фазного напряжения (например, 220 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.

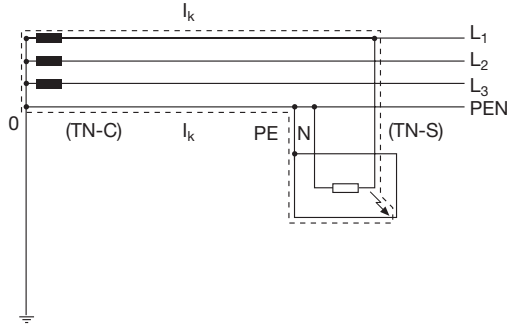
В зависимости от организации нейтрального и защитного проводников, системы TN подразделяют на три типа:

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).

5 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

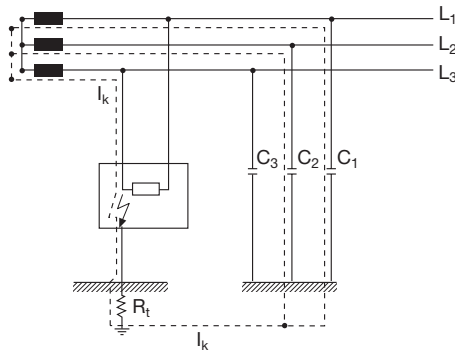


1SDCC010036F0001

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



1SDCC010037F0001

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.

5 Защита человека

5.3 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 напряжением (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: том 1, раздел 6.1 “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;

5 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; а именно:

- номинальное напряжение переменного тока не должно превышать 50 В среднеквадратичного напряжения и 120 В непULSEирующего 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.

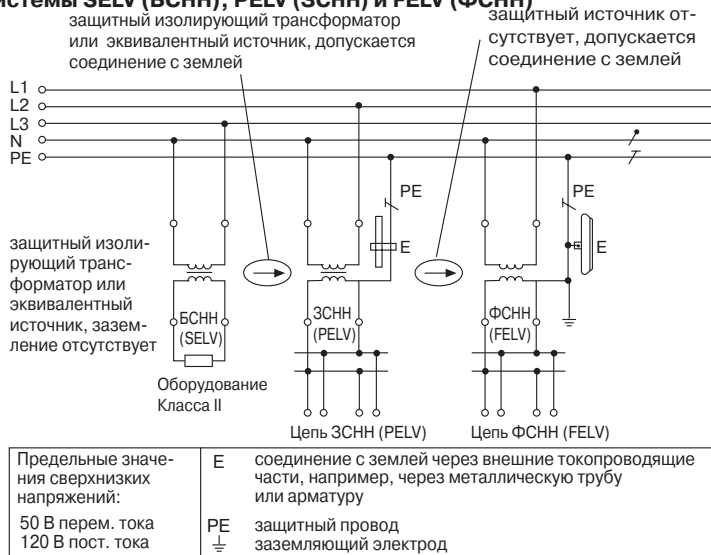
5 Защита человека

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:

- a) защита от прямого прикосновения должна быть обеспечена посредством:
- ограждений или оболочек со степенью защиты в соответствии с вышесказанным (средства 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.;
- b) 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)



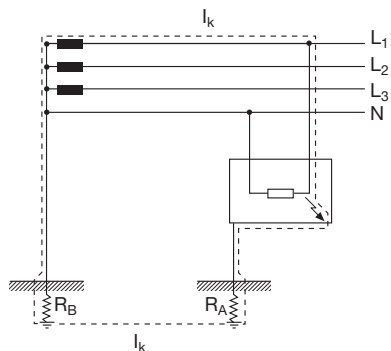
Примечание 1: Устройства защиты от сверхтоков на этом рисунке не показаны.

5 Защита человека

5.4 Система ТТ

Контур тока при замыкании на землю в системе ТТ представлен на Рис. 1:

Рисунок 1: Замыкание на землю в системе ТТ



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 защитное устройство должно быть скоординировано с системой заземления для мгновенного отключения питания, если напряжение прикосновения достигает значений, опасных для человеческого тела.

Принимая 50 В (25 В для определенных мест расположения) за предельную величину напряжения, условие, которое необходимо выполнить для ограничения напряжения прикосновения на открытых токопроводящих частях, подпадающих под данную предельную величину, следующее:

$$R_t \leq \frac{50}{I_a} \quad \text{или} \quad R_t \leq \frac{50}{I_{\Delta n}}$$

где:

R_t – суммарное сопротивление, равное сумме сопротивлений заземляющего электрода (R_A) и защитного проводника для открытых токопроводящих частей [Ом];

I_a – ток, обеспечивающий автоматическое срабатывание аппарата защиты от сверхтоков в течении 5 с, согласно его кривой срабатывания [А];

$I_{\Delta n}$ – номинальный рабочий дифференциальный ток автоматического выключателя, за 1 с [А].

5 Защита человека

Из вышесказанного очевидно, что величина R_t значительно отличается при использовании автоматических выключателей вместо аппаратов дифференциального тока.

В самом деле, при использовании первого необходимо обеспечить очень низкое значение сопротивления заземления (обычно менее 1 Ом), т.к. ток отключения за 5 с обычно высокий, в то время как для последнего можно реализовывать системы заземления со значением сопротивления в тысячи Ом, что легче осуществить.

Таблица 1 показывает максимальные значения сопротивления заземления, которые можно получить, используя аппараты дифференциального тока, при обычном месторасположении (50 В):

Таблица 1: Значения сопротивления заземления

$I_{\Delta n}$ [А]	R_t [Ом]
0,01	5000
0,03	1666
0,1	500
0,3	166
0,5	100
3	16
10	5
30	1,6

Пример:

Предположим, что защита обеспечена использованием автоматического выключателя Tmax T1B160 In125, значения тока срабатывания за время менее 5 с, согласно кривой срабатывания около 750 А, при включении из холодного состояния (наихудший случай для термомангнитных расцепителей).

Таким образом:

$$R_t \leq \frac{50}{750} = 0,06 \text{ Ом}$$

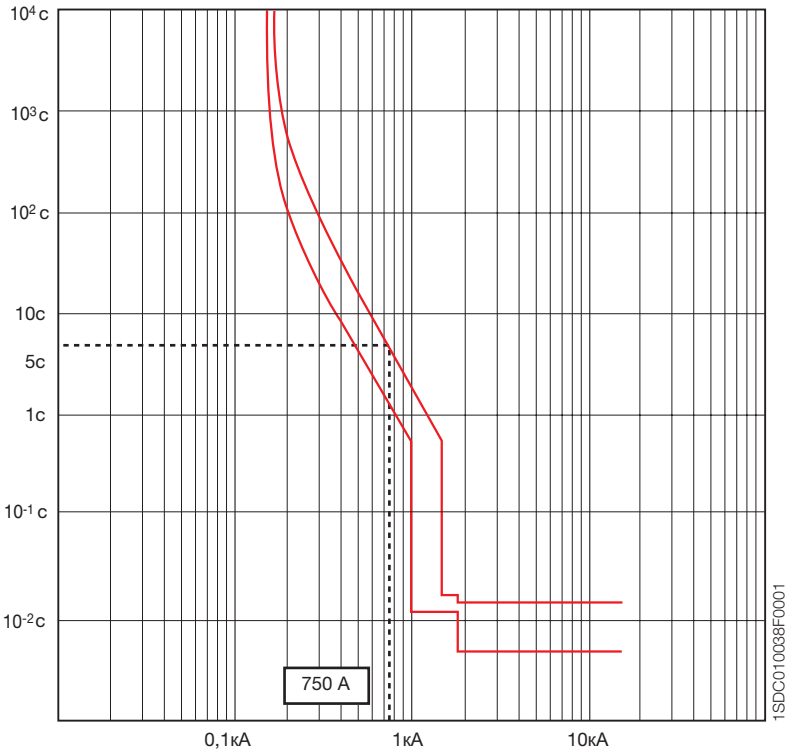
Для обеспечения требуемой защиты необходимо выполнить систему заземления с сопротивлением $R_t \leq 0,06$ Ом, данное значение труднодостижимо.

И наоборот, при использовании того же автоматического выключателя с расцепителем дифференциального тока АББ RC221, с номинальным рабочим дифференциальным током $I_{\Delta n} = 0,03$ А, требуемое значение сопротивления заземления будет:

$$R_t \leq \frac{50}{0,03} = 1666,6 \text{ Ом}$$

что легко осуществимо на практике.

5 Защита человека



В электроустановках с обычной системой заземления и нагрузками, защищенными устройствами с разными токами отключения, для достижения координации всех нагрузок с системой заземления необходимо предусмотреть худший случай для устройства с самым высоким током отключения.

Как следствие, когда несколько фидеров защищены устройствами защиты от сверхтоков, а несколько других - аппаратами дифференциального тока, все преимущества от использования расцепителей дифференциального тока сводятся к нулю, так как R_f должно быть рассчитано на основе I_{5C} устройства защиты от сверхтока, а это наивысший ток отключения из этих двух устройств.

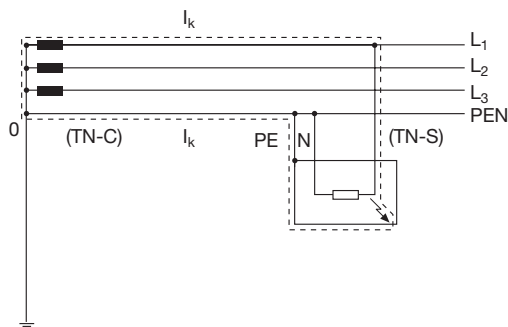
Таким образом, рекомендуется защищать все нагрузки системы ТТ посредством использования автоматических выключателей дифференциального тока, скоординированных с системой заземления, для достижения преимуществ как быстрого разъединения цепи при выявлении повреждения, так и легко выполняемой системы заземления.

5 Защита человека

5.5 Система TN

Контур тока при замыкании на землю в системе TN представлен на Рис. 1:

Рисунок 1: Замыкание на землю в системе TN



1SDC010036RF0001

Контур замыкания не влияет на систему заземления и формируется последовательным соединением фазного и защитного проводников.

Для обеспечения защиты с автоматическим разъединением цепи в соответствии со Стандартом МЭК 60364-4 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 напряжение, действующее, переменного тока относительно земли [В];

I_a – ток, вызывающий автоматическое срабатывание устройства защитного отключения в пределах времени, указанного в Таблице 1, в зависимости от номинального напряжения U_0 или, для распределительных цепей допускается условное время отключения, не превышающее 5 с [А]; если защита обеспечена аппаратом дифференциального тока, I_a – номинальный дифференциальный рабочий ток $I_{\Delta n}$.

Таблица 1: Максимальные значения времени разъединения для систем TN

U_0 [В]	Время разъединения [с]
120	0,8
230	0,4
400	0,2
> 400	0,1

5 Защита человека

В системах TN замыкание на землю с низким полным сопротивлением, возникающее на стороне низкого напряжения, вызывает ток короткого замыкания с достаточно высоким значением из-за низкого значения полного сопротивления контура повреждения. Защита от косвенного прикосновения может быть обеспечена автоматическими выключателями: необходимо убедиться, что рабочий ток в пределах установленного времени ниже, чем ток короткого замыкания.

Использование аппаратов дифференциального тока улучшает условия защиты, в особенности когда полное сопротивление контура замыкания имеет высокое значение, таким образом ограничивая ток короткого замыкания; этот ток может существовать достаточно долгое время, вызывая перегрев проводников и риск возгорания.

Наконец, важно отметить тот факт, что аппараты дифференциального тока не могут использоваться в системах TN-C, так как нейтральные и защитные функции обеспечены одним проводником: данная конфигурация не даст работать аппарату дифференциального тока.

Пример:

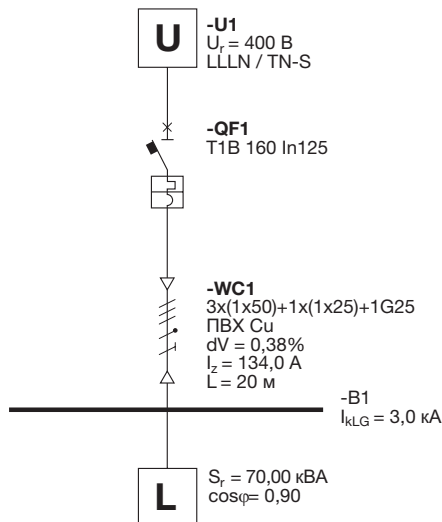
В установке, представленной на Рис. 2, ток замыкания на землю:

$$I_{kLG} = 3 \text{ кА}$$

Номинальное напряжение относительно земли 230 В, таким образом, в соответствии с Таблицей 1:

$$I_a(0,4s) \leq \frac{U_0}{Z_s} = I_{kLG} = 3 \text{ кА}$$

Рисунок 2

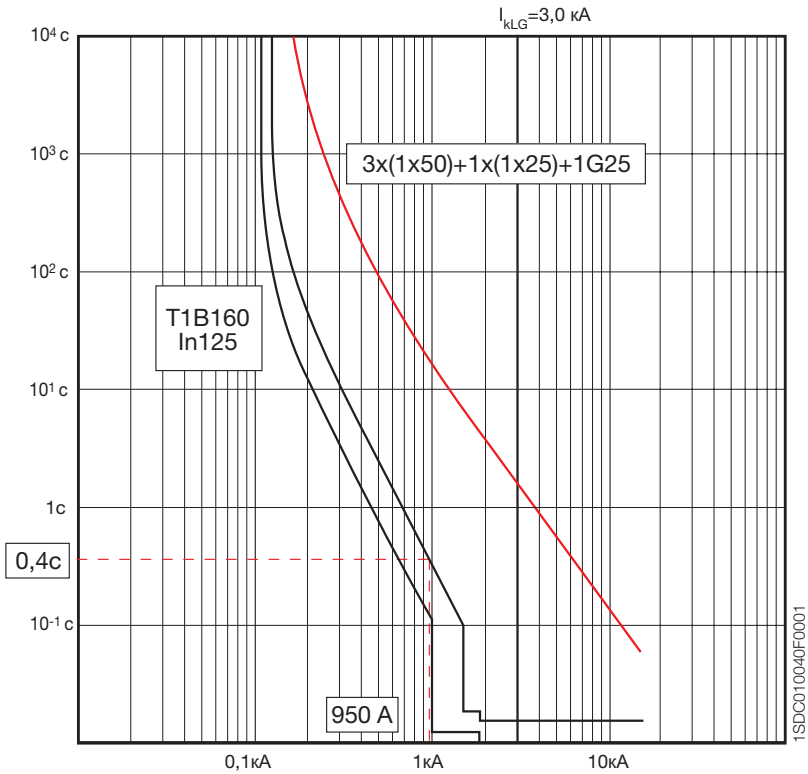


1SDC010039F0001

5 Защита человека

Из кривой срабатывания (Рисунок 3) очевидно, что автоматический выключатель срабатывает за 0,4 с при значении тока ниже 950 А. В результате защита от косвенного прикосновения обеспечивается тем же автоматическим выключателем, который защищает кабель от короткого замыкания и перегрузки, без необходимости использования дополнительного аппарата дифференциального тока.

Рисунок 3: Время-токовые кривые LG

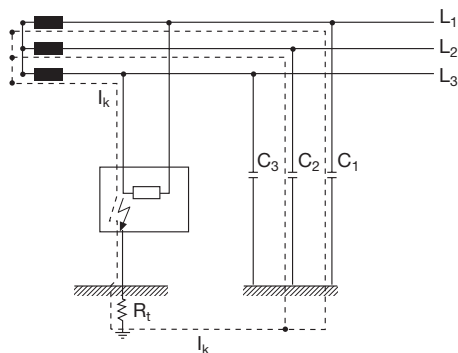


5 Защита человека

5.6 Система IT

Как показано на Рисунке 1, 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.

Рисунок 1: Замыкание на землю в системе IT



В соответствии со Стандартом МЭК 60364-4 нет необходимости в автоматическом разьединении цепи в случае первого замыкания на землю, только если выполнено следующее условие:

$$R_t \cdot I_d \leq U_L$$

где:

R_t – сопротивление заземляющего электрода для открытых токопроводящих частей [Ом];
 I_d – аварийный ток первого замыкания незначительного сопротивления между фазным проводником и открытой токопроводящей частью [А].

U_L - 50 В для обычных месторасположений (25 В для особых расположений).

При выполнении данного условия, после первого замыкания, значение напряжения прикосновения на открытых токопроводящих частях будет ниже 50 В, что допустимо для человеческого тела на неопределенное время, в соответствии с кривой безопасности (см. раздел 5.1 «Основные положения: воздействие тока на человека»).

В установках системы IT необходимо устройство контроля изоляции для

5 Защита человека

выявления случая первого замыкания на землю; в случае второго замыкания на землю питание должно быть отключено в соответствии со следующими требованиями:

- a) в случае заземления открытых проводящих частей в группах или индивидуально условия защиты совпадают с условиями для систем TT (см. раздел 5.4 « Система TT»);
- b) 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:
$$Z_s \leq \frac{U_r}{2 \cdot I_a}$$

если нейтраль распределена:

$$Z'_s \leq \frac{U_0}{2 \cdot I_a}$$

где:

- U_0 – номинальное напряжение между фазой и нейтралью [В];
- U_r – 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 времени разъединения, данного в Таблице 1, или в течение 5 с для распределительных цепей.

Таблица 1: Максимальное время разъединения в системах IT

Номинальное напряжение U_0/U_r [В]	Время разъединения [с]	
	нейтраль не распределена	нейтраль распределена
120/240	0,8	5
230/400	0,4	0,8
400/690	0,2	0,4
580/1000	0,1	0,2

В Стандарте МЭК 60364-4 сказано, что требования, перечисленные в пункте b) не могут быть выполнены с использованием защитного устройства от сверхтоков, защита каждого источника питания нагрузки должна быть обеспечена посредством аппарата дифференциального тока.

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).

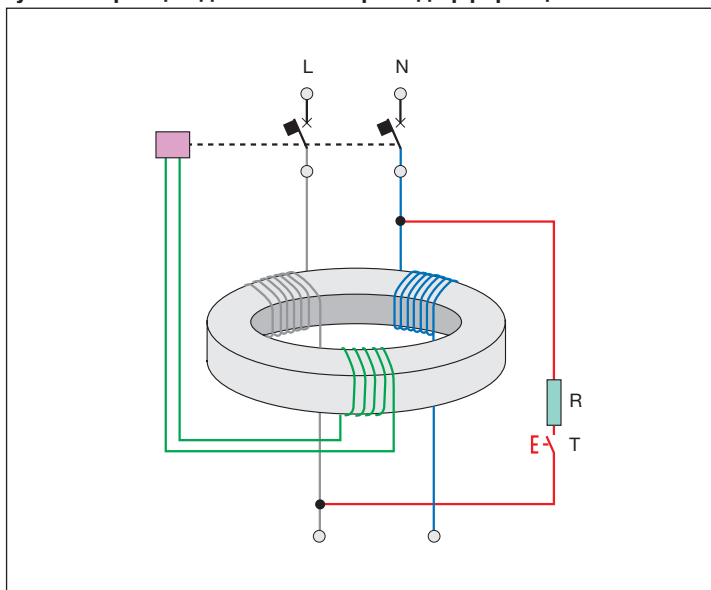
5 Защита человека

5.7 Аппараты дифференциального тока

Общие замечания об автоматических выключателях дифференциального тока

Принцип действия расцепителя дифференциального тока - обнаружение тока замыкания на землю посредством тороидального трансформатора, посредством которого контролируются все находящиеся под напряжением проводники, включая нейтраль, если она распределена.

Рисунок 1: Принцип действия аппарата дифференциального тока



1SDC010041F0001

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.

5 Защита человека

Аппараты дифференциального тока могут быть объединены или не объединены с другими устройствами; можно выделить:

- автоматические выключатели, управляемые дифференциальным током, (ВДТ): они имеют только расцепитель дифференциального тока и могут защищать только от замыкания на землю. Они должны быть соединены с термомагнитными автоматическими выключателями или плавкими предохранителями для защиты от тепловых и динамических нагрузок;
- автоматические выключатели, управляемые дифференциальным током, с защитой от сверхтока (АВДТ): это комбинация термомагнитного 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 $0,5 \cdot I_{\Delta n}$. Таким образом, можно заключить, 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.

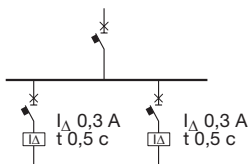
Селективность между аппаратами дифференциального тока (ВДТ)

В Стандарте МЭК 60364-5-53 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:

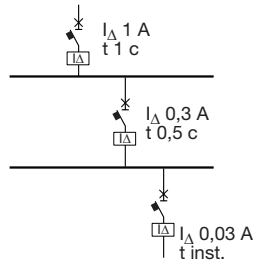
- горизонтальная селективность: обеспечивает защиту каждой линии использованием соответствующего ВДТ; таким образом, в случае замыкания на землю отсоединяется только поврежденная линия, так как другие аппараты дифференциального тока не выявляют ток повреждения. Тем не менее необходимо обеспечить защитные 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



5 Защита человека

Рисунок 3: Вертикальная селективность между ВДТ



В соответствии со Стандартом МЭК 60364-5-53, 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 $0,5 \cdot I_{\Delta n}$), 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 МЭК 61008-1 и МЭК 61009), 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 (МЭК 60364-4-41, п. 413.1)

5 Защита человека

5.8 Максимальная длина, при которой обеспечивается защита людей

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_r – 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;

$$m = \frac{S \cdot n}{S_{PE}} \quad \text{отношение между общим поперечным сечением фазного проводника}$$

(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;

$$m_1 = \frac{S_N \cdot n}{S_{PE}} \quad \text{отношение между общим поперечным сечением нейтрального проводника}$$

(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 [мм ²]	120	150	185	240	300
k_1	0,90	0,85	0,80	0,75	0,72

5 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.

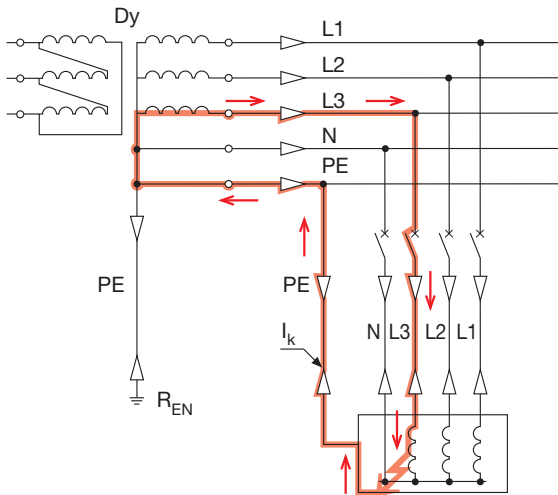
Система TN

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.

5 Защита человека

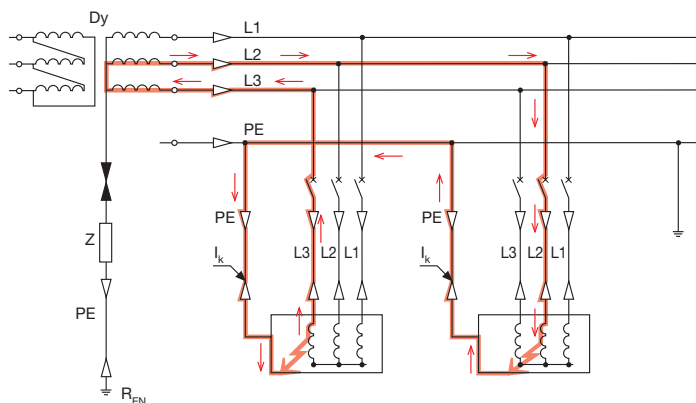
Сосредоточенная нейтраль

При возникновении второго замыкания на землю формула приобретает вид:

$$I_{k\min} = \frac{0,8 \cdot U_r \cdot S}{2 \cdot 1,5 \cdot 1,2 \cdot \rho \cdot (1+m) \cdot L} \cdot k_1 \cdot k_2$$

следовательно:

$$L = \frac{0,8 U_r S}{2 \cdot 1,5 \cdot 1,2 \cdot \rho \cdot (1+m) \cdot I_{k\min}} \cdot k_1 \cdot k_2$$



1SDC010044F0001

Нейтраль распределена

Случай А: трехфазные цепи в системе IT с распределенной нейтралью

Формула:

$$I_{k\min} = \frac{0,8 \cdot U_0 \cdot S}{2 \cdot 1,5 \cdot 1,2 \cdot \rho \cdot (1+m) \cdot L} \cdot k_1 \cdot k_2$$

следовательно:

$$L = \frac{0,8 U_0 S}{2 \cdot 1,5 \cdot 1,2 \cdot \rho \cdot (1+m) \cdot I_{k\min}} \cdot k_1 \cdot k_2$$

Случай В: трехфазные + нейтральные цепи в системе IT с распределенной нейтралью

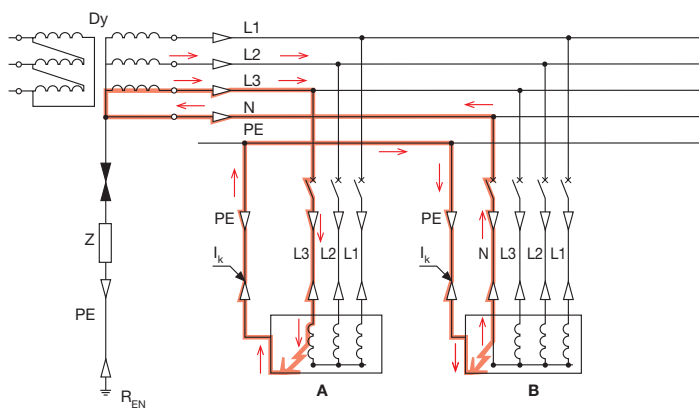
Формула:

$$I_{k\min} = \frac{0,8 \cdot U_0 \cdot S_N}{2 \cdot 1,5 \cdot 1,2 \cdot \rho \cdot (1+m_i) \cdot L} \cdot k_1 \cdot k_2$$

следовательно:

$$L = \frac{0,8 U_0 \cdot S_N}{2 \cdot 1,5 \cdot 1,2 \cdot \rho \cdot (1+m_i) \cdot I_{k\min}} \cdot k_1 \cdot k_2$$

5 Защита человека



1SDCC010045F0001

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 5.5 для систем TN и в Таблице 1 разделе 5.6 для систем IT.

Для условий, отличных от перечисленных, необходимо применять приведенные ниже поправочные коэффициенты.

5 Защита человека

Поправочные коэффициенты

Поправочные коэффициенты для параллельных проводников каждой из фаз: значение максимально защищаемой длины из Таблицы 2 (система TN) или Таблицы 3 (система IT) 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 из Таблицы 2 (система TN) или Таблицы 3 (система IT) 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 из Таблицы 2 (система TN) или Таблицы 3 (система IT) должно быть умножено на следующий коэффициент:

k_{Al}	0,64
----------	------

Поправочный коэффициент для поперечного сечения защитного проводника S_{PE} , отличного от поперечного сечения из Таблицы 1: значение максимально защищаемой длины должно быть умножено на коэффициент, соответствующий поперечному сечению фазного проводника и отношению между защитным проводником (PE) и поперечными сечениями фазы:

$\frac{S_{PE}}{S}$	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 (только для Таблицы 3): значение максимально защищаемой длины должно быть умножено на 0,58.

5 Защита человека

Максимальная защищаемая
длина для системы TN
с автоматическими
выключателями МСВ

Таблица 2.1: Кривая Z

КРИВАЯ	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z
In	≤10	13	16	20	25	32	40	50	63	
Iz	30	39	48	60	75	96	120	150	189	
S	S _{PE}									
1,5	1,5	173	133	108	86	69	54	43		
2,5	2,5	288	221	180	144	115	90	72	58	45
4	4	461	354	288	231	185	144	115	92	72
6	6	692	532	432	346	277	216	173	138	108
10	10	1153	886	721	577	461	360	288	231	180
16	16	1845	1419	1153	923	738	577	461	369	288
25	16	2250	1730	1406	1125	900	703	563	450	352

Таблица 2.2: Кривая В

КРИВАЯ	В	В	В	В	В	В	В	В	В	В	В	В	В
In	≤6	8	10	13	16	20	25	32	40	50	63	80	100
Iz	30	40	50	65	80	100	125	160	200	250	315	400	500
S	S _{PE}												
1,5	1,5	173	130	104	80	65	52	42	32	26			
2,5	2,5	288	216	173	133	108	86	69	54	43	35	27	
4	4	461	346	277	213	173	138	111	86	69	55	44	35
6	6	692	519	415	319	259	208	166	130	104	83	66	52
10	10	1153	865	692	532	432	346	277	216	173	138	110	86
16	16	1845	1384	1107	852	692	554	443	346	277	221	176	138
25	16	2250	1688	1350	1039	844	675	540	422	338	270	214	169
35	16												190
													152

Таблица 2.3: Кривая С

КРИВАЯ	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С
In	≤3	4	6	8	10	13	16	20	25	32	40	50	63	80	100
Iz	30	40	60	80	100	130	160	200	250	320	400	500	630	800	1000
S	S _{PE}														
1,5	1,5	173	130	86	65	52	40	32	26	21	16	13			
2,5	2,5	288	216	144	108	86	67	54	43	35	27	22	17	14	
4	4	461	346	231	173	138	106	86	69	55	43	35	28	22	17
6	6	692	519	346	259	208	160	130	104	83	65	52	42	33	26
10	10	1153	865	577	432	346	266	216	173	138	108	86	69	55	43
16	16	1845	1384	923	692	554	426	346	277	221	173	138	111	88	69
25	16	2250	1688	1125	844	675	519	422	338	270	211	169	135	107	84
35	16														95
															76
															61

5 Защита человека

Максимальная
защищаемая длина
для системы TN с
автоматическими
выключателями в
литом корпусе МССВ

Таблица 2.6: TmaxT1 TMD

S	In	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1
		≤50	≤50	63	80	100	125	160
Iz		500 A	630 A	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In
S	SPE							
1,5	1,5	6						
2,5	2,5	10						
4	4	15	12	12	10	8	6	
6	6	23	18	18	14	12	9	7
10	10	38	31	31	24	19	15	12
16	16	62	49	49	38	31	25	19
25	16	75	60	60	47	38	30	23
35	16	84	67	67	53	42	34	26
50	25	128	102	102	80	64	51	40
70	35	179	142	142	112	90	72	56
95	50	252	200	200	157	126	101	79

Таблица 2.7: Tmax T2 TMD

S	In	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2
		1,6	2	2,5	3,2	4	5	6,3	8	10	12,5	16-50	63	80	100	125	160
Iz		10 In	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In	500 A	10 In	10 In	10 In	10 In
S	SPE																
1,5	1,5	246	197	157	123	98	79	62	49	39	31	8					
2,5	2,5	410	328	262	205	164	131	104	82	66	52	13					
4	4	655	524	419	328	262	210	166	131	105	84	21	17	13	10	8	
6	6	983	786	629	491	393	315	250	197	157	126	31	25	20	16	13	10
10	10	1638	1311	1048	819	655	524	416	328	262	210	52	42	33	26	21	16
16	16	2621	2097	1677	1311	1048	839	666	524	419	335	84	67	52	42	34	26
25	16				1598	1279	1023	812	639	511	409	102	81	64	51	41	32
35	16						1151	914	720	576	460	115	91	72	58	46	36
50	25								1092	874	699	175	139	109	87	70	55
70	35										979	245	194	153	122	98	76
95	50											343	273	215	172	137	107
120	70											417	331	261	209	167	130
150	95											518	411	324	259	207	162
185	95											526	418	329	263	211	165

5 Защита человека

Максимальная
защищаемая длина
для системы TN с
автоматическими
выключателями в
литом корпусе MCCB

Таблица 2.8: T_{max} T3 TMD

		T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3
	In	63	80	100	125	160	200	250
	I ₃	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In
S	S _{PE}							
4	4	17	13	10	8			
6	6	25	20	16	13	10	8	
10	10	42	33	26	21	16	13	10
16	16	67	52	42	34	26	21	17
25	16	81	64	51	41	32	26	20
35	16	91	72	58	46	36	29	23
50	25	139	109	87	70	55	44	35
70	35	194	153	122	98	76	61	49
95	50	273	215	172	137	107	86	69
120	70	331	261	209	167	130	104	83
150	95	411	324	259	207	162	130	104
185	95	418	329	263	211	165	132	105
240	120	499	393	315	252	197	157	126

Таблица 2.9: T_{max} T4 TMD/TMA

		T4	T4	T4	T4	T4	T4	T4	T4	
	In	20	32	50	80	100	125	160	200	250
	I ₃	320 A	10 In	10 In	5...10 In	5...10 In	5...10 In	5...10 In	5...10 In	5...10 In
S	S _{PE}									
1,5	1,5	14	14	9	11...5	9...4	7...3	5...3	4...2	3...2
2,5	2,5	23	23	14	18...9	14...7	12...6	9...5	7...4	6...3
4	4	36	36	23	29...14	23...12	18...9	14...7	12...6	9...5
6	6	54	54	35	43...22	35...17	28...14	22...11	17...9	14...7
10	10	90	90	58	72...36	58...29	46...23	36...18	29...14	23...12
16	16	144	144	92	115...58	92...46	74...37	58...29	46...23	37...18
25	16	176	176	113	141...70	113...56	90...45	70...35	56...28	45...23
35	16	198	198	127	158...79	127...63	101...51	79...40	63...32	51...25
50	25	300	300	192	240...120	192...96	154...77	120...60	96...48	77...38
70	35	420	420	269	336...168	269...135	215...108	168...84	135...67	108...54
95	50	590	590	378	472...236	378...189	302...151	236...118	189...94	151...76
120	70	717	717	459	574...287	459...229	367...184	287...143	229...115	184...92
150	95	891	891	570	713...356	570...285	456...228	356...178	285...143	228...114
185	95	905	905	579	724...362	579...290	463...232	362...181	290...145	232...116
240	120	1081	1081	692	865...432	692...346	554...277	432...216	346...173	277...138
300	150	1297	1297	830	1038...519	830...415	664...332	519...259	415...208	332...166

5 Защита человека

Максимальная защищаемая длина для системы TN с автоматическими выключателями в литом корпусе MCCB

Таблица 2.10: Tmax T5-T6 TMA

S	I ₃	T5	T5	T5	T6	T6
		320	400	500	630	800
S _{PE}		5...10 In	5...10 In	5...10 In	5...10 In	5...10 In
1,5	1,5	3...1	2...1	2...1	1...1	1...1
2,5	2,5	5...2	4...2	3...1	2...1	2...1
4	4	7...4	6...3	5...2	4...2	3...1
6	6	11...5	9...4	7...3	5...3	4...2
10	10	18...9	14...7	12...6	9...5	7...4
16	16	29...14	23...12	18...9	15...7	12...6
25	16	35...18	28...14	23...11	18...9	14...7
35	16	40...20	32...16	25...13	20...10	16...8
50	25	60...30	48...24	38...19	31...15	24...12
70	35	84...42	67...34	54...27	43...21	34...17
95	50	118...59	94...47	76...38	60...30	47...24
120	70	143...72	115...57	92...46	73...36	57...29
150	95	178...89	143...71	114...57	91...45	71...36
185	95	181...90	145...72	116...58	92...46	72...36
240	120	216...108	173...86	138...69	110...55	86...43
300	150	259...130	208...104	166...83	132...66	104...52

Таблица 2.11: Tmax T2 с PR221

S	I ₃	T2	T2	T2	T2	T2
		10	25	63	100	160
S _{PE}		5,5 In	5,5 In	5,5 In	5,5 In	5,5 In
1,5	1,5	79	31	12		
2,5	2,5	131	52	21		
4	4	210	84	33	21	
6	6	315	126	50	31	20
10	10	524	210	83	52	33
16	16	839	335	133	84	52
25	16	1023	409	162	102	64
35	16	1151	460	183	115	72
50	25	1747	699	277	175	109
70	35	2446	979	388	245	153
95	50	3434	1374	545	343	215
120	70	4172	1669	662	417	261
150	95	5183	2073	823	518	324
185	95	5265	2106	836	526	329

Примечание: Если уставка функции I отлична от номинального значения (5,5), значение максимальной защищаемой длины должно быть умножено на отношение номинального значения и значения уставки.

5 Защита человека

Максимальная
защищаемая длина
для системы TN с
автоматическими
выключателями в литом
корпусе MCCB

Таблица 2.12: T_{max} T4-T5-T6 с PR221 - PR222 - PR223
T_{max} T7 с PR231 -PR232 - PR331 - PR332

	T4	T4	T4	T4	T5	T5	T5	T6	T6	T6	T7	T7	T7	T7	
In	100	160	250	320	320	400	630	630	800	1000	800	1000	1250	1600	
I ₃	6,5 In	6,5 In	6,5 In	6,5 In	6,5 In	6,5 In	6,5 In	6,5 In	6,5 In	6,5 In	6,5 In	6,5 In	6,5 In	6,5 In	
S	SPE														
1,5	1,5														
2,5	2,5														
4	4														
6	6	29	18												
10	10	48	30	19											
16	16	77	48	31	24	24	19								
25	16	94	59	38	30	30	24	15							
35	16	106	66	43	33	33	27	17							
50	25	161	101	65	50	50	40	26	20	20					
70	35	226	141	90	71	71	56	36	36	28	23	28	23	18	14
95	50	317	198	127	99	99	79	50	50	40	32	40	32	25	20
120	70	385	241	154	120	120	96	61	61	48	39	48	39	31	24
150	95	478	299	191	150	150	120	76	76	60	48	60	48	38	30
185	95	486	304	194	152	152	121	77	77	61	49	61	49	39	30
240	120	581	363	232	181	181	145	92	92	73	58	73	58	46	36
300	150	697	435	279	218	218	174	111	111	87	70	87	70	55	43

Примечание: Если уставка функции I отлична от номинального значения (6,5), значение максимальной защищаемой длины должно быть умножено на отношение номинального значения и значения уставки.

5 Защита человека

Максимальная
защищаемая длина
для системы IT с
автоматическими
выключателями МСВ

Таблица 3.1: Кривая Z

КРИВАЯ	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z
In	≤8	10	13	16	20	25	32	40	50	63
Iz	30	30	39	48	60	75	96	120	150	189
S	SPE									
1,5	1,5	150	150	115	94	75	60	47	37	
2,5	2,5	250	250	192	156	125	100	78	62	50
4	4	400	400	307	250	200	160	125	100	80
6	6	599	599	461	375	300	240	187	150	120
10	10	999	999	768	624	499	400	312	250	200
16	16	1598	1598	1229	999	799	639	499	400	320
25	16	1949	1949	1499	1218	974	780	609	487	390

Таблица 3.2: Кривая В

КРИВАЯ	В	В	В	В	В	В	В	В	В	В	В	В
In	≤6	8	10	13	16	20	25	32	40	50	63	80
Iz	30	40	50	65	80	100	125	160	200	250	315	400
S	SPE											
1,5	1,5	150	112	90	69	56	45	36	28	22		
2,5	2,5	250	187	150	115	94	75	60	47	37	30	24
4	4	400	300	240	184	150	120	96	75	60	48	38
6	6	599	449	360	277	225	180	144	112	90	72	57
10	10	999	749	599	461	375	300	240	187	150	120	95
16	16	1598	1199	959	738	599	479	384	300	240	192	152
25	16	1949	1462	1169	899	731	585	468	365	292	234	186
35	16											165

Таблица 3.3: Кривая С

КРИВАЯ	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С	С
In	≤3	4	6	8	10	13	16	20	25	32	40	50	63	80	100
Iz	30	40	60	80	100	130	160	200	250	320	400	500	630	800	1000
S	SPE														
1,5	1,5	150	112	75	56	45	35	28	22	18	14	11			
2,5	2,5	250	187	125	94	75	58	47	37	30	23	19	15	12	
4	4	400	300	200	150	120	92	75	60	48	37	30	24	19	15
6	6	599	449	300	225	180	138	112	90	72	56	45	36	29	22
10	10	999	749	499	375	300	230	187	150	120	94	75	60	48	37
16	16	1598	1199	799	599	479	369	300	240	192	150	120	96	76	60
25	16	1949	1462	974	731	585	450	365	292	234	183	146	117	93	73
35	16														82

Максимальная
защищаемая длина
для системы IT с
автоматическими
выключателями МСВ

5 Защита человека

Таблица 3.4: Кривая K

КРИВАЯ	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	
In	≤2	≤3	4	4,2	5,8	6	8	10	11	13	15	16	20	25	26	32	37	40	41	45	50	63	
Iз	28	42	56	59	81	84	112	140	154	182	210	224	280	350	364	448	518	560	574	630	700	882	
S	S _{PE}																						
1,5	1,5	161	107	80	76	55	54	40	32	29	25	21	20	16	13	12	10	9	8				
2,5	2,5	268	178	134	127	92	89	67	54	49	41	36	33	27	21	21	17	14	13	13	12		
4	4	428	285	214	204	148	143	107	86	78	66	57	54	43	34	33	27	23	21	21	19	17	14
6	6	642	428	321	306	221	214	161	128	117	99	86	80	64	51	49	40	35	32	31	29	26	20
10	10	1070	713	535	510	369	357	268	214	195	165	143	134	107	86	82	67	58	54	52	48	43	34
16	16	1712	1141	856	815	590	571	428	342	311	263	228	214	171	137	132	107	93	86	84	76	68	54
25	16	2088	1392	1044	994	720	696	522	418	380	321	278	261	209	167	161	130	113	104	102	93	84	66

Таблица 3.5: Кривая D

КРИВАЯ	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	
In	≤2	3	4	6	8	10	13	16	20	25	32	40	50	63	80	100	
Iз	40	60	80	120	160	200	260	320	400	500	640	800	1000	1260	1600	2000	
S	S _{PE}																
1,5	1,5	112	75	56	37	28	22	17	14	11	9	7	6				
2,5	2,5	187	125	94	62	47	37	29	23	19	15	12	9	7	6		
4	4	300	200	150	100	75	60	46	37	30	24	19	15	12	10	7	6
6	6	449	300	225	150	112	90	69	56	45	36	28	22	18	14	11	9
10	10	749	499	375	250	187	150	115	94	75	60	47	37	30	24	19	15
16	16	1199	799	599	400	300	240	184	150	120	96	75	60	48	38	30	24
25	16	1462	974	731	487	365	292	225	183	146	117	91	73	58	46	37	29
35															41	33	

5 Защита человека

Максимальная защищаемая длина для системы IT с автоматическими выключателями в литом корпусе МССВ

Таблица 3.6: Tmax T1 TMD

		T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1
In		≤50	≤50	63	80	100	125	160
Iz		500 A	630 A	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In
S	SPE							
1,5	1,5	5						
2,5	2,5	8						
4	4	13	11	11	8	7	5	
6	6	20	16	16	12	10	8	6
10	10	33	26	26	21	17	13	10
16	16	53	42	42	33	27	21	17
25	16	65	52	52	41	32	26	20
35	16	73	58	58	46	37	29	23
50	25	111	88	88	69	55	44	35
70	35	155	123	123	97	78	62	49
95	50	218	173	173	136	109	87	68

Таблица 3.7: Tmax T2 TMD

		T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2
In		1,6	2	2,5	3,2	4	5	6,3	8	10	12,5	16÷50	63	80	100	125	160
Iz		10 In	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In	500 A	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In
S	SPE																
1,5	1,5	213	170	136	106	85	68	54	43	34	27	7					
2,5	2,5	355	284	227	177	142	113	90	71	57	45	11					
4	4	567	454	363	284	227	182	144	113	91	73	18	14	11	9	7	
6	6	851	681	545	426	340	272	216	170	136	109	27	22	17	14	11	9
10	10	1419	1135	908	709	567	454	360	284	227	182	45	36	28	23	18	14
16	16	2270	1816	1453	1135	908	726	576	454	363	291	73	58	45	36	29	23
25	16				1384	1107	886	703	554	443	354	89	70	55	44	35	28
35	16						997	791	623	498	399	100	79	62	50	40	31
50	25								946	757	605	151	120	95	76	61	47
70	35									847	212	168	132	106	85	66	
95	50										297	236	186	149	119	93	
120	70										361	287	226	181	145	113	
150	95										449	356	281	224	180	140	
185	95										456	362	285	228	182	142	

Максимальная
защищаемая длина
для системы IT с
автоматическими
выключателями в
литом корпусе МССВ

5 Защита человека

Таблица 3.8: Tmax T3 TMD

		T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3
In		63	80	100	125	160	200	250
I ₃		10 In	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In
S	S _{PE}							
4	4	14	11	9	7			
6	6	22	17	14	11	9	7	
10	10	36	28	23	18	14	11	9
16	16	58	45	36	29	23	18	15
25	16	70	55	44	35	28	22	18
35	16	79	62	50	40	31	25	20
50	25	120	95	76	61	47	38	30
70	35	168	132	106	85	66	53	42
95	50	236	186	149	119	93	74	59
120	70	287	226	181	145	113	90	72
150	95	356	281	224	180	140	112	90
185	95	362	285	228	182	142	114	91
240	120	432	340	272	218	170	136	109

Таблица 3.9: Tmax T4 TMD/TMA

		T4	T4	T4	T4	T4	T4	T4	T4	T4
In		20	32	50	80	100	125	160	200	250
I ₃		320 A	10 In	10 In	5...10 In	5...10 In	5...10 In	5...10 In	5...10 In	5...10 In
S	S _{PE}									
1,5	1,5	12	12	7	9...5	7...4	6...3	5...2	4...2	3...1
2,5	2,5	20	20	12	16...8	12...6	10...5	8...4	6...3	5...2
4	4	31	31	20	25...12	20...10	16...8	12...6	10...5	8...4
6	6	47	47	30	37...19	30...15	24...12	19...9	15...7	12...6
10	10	78	78	50	62...31	50...25	40...20	31...16	25...12	20...10
16	16	125	125	80	100...50	80...40	64...32	50...25	40...20	32...16
25	16	152	152	97	122...61	97...49	78...39	61...30	49...24	39...19
35	16	171	171	110	137...69	110...55	88...44	69...34	55...27	44...22
50	25	260	260	166	208...104	166...83	133...67	104...52	83...42	67...33
70	35	364	364	233	291...146	233...117	186...93	146...73	117...58	93...47
95	50	511	511	327	409...204	327...164	262...131	204...102	164...82	131...65
120	70	621	621	397	497...248	397...199	318...159	248...124	199...99	159...79
150	95	772	772	494	617...309	494...247	395...198	309...154	247...123	198...99
185	95	784	784	502	627...313	502...251	401...201	313...157	251...125	201...100
240	120	936	936	599	749...375	599...300	479...240	375...187	300...150	240...120
300	150	1124	1124	719	899...449	719...360	575...288	449...225	360...180	288...144

5 Защита человека

Максимальная защищаемая длина для системы ИТ с автоматическими выключателями в литом корпусе МССВ

Таблица 3. 10: Tmax T5-T6 TMA

S	In	T5	T5	T5	T6	T6
		320	400	500	630	800
S _{PE}	I _Δ	5...10 In	5...10 In	5...10 In	5...10 In	5...10 In
		1,5	1,5	2...1	2...1	1...1
2,5	2,5	4...2	3...2	2...1	2...1	2...1
4	4	6...3	5...2	4...2	3...2	2...1
6	6	9...5	7...4	6...3	5...2	4...2
10	10	16...8	12...6	10...5	8...4	6...3
16	16	25...12	20...10	16...8	13...6	10...5
25	16	30...15	24...12	19...10	15...8	12...6
35	16	34...17	27...14	22...11	17...9	14...7
50	25	52...26	42...21	33...17	26...13	21...10
70	35	73...36	58...29	47...23	37...18	29...15
95	50	102...51	82...41	65...33	52...26	41...20
120	70	124...62	99...50	79...40	63...32	50...25
150	95	154...77	123...62	99...49	78...39	62...31
185	95	157...78	125...63	100...50	80...40	63...31
240	120	187...94	150...75	120...60	95...48	75...37
300	150	225...112	180...90	144...72	114...57	90...45

Таблица 3. 11: Tmax T2 с PR221

S	In	T2	T2	T2	T2	T2
		10	25	63	100	160
S _{PE}	I _Δ	5,5 In	5,5 In	5,5 In	5,5 In	5,5 In
		1,5	1,5	68	27	11
2,5	2,5	113	45	18		
4	4	182	73	29	18	
6	6	272	109	43	27	17
10	10	454	182	72	45	28
16	16	726	291	115	73	45
25	16	886	354	141	89	55
35	16	997	399	158	100	62
50	25	1513	605	240	151	95
70	35	2119	847	336	212	132
95	50	2974	1190	472	297	186
120	70	3613	1445	573	361	226
150	95	4489	1796	713	449	281
185	95	4559	1824	724	456	285

Примечание: если уставка функции I отлична от номинального значения (5,5), значение максимальной защищаемой длины должно быть умножено на отношение номинального значения и значения уставки.

5 Защита человека

Максимальная защищаемая длина для системы IT с автоматическими выключателями в литом корпусе МССВ

Таблица 3. 12: Tmax T4-T5-T6 с PR221 - PR222 - PR223
Tmax T7 с PR231 - PR232 - PR331 - PR332

	T4	T4	T4	T4	T5	T5	T5	T6	T6	T6	T7	T7	T7	T7	
In	100	160	250	320	320	400	630	630	800	1000	800	1000	1250	1600	
I _Δ	6,5 In	6,5 In	6,5 In	6,5 In	6,5 In	6,5 In	6,5 In	6,5 In	6,5 In	6,5 In	6,5 In	6,5 In	6,5 In	6,5 In	
S	S _{PE}														
1,5	1,5														
2,5	2,5														
4	4														
6	6	25	16												
10	10	42	26	17											
16	16	67	42	27	21	21	17								
25	16	82	51	33	26	26	20	13	13						
35	16	92	58	37	29	29	23	15	15	12	12				
50	25	140	87	56	44	44	35	22	22	17	14	17			
70	35	196	122	78	61	61	49	31	31	24	20	24	19	16	12
95	50	275	172	110	86	86	69	44	44	34	27	34	27	22	17
120	70	333	208	133	104	104	83	53	53	42	33	42	33	26	21
150	95	414	259	166	129	129	104	66	66	52	41	52	41	33	26
185	95	421	263	168	132	132	105	67	67	53	42	53	42	33	26
240	120	503	314	201	157	157	126	80	80	63	50	63	50	40	31
300	150	603	377	241	189	189	151	96	96	75	60	75	60	48	37

Примечание: Если уставка функции I отлична от номинального значения (6,5), значение максимальной защищаемой длины должно быть умножено на отношение номинального значения и значения уставки.

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:

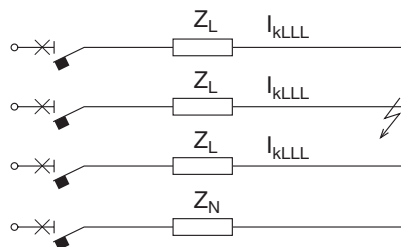
- трехфазное замыкание;
- двухфазное замыкание;
- однофазное замыкание на нейтраль;
- однофазное замыкание на землю;

В формулах используются следующие обозначения:

- I_k - ток короткого замыкания;
- U_r - номинальное напряжение;
- Z_L - полное сопротивление фазного проводника;
- Z_N - полное сопротивление нейтрального проводника;
- Z_{PE} - полное сопротивление защитного проводника;

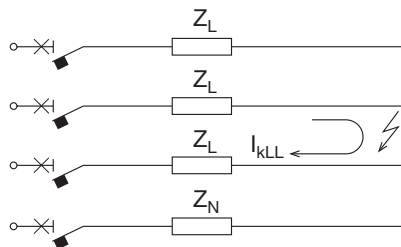
Приведенная далее таблица показывает по типам аварий отношение между значениями тока короткого замыкания для симметричных замыканий (трехфазных) и тока короткого замыкания для несимметричных замыканий (двухфазных или однофазных) в случае повреждений, удаленных от источника питания.

Трехфазное замыкание



$$I_{kLLL} = \frac{U_r}{\sqrt{3}Z_L}$$
$$Z_L = \sqrt{R_L^2 + X_L^2}$$

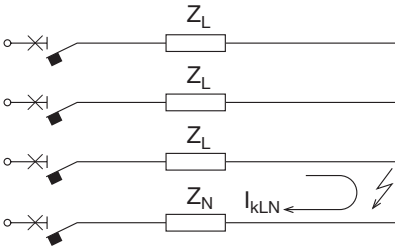
Двухфазное замыкание



$$I_{kLL} = \frac{U_r}{2Z_L} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{kLLL} = 0.87 I_{kLLL}$$

6 Расчет тока короткого замыкания

Однофазное замыкание на нейтраль



$$I_{kLN} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(Z_L + Z_N)}$$

Если $Z_L = Z_N$ (поперечное сечение нейтрального проводника равно сечению фазного проводника):

$$I_{kLN} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(Z_L + Z_N)} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(2Z_L)} = 0,5 I_{kLLL}$$

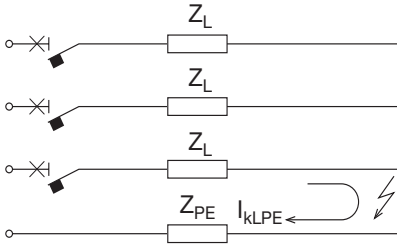
Если $Z_N = 2Z_L$ (поперечное сечение нейтрального проводника в два раза меньше сечения фазного проводника):

$$I_{kLN} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(Z_L + Z_N)} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(3Z_L)} = 0,33 I_{kLLL}$$

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 $Z_L = Z_{PE}$ (поперечное сечение защитного проводника равно сечению фазного проводника):

$$I_{kLPE} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(Z_L + Z_{PE})} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(2Z_L)} = 0,5 I_{kLL}$$

Если $Z_{PE} = 2Z_L$ (поперечное сечение защитного проводника в два раза меньше сечения фазного проводника):

$$I_{kLPE} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(Z_L + Z_{PE})} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(3Z_L)} = 0,33 I_{kLL}$$

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_{kLLL}	$I_{kLL} = 0,87 I_{kLLL}$	$I_{kLN} = 0,5 I_{kLLL} (Z_L = Z_N)$ $I_{kLN} = 0,33 I_{kLLL} (Z_L = 0,5 Z_N)$ $I_{kLN} = I_{kLLL} (Z_N \approx 0)$	$I_{kLPE} = 0,5 I_{kLLL} (Z_L = Z_{PE})$ $I_{kLPE} = 0,33 I_{kLLL} (Z_L = 0,5 Z_{PE})$ $I_{kLPE} = I_{kLLL} (Z_{PE} \approx 0)$
I_{kLL}	$I_{kLL} = 1,16 I_{kLL}$	-	$I_{kLN} = 0,58 I_{kLL} (Z_L = Z_N)$ $I_{kLN} = 0,38 I_{kLL} (Z_L = 0,5 Z_N)$ $I_{kLN} = 1,16 I_{kLL} (Z_N \approx 0)$	$I_{kLPE} = 0,58 I_{kLL} (Z_L = Z_{PE})$ $I_{kLPE} = 0,38 I_{kLL} (Z_L = 0,5 Z_{PE})$ $I_{kLPE} = 1,16 I_{kLL} (Z_{PE} \approx 0)$
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:

$$\text{Трехфазное короткое замыкание } I_k = \frac{S_k}{\sqrt{3} \cdot U_r}$$

$$\text{Двухфазное короткое замыкание } I_k = \frac{S_k}{2 \cdot U_r}$$

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 разных элементов установки

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} [MVA]
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_{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 %.

Обычно рассматривают худший случай, когда присутствует сверхпереходное реактивное сопротивление.

Следующая таблица дает 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} [MVA]	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:

$$S_{\text{kmot}} = \sqrt{3} \cdot U_r \cdot I_k$$

Типичные значения:

$S_{\text{kmot}} = 5 \div 7 S_{\text{rmot}}$
 (I_k - около $5 \div 7 I_{\text{rmot}}$: 5 для малогабаритных двигателей и 7 для крупногабаритных двигателей).

Трансформаторы

Мощность короткого замыкания трансформатора (S_{ktrafo}) может быть рассчитана с использованием следующей формулы:

$$S_{\text{ktrafo}} = \frac{100}{u_k \%} \cdot S_r$$

В следующей таблице даны 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_{ktrafo} [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:

$$S_{\text{kable}} = \frac{U_r^2}{Z_c}$$

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

S [мм ²]	230 [В]	400 [В]	440 [В]	500 [В]	690 [В]	230 [В]	400 [В]	440 [В]	500 [В]	690 [В]
	S _{кable} [МВА] при 50 Гц					S _{кable} [МВА] 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	30,1	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 аварии

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.

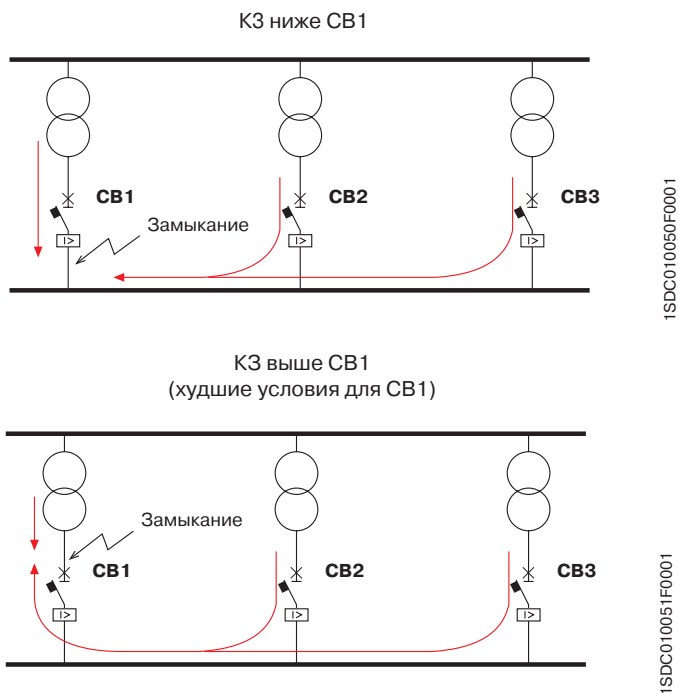
В случае разных параллельных ветвей, распределение тока между различными ветвями должно быть рассчитано после вычисления тока короткого замыкания в точке аварии. Это следует сделать для обеспечения правильного выбора защитных устройств, установленных в ветвях.

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, воздействующий на рассматриваемое устройство. При необходимости, следует принять в расчет влияние двигателей.

Например, в случае, рассмотренном ниже, 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:

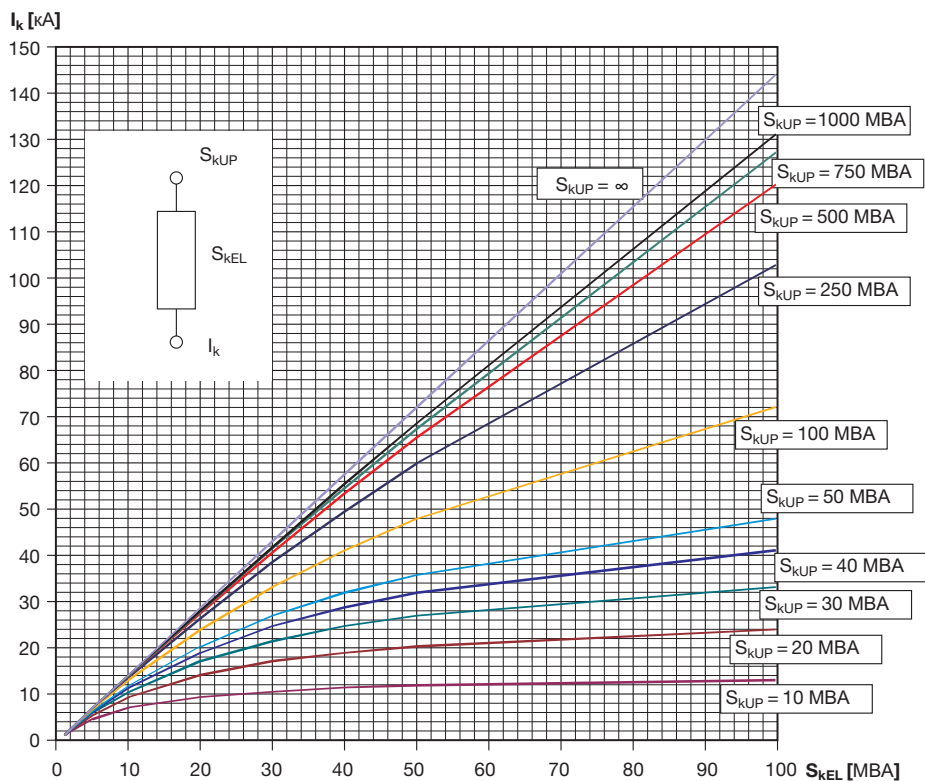
$$\text{Трехфазное короткое замыкание } I_k = \frac{S_k}{\sqrt{3} \cdot U_r}$$

$$\text{Двухфазное короткое замыкание } I_k = \frac{S_k}{2 \cdot U_r}$$

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



1SD0010062F0001

6 Расчет тока короткого замыкания

6.3.4 Примеры

В следующих примерах показан расчет тока короткого замыкания для различных типов установок.

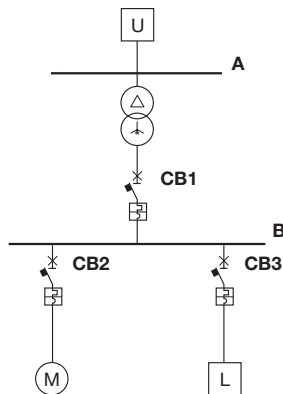
Пример 1

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: $P_r = 220 \text{ кВт}$
 $I_{\text{кмот}} / I_r = 6,6$
 $\cos \varphi_r = 0,9$
 $\eta = 0,917$

Основная нагрузка: $I_{\text{Л}} = 1443,4 \text{ А}$
 $\cos \varphi_r = 0,9$



1SDC010063F0001

Расчет мощности короткого замыкания для различных элементов

Сеть: $S_{\text{кнет}} = 500 \text{ МВА}$

Трансформатор: $S_{\text{ктрафо}} = \frac{100}{u_k \%} S_r = 26,7 \text{ МВА}$

Двигатель: $S_{\text{рмот}} = \frac{P_r}{\eta \cos \varphi_r} = 267 \text{ кВА}$

$S_{\text{кмот}} = 6,6 \cdot S_{\text{рмот}} = 1,76 \text{ МВА}$ 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:

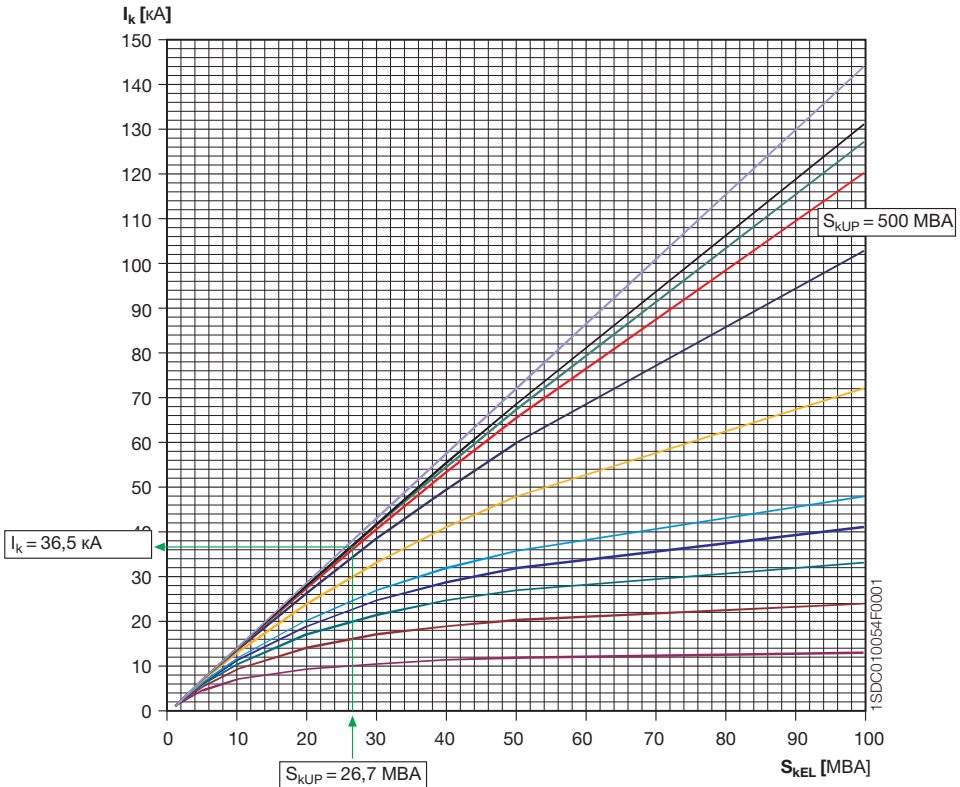
$$S_{\text{кСВ1}} = \frac{S_{\text{кнет}} S_{\text{ктраfo}}}{S_{\text{кнет}} + S_{\text{ктраfo}}} = 25,35 \text{ МВА}$$

максимальный аварийный ток:

$$I_{\text{кСВ1}} = \frac{S_{\text{кСВ1}}}{\sqrt{3} U_r} = 36,6 \text{ кА}$$

Номинальный ток трансформатора на стороне низкого напряжения равен 2309 А; поэтому выбираем автоматический выключатель Emax E3N 2500.

Используя график, показанный на Рис. 1, можно вычислить $I_{\text{кСВ1}}$, используя $S_{\text{кУР}} = S_{\text{кнет}} = 500 \text{ МВА}$ по значению $S_{\text{кЕЛ}} = S_{\text{ктраfo}} = 26,7 \text{ МВА}$:



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.

$$I_{кСВ1} = \frac{S_{кСВ1}}{\sqrt{3} U_r} = 36,6 \text{ кА}$$

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)

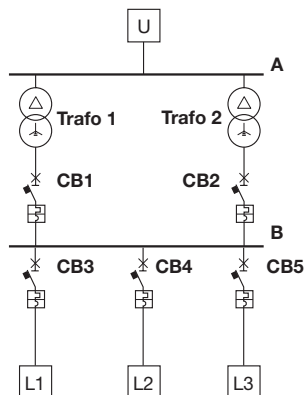
$$S_{кСВ3} = S_{кmot} + \frac{1}{\frac{1}{S_{кнет}} + \frac{1}{S_{ктраfo}}} = 27,11 \text{ МВА}$$

$$I_{кСВ3} = \frac{S_{кСВ3}}{\sqrt{3} U_r} = 39,13 \text{ кА}$$

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: $U_{r1} = 20000 \text{ В}$
 $S_{кнет} = 500 \text{ МВА}$

Трансформаторы 1 и 2: $S_r = 1600 \text{ кВА}$
 $u_k\% = 6\%$
 $U_{1r} / U_{2r} = 20000/400$

Нагрузка L1: $S_r = 1500 \text{ кВА}; \quad \cos\varphi = 0,9;$

Нагрузка L2: $S_r = 1000 \text{ кВА}; \quad \cos\varphi = 0,9;$

Нагрузка L3: $S_r = 50 \text{ кВА}; \quad \cos\varphi = 0,9.$

1SDC010065F0001

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.

$$S_{\text{kbusbar}} = \frac{S_{\text{knet}} (S_{\text{trafo1}} + S_{\text{trafo2}})}{S_{\text{knet}} + (S_{\text{trafo1}} + S_{\text{trafo2}})} = 48,2 \text{ МВА}$$

$$I_{\text{kbusbar}} = \frac{S_{\text{kbusbar}}}{\sqrt{3} U_r} = 69,56 \text{ кА}$$

$$I_{\text{kCB1(2)}} = \frac{I_{\text{kbusbar}}}{2} = 34,78 \text{ кА}$$

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 расчет ток 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 I_k в нижней части кабеля как функции тока в верхней части

Следующая таблица позволяет определить трехфазный ток короткого замыкания в сети 400 В в нижней части одножильного медного кабеля при температуре 20°C. Известны значения:

- трехфазного тока короткого замыкания в верхней части кабеля;
- длина и поперечное сечение кабеля.

Сечение кабеля [мм ²]	Длина [м]															
	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300
1,5																
2,5																
4																
6																
10																
16																
25																
35																
50																
70																
95																
120																
150																
185																
240																
300																
2x120																
2x150																
2x185																
3x120																
3x150																
3x185																

I_k верхней части [кА]	I_k нижней части [кА]															
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	8,0	6,0	3,0	2,5	2,0	1,3
100	96	92	89	85	82	78	71	65	60	50	43	36	31	27	24	20
90	86	83	81	78	76	72	67	61	57	48	42	35	31	27	24	20
80	77	75	73	71	69	66	62	57	53	46	40	34	30	27	24	20
70	68	66	65	63	62	60	56	53	49	43	38	33	29	26	23	19
60	58	57	56	55	54	53	50	47	45	40	36	31	28	25	23	19
50	49	48	47	46	45	44	43	41	39	35	32	29	26	23	21	18
40	39	39	38	38	37	37	35	34	33	31	28	26	24	22	20	17
35	34	34	34	33	33	32	32	31	30	28	26	24	22	20	19	16
30	30	29	29	28	28	28	27	26	25	23	22	20	19	18	16	14
25	25	24	24	24	24	24	23	23	22	21	21	19	18	17	16	14
20	20	20	20	19	19	19	19	18	18	18	17	16	15	15	14	13
15	15	15	15	15	15	14	14	14	14	14	13	13	12	12	11	10
12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11	11	11	10	10	10	9,3
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
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
6,0	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
3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,8	2,8	2,8	2,7	2,6

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

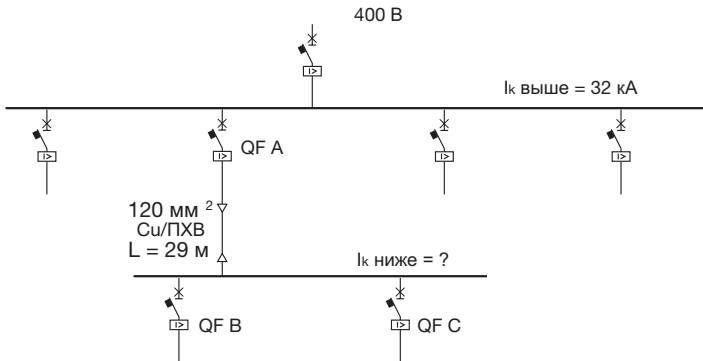
Номинальное напряжение = 400 В

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 Алгебра последовательностей

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.

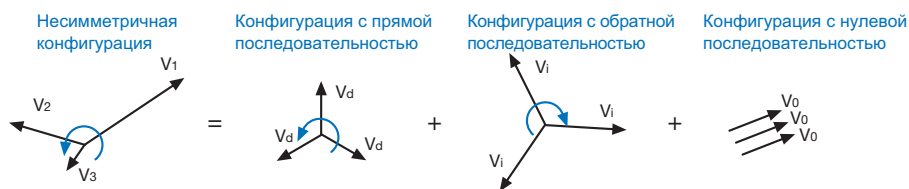
Несимметричные сети нельзя редуцировать до однофазной сети из-за указанной несбалансированности. В этом случае, когда упрощение невозможно, необходимо использовать методы анализа, типичные для решения электрических систем.

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 фазовых 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



$$v(t) = \sqrt{2} \cdot V \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi) \quad \bar{v} = V \cdot e^{j\varphi}$$

Фазовый вектор - векторное представление величины, изменяемой по времени. Сигнал типа представлен фазовым вектором

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:

$$\begin{array}{llll}
 \bar{V}_0 = \frac{1}{3} (\bar{V}_1 + \bar{V}_2 + \bar{V}_3) & \bar{I}_0 = \frac{1}{3} (\bar{I}_1 + \bar{I}_2 + \bar{I}_3) & \bar{V}_1 = \bar{V}_0 + \bar{V}_d + \bar{V}_i & \bar{I}_1 = \bar{I}_0 + \bar{I}_d + \bar{I}_i \\
 \bar{V}_d = \frac{1}{3} (\bar{V}_1 + \alpha \cdot \bar{V}_2 + \alpha^2 \cdot \bar{V}_3) & \bar{I}_d = \frac{1}{3} (\bar{I}_1 + \alpha \cdot \bar{I}_2 + \alpha^2 \cdot \bar{I}_3) & \bar{V}_2 = \bar{V}_0 + \alpha^2 \cdot \bar{V}_d + \alpha \cdot \bar{V}_i & \bar{I}_2 = \bar{I}_0 + \alpha^2 \cdot \bar{I}_d + \alpha \cdot \bar{I}_i \\
 \bar{V}_i = \frac{1}{3} (\bar{V}_1 + \alpha^2 \cdot \bar{V}_2 + \alpha \cdot \bar{V}_3) & \bar{I}_i = \frac{1}{3} (\bar{I}_1 + \alpha^2 \cdot \bar{I}_2 + \alpha \cdot \bar{I}_3) & \bar{V}_3 = \bar{V}_0 + \alpha \cdot \bar{V}_d + \alpha^2 \cdot \bar{V}_i & \bar{I}_3 = \bar{I}_0 + \alpha \cdot \bar{I}_d + \alpha^2 \cdot \bar{I}_i
 \end{array}$$

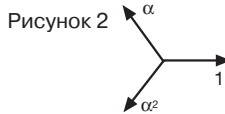
* В этих формулах индексы, соответствующие компонентам прямой, обратной и нулевой последовательностей, указаны обозначениями "d", "i" и "0" соответственно.

$\alpha = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$ $\alpha^2 = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$ Комплексная постоянная представляет собой единичный вектор, который, при умножении на вектор, поворачивает его на 120° в положительном направлении (против часовой стрелки).

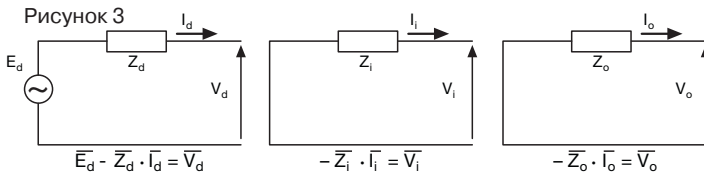
Комплексная постоянная выполняет вращение на минус 120° .

Некоторые полезные свойства этой группы трех векторов:

$$\begin{array}{l}
 1 + \alpha + \alpha^2 = 0 \\
 |\alpha^2 - \alpha| = \sqrt{3}
 \end{array}$$



Таким образом, можно констатировать, что реальная трехфазная сеть может быть заменена тремя однофазными сетями, соответствующими трем прямым, обратным и нулевым последовательностям, 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:



$$(E_d = \frac{U_r}{\sqrt{3}}) \text{ где:}$$

- E_d - напряжение линия - нейтраль выше точки КЗ
- Z - полное сопротивление системы выше точки КЗ
- I - ток КЗ
- V - напряжение, измеренное в точке КЗ

6 Расчет тока короткого замыкания

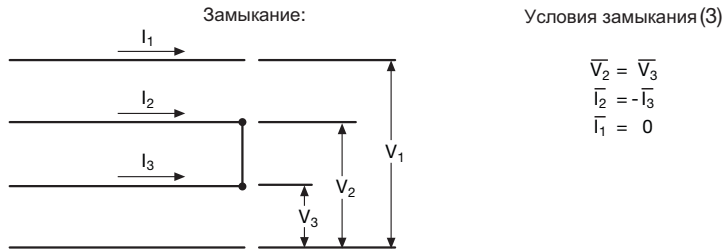
6.5.3 Расчет тока короткого замыкания с помощью алгебры последовательностей

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



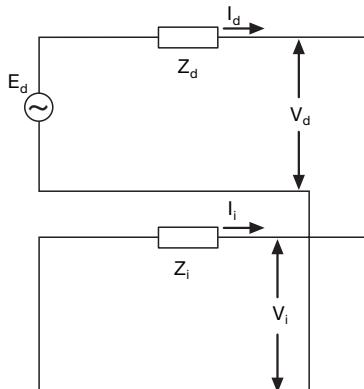
На основании заданных условий замыкания и формулы 1) получается:

$$\begin{aligned} V_d &= V_i \\ I_d &= -I_i \end{aligned} \quad (4)$$

$I_o = 0$, следовательно, $V_o = 0$

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

Решая эту простую сеть (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 формул 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, и так как фаза $\bar{I}_i = -\bar{I}_1$ не затронута замыканием, следует:

$$\bar{V}_1 = \frac{2 \cdot \bar{Z}_i}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i} \cdot \bar{E}_d$$

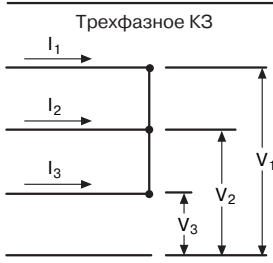
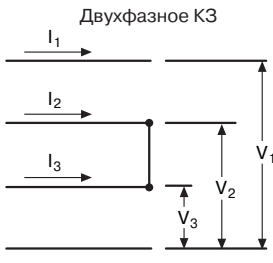
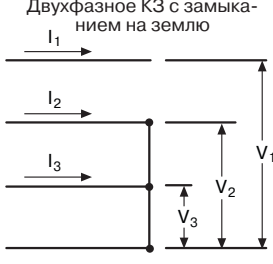
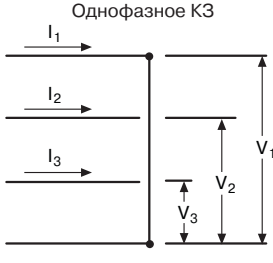
Для фаз, затронутых замыканием, так как $\bar{V}_d = \bar{V}_i = \frac{\bar{V}_1}{2}$ получаем:

$$\bar{V}_2 = \bar{V}_3 = -\frac{\bar{V}_1}{2} = \frac{\bar{Z}_i \cdot \bar{E}_d}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i}$$

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 в Таблице 1 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}_1 }$	$ \bar{V}_1 = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot U_n \cdot \left \frac{\bar{Z}_1}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_1} \right $ $ \bar{V}_2 = \bar{V}_3 = \frac{U_n}{\sqrt{3}} \cdot \left \frac{\bar{Z}_1}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_1} \right $
<p>Двухфазное КЗ с замыканием на землю</p> 	$\bar{V}_2 = \bar{V}_3 = 0$ $\bar{I}_2 = \bar{I}_3 = 0$	$ \bar{I}_2 = U_n \cdot \left \frac{(1 + \alpha^2) \cdot \bar{Z}_1 + \bar{Z}_0}{\bar{Z}_d \cdot \bar{Z}_1 + \bar{Z}_1 \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}_1 + \bar{Z}_0}{\bar{Z}_d \cdot \bar{Z}_1 + \bar{Z}_1 \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}_1}{\bar{Z}_d \cdot \bar{Z}_1 + \bar{Z}_1 \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}_1 \cdot \bar{Z}_0}{\bar{Z}_d \cdot \bar{Z}_1 + \bar{Z}_1 \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}_1 + \bar{Z}_0 }$	$\bar{V}_1 = 0$ $ \bar{V}_2 = U_n \cdot \left \frac{\bar{Z}_1 \cdot \alpha \cdot \bar{Z}_0}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_1 + \bar{Z}_0} \right $ $ \bar{V}_3 = U_n \cdot \left \frac{-\alpha \cdot \bar{Z}_1 + \bar{Z}_0}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_1 + \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:

$$Z_d = Z_i = Z_{\text{NET}} \frac{U_r}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{кз}}}$$

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:

$$Z_o = Z_C + j3 \cdot Z_{\text{пн}} = (R_C + 3 \cdot R_{\text{пн}}) + j (X_C + 3 \cdot X_{\text{пн}})$$

Возврат через нейтральный провод (однофазное замыкание на нейтраль)

$$Z_o = Z_C + j3 \cdot Z_{\text{РЕС}} = (R_C + 3 \cdot R_{\text{РЕС}}) + j (X_C + 3 \cdot X_{\text{РЕС}})$$

Возврат через РЕ (замыкание фаза - проводник РЕ в системе TN-S)

$$Z_o = Z_{\text{ЕС}} + j3 \cdot Z_{\text{ЕС}} = (R_C + 3 \cdot R_{\text{ЕС}}) + j (X_C + 3 \cdot X_{\text{ЕС}})$$

Возврат через землю (замыкание фаза-земля в системе TT)

где:

- Z_C , R_C и X_C относятся к линейному проводнику
- $Z_{\text{пн}}$, $R_{\text{пн}}$ и $X_{\text{пн}}$ относятся к нейтральному проводнику
- $Z_{\text{РЕС}}$, $R_{\text{РЕС}}$ и $X_{\text{РЕС}}$ относятся к защитному проводнику РЕ
- $Z_{\text{ЕС}}$, $R_{\text{ЕС}}$ и $X_{\text{ЕС}}$ 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 $X_i = X_d''$. Напротив, если X_d'' и X_q'' значительно различаются, можно использовать значение, равное среднему значению двух реактивных сопротивлений, отсюда следует, что:

$$X_i = \frac{X_d'' + X_q''}{2}$$

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:

$$X_o = \frac{x_o \%}{100} \cdot \frac{U_r^2}{S_r}$$

где $x_o \%$ - 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:

$$\begin{aligned} Z_d &= (R_a + j \cdot X_d'') \\ Z_i &= (R_a + j \cdot X_i'') \\ Z_o &= R_a + 3 \cdot R_G + j \cdot (X_o + 3 \cdot X_G) \end{aligned}$$

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 Z_M для прямой и обратной последовательности, а для нулевой последовательности значение Z_{0M} должно быть указано производителем. Кроме того, если двигатели не заземлены, полное сопротивление нулевой последовательности будет ∞ .

Таким образом:

$$Z_d = Z_i = Z_M = (R_M + j \cdot X_M)$$

с Z_M равным

$$Z_M = \frac{U_r^2}{I_{LR}} \cdot \frac{1}{S_r}$$

где:

I_{LR} - значение тока, когда ротор заблокирован двигателем

I_r - номинальный ток двигателя

$$S_r = \frac{P_r}{(\eta \cdot \cos\phi_r)}$$

$$\frac{R_M}{X_M}$$

- 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 $X_M = 0,922 \cdot Z_M$.

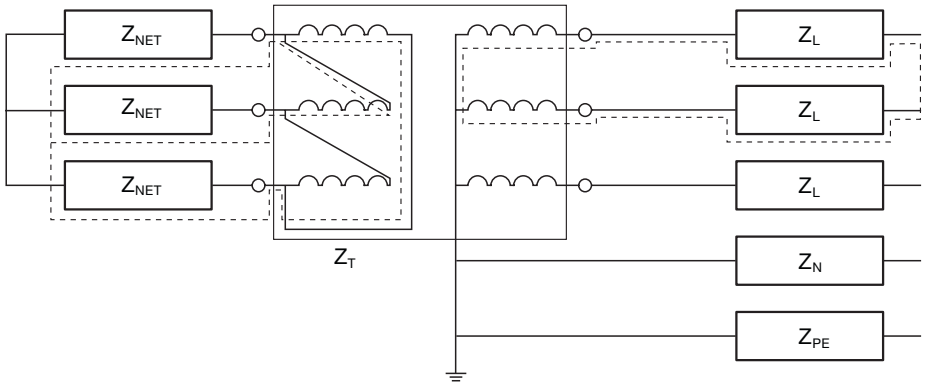
6 Расчет тока короткого замыкания

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 $k_2 = \frac{\sqrt{3} \cdot E_d}{(Z_d + Z_i)}$

полные сопротивления, важные для рассматриваемых прямой и обратной последовательностей, равны $Z_{\Sigma} = Z_i = Z_{NET} + Z_T + Z_L$

с учетом $E_d = \frac{U_r}{\sqrt{3}}$, получаем $I_{\Sigma} = \frac{\sqrt{3} \cdot E_d}{(Z_d + Z_i)} = \frac{U_r}{2 \cdot (Z_{NET} + Z_T + Z_L)}$

где:

U_r - номинальное напряжение на стороне низкого напряжения

Z_T - полное сопротивление трансформатора

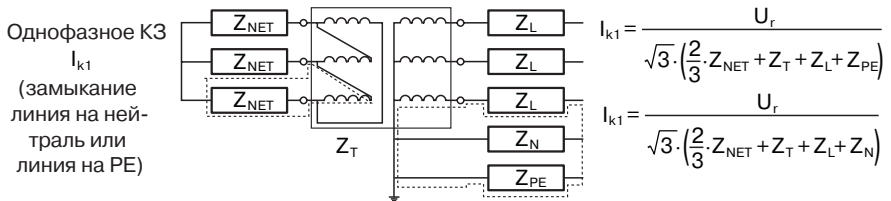
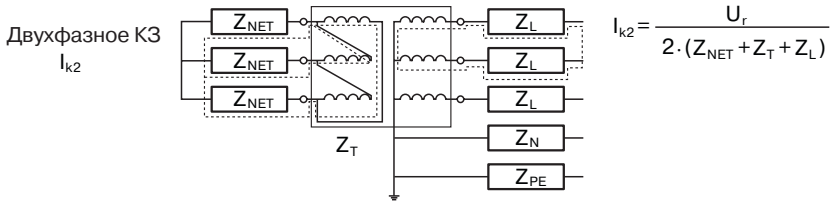
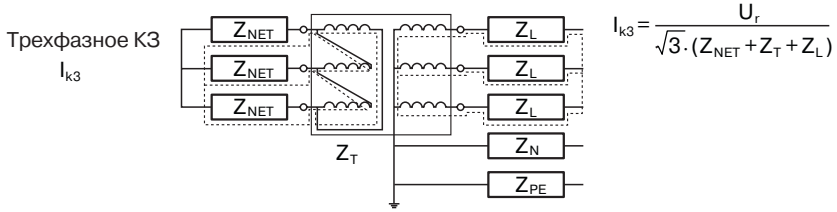
Z_L - полное сопротивление фазного проводника

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



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 (PE) Z_N - полное сопротивление нейтрального проводника

6 Расчет тока короткого замыкания

Нижеследующая Таблица 3 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 $Z_L \rightarrow 0, Z_{PE} (о Z_N) \rightarrow 0$	Вдали от трансформатора	Вблизи трансформатора $Z_L \rightarrow 0, Z_{PE} (о Z_N) \rightarrow 0$
I_{k3}	$I_{k3} = \frac{U_r}{\sqrt{3} \cdot (Z_{NET} + Z_T + Z_L)}$	$I_{k3} = \frac{U_r}{\sqrt{3} \cdot (Z_{NET} + Z_T)}$	$I_{k3} = \frac{U_r}{\sqrt{3} \cdot (Z_T + Z_L)}$	$I_{k3} = \frac{U_r}{\sqrt{3} \cdot (Z_T)}$
I_{k2}	$I_{k2} = \frac{U_r}{2 \cdot (Z_{NET} + Z_T + Z_L)}$	$I_{k2} = \frac{U_r}{2 \cdot (Z_{NET} + Z_T)}$	$I_{k2} = \frac{U_r}{2 \cdot (Z_T + Z_L)}$	$I_{k2} = \frac{U_r}{2 \cdot (Z_T)}$
	$I_{k2} < I_{k3}$	$I_{k2} = 0.87 \cdot I_{k3}$	$I_{k2} = 0.87 \cdot I_{k3}$	$I_{k2} = 0.87 \cdot I_{k3}$
I_{k1}	$I_{k1} = \frac{U_r}{\sqrt{3} \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot Z_{NET} + Z_T + Z_L + Z_{PE}\right)}$	$I_{k1} = \frac{U_r}{\sqrt{3} \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot Z_{NET} + Z_T\right)}$	$I_{k1} = \frac{U_r}{\sqrt{3} \cdot (Z_T + Z_L + Z_{PE})}$	$I_{k1} = \frac{U_r}{\sqrt{3} \cdot (Z_T)}$
	$I_{k1} > I_{k3}$ if $Z_{NET} > 3 \cdot Z_{PE}$	$I_{k1} > I_{k3}$	$I_{k1} \leq I_{k3}$	$I_{k1} = I_{k3}$

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):

$$I_{kp} = I_k'' \cdot \sqrt{2} \cdot \left(1,02 + 0,98 \cdot e^{-\frac{3R}{X}} \right)$$

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

Когда 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 Учет влияния ИБП (Источник бесперебойного питания) на тока короткого замыкания

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 (Icu), 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) Условие перегрузки:

- если, вследствие возможного повреждения аккумуляторной батареи, это условие влияет только на автоматический выключатель на стороне питания ИБП (также вероятно вмешательство устройств защиты внутри аккумуляторной батареи);
- если, когда это требуется нагрузкой, это условие не может быть поддержано ИБП, он отключается статическим коммутатором.

б) Условие короткого замыкания:

Ток короткого замыкания ограничен тиристорами мостового преобразователя. На практике, ИБП может обеспечивать максимальный ток короткого замыкания, равный 150 - 200% номинального значения. В случае короткого замыкания преобразователь подает 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 тиристорov, 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) Условие перегрузки:

при этом условии, влияющем только на автоматический выключатель на стороне нагрузки, питание осуществляется от аккумуляторной батареи с преобразователем, перегрузки обычно измеряются величиной следующего порядка:

$1,15 \times I_n$ в течение бесконечного времени;

$1,25 \times I_n$ в течение 600 секунд;

$1,5 \times I_n$ в течение 60 секунд;

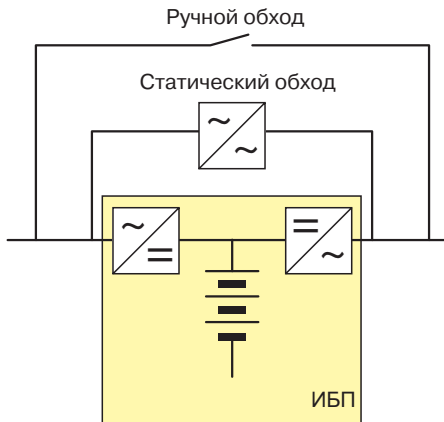
$2 \times I_n$ в течение 1 секунды.

Как правило, более подробные данные можно получить из технической документации, предоставляемой производителем.

б) Условие короткого замыкания:

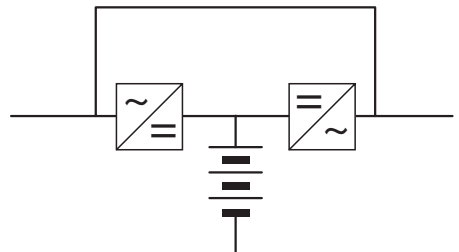
максимальный ток в направлении нагрузки ограничен только цепью преобразователя (со значением 150 - 200% номинального значения). Преобразователь подает ток короткого замыкания в течение определенного периода времени, обычно ограниченного до нескольких миллисекунд, после чего ИБП отключает нагрузку, оставляя 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.

Рисунок 7



ИБП действует со статическим коммутатором

Рисунок 8



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 напряжение [В] (для трехфазных систем это линейное напряжение, для однофазных систем это фазное напряжение);
- $\cos\varphi$ – коэффициент мощности.

Таблица 1 позволяет определить ток нагрузки для некоторых значений мощности в соответствии с номинальным напряжением. Таблица была составлена с учетом того, что $\cos\varphi$ равен 0,9; для иных коэффициентов мощности значение из Таблицы 1 следует умножить на коэффициент, данный в Таблице 2, соответствующий действительному значению коэффициента мощности ($\cos\varphi_{\text{act}}$).

Таблица 1: Ток нагрузки для трехфазных систем с $\cos\varphi = 0,9$

P [кВт]	U _r [В]						
	230	400	415	440	500	600	690
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_b

P [кВт]	$U_r [В]$						
	230	400	415	440	500	600	690
	$I_b [А]$						
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 $\cos\varphi$, отличным от 1

$\cos\varphi_{act}$	1	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7
$k_{\cos\varphi}$	1	1,053	1,111	1,176	1,25	1,333	1,429

* Для $\cos\varphi_{act}$ 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:

$$I_b = \frac{P_L n_L k_B k_N}{U_{rL} \cos\varphi}$$

где:

- P_L – мощность лампы [Вт];
- n_L – количество ламп на фазу;
- k_B – коэффициент, который имеет значение:
 - 1 для ламп, не нуждающихся во вспомогательном стартере;
 - 1,25 для ламп, нуждающихся во вспомогательном стартере;
- k_N – коэффициент, который имеет значение:
 - 1 для ламп, соединенных по схеме “звезда”;
 - $\sqrt{3}$ для ламп, соединенных по схеме “треугольник”;
- U_{rL} – номинальное напряжение ламп;
- $\cos\varphi$ – коэффициент мощности ламп, который имеет значение:
 - 0,4 для ламп без компенсации;
 - 0,9 для ламп с компенсацией.

Приложение А: Расчет тока нагрузки I_B

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 = л.с.	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?

Гармоники позволяют представить любую форму периодической кривой; действительно, согласно теореме Фурье, любая периодическая функция с периодом T может быть представлена как суммирование:

- синусоиды с одинаковым периодом T ;
- нескольких синусоид с одинаковой частотой как целых кратных основной гармонике;
- возможной постоянной составляющей, если функция имеет среднее значение, отличное от нуля в периоде.

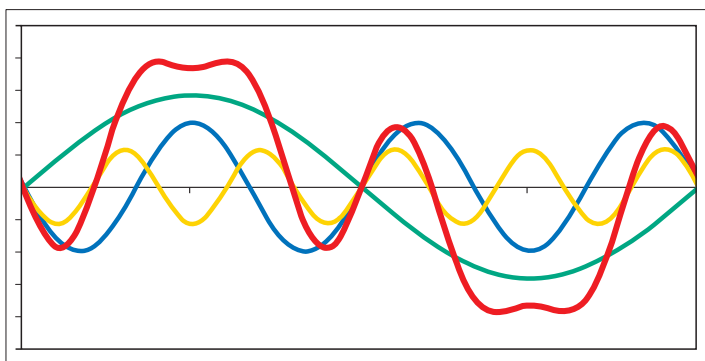
Гармоника с частотой, соответствующей периоду первоначальной формы кривой, называется основной гармоникой, а гармоника с частотой, в " n " раз большей, чем основная гармоника, называется гармонической составляющей порядка " n ".

Абсолютно синусоидальная форма кривой, соответствующая теореме Фурье, не представляет гармонических составляющих порядка, отличного от основной гармоника. 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



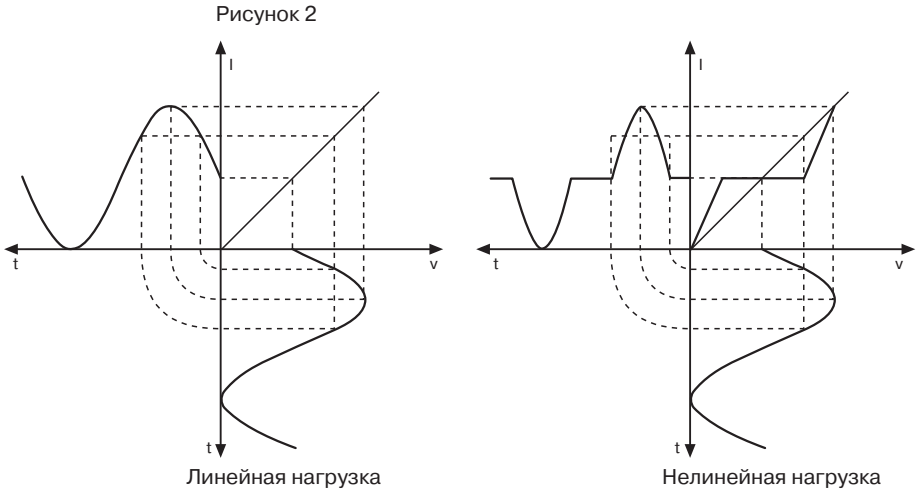
Обозначения:

- 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:



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.

Для нормального функционирования многие электронные устройства требуют определенной формы кривой тока, и поэтому они должны “обрезать” синусоидальную форму кривой, чтобы изменить его действующее значение или получить постоянный ток другой величины; в этих случаях ток в линии имеет несинусоидальную форму.

Основное оборудование, генерирующее гармоники:

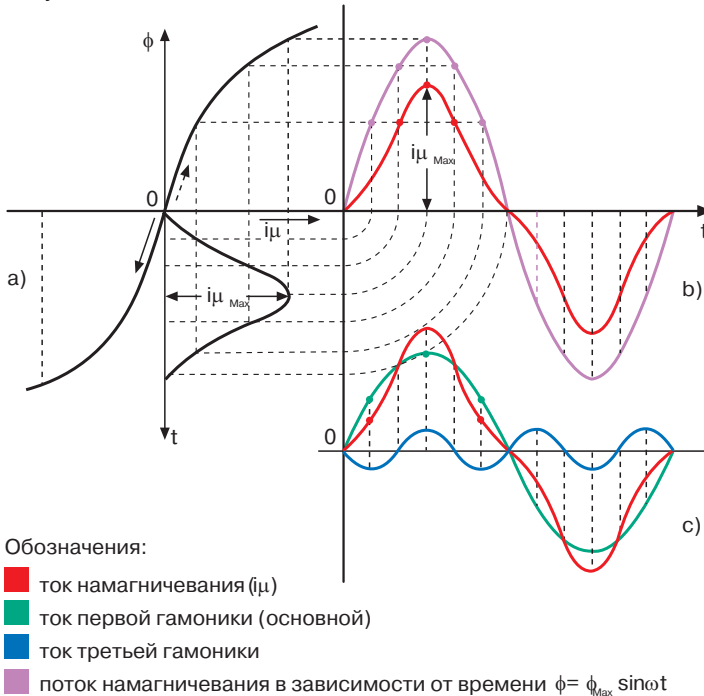
- персональные компьютеры;
- люминесцентные лампы;
- статические преобразователи;
- приводы с переменной скоростью;
- сварочные агрегаты.

В общем случае, искажение формы кривой происходит из-за наличия мостовых 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



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 нейтралей;
- 2) увеличение потерь в трансформаторах;
- 3) усиление скин-эффекта.

Основные влияния гармонических напряжений:

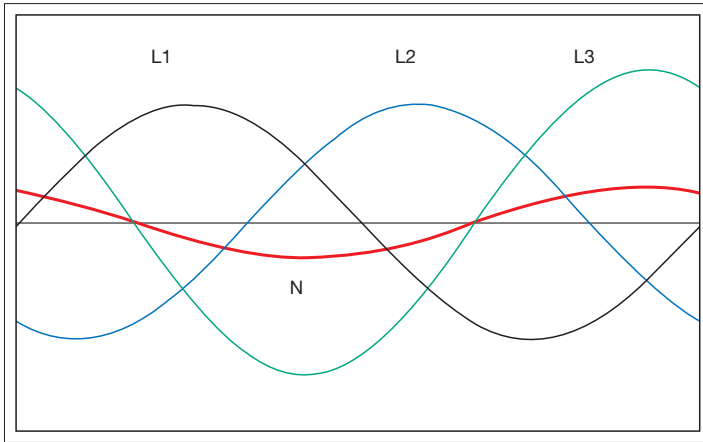
- 4) искажение напряжения;
- 5) нарушения крутящего момента асинхронных двигателей.

Приложение В: Гармоники

1) Перегрузка нейтралей

В трехфазной симметричной и сбалансированной 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 несбалансированного 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.

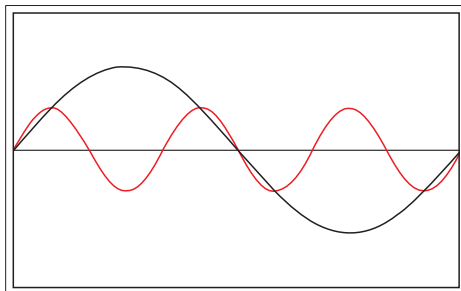
Действительно, хотя токи на частоте основной гармоники в трех фазах взаимно уничтожаются, составляющие третьей гармоники, имея период, равный третьему в основной гармонике, который эквивалентен фазовому сдвигу между фазами (см. Рис. 5), взаимно совпадают по фазе и, следовательно, суммируются в нейтральном проводнике, добавляясь к обычным токам небаланса.

Это справедливо также и для гармоник, кратных трем (четных и нечетных, хотя нечетные преобладают).

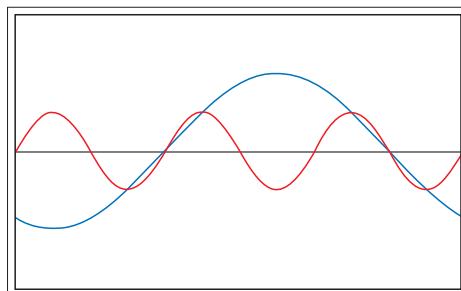
Приложение В: Гармоники

Рисунок 5

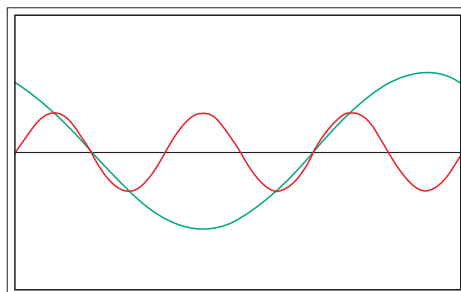
Фаза 1:
основная гармоника и 3-ья гармоника



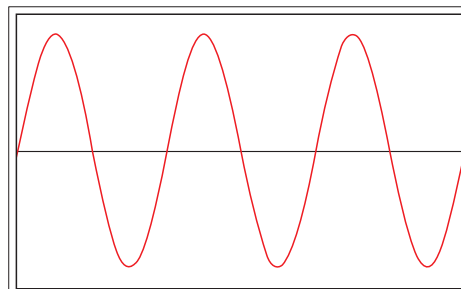
Фаза 2:
основная гармоника и 3-ья гармоника



Фаза 3:
основная гармоника и 3-ья 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;
- с) 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 эффекта Джоуля 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 потери из-за эффекта Джоуля.

Два первых аспекта вызывают перегрев, что иногда приводит к ухудшению характеристик трансформатора.

с) 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.

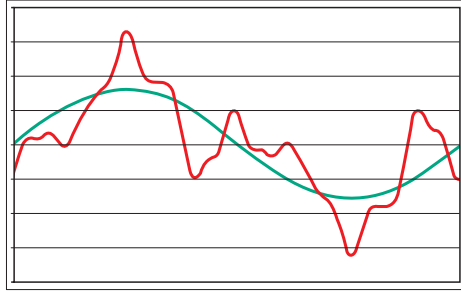
Приложение В: Гармоники

Основные формулы

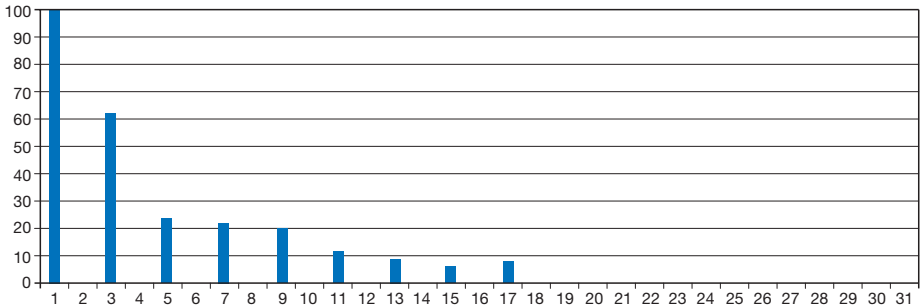
Определения основных величин, обычно используемых в анализе содержания гармоник, приведены ниже.

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:

$$E_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T e^2(t) dt}$$

где T - период.

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 $THD < 10\%$ и общего гармонического искажения $THD < 5\%$, содержание гармоник считается ничтожно малым и не требует каких-либо мер.

Испытания для автоматических выключателей

В приложении F Стандарта МЭК 60947-2 (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 следующим образом:

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 (k^2S^2)

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):

$$S = \frac{\sqrt{I^2 t}}{k} \quad (1)$$

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):

$$k = \sqrt{\frac{Q_c (B+20)}{\rho_{20}} \ln \left(1 + \frac{\theta_f - \theta_i}{B + \theta_i} \right)} \quad (2)$$

где:

- Q_c - объемная теплоемкость материала проводника [Дж/°Смм³] при 20°C;
- B - величина, обратная температурному коэффициенту сопротивления при 0°C для проводника [°C];
- ρ_{20} - удельное электрическое сопротивление материала проводника при 20°C [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/°Смм ³]	ρ_{20} [Ом·мм]	$\sqrt{\frac{Q_c (B+20)}{\rho_{20}}}$
Медь	234,5	$3,45 \cdot 10^{-3}$	$17,241 \cdot 10^{-6}$	226
Алюминий	228	$2,52 \cdot 10^{-3}$	$28,264 \cdot 10^{-6}$	148
Свинец	230	$1,45 \cdot 10^{-3}$	$214 \cdot 10^{-6}$	41
Сталь	202	$3,8 \cdot 10^{-3}$	$138 \cdot 10^{-6}$	78

Приложение С: Расчет коэффициента k для кабелей (k^2S^2)

Таблица 2: Значения k для фазного проводника

	Изоляция проводника					
	ПВХ $\leq 300 \text{ мм}^2$	ПВХ $\leq 300 \text{ мм}^2$	EPR XLPE	Каучук 60°C	Минеральная ПВХ	Неизолированный
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 находящиеся в пучке с другими кабелями

Изоляция проводника	Температура °C ^b		Материал проводника		
	Начальная	Конечная	Медь	Алюминий	Сталь
			Значение для k		
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 больше 300 мм².

^b Температурные ограничения для различных видов изоляции указаны в Стандарте МЭК 60724.

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 Стандарте МЭК 60724.

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 больше 300 мм².

^b Температурные ограничения для различных видов изоляции указаны в Стандарте МЭК 60724.

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	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	Начальная температура °C	Материал проводника					
		Медь		Алюминий		Сталь	
		Значение k	Максимальная температура °C	Значение k	Максимальная температура °C	Значение k	Максимальная температура °C
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

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}	йотта	У	10^{-1}	деци	д
10^{21}	зетта	З	10^{-2}	санتي	с
10^{18}	экса	Э	10^{-3}	милли	м
10^{15}	пета	П	10^{-6}	микро	мк
10^{12}	тера	Т	10^{-9}	нано	н
10^9	гига	Г	10^{-12}	пико	п
10^6	мега	М	10^{-15}	фемто	ф
10^3	кило	к	10^{-18}	атто	а
10^2	гекто	г	10^{-21}	zepto	z
10	дека	да	10^{-24}	йокто	у

Приложение D: Основные физические величины и электротехнические формулы

Основные величины и единицы СИ

Величина		Единица СИ		Другие единицы		Перевод единиц
Обознач-е	Наимен-е	Обознач-е	Наимен-е	Обознач-е	Наимен-е	
Длина, площадь, объем						
l	длина	м	метр	in (дюйм)	дюйм	1 дюйм = 25,4 мм
				ft (фут)	фут	1 фут = 30,48 см
				fathom	фатом	1 фатом = 6 фут = 1,8288 м
				mile	миля	1 миля = 1609,344 м
				sm	морская миля	1 м. миля = 1852 м
A	площадь	м ²	кв. метр	yd	ярд	1 ярд = 91,44 см
				a	ар	1 ар = 10 ² м ²
				ha (га)	гектар	1 га = 10 ⁴ м ²
V	объем	м ³	кубич. метр	l (л)	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	$1^\circ = \frac{\pi}{180} \cdot \text{rad}$
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	метр в секунду	км/ч	километр в час	1 км/ч = 0,2777 м/с
				миля/ч	миля в час	1 миля/ч = 0,4470 м/с
				узел	кп	1 узел = 0,5144 м/с
g	ускорение	м/с ²	метр в секунду в квадрате			
Сила, энергия, мощность						
F	сила	Н	ньютон	кгс	1 Н = 1 кг·м/с ² 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	1 Дж = 1 Вт·с = 1 Н·м		
P	мощность	Вт	ватт	Нр	лошад. сила	1 л.с. = 745,7 Вт
Температура и теплота						
T	температура	К	кельвин	°C	градус Цельсия	T[K] = 273,15 + T [°C]
				°F	гр. Фаренгейта	T[K] = 273,15 + (5/9) · (T [°F] - 32)
Q	количество теплоты	Дж	джоуль			
S	энтропия	Дж/К	джоуль на кельвин			
Световые единицы						
I	сила света	кд	кандела			
L	яркость	кд/м ²	кандела на метр квадратный			
Φ	световой поток	лм	люмен	1 лм = 1 кд·ср		
E	освещенность	люкс		1 лк = 1 лм/м ²		

Приложение D: Основные физические величины и электротехнические формулы

Основные электрические и магнитные величины и единицы СИ

Величина		Единица СИ		Другие единицы		Перевод единиц
Обозн.	Наимен-е	Обозн-е	Наимен-е	Обозн-е	Наименование	
I	ток	A	ампер			
V	напряжение	B	вольт			
R	сопротивление	Om	ом			
G	проводимость	Cm	сименс			$G = 1/R$
X	реактивное сопротивление	Om	ом			$X_L = \omega L$ $X_C = -1/\omega C$
B	реактивная проводимость	Cm	сименс			$B_L = -1/\omega L$ $B_C = \omega C$
Z	полное сопротивление	Om	ом			
Y	полная проводимость	Cm	сименс			
P	активная мощность	Bт	ватт			
Q	реактивная мощность	вар	реактивный вольт - ампер			
S	полная мощность	ВА	вольт - ампер			
Q	электрический заряд	Кл	кулон	Ач	ампер · час	$1 \text{ Кл} = 1 \text{ А} \cdot \text{с}$ $1 \text{ Ач} = 3600 \text{ А} \cdot \text{с}$
E	напряженность электрического поля	B/м	вольт на метр			
C	электроёмкость	Ф	фарад			$1 \text{ Ф} = 1 \text{ Кл/В}$
H	магнитное поле	A/м	ампер на метр			
B	магнитная индукция	Тл	тесла	Г	гаусс	$1 \text{ Тл} = 1 \text{ В} \cdot \text{с/м}^2$ $1 \text{ Г} = 10^{-4} \text{ Тл}$
L	индуктивность	Гн	генри			$1 \text{ Гн} = 1 \text{ Ом} \cdot \text{с}$

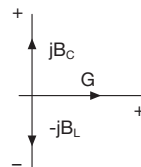
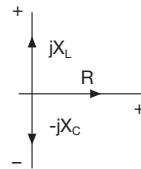
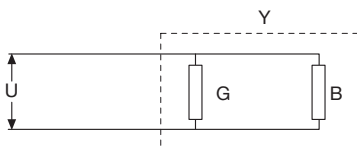
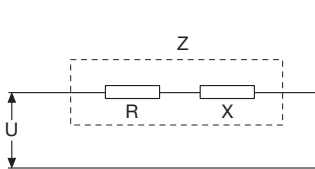
Значения удельного сопротивления, удельной проводимости и температурного коэффициента при 20 °С для основных проводниковых материалов

Проводник	Удельная проводимость		Температурный коэффициент α_{20}
	Удельное сопротивление ρ_{20}	$\chi_{20} = 1/\rho_{20}$	
	[мм ² Ом/м]	[м/мм ² Ом]	[К ⁻¹]
Алюминий	0,0287	34,84	$3,8 \cdot 10^{-3}$
Латунь, медь - цинк 40	$\leq 0,067$	≥ 15	$2 \cdot 10^{-3}$
Константан	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

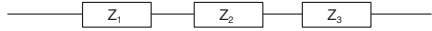
Сопротивление проводника при температуре ϑ	$R_{\vartheta} = \rho_{\vartheta} \cdot \frac{\ell}{S}$
Проводимость проводника при температуре ϑ	$G_{\vartheta} = \frac{1}{R_{\vartheta}} = \chi_{\vartheta} \cdot \frac{S}{\ell}$
Удельное сопротивление проводника при температуре ϑ	$\rho_{\vartheta} = \rho_{20} [1 + \alpha_{20} (\vartheta - 20)]$
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	$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$
Полное сопротивление фазы	$\varphi = \arctan \frac{R}{X}$
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	$Y = \sqrt{G^2 + B^2}$
Полная проводимость фазы	$\varphi = \arctan \frac{B}{G}$



Приложение D: Основные физические величины и электротехнические формулы

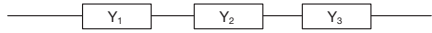
Полные сопротивления при последовательном соединении

$$Z = Z_1 + Z_2 + Z_3 + \dots$$



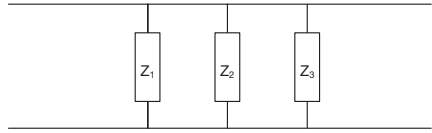
Полные проводимости при последовательном соединении

$$Y = \frac{1}{\frac{1}{Y_1} + \frac{1}{Y_2} + \frac{1}{Y_3} + \dots}$$



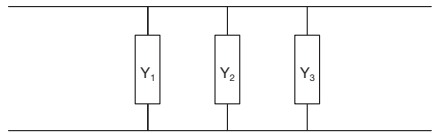
Полные сопротивления при параллельном соединении

$$Z = \frac{1}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} + \dots}$$

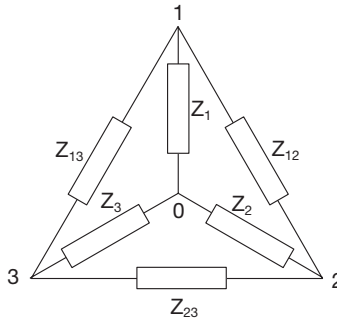


Полные проводимости при параллельном соединении

$$Y = Y_1 + Y_2 + Y_3 + \dots$$



Преобразования треугольник-звезда и звезда-треугольник



$Y \rightarrow \Delta$	$\Delta \rightarrow Y$
$Z_{12} = Z_1 + Z_2 + \frac{Z_1 Z_2}{Z_3}$	$Z_1 = \frac{Z_{12} Z_{13}}{Z_{12} + Z_{13} + Z_{23}}$
$Z_{23} = Z_2 + Z_3 + \frac{Z_2 Z_3}{Z_1}$	$Z_2 = \frac{Z_{12} Z_{23}}{Z_{12} + Z_{13} + Z_{23}}$
$Z_{13} = Z_3 + Z_1 + \frac{Z_3 Z_1}{Z_2}$	$Z_3 = \frac{Z_{23} Z_{13}}{Z_{12} + Z_{13} + Z_{23}}$

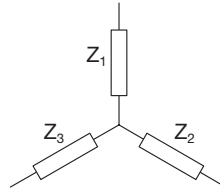
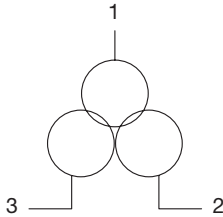
Приложение D: Основные физические величины и электротехнические формулы

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 реактивное 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 активное 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	$\Delta U = 2 \ell (r \cos\varphi + x \sin\varphi)$	$\Delta U = \sqrt{3} \ell (r \cos\varphi + x \sin\varphi)$	$\Delta U = 2 \ell r$
Падение напряжения в процентах	$\Delta u = \frac{\Delta U}{U_r} \cdot 100$	$\Delta u = \frac{\Delta U}{U_r} \cdot 100$	$\Delta u = \frac{\Delta U}{U_r} \cdot 100$
Активная мощность	$P = U \ell \cos\varphi$	$P = \sqrt{3} U \ell \cos\varphi$	$P = U \ell$
Реактивная мощность	$Q = U \ell \sin\varphi$	$Q = \sqrt{3} U \ell \sin\varphi$	-
Полная мощность	$S = U \ell = \sqrt{P^2 + Q^2}$	$S = \sqrt{3} U \ell = \sqrt{P^2 + Q^2}$	-
Коэффициент мощности	$\cos\varphi = \frac{P}{S}$	$\cos\varphi = \frac{P}{S}$	-
Потери мощности	$\Delta P = 2 \ell r I^2$	$\Delta P = 3 \ell r I^2$	$\Delta P = 2 \ell r I^2$

Обозначения

- ρ_{20} удельное сопротивление при 20 °C
- ℓ общая длина проводника
- S поперечное сечение проводника
- α_{20} температурный коэффициент проводника при 20 °C
- θ температура проводника
- $\rho\theta$ 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
- $\rho_k\%$ процент потерь полного сопротивления трансформатора в условиях короткого замыкания

Наши координаты

117997, Москва,
ул. Обручева, 30/1, стр. 2
Тел.: +7(495) 960 2200
Факс: +7(495) 960 2220

193029, Санкт-Петербург,
Б. Смоленский пр., 6
Тел.: +7(812) 326 9915
Факс: +7(812) 326 9916

664033, Иркутск,
ул. Лермонтова, 257
Тел.: +7(3952) 56 3458
Факс: +7(3952) 56 3459

394006, Воронеж,
ул. Свободы, 73
Тел.: +7(4732) 39 3160
Факс: +7(4732) 39 3170

603140, Нижний Новгород,
Мотальный пер., 8
Тел.: +7(831) 461 9102
Факс: +7(831) 461 9164

344065, Ростов-на-Дону,
ул. 50-летия Ростсельмаша, 1/52
Тел.: +7(863) 203 7177
Факс: +7(863) 203 7177

614077, Пермь,
ул. Аркадия Гайдара, 8б
Тел.: +7(342) 263 4334
Факс: +7(342) 263 4335

630073, Новосибирск,
пр. Карла Маркса, 47/2
Тел.: +7(383) 346 5719
Факс: +7(383) 315 4052

420061, Казань,
ул. Н. Ершова, 1а
Тел.: +7(843) 292 3971
Факс: +7(843) 279 3331

443010, Самара,
ул. Красноармейская, 1
Тел.: +7(846) 269 8047
Факс: +7(846) 269 8046

450071, Уфа,
ул. Рязанская, 10
Тел.: +7(347) 232 3484
Факс: +7(347) 232 3484

620066, Екатеринбург,
ул. Бархотская, 1
Тел.: +7(343) 369 0069
Факс: +7(343) 369 0000

350049, Краснодар,
ул. Красных Партизан, 495
Тел.: +7(861) 221 1673
Факс: +7(861) 221 1610

По вопросам заказа оборудования обращайтесь к нашим официальным дистрибьюторам: <http://www.abb.ru/ibs>