МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ
(МГС)
INTERSTATE COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METROLOGY AND CERTIFICATION
(ISC)

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

ГОСТ IEC TR 60269-5— 2022

ПРЕДОХРАНИТЕЛИ ПЛАВКИЕ НИЗКОВОЛЬТНЫЕ

Часть 5

Руководство по применению

(IEC TR 60269-5:2014, IDT)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2022

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

Цели, основные принципы и общие правила проведения работ по межгосударственной стандартизации установлены ГОСТ 1.0 «Межгосударственная система стандартизации. Основные положения» и ГОСТ 1.2 «Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Правила разработки, принятия, обновления и отмены»

Сведения о стандарте

1 ПОДГОТОВЛЕН Акционерным обществом «Диэлектрические кабельные системы» (АО «ДКС») на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии документа, указанного в пункте 5

2 ВНЕСЕН Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии

3 ПРИНЯТ Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 31 августа 2022 г. № 153-П)

За принятие проголосовали:

Краткое наименование страны по МК (ИСО 3166) 004—97	Код страны по МК (ИСО 3166) 004—97	Сокращенное наименование национального органа по стандартизации
Армения	AM	ЗАО «Национальный орган по стандартизации и метрологии» Республики Армения
Беларусь	BY	Госстандарт Республики Беларусь
Киргизия	KG	Кыргызстандарт
Россия	RU	Росстандарт
Узбекистан	UZ	Узстандарт

4 Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 21 сентября 2022 г. № 960-ст межгосударственный стандарт ГОСТ IEC TR 60269-5—2022 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 марта 2023 г.

5 Настоящий стандарт идентичен международному документу IEC TR 60269-5:2014 «Предохранители плавкие низковольтные. Часть 5. Руководство по применению» (Low-voltage fuses — Part 5: Guidance for the application of low-voltage fuses, IDT)

Международный документ разработан подкомитетом 32B «Предохранители плавкие низковольтные» Технического комитета ТС 32 «Предохранители» Международной электротехнической комиссии (IEC).

При применении настоящего стандарта рекомендуется использовать вместо ссылочных международных соответствующие им межгосударственные стандарты, сведения о которых приведены в дополнительном приложении ДА

6 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Информация о введении в действие (прекращении действия) настоящего стандарта и изменений к нему на территории указанных выше государств публикуется в указателях национальных стандартов, издаваемых в этих государствах, а также в сети Интернет на сайтах соответствующих национальных органов по стандартизации.

В случае пересмотра, изменения или отмены настоящего стандарта соответствующая информация будет опубликована на официальном интернет-сайте Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации в каталоге «Межгосударственные стандарты»

© IEC, 2014
© Оформление. ФГБУ «РСТ», 2022



В Российской Федерации настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 2
4 Преимущества плавких предохранителей 3
5 Конструкция и функционирование плавких предохранителей 5
6 Комбинация с плавким предохранителем 9
7 Выбор и маркировка плавких предохранителей 11
8 Защита кабеля 13
9 Селективность устройств защиты 15
10 Защита от повреждений при коротком замыкании 20
11 Защита конденсаторов для повышения коэффициента мощности 21
12 Защита трансформатора 23
13 Защита цепи электродвигателя 23
14 Защита автоматических выключателей в цепях с номинальным постоянным и переменным напряжением 25
15 Защита полупроводниковых приборов в цепях с номинальным постоянным и переменным напряжением 26
16 Предохранители в корпусах 27
17 Установки постоянного тока 28
18 Автоматическое отсоединение для защиты от поражения электрическим током в установках зданий 30
19 Защита ФЭС 32
20 Защита ветряных генераторов 34
Приложение А (справочное) Координация между плавкими предохранителями и контакторами/пускателями двигателей 35
Приложение ДА (справочное) Сведения о осответствии ссылочных международных стандартов межгосударственным стандартам 44
Библиография 46

Введение

Настоящий стандарт включает следующие важные технические изменения относительно предыдущего издания IEC TR 60269-5:

a) добавлены рекомендации по работе плавких предохранителей на больших высотах;

b) добавлена более подробная информация о рабочих напряжениях;

c) добавлены рекомендации по защите фотоэлектрических систем (ФЭС);

d) внесены различные исправления.

Плавкие предохранители защищают различные типы оборудования и коммутационной аппаратуры от воздействий сверхтоков, в том числе являющихся критическими и в результате приводящих к следующим нежелательным последствиям:

- термическое повреждение проводников или токопроводящих шин;
- испарение металла;
- ионизация газов;
- образование дуги, пожар, взрыв;
- повреждение изоляции.

Помимо опасности для персонала простой и ремонт, необходимый для восстановления поврежденного оборудования, могут привести к серьезным экономическим потерям.

Современные плавкие предохранители представляют собой приборы защиты от сверхтоков, обеспечивающие оптимальное экономичное решение для устранения или минимизации воздействий сверхтоков на защищаемое оборудование.

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

ПРЕДОХРАНИТЕЛИ ПЛАВКИЕ НИЗКОВОЛЬТНЫЕ

Часть 5

Руководство по применению

Low-voltage fuses. Part 5. Guidance for the application

Дата введения — 2023—03—01

1 Область применения

Настоящий стандарт является руководством по применению низковольтных плавких предохранителей с указанием по применению токоограничивающих плавких предохранителей для защиты современного сложного и чувствительного электротехнического и электронного оборудования. Настоящий стандарт распространяется на низковольтные плавкие предохранители до 1000 В переменного тока и 1500 В постоянного тока, разработанные и производимые в соответствии с требованиями серии стандартов IEC 60269.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты [для датированных ссылок применяют только указанное издание ссылочного стандарта, для недатированных — последнее издание (включая все изменения)]:

IEC 60050 (all parts), International Electrotechnical Vocabulary (IEV) (Международный электротехнический словарь)

Доступен на gost.e-ecolog.ru

IEC/TR 60146-6[1)], Semiconductor convertors — Part 6: Application guide for the protection of semiconductor convertors against overcurrent by fuses (Преобразователи полупроводниковые. Часть 6. Руководство по применению предохранителей для защиты полупроводниковых преобразователей от сверхтоков)

IEC 60269 (all parts), Low-voltage fuses (Предохранители плавкие низковольтные)

IEC 60269-1:2006, Low-voltage fuses — Part 1: General requirements (Предохранители плавкие низковольтные. Часть 1. Общие требования)

IEC 60269-2, Low-voltage fuses — Part 2: Supplementary requirements for fuses for use by authorized persons (fuses mainly for industrial application) — Examples of standardized systems of fuses A to K [Предохранители плавкие низковольтные. Часть 2. Дополнительные требования к плавким предохранителям, используемым квалифицированным персоналом (главным образом промышленного назначения). Примеры стандартизованных систем предохранителей от А до К]

IEC 60269-3, Low-voltage fuses — Part 3: Supplementary requirements for fuses for use by unskilled persons (fuses mainly for household or similar applications) — Examples of standardized systems of fuses A to F [Предохранители плавкие низковольтные. Часть 3. Дополнительные требования к плавким предо-

[1)] Отменен.

Издание официальное

хранителям для эксплуатации неквалифицированным персоналом (плавкие предохранители бытового и аналогичного назначения). Примеры стандартизованных систем плавких предохранителей от A до F]

IEC 60269-4:2009, Low-voltage fuses — Part 4: Supplementary requirements for fuse-links for the protection of semiconductor devices (Предохранители плавкие низковольтные. Часть 4. Дополнительные требования к плавким вставкам для защиты полупроводниковых приборов)

IEC 60269-6, Low-voltage fuses — Part 6: Supplementary requirements for fuse-links for the protection of solar photovoltaic energy systems (Предохранители плавкие низковольтные. Часть 6. Дополнительные требования к плавким вставкам для защиты солнечных фотогальванических энергетических систем)

IEC 60364-4-41:2005, Low-voltage electrical installations — Part 4-41: Protection for safety — Protection against electric shock (Электрические установки зданий. Часть 4-41. Защита для обеспечения безопасности. Защита от электрического удара)

IEC 60364-4-43:2008, Low-voltage electrical installations — Part 4-43: Protection for safety — Protection against overcurrent (Низковольтные электрические установки. Часть 4-43. Защита для обеспечения безопасности. Защита от сверхтока)

IEC 60364-5-52, Low-voltage electrical installations — Part 5-52: Selection and erection of electrical equipment — Wiring systems (Электрические установки зданий. Часть 5-52. Выбор и установка электрооборудования. Системы проводки)

IEC 60947 (all parts), Low-voltage switchgear and controlgear (Аппаратура распределения и управления низковольтная)

IEC 60947-3:2008[1)], Low-voltage switchgear and controlgear — Part 3: Switches, disconnectors, switch-disconnectors and fuse-combination units (Аппаратура коммутационная и механизмы управления низковольтные комплектные. Часть 3. Выключатели, разъединители, выключатели-разъединители и блоки предохранителей)

IEC 60947-4-1:2009[2)], Low-voltage switchgear and controlgear — Part 4-1: Contactors and motor-starters — Electromechanical contactors and motor-starters (Аппаратура коммутационная и механизмы управления низковольтные комплектные. Часть 4-1. Контакторы и пускатели электродвигателей. Электромеханические контакторы и пускатели электродвигателей)

IEC/TR 61912-1:2007, Low-voltage switchgear and controlgear — Overcurrent protective devices — Part 1: Application of short-circuit ratings (Низковольтная коммутационная аппаратура и аппаратура управления. Устройства защиты от сверхтоков. Часть 1. Применение расчетных характеристик короткого замыкания)

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **выключатель (контактный)** [switch (mechanical)]: Контактное коммутационное устройство, способное включать, проводить и отключать электрические токи при нормальных условиях электрической цепи, которые могут включать установленные условия рабочей перегрузки, а также проводить определенное время электрические токи при установленных анормальных условиях электрической цепи, таких как короткое замыкание.

Примечание — Выключатель может иметь способность включать, но не отключать токи короткого замыкания.

[IEC 60050-441:1984, 441-14-10]

3.2 **разъединитель** (disconnector): Контактное коммутационное устройство, которое в разомкнутом положении обеспечивает изолирующий промежуток в соответствии с установленными требованиями.

Примечание — Некоторые разъединители могут не иметь способности коммутации нагрузки.

[IEC 60050-441:1984, 441-14-05, изменения: определение изменено и добавлено примечание]

[1)] Заменен на IEC 60947-3:2020. Однако для однозначного соблюдения требований настоящего стандарта, выраженного в датированной ссылке, рекомендуется использовать только указанное в этой ссылке издание.

[2)] Заменен на IEC 60947-4-1:2018. Однако для однозначного соблюдения требований настоящего стандарта, выраженного в датированной ссылке, рекомендуется использовать только указанное в этой ссылке издание.

3.3 **комбинированный блок плавкий предохранитель — контактное коммутационное устройство** (fuse-combination unit): Комбинация контактного коммутационного устройства и одного или нескольких плавких предохранителей в составном блоке, собранном производителем или в соответствии с его инструкциями.

[IEC 60050-441:1984, 441-14-04, изменения: удалено примечание]

3.4 **выключатель — плавкий предохранитель** (switch-fuse): Выключатель, в котором к одному или нескольким полюсам последовательно присоединены плавкие предохранители, образуя комбинированный блок.

[IEC 60050-441:1984, 441-14-14]

3.4.1 **одиночный разрыв и двойной разрыв цепи** (single-break and double-break): Выключатель — плавкий предохранитель должен иметь одиночный разрыв цепи (размыкает цепь с одной стороны плавкой вставки) или двойной разрыв цепи (размыкает цепь с двух сторон плавкой вставки).

3.5 **плавкий предохранитель-выключатель** (fuse-switch): Выключатель, в котором плавкая вставка или держатель плавкой вставки с плавкой вставкой образует подвижный контакт.

[IEC 60050-441:1984, 441-14-17]

3.5.1 **одиночный и двойной разрыв** (single-break and double-break): Предохранитель-разъединитель с одиночным разрывом цепи размыкает цепь с одной стороны плавкой вставки, с двойным разрывом цепи размыкает цепь с обеих сторон плавкой вставки.

3.6 **коммутационное устройство;** КУ (switching device, SD): Устройство, предназначенное для включения или отключения электрического тока в одной или нескольких электрических цепях.

Примечание — Коммутационное устройство может выполнять одну или обе операции.

[IEC 60050-441:1984, 441-14-01, изменения: добавлено примечание]

3.7 **устройство защиты от короткого замыкания;** УЗКЗ (short-circuit protective device SCPD): Устройство, предназначенное для защиты цепи или ее части от повреждений вследствие воздействия токов короткого замыкания.

3.8 **защита от перегрузки** (overload protection): Защита, предназначенная для срабатывания в случае перегрузки на защищаемом участке.

[IEC 60050-448:1995, 448-14-31]

3.9 **перегрузка** (overload): Условия оперирования в электрически не поврежденной цепи, которые вызывают сверхток.

[IEC 60050-441:1984, 441-11-08]

3.10 **сверхток** (overcurrent): Электрический ток, превышающий номинальный ток.

[IEC 60050-442:1998, 442-01-20]

3.11 **номинальный условный ток короткого замыкания (коммутационного аппарата)** I_q [rated conditional short-circuit current (of a switching device) I_q]: Ожидаемый ток, который коммутационный аппарат, защищенный устройством защиты от короткого замыкания, может выдерживать в течение рабочего времени аппарата при условиях испытания, указанных в соответствующем стандарте к изделию.

3.12 **селективность защиты** (selectivity of protection): Способность защиты определять поврежденный участок и (или) поврежденную фазу энергосистемы.

Примечание — Несмотря на то, что значения терминов «селективность» и «избирательность» схожи в определениях IEC, в стандарте предпочтение отдается термину «селективность», который используется для обозначения способности одного устройства сверхтока работать вместо другого последовательно включенного устройства сверхтока в заданном диапазоне сверхтоков. Также учитывается эффект тока нагрузки в состоянии покоя на селективность в зоне перегрузки.

[IEC 60050-448:1995, 448-11-06, изменения: добавлено примечание]

4 Преимущества плавких предохранителей

Токоограничивающий плавкий предохранитель обеспечивает полную защиту от эффектов сверхтоков, защищая и электрические цепи, и их компоненты. Плавкие предохранители обладают сочетанием следующих положительных характеристик:

a) высокая отключающая способность (высокий номинал тока отключения);

b) отсутствие необходимости сложных расчетов коротких замыканий;

c) простое и недорогое расширение системы в случае повышенных токов короткого замыкания;

d) высокое ограничение по току (низкие значения I^2t);

e) обязательное устранение неисправности перед повторной подачей энергии.

Плавкие предохранители невозможно «сбросить», что заставляет потребителя обнаруживать и устранять состояние неисправности перед повторной подачей электроэнергии в цепь;

f) надежность.

Отсутствие подвижных частей с износом или попаданием грязи, масла или образованием коррозии. Замена плавких предохранителей обеспечивает восстановление защиты до исходного уровня;

g) экономичная защита.

Компактный размер обеспечивает защиту от сверхтоков при высоких уровнях токов короткого замыкания;

h) отсутствие повреждений пускателей и контакторов (тип координации 2 в соответствии IEC 60947-4-1).

Ограничение энергии короткого замыкания и пиковых токов до низкого уровня, плавкие предохранители применяют для обеспечения типа координации 2 без повреждения компонентов в цепях электродвигательной нагрузки;

i) безопасная, бесшумная работа.

Отсутствие выделяемых газов, образования пламени, дуги и прочих последствий при отключении токов короткого замыкания наибольших значений. Высокая скорость срабатывания в условиях больших токов короткого замыкания значительно ограничивает опасность возгорания дуги в месте короткого замыкания;

j) простая организация координации.

Стандартные характеристики плавкого предохранителя и высокая степень ограничения по току обеспечивают эффективную координацию между плавкими предохранителями и другими устройствами;

k) стандартные эксплуатационные характеристики.

Плавкие предохранители, разрабатываемые и изготавливаемые в соответствии с требованиями серии стандартов IEC 60269, обеспечивают возможность замены, благодаря типовым характеристикам по всему миру;

l) улучшение качества энергии.

Токоограничивающие плавкие предохранители отключают высокие токи короткого замыкания за пару миллисекунд, сводя к минимуму отклонения или падения напряжения в системе;

m) защита от постороннего вмешательства.

После установки характеристики предохранителя невозможно изменить или отрегулировать, тем самым сохраняя их эксплуатационные характеристики и позволяя избежать неисправностей;

n) отсутствие необходимости в техническом обслуживании.

Установка плавких предохранителей с типоразмером, соответствующим номинальному току, не требует технического обслуживания, настроек или повторных калибровок. Они могут оставаться в эксплуатации, обеспечивая изначально рассчитанные уровни максимальной токовой защиты в течение десятилетий;

o) высокий уровень энергоэффективности.

Сопротивление и рассеивание мощности плавкого предохранителя очень низкие по сравнению с другими защитными устройствами. Величина мощности потерь по сравнению с передаваемой мощностью значительно меньше 0,1 %;

p) надежная защита персонала и оборудования в случае возгорания дуги.

Токоограничивающие предохранители соответствующего типоразмера, работающие в пределах своего диапазона ограничения тока, прерывают токи из-за дугового замыкания за несколько миллисекунд, сохраняя энергию дуги значительно ниже опасного и способного причинить ущерб уровня.

5 Конструкция и функционирование плавких предохранителей

5.1 Плавкий предохранитель и аксессуары

Плавкий предохранитель — это защитное устройство, состоящее:
- из плавкой вставки;
- основания плавкого предохранителя;
- держателя плавкого предохранителя или рукоятки для замены.

Допускается объединение аксессуаров в комбинацию с плавким предохранителем.

5.2 Конструкция плавких предохранителей

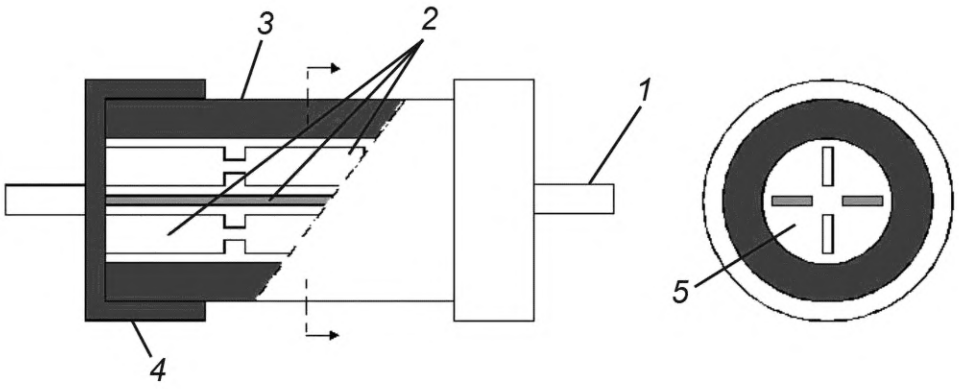
5.2.1 Плавкая вставка

На рисунках 1 и 2 показана конструкция типичных низковольтных плавких вставок промышленного назначения. Такие плавкие вставки, как правило, называют токоограничивающими плавкими вставками или плавкими вставками с высокой отключающей способностью. Плавкие вставки по IEC 60269-2 (плавкие предохранители промышленного назначения) производят с номиналами по току до 6000 А.

Плавкие вставки по IEC 60269-3 (плавкие предохранители бытового назначения) производят с номиналами по току до 100 А.

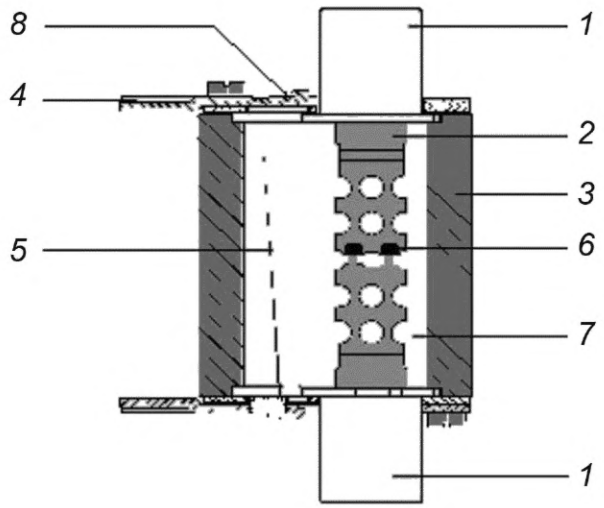
Плавкий элемент, как правило, изготавливают из пластины, в качестве материала применяют серебро или медь с множеством сужений в поперечном сечении, называемых выемками. Такая форма с несколькими сужениями (или выемками) является наиболее важным элементом конструкции плавких предохранителей, как правило, ее производят методом штамповки.

Материал с мезомерным эффектом (см. 5.3.3) добавляют в плавкий элемент для достижения контролируемой операции плавления в диапазоне перегрузок. Чистота материалов плавкого элемента и их точные физические размеры обеспечивают надежную работу плавкого предохранителя.



1 — ножевой контакт; *2* — плавкий элемент; *3* — корпус предохранителя; *4* — крышка; *5* — наполнитель

Рисунок 1 — Стандартная плавкая вставка согласно IEC 60269-2



1 — ножевой контакт; *2* — плавкий элемент; *3* — корпус предохранителя; *4* — замыкательная пластинка (с держателем); *5* — провод указателя; *6* — материал с мезомерным эффектом; *7* — наполнитель; *8* — индикатор

Рисунок 2 — Типичная плавкая вставка согласно IEC 60269-2

5.2.2 Контакты плавких вставок

Контакты плавких вставок обеспечивают электрическое соединение между плавкой вставкой и основанием или держателем плавкого предохранителя. Контакты производят из меди или ее сплавов и, как правило, они защищены от образования непроводящих слоев в результате осаждения.

5.2.3 Указатель и боек

Некоторые плавкие предохранители оснащены указателями или бойками для быстрого определения срабатывания плавкой вставки. В плавких предохранителях, оснащенных бойками, также предусмотрено средство механической активации (например, для выключателя удаленной сигнализации) и визуальной индикации.

5.2.4 Основание плавкого предохранителя

Основание плавкого предохранителя оснащено соответствующими контактами для установки плавкой вставки, средствами присоединения для кабелей или шин, корпусом, изготовленным из изоляционного материала.

5.2.5 Съемник для замены и держатели плавких предохранителей

При необходимости съемник для замены или держатели плавких предохранителей позволяют проводить замену плавких вставок в системе под напряжением согласно определенным условиям безопасности. Они выполнены из изоляционного материала и подвергаются испытаниям, применяемым к безопасным инструментам. Для некоторых систем напряжения держатели плавких вставок являются неотъемлемой частью держателя плавкого предохранителя, что исключает необходимость в наружной ручке для замены.

5.3 Работа плавкого предохранителя

5.3.1 Общие положения

Плавкие предохранители работают и в условиях коротких замыканий, и в условиях перегрузок. Как правило короткие замыкания происходят при силе тока в диапазоне 10 или более раз превышающих номинал плавкого предохранителя, а перегрузки — в диапазоне менее чем в 10 раз превышающих номинал плавкого предохранителя.

5.3.2 Работа плавкого предохранителя в условиях короткого замыкания

Во время короткого замыкания место сужения (выемки) плавится, одновременно образуя несколько дуг, число которых равно числу «перемычек» в месте сужения в плавком элементе. Полученное в результате этого напряжение дуги обеспечивает быстрое падение силы тока, приводя его к нулю. Это действие называют «ограничением тока».

Срабатывание плавкого предохранителя происходит в две стадии [см. рисунки 3a) и 3b)]:

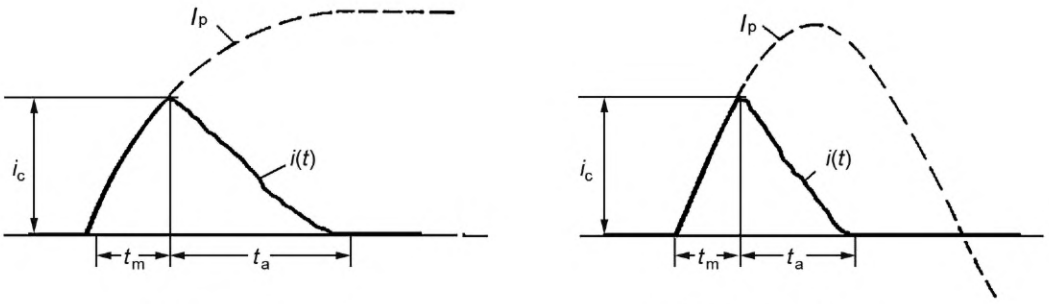
- преддуговая стадия (плавление) (t_m): нагревание сужений (выемок) до температуры плавления и связанное с этим испарение металла;

- дуговая стадия (t_a): на выемках загораются дуги, которые тушатся наполнителем.

Время срабатывания — это сумма преддугового времени и времени горения дуги.

Энергия, образуемая током в защищаемой цепи в преддуговое время и время срабатывания представлены преддуговым значением I^2t и значением срабатывания I^2t соответственно. Схема на рисунке 3 демонстрирует токоограничивающую способность плавкой вставки в условиях короткого замыкания.

Время срабатывания i_c плавкой вставки значительно ниже времени пикового значения ожидаемого тока I_p.



a) Постоянный ток b) Переменный ток

t_m— преддуговое время; t_a — время дуги; I_p — ожидаемый ток; i_c — ток, ограничиваемый плавким предохранителем

Рисунок 3 — Работа токоограничивающего плавкого предохранителя

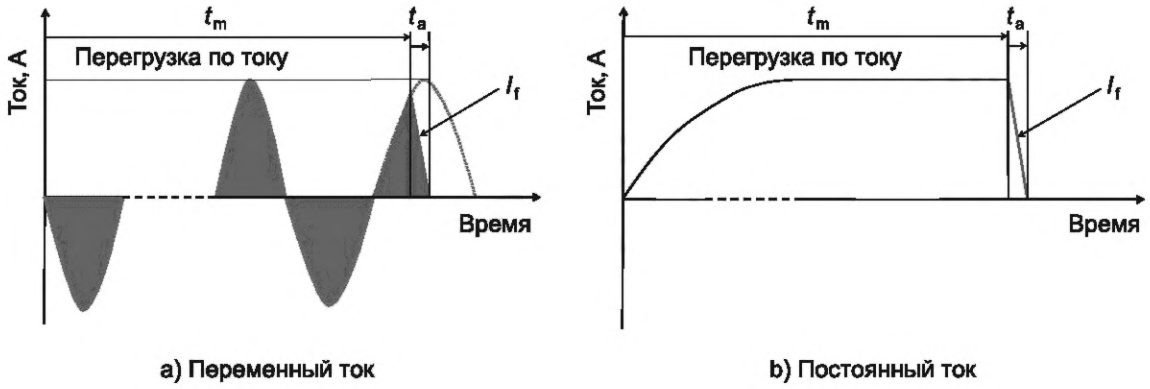
5.3.3 Работа плавкого предохранителя в условиях перегрузки

Во время перегрузки материал с мезомерным эффектом плавится и дуга образуется между двумя частями плавкого элемента. Наполнитель (как правило, чистый гранулированный кварц) окружает плавкий элемент, гасит дугу, сводя ток к нулю. По мере охлаждения расплавленный наполнитель превращается в похожий на стекло материал, изолируя половины плавкого элемента друг от друга и не допуская повторного возгорания дуги и дальнейшего протекания тока. Срабатывание плавкого предохранителя также происходит в две стадии [см. рисунки 4a) и 4b)]:

- преддуговая стадия (плавление) (t_m): нагревание плавкого элемента до температуры плавления на участке, содержащем материал с мезомерным эффектом. Этот период времени, как правило, длится чуть более 2 мс и обратно пропорционален силе тока перегрузки. Низкие уровни перегрузки приводят к более длительному времени плавления от нескольких секунд до нескольких часов;

- дуговая стадия (t_a): на участке, содержащем материал с мезомерным эффектом, загораются дуги, которые тушатся наполнителем. Это время зависит от рабочего напряжения.

Обе стадии составляют время срабатывания плавкого предохранителя (t_m + t_a). Энергию, образуемую током перегрузки в защищаемой цепи в течение преддуговой стадии (плавление) и во время срабатывания, указывают преддуговым значением I^2t и рабочим значением I^2t, соответственно; однако в условиях перегрузки преддуговое значение I^2t настолько высокое, что практически не позволяет получить полезных прикладных данных, и преддуговое время является более предпочтительной мерой для промежутков времени, превышающих несколько периодов или несколько постоянных времени. В этом случае время дуги пренебрежительно мало по сравнению с преддуговым временем.

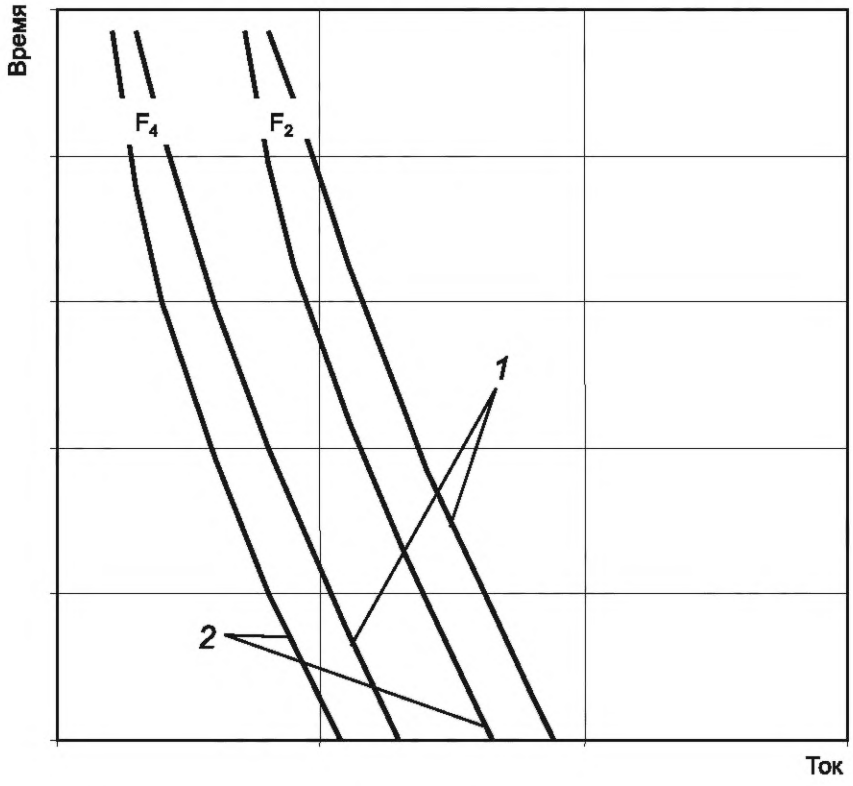


I_f — условный ток плавления

Рисунок 4 — Работа плавкого предохранителя при перегрузке

5.3.4 Преддуговая времятоковая характеристика плавкой вставки

Время плавления плавкой вставки также называют «преддуговым» временем. Плавкие вставки обладают обратно пропорциональной зависимостью тока и времени (увеличение тока приводит к уменьшению преддугового времени), как показано на рисунке 5. Это обеспечивает крайне короткое преддуговое время при токах высокой силы без ограничений. Повсеместное применение плавких предохранителей на протяжении долгого времени объясняется крайне коротким преддуговым временем.



1 — максимальное время работы; *2* — минимальное преддуговое время

Рисунок 5 — Времятоковая характеристика плавких вставок

5.3.5 Работа плавкого предохранителя на высоте более 2000 м над уровнем моря

При применении плавких вставок с номинальными токами на высоте до 2000 м над уровнем моря, не требуется применения коэффициента снижения их характеристик. Данное требование приведено в IEC 60269-1:2006 (подраздел 3.2).

Охлаждение окружающим воздухом влияет на предельно допустимый ток плавкого предохранителя и кабеля, рассматривается как показатель снижения допустимого тока в зависимости от атмосферного давления. Данная закономерность описана следующей аппроксимацией: на высоте более 2000 м над уровнем моря необходимо применение коэффициента снижения мощности 0,5 % на каждые последующие 100 м в связи с пониженным отведением тепла от плавкой вставки при снижении плотности воздуха.

Выражают следующей формулой:

$$\frac{I}{I_n} = 1 - \frac{h - 2000}{100} \cdot \frac{0{,}5}{100},$$

где I — максимальный допустимый ток на высоте h;

I_n — номинальный ток на высоте до 2000 м;

h — высота, м.

Таблица 1 — Коэффициенты снижения мощности на разных высотах

Высота h, м	Коэффициент снижения мощности I / I_n
2000	1,000
2500	0,975
3000	0,950
3500	0,925
4000	0,900
4500	0,875
5000	0,850

6 Комбинация с плавким предохранителем

Комбинации с плавкими предохранителями сочетают в одном устройстве защиту цепи, обеспечиваемую плавкими вставками, и коммутацию цепи, обеспечиваемую выключателем. Комбинации с плавкими предохранителями стандартизированы в IEC 60947-3:2008, таблица 2.

Существует два вида комбинаций с плавкими предохранителями:

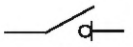
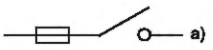
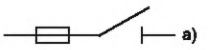
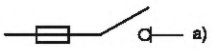
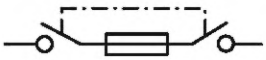
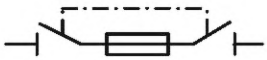
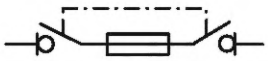
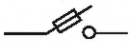
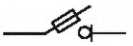
- выключатели — плавкие предохранители, выключатели-разъединители — плавкие предохранители — это выключатели, включенные последовательно с плавкими вставками и, как правило, представляют собой не требующие вмешательства оператора устройства с ручным управлением (мгновенное срабатывание);
- плавкие предохранители-разъединители и плавкие предохранители-выключатели-разъединители, в которых плавкие вставки, как правило, применяют в качестве подвижных частей, и которые представляют собой требующие вмешательства оператора устройства с ручным управлением.

Определение указано в IEC 60947-3 или IEC 60050-441. Основные виды представлены для более удобного понимания, полное описание указано в разделе 3:

- выключатель (контактный) (см. 3.1);
- разъединитель (см. 3.2);
- комбинация с плавким предохранителем (см. 3.3);
- выключатель — плавкий предохранитель (см. 3.4);
- плавкий предохранитель-выключатель (см. 3.5).

Существуют комбинации, отличающиеся от этих основных определений, которые показаны в таблице 2.

Таблица 2 — Определения и символы выключателей и комбинаций с плавкими предохранителями

Функции		
Коммутация	Разъединение	Включение, отключение и разъединение
Выключатель 	Разъединитель 	Выключатель-разъединитель 
Комбинации с плавким предохранителем		
Выключатель — плавкий предохранитель с одиночным разрывом 	Разъединитель — плавкий предохранитель[b] с одиночным разрывом 	Выключатель-разъединитель — плавкий предохранитель[b] с одиночным разрывом 
Выключатель — плавкий предохранитель с двойным разрывом 	Разъединитель — плавкий предохранитель[b] с двойным разрывом 	Выключатель-разъединитель — плавкий предохранитель[b] с двойным разрывом 
Плавкий предохранитель — выключатель с одиночным разрывом 	Плавкий предохранитель — разъединитель[b] с одиночным разрывом 	Плавкий предохранитель — выключатель-разъединитель[b] с одиночным разрывом 
Плавкий предохранитель — выключатель с двойным разрывом 	Плавкий предохранитель — разъединитель[b] с двойным разрывом 	Плавкий предохранитель — выключатель-разъединитель[b] с двойным разрывом 

[a] Допускается установка плавкого предохранителя с любой стороны контактов оборудования или в стационарном положении между этими контактами.

[b] Разъединение между контактными выводами ввода и вывода проверяют только с помощью испытаний.

Примечания

1 Символы приведены в IEC 60617-7.

2 Оборудование, показанное как имеющее одиночный разрыв, может иметь двойной разрыв.

Примечание к определению выключателя, т. е. указание того, что выключатель может иметь способность включать, но не выключать ток короткого замыкания, очень четко указывает, что выключатель согласно IEC 60947-3 не обладает отключающей способностью при коротком замыкании. В комбинации с плавким предохранителем он берет на себя функцию разъединения.

Поскольку большинство комбинаций с плавкими предохранителями в качестве неотъемлемой части изготавливаются как плавкие предохранители — выключатели-разъединители или выключатели-разъединители — плавкие предохранители, то их применяют в следующих целях:

- коммутация в условиях нагрузки;
- разъединение;
- защита от короткого замыкания.

Плавкие предохранители, установленные в выключателе в комбинации с плавкими предохранителями, также защищают сам выключатель от воздействий сверхтока.

7 Выбор и маркировка плавких предохранителей

При выборе плавкого предохранителя учитывают характер защищаемого оборудования и мощность, которую необходимо разъединять. Определяют следующие параметры в отношении электропитания:

- напряжение в сети (рабочее напряжение);
- частота (для сетей переменного тока, см. раздел 17);
- ожидаемый ток короткого замыкания;
- ток при полной нагрузке (рабочий ток).

Токоограничивающие плавкие вставки разрабатывают с высокой отключающей способностью. Как правило, показатели существенно выше, чем минимальные значения, указанные в IEC 60269-2 и IEC 60269-3. Плавкие вставки поставляют с диапазоном номинальной отключающей способности, который охватывает самые высокие уровни ожидаемого тока, встречающиеся в ходе эксплуатации (например, до 200 кА).

Примечание — Плавкие вставки безопасно применять при значениях более низких, чем номинальная отключающая способность.

При выборе плавкого предохранителя для конкретной цели необходимо учитывать времятоковые характеристики и диапазон отключения. Времятоковые характеристики определяют область применения, диапазон отключения указывает необходимость применения плавких предохранителей совместно с дополнительными устройствами защиты от сверхтоков.

«Полный диапазон» означает, что плавкий предохранитель может отключать любой ток, способный расплавить плавкий элемент до номинальной отключающей способности. Плавкие предохранители с полным диапазоном применяют в качестве отдельных устройств.

«Частичный диапазон» или резервные плавкие предохранители предназначены исключительно для отключения токов короткого замыкания.

Как правило, резервные плавкие предохранители применяют в качестве резервной защиты с другими устройствами защиты от сверхтоков (например, пускатели двигателя или автоматические выключатели) при ожидаемых токах, превышающих отключающую способность такого устройства.

Серия IEC 60269 и ее различные системы предохранителей определяют диапазон времятоковых характеристик и диапазон отключения предохранителей, приведенные в таблице 3.

Таблица 3 — Применение плавкого предохранителя

Категория применения	Применение (характеристика)	Диапазон отключения
gG, gK	Общее назначение	Полный диапазон
gM	Защита цепи электродвигателя	Полный диапазон
aM	Защита цепей электродвигателя от коротких замыканий	Частичный диапазон (резервный)
gN	Общее назначение в Северной Америке для защиты проводников	Полный диапазон
gD	Общее назначение в Северной Америке с задержкой по времени	Полный диапазон
gPV	Защита фотоэлектрических (ФЭ) цепей	Полный диапазон
aR	Защита полупроводников	Частичный диапазон (резервный)
gR, gS	Защита полупроводников и проводников	Полный диапазон
gU	Общее назначение для защиты проводников	Полный диапазон
gL, gF, gI, gII	Бывшие типы плавких предохранителей общего назначения (заменены типом gG)	Полный диапазон

Плавкие предохранители для применения квалифицированным персоналом (промышленные плавкие предохранители), как правило, взаимозаменяемы. По этой причине каждая плавкая вставка,

основание плавкого предохранителя и держатель плавкого предохранителя маркируются удобочитаемым способом нестираемыми красками с указанием следующей информации:

- наименование производителя или торговое наименование;
- идентификационные сведения о производителе, позволяющие найти дополнительную информацию;
- номинальное напряжение переменного и/или постоянного тока (см. таблицы 4 и 5);
- номинальный ток;
- номинальную частоту, если менее 45 Гц или более 62 Гц;
- типоразмер или код.

Также маркировка каждой плавкой вставки включает:

- буквенный код, определяющий диапазон отключения и категорию применения (в соответствии с таблицей 3);
- номинальную отключающую способность.

Основания и держатели плавких предохранителей, в маркировке которых указан переменный ток, допускается применять в цепях постоянного тока.

Плавкие вставки маркируют отдельно, если они поставляются для цепей постоянного и переменного тока.

Плавкие предохранители применяют до значений максимального напряжения, указанного в таблицах 4 и 5.

Таблица 4 — Максимальное рабочее напряжение плавких вставок переменного тока

Категория применения	Номинальное напряжение переменного тока, В	Максимальное рабочее напряжение переменного тока, В
gG, gM, aR [a), b)], aM, gR [a), b)], gS [a), b)], gU, gK	230	253
	400	440
	500	550
	690	725
	1000	1100
gN[a)], gD [a)]	600	600
[a)] Для североамериканской системы плавких вставок максимальное рабочее напряжение равно номинальному напряжению. [b)] Допускаются другие номинальные напряжения в зависимости от применения.		

Таблица 5 — Стандартные номиналы рабочего напряжения плавких вставок постоянного тока

Категория применения	Стандартное номинальное напряжение постоянного тока, В, не более	Стандартное максимальное рабочее напряжение постоянного тока, В	Постоянная времени
gG, gM, gU, gK	500 В	+10 % более заявленного номинала	15—20 мс
gN, gD	500 В	+0 % более заявленного номинала[a)]	10—15 мс
aR, gR, gS	1500 В[b)]	+5 % более заявленного номинала[a)]	15—20 мс
Инвертор напряжения (номинал инвертора)	1500 В[b)]	+10 % более заявленного номинала[a)]	1—3 мс
gPV	1500 В[b)]	+0 % более заявленного номинала[a)]	1—3 мс
[a)] Для североамериканской системы плавких вставок максимальное рабочее напряжение равно номинальному напряжению. [b)] Допускаются другие номинальные напряжения в зависимости от применения.			

Номинальное напряжение плавкой вставки определяется как максимальное напряжение сети, в которой применяется плавкая вставка. Испытательное напряжение, определенное в настоящем стандарте, представляет собой процент от номинального напряжения, учитывающий допустимые отклонения в сети и является коэффициентом запаса, при установке в устройство согласно стандарту.

8 Защита кабеля

8.1 Общие положения

Плавкие вставки применяют для защиты кабеля в соответствии с требованиями IEC 60364-4-43.

Плавкие вставки применяют для обеспечения защиты от тока перегрузки и тока короткого замыкания; руководство по выбору плавких вставок указано ниже.

Категория применения gG	см. 8.2
Категории применения gN и gD (Северная Америка)	см. 8.3
Категории применения gR и gS (защита полупроводников)	см. 8.4
Категория применения gU	см. 8.5
Категория применения gK	см. 8.6
Категория применения gPV	см. 8.7

Согласно IEC 60364-4-43 каждую цепь необходимо проектировать с учетом низкой вероятности возникновения небольших перегрузок в течение длительного времени. При небольших перегрузках в диапазоне от 1 до 1,45 номинального тока устройства защиты от перегрузки устройство может не сработать в течение установленного времени. Превышение номинальных значений рабочих температур значительно увеличивают электрическое сопротивление переходных соединений.

Внимание! Запрещается применять устройство защиты от перегрузки в качестве устройства ограничения нагрузки. Непрерывная работа плавкой вставки за пределами установленных для нее номинальных токов может привести к перегреву и нестабильной работе.

Допускается применение плавких вставок в цепях только для защиты от короткого замыкания. В этом случае защиту от перегрузки обеспечивают другими средствами.

Руководство по защите от коротких замыканий приведено в 8.5 и разделе 13.

8.2 Категория применения gG

Плавкие вставки категории применения gG способны отключать сверхтоки в проводниках до того, как такие токи могут вызвать повышение температуры, повреждающее изоляцию.

Выбор плавкой вставки осуществляют с помощью следующих этапов:

a) максимальное рабочее напряжение (см. таблицу 4) плавкой вставки выбирают больше или равным максимальному напряжению сети;

b) рассчитывают рабочий ток I_B цепи;

c) непрерывную токоведущую способность проводника I_z выбирают согласно требованиям IEC 60364-5-52;

d) номинальный ток I_n плавкой вставки выбирают равным или более рабочего тока цепи, но равным или менее продолжительной токоведущей способности проводника:

$$I_B \le I_n \le I_z,$$

$$I_2 \le 1{,}45 I_z,$$

где I_B — рабочий ток цепи;

I_z — продолжительная токоведущая способность проводника (см. IEC 60364-5-52);

I_n — номинальный ток плавкой вставки;

I_2 — условный ток расцепления [IEC 60050-442:1998, 442-05-55], см. рисунок 6.

Для плавких предохранителей gG значение I_2 (согласно правилам установки МЭК) — это $I_t = 1{,}45I_n$.

Когда плавкие вставки выбирают по изложенному выше принципу, форма кривой времятоковых характеристик обеспечивает необходимую защиту проводников при высоких сверхтоках.

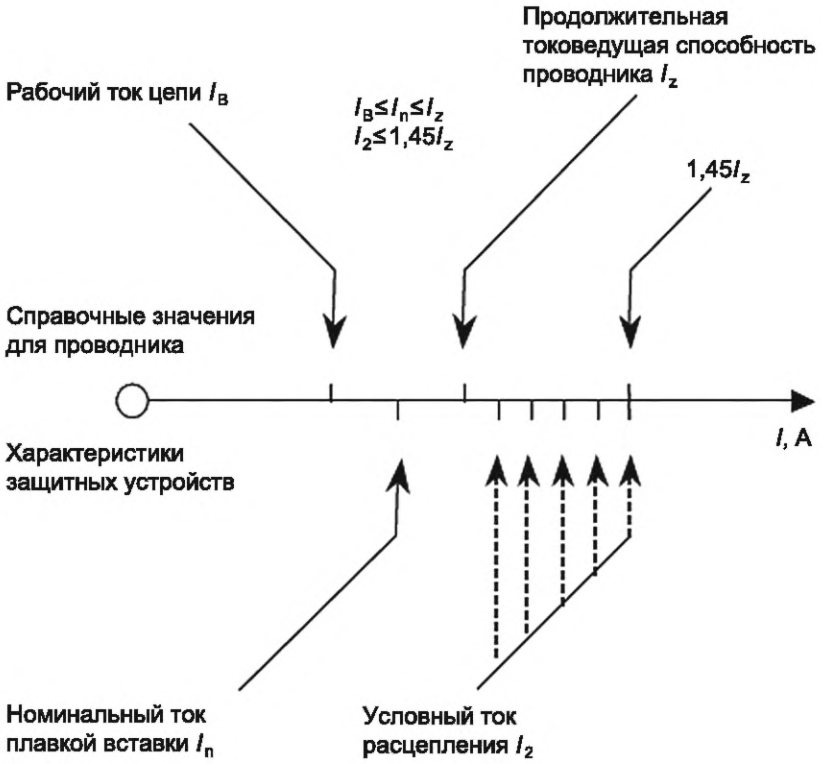


Рисунок 6 — Токи для выбора плавких вставок

8.3 Категория применения gN и gD

Требования по выбору плавких предохранителей для защиты кабеля определены в правилах устройства электроустановок Северной Америки.

a) Номинал напряжения плавкого предохранителя выбирается равным или более максимального напряжения сети.

b) Ток нагрузки рассчитывают и умножают на коэффициент 1,25 для продолжительных нагрузок (продолжительные нагрузки — это нагрузки в течение 2 ч или более).

c) Сечение проводника выбирают согласно таблице допустимой токовой нагрузки (токоведущая способность), указанной в правилах устройства электроустановок.

d) Общее правило выбора плавкого предохранителя — это выбор плавкого предохранителя, стандартный номинал тока которого совпадает с допустимой токовой нагрузкой. Для допустимой токовой нагрузки на проводник менее 800 А, при условии что допустимая нагрузка на проводник находится между двумя стандартными значениями тока плавкой вставки, применяется плавкая вставка, имеющая больший номинальный ток. Для допустимой токовой нагрузки на проводник 800 А или более, при условии что допустимая нагрузка на проводник находится между двумя стандартными значениями тока плавкой вставки, применяется плавкая вставка, имеющая меньший номинальный ток.

e) Выбранный плавкий предохранитель защищает проводник в условиях короткого замыкания и перегрузок. На практике североамериканский стандарт проводников был согласован со стандартами плавких предохранителей так, чтобы обеспечивать защиту от короткого замыкания. Для других типов проводников, номинал выдерживаемого тока короткого замыкания сравнивают с характеристиками плавкого предохранителя, чтобы убедиться, что проводник не получит повреждений.

8.4 Категории применения gR и gS

Плавкие вставки для защиты полупроводниковых аппаратов указаны в стандарте IEC 60269-4 (раздел 15). При обеспечении защиты от короткого замыкания применяют плавкие вставки категории применения aR. При обеспечении защиты от перегрузки для проводников, питающих полупроводниковый преобразователь, применяют плавкие вставки категории применения gR, оптимизированной для низких значений I^2t и категории применения gS, оптимизированной для низких значений рассеиваемой мощности.

Выбор плавких вставок для защиты кабеля указан в 8.2.

8.5 Категория применения gU

Плавкие вставки категории gU предназначены для защиты кабелей, допускается применение плавких вставок категории gG, но рабочие характеристики gU оптимальны для применения в электросетях. Выбор плавких вставок для защиты кабеля указан в 8.2.

8.6 Категория применения gK

Плавкие вставки категории gK, как и вставки категории gG, предназначены для защиты кабеля, но их диапазон номинального тока составляет до 4800 А, и это предохранители с очень высоким ограничением тока и низкими характеристиками тока срабатывания. Выбор плавких вставок для защиты кабеля указан в 8.2.

8.7 Категория применения gPV

Плавкие вставки для защиты ФЭС указаны в IEC 60269-6 (раздел 19). Эти плавкие вставки предназначены для защиты от перегрузок, а также отключения фотоэлектрических цепочек, батарей и блоков.

8.8 Защита только от тока короткого замыкания

В области применения, где плавкие вставки обеспечивают резервную защиту или защиту от короткого замыкания кабеля, необходимо обеспечить координацию путем подбора плавких вставок, пропускающих значения I^2t менее тех, которые могут выдерживать проводники. Для коротких замыканий продолжительностью 5 с или менее выдерживаемое I^2t проводников определяют с помощью выражения

$$I^2t = k^2 \cdot S^2,$$

где S — площадь поперечного сечения, мм^2,

k — коэффициент, который зависит от материала проводника и предельной температуры, выдерживаемой изоляцией. Значения k для разных сочетаний проводника и изоляции указаны в IEC 60364-4-43:2008, таблица 43A.

9 Селективность устройств защиты

9.1 Общие положения

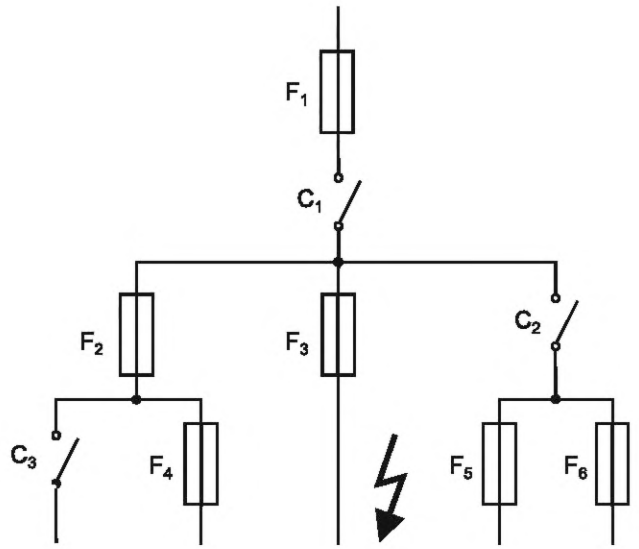
Селективность устройств защиты является важным аспектом, который необходимо учитывать при проектировании низковольтных установок. Селективность минимизирует последствия короткого замыкания, обеспечивает отключение только короткозамкнутой цепи, в то время как остальные цепи остаются включенными. Селективность достигается в том случае, когда короткое замыкание устраняется устройством защиты, установленным непосредственно перед местом короткого замыкания без срабатывания других устройств защиты.

На рисунке 7 приведена схема организации селективности для радиальной электросети.

В приведенной схеме рассмотрены следующие виды селективности:

между F_2 и F_4 ⇒ см. 9.2;
между F_1 и F_3 ⇒ см. 9.2;
между C_1 и F_3 ⇒ см. 9.3;
между C_2 и F_5, F_6 ⇒ см. 9.3;
между F_2 и C_3 ⇒ см. 9.4;
между F_1 и C_1 ⇒ см. раздел 14.

Основные средства для определения селективности между устройствами защиты — это времятоковые характеристики и значения I^2t. В IEC 60269-2 представлены времятоковые характеристики только для диапазона времени ≥0,1 с. Значения I^2t для диапазона времени < 0,1 с должны быть указаны производителем.



C — автоматический выключатель; F — плавкий предохранитель

Рисунок 7 — Селективность. Общая схема сети

9.2 Селективность между плавкими предохранителями

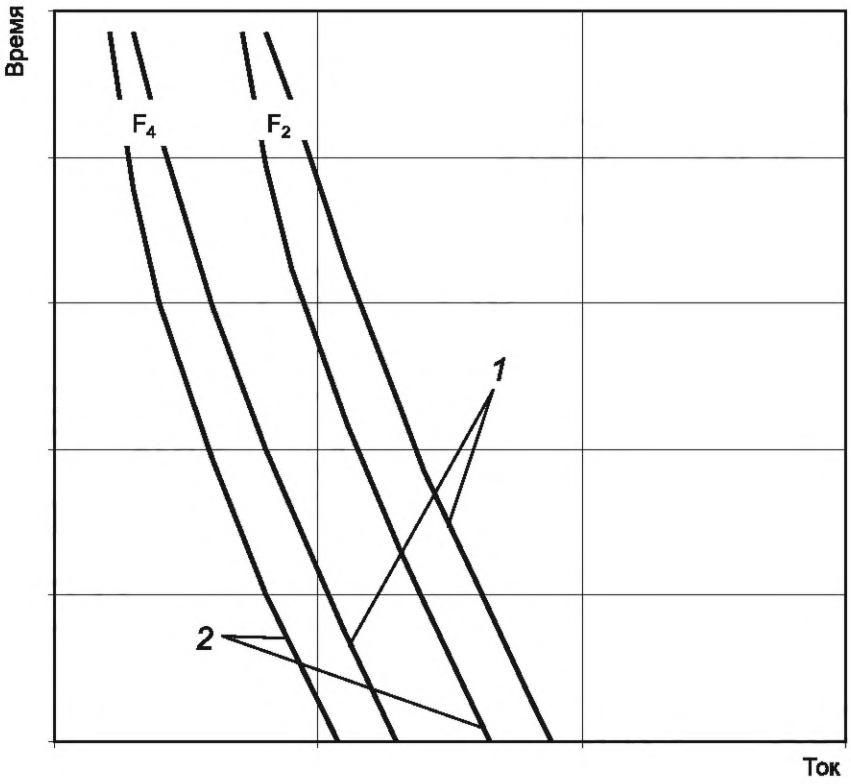
9.2.1 Общие положения

Селективность между плавкими вставками проверяют посредством времятоковых характеристик (см. рисунок 8) для времени срабатывания ≥ 0,1 с и преддуговых и рабочих значений I^2t для времени срабатывания < 0,1 с.

Примечание — Производитель плавкого предохранителя указывает рабочие значения I^2t при номинальных напряжениях, предполагающих короткое замыкание с очень низким полным сопротивлением. На практике сквозная характеристика I^2t, как правило, имеет более низкое значение из-за сопротивления короткого замыкания и фактического напряжения, образующегося на плавком предохранителе во время работы.

9.2.2 Проверка селективности для времени срабатывания ≥ 0,1 с

Максимальное время срабатывания F_4 должно иметь значение не более минимального преддугового времени F_2 для каждого значения ожидаемого тока (см. рисунок 8).



1 — максимальное время работы; *2* — минимальное преддуговое время

При предоставлении только одной кривой характеристики плавкой вставки производитель должен указать допуски.

Рисунок 8 — Проверка селективности между плавкими предохранителями F_2 и F_4 для времени срабатывания $t \geq 0,1$ с

9.2.3 Проверка селективности для времени срабатывания менее 0,1 с

Для времени срабатывания менее 0,1 с необходимо учитывать значения I^2t. Максимальное рабочее значение I^2t для F_4 должно иметь значение не ниже минимального преддугового значения I^2t для F_2.

9.2.4 Проверка общей селективности

Оба требования, установленных в 9.2.1 и 9.2.2, необходимо выполнить для достижения общей селективности между F_2 и F_4. Эти проверки проводят путем рассмотрения времятоковых характеристик.

Плавкие предохранители по IEC 60269-2 одинаковой категории применения, например, gG, с номинальным током ≥16 А, соответствуют этим требованиям к общей селективности по определению, если отношение номинальных токов F_2 к F_4 составляет 1,6:1 или более. По этой причине дополнительные проверки со стороны потребителя не требуются. В случае плавких предохранителей категории gN или gD с номинальным током более 15 А отношение составляет 2:1.

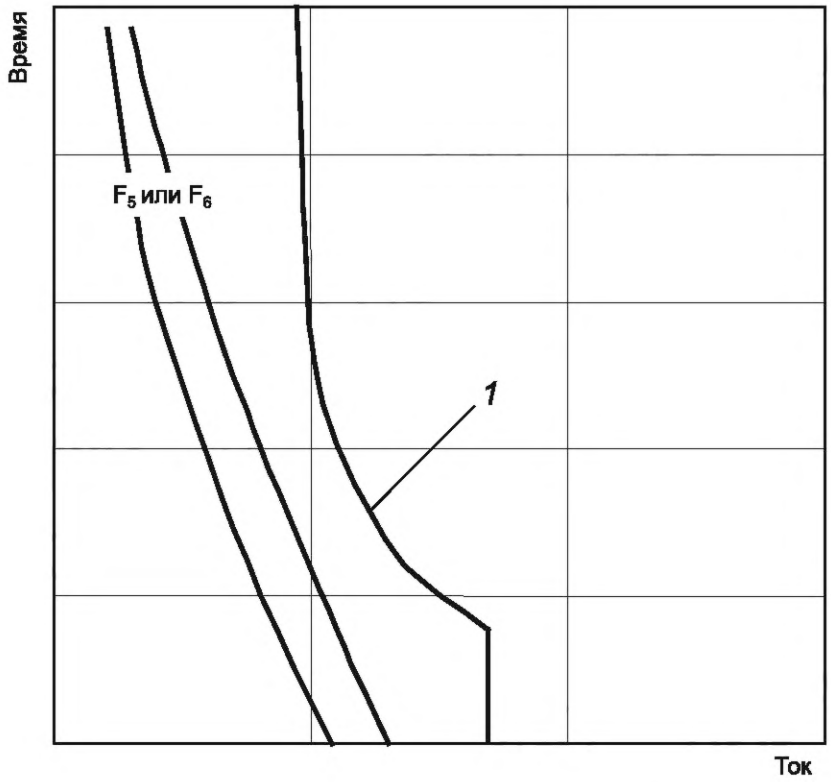
9.3 Селективность автоматических выключателей, включенных перед плавкими предохранителями

9.3.1 Общие положения

Селективность проверяют с помощью времятоковых характеристик, значений I^2t или путем испытаний.

9.3.2 Проверка селективности для времени срабатывания ≥ 0,1 с

Максимальное время срабатывания F_5 или F_6 должно иметь значение не выше минимального времени расцепления C_2 (см. рисунок 9).



1 — минимальная характеристика расцепления C_2

Рисунок 9 — Проверка селективности между автоматическим выключателем C_2 и предохранителями F_5 и F_6

9.3.3 Проверка селективности для времени срабатывания менее 0,1 с

Рабочее значение I^2t плавкого предохранителя должно иметь значение не менее минимального значения расцепления I^2t автоматического выключателя.

Значения I^2t плавких предохранителей выбирают согласно значениям, указанным в настоящем стандарте.

Номинал автоматического выключателя определяют по его времятоковым характеристикам, а в зоне мгновенного расцепления информацию представляет производитель.

9.3.4 Проверка общей селективности

Требования по 9.3.2 и 9.3.3 следует выполнять для достижения общей селективности между C_2 и F_5 или F_6.

Как правило, производители автоматических выключателей предоставляют таблицу селективности между автоматическими выключателями и выбранными плавкими предохранителями. Такой выбор действителен и для плавких предохранителей с одинаковым или более низким номинальным током.

9.4 Селективность плавких предохранителей, включенных перед автоматическими выключателями

9.4.1 Общие положения

Селективность проверяют с помощью времятоковых характеристик, значений I^2t или путем испытаний.

9.4.2 Проверка селективности для времени срабатывания ≥ 0,1 с

Максимальное время срабатывания автоматического выключателя C_3 должно иметь значение не более минимального преддугового времени плавкого предохранителя F_2 (см. рисунок 10).

9.4.3 Проверка селективности для времени срабатывания менее 0,1 с

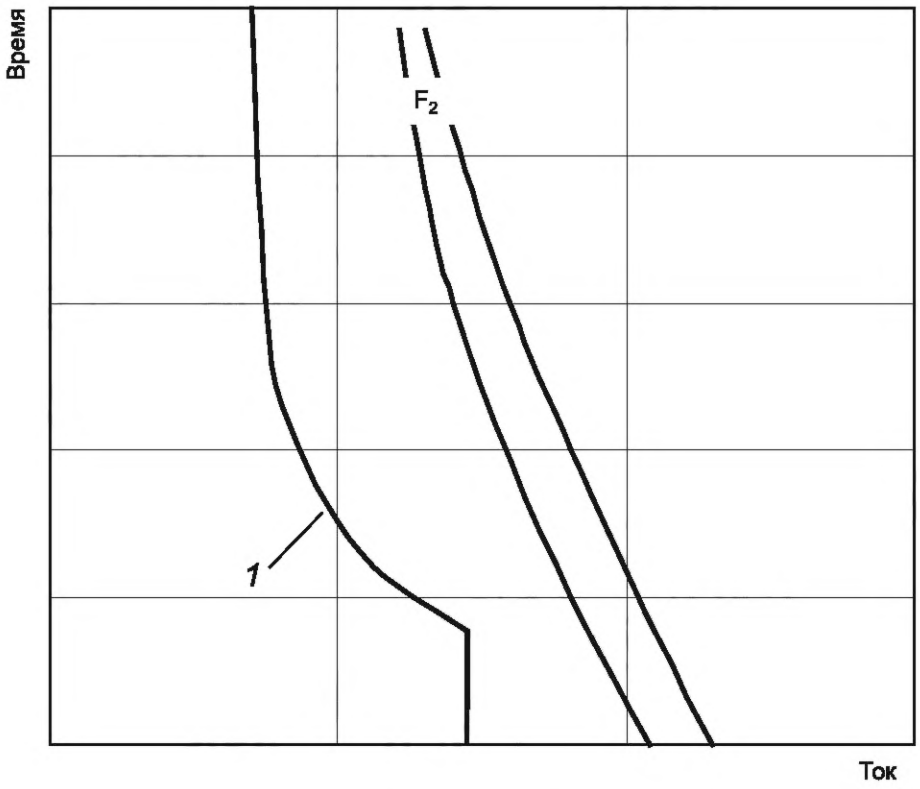
Минимальное преддуговое значение I^2t плавкого предохранителя должно превышать максимальное значение I^2t расцепления автоматического выключателя.

Значения I^2t плавких предохранителей определяют по значениям, указанным в настоящем стандарте.

Выбор для автоматического выключателя определяют по его времятоковым характеристикам, а в зоне мгновенного расцепления информацию предоставляет производитель.

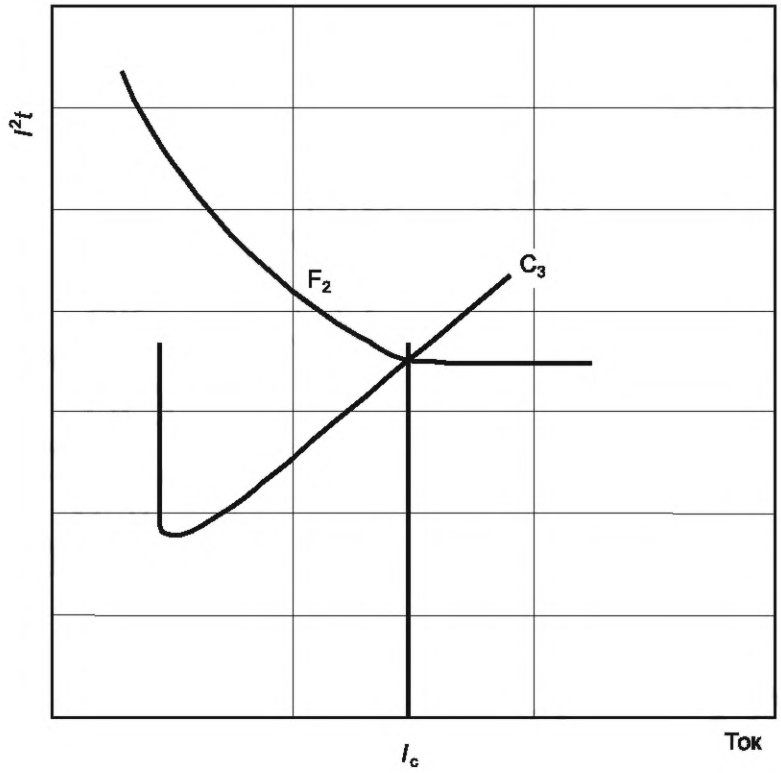
9.4.4 Проверка общей селективности

Требования по 9.4.2 и 9.4.3 следует выполнять для достижения общей селективности между C_3 и F_2. Для ожидаемых токов менее I_c (см. рисунок 11) селективность достигнута. Для ожидаемых токов более I_c селективность не достигнута.



1 — минимальная характеристика расцепления C_3

Рисунок 10 — Проверка селективности между плавким предохранителем F_2 и автоматическим выключателем C_3 для времени срабатывания $t \geq 0{,}1$ с



Примечание — I_c — предельный ток селективности.

Рисунок 11 — Проверка селективности между плавким предохранителем F_2 и автоматическим выключателем C_3 для времени срабатывания $t < 0,1$ с

10 Защита от повреждений при коротком замыкании

10.1 Общие положения

Короткое замыкание возникает, когда между двумя токоведущими частями или токоведущими частями и землей образуется путь прохождения тока с низким сопротивлением, как правило, по причине повреждения изоляции, механического повреждения, ошибки монтажа или поломки.

10.2 Пути тока короткого замыкания

Если путь тока представляет собой надежное соединение, ток увеличивается в зависимости от напряжения и сопротивления проводников. Как правило, соединение имеет низкое сопротивление, в случае короткого замыкания большое значение тока приводит к механическим и термическим повреждениям проводников и изоляции. Механические повреждения проводников являются следствием магнитных сил, которые притягивают или отталкивают проводники цепи, тем самым сгибая их и разрушая систему изоляции. Термическое повреждение проводников обусловлено перегревом и повреждением основной изоляции, далее следует плавление проводников и образование дуги.

Путь тока не является надежным соединением, в точке наихудшего контакта образуется дуга. Данное явление называют «коротким замыканием через дугу». Ток возрастает до значения, зависящего от сопротивления проводников с учетом сопротивления дуги. Как правило, механическое и термическое повреждение проводников сопровождается локальным плавлением проводника и испарением металла в месте образования дуги. Испарение металла в воздух в присутствии электрической дуги является опасным состоянием, приводящим к возникновению дугового разряда (взрыва). Сила дугового разряда зависит от ряда параметров цепи, основное значение имеет количество электрической энергии, протекающее в цепи при коротком замыкании и количестве расплавленного материала, доступного для испарения.

10.3 Ограничение тока

Плавкие предохранители обеспечивают один из наиболее эффективных способов защиты оборудования, персонала и компонентов от ущерба и повреждений в результате коротких замыканий и коротких замыканий с зажиганием дуги. Причина этого заключается в способности плавких вставок ограничивать ток. Как указано ранее, плавкие вставки плавятся и отключают ток очень быстро под воздействием токов высокой величины (см. 5.3.2). Пиковый ток I_c, образующийся сразу после расплавления плавкой вставки, значительно ниже ожидаемого тока, а рабочая характеристика I^2t поддерживается на низком уровне, так как наполнитель в корпусе предохранителя гасит дугу, образующуюся между частями плавкой вставки (расчетное время отключения плавкого предохранителя составляет менее половины периода). При низких значениях пикового тока I_c время отключения, составляющее менее половины периода, и низкая рабочая характеристика I^2t обеспечивают следующие преимущества в случае короткого замыкания или дуги:

- отсутствие механического или термического повреждения проводников или систем изоляции;
- отсутствие плавления или дуги, или незначительное плавление, или образование дуги на участке короткого замыкания;
- существенно низкое значение уровней энергии дуги, что сокращает дуговой разряд.

10.4 Номинальный условный ток короткого замыкания, номинальная отключающая способность

Производитель указывает для сборок и компонентов электрических систем номинальный ток короткого замыкания, равный максимальному допустимому ожидаемому току короткого замыкания с такой силой и продолжительностью, которые аппарат выдержит на своих вводах.

Номинальный ток короткого замыкания определяется путем испытаний. Для устройства, содержащего плавкую вставку в качестве неотъемлемой части, этот показатель выражают как I_{cc} — номинальный условный ток короткого замыкания (см. IEC 61912-1:2007, раздел 5).

Как правило, токоограничивающие плавкие предохранители применяют в цепях с высоким значением расчетного тока короткого замыкания, при применении совместно, в сборках или с выключателями, они обеспечивают необходимый уровень отключающей способности при высоких значениях I_{cc} устройства или выключателя. Это обеспечивает возможность более широкого применения сборки или устройства для обеспечения требований безопасности. Номинальный ток I_{cc} аппарата или сборки должен быть равным или более ожидаемого тока короткого замыкания системы.

11 Защита конденсаторов для повышения коэффициента мощности

В IEC 60269-1 и IEC 60269-2 не приведены требования и условия для испытания плавких предохранителей в цепях с конденсаторами. Применение плавких предохранителей согласно IEC 60269-2, категории применения gG и gN, в целях защиты конденсаторов для повышения коэффициента мощности является надежной защитой, зарекомендовавшей себя за долгие годы инженерной практикой.

Для надежной работы плавких предохранителей gG и gN в данной области применения требуется выбор плавких вставок с учетом следующих аспектов:

- высокие пусковые токи, до 100 раз превышающие номинальный ток конденсатора;
- длительный рабочий ток, до 1,5 раз превышающий номинальный ток конденсатора (включая гармоники);
- увеличение рабочего напряжения в 1,2 раза в периоды малой нагрузки в течение 5 мин;
- колебания рабочего напряжения в пределах 1,1 раза в течение 8 ч;
- допустимые отклонения емкости конденсаторов (и, соответственно, рабочего тока) — +15 %.

Номинальный ток плавкой вставки выбирают с учетом:

- отсутствия плавления или ухудшения плавкого элемента при протекании пусковых токов;
- отсутствия преждевременного срабатывания плавких вставок при протекании расчетных значений тока перегрузки.

Номинальный ток плавких предохранителей категорий gG и gN выбирают от 1,6 до 1,8 номинального тока конденсаторной установки или конденсаторной батареи. В таких условиях плавкий предохранитель обеспечивает надежную защиту конденсаторов от короткого замыкания. При необходимости защита от перегрузки обеспечивается с помощью дополнительных средств. Как правило, предохранители в целях защиты конденсаторов для повышения коэффициента мощности должны иметь больший

номинальный ток и большее номинальное напряжение. Это необходимо учитывать при применении плавких предохранителей в малых конденсаторных установках с более высоким пусковым током относительно их номинального тока.

Примечание — Значения поперечного сечения соединительных кабелей выбирают в соответствии с номинальным током плавких предохранителей (см. 8.2).

Выбор рекомендованного плавкого предохранителя для защиты конденсаторов для повышения коэффициента мощности наиболее распространенных размеров и напряжений приведен в таблице 6.

Таблица 6 — Выбор плавкого предохранителя в целях защиты конденсаторов для повышения коэффициента мощности (плавкие предохранители в соответствии с IEC 60269-2, система А)

	Номинальное напряжение (трехфазная сеть 50 Гц), В			
Конденсатор для повышения коэффициента мощности	400 k = 2,5	525 k = 2	690 k = 1,5	1000 k = 1,5
Плавкий предохранитель	500	690	1000 [a)]	1500 [b)]
Мощность конденсатора Q_N, кВАр, не более	Номинальный ток плавкого предохранителя I_N, А			
5	16	—	—	—
7,5	20	—	—	—
2,5	32 (35)	32 (35)	—	—
20	50	—	32 (35)	—
25	63	50	—	—
30	80	63	50	32 (35)
40	100	80	63	—
50	125	100	80	50
60	160	125	100	63
80	200	160	125	80
100	250	200	160	100
125	315	250	200	125
160	400	315	250	160
200	500	400	315	200
250	630	500	400	250

[a)] 690 В допускается в определенных условиях, при согласовании с производителем.

[b)] 1200 или 1300 В допускается в определенных условиях, при согласовании с производителем.

Номинальный ток плавкого предохранителя рассчитывают по следующей формуле:

$$I_n = k \cdot Q_N,$$

где I_n — номинальный ток плавкого предохранителя, А;
Q_N — мощность конденсатора, кВАр;
k — коэффициент, определяемый по таблице 6.

12 Защита трансформатора

12.1 Распределительные трансформаторы с высоковольтной первичной обмоткой

Трансформаторы питают большинство низковольтных распределительных систем от высоковольтной, свыше 1000 В переменного тока, первичной обмотки. Защита таких трансформаторов от короткого замыкания, как правило, обеспечивается высоковольтными плавкими вставками в первичной обмотке, а плавкие вставки выбирают таким образом, чтобы они могли выдерживать броски намагничивающего тока трансформатора при подаче энергии.

Низковольтные плавкие вставки на стороне вторичной обмотки таких распределительных трансформаторов обеспечивают защиту связанным с ними питающим линиям. Следует обеспечить селективность между плавкими вставками, установленными на первичной и вторичной сторонах обмоток трансформатора с учетом соответствующего коэффициента трансформации.

12.2 Распределительные трансформаторы с низковольтной первичной обмоткой

Согласно практике Северной Америки, низковольтные распределительные сети часто включают трансформаторы с низковольтной первичной и вторичной обмотками, например, 480/277 В или 208/120 В. Номинал мощности таких трансформаторов, как правило, может составлять до нескольких тысяч кВА.

Плавкие вставки на стороне первичной обмотки трансформатора применяют для обеспечения защиты от короткого замыкания, а на стороне вторичной обмотки трансформатора плавкие вставки применяют для защиты трансформатора от перегрузки. Допускается применение плавких вставок только на стороне первичной обмотки, в остальных случаях применяют дополнительную установку плавких вставок в питающей цепи на стороне вторичной обмотки, как указано в 12.1.

Плавкие вставки на стороне первичной обмотки выбирают при условии стойкости к воздействию бросков намагничивающего тока трансформатора с учетом следующих значений:

- 20-кратного значения тока первичной обмотки трансформатора при полной нагрузке в течение 0,01 с и
- 12-кратного значения тока первичной обмотки трансформатора при полной нагрузке в течение 0,1 с.

Селективность для плавких вставок в первичной и вторичной обмотках и другую защиту от сверхтоков следует обеспечивать с учетом соответствующего коэффициента трансформации.

В некоторых областях применяют трансформаторы с низковольтной первичной и вторичной обмотками, например, зарядные устройства для аккумуляторов и инструменты, по соображениям безопасности, с питанием от сети напряжением до 110 В.

12.3 Трансформаторы для цепей управления

Для данных трансформаторов, имеющих низкую мощность, пиковый бросок намагничивающего тока в первом полупериоде может превосходить ток полной нагрузки в 100 раз. Как правило, трансформаторы для цепей управления имеют внутреннюю тепловую защиту, поскольку устройства защиты от сверхтоков на стороне первичной обмотки, как правило, должны иметь гораздо более высокий номинал, чтобы справляться с огромным пусковым током.

13 Защита цепи электродвигателя

13.1 Общие положения

Плавкие предохранители широко применяют для защиты цепей электродвигателей и пускателей электродвигателей. В данных цепях применяют плавкие предохранители общего назначения (категории применения gG и gN). Их номинальный ток выбирают с учетом стойкости к пусковому току электродвигателя, который зависит от метода пуска:

- в шесть-восемь раз более номинального тока электродвигателя для прямого пуска при полном напряжении;
- в три-четыре раза более номинального тока электродвигателя для схемы «звезда—треугольник» или автотрансформатора.

С учетом вышеуказанного допускается применять номинальный ток плавкой вставки с существенно более высокими значениями номинального тока электродвигателя.

Для защиты электродвигателей рекомендуется применять плавкие предохранители категории применения gD и gM, которые представляют собой плавкие предохранители полного диапазона, и резервные предохранители категории применения aM, предназначенные только для защиты от короткого замыкания. Указанные категории применения плавких предохранителей предназначены для выдерживания высоких пусковых токов двигателя без необходимости увеличения номинального тока, как это требуется для плавких предохранителей, имеющих категории применения общего назначения. Характеристики категорий применения указаны в IEC 60269-1 и IEC 60269-2.

Производители плавких предохранителей предоставляют информацию о применении плавких предохранителей для электродвигателей. Предохранители для защиты цепи двигателя выбирают с учетом селективности с защитой двигателя, выполненной на основе реле перегрузки, соединенного с пускателем двигателя.

13.2 Координация плавкого предохранителя и пускателя электродвигателя

Координация между пускателями электродвигателей и установленными для их защиты плавкими вставками рассмотрена в стандартах МЭК для конкретного оборудования, например, IEC 60947-4-1. Определены два типа координации: тип 1 и тип 2 (см. также таблицу А.3).

Условием координации является обеспечение необходимой защиты от тока короткого замыкания и селективности между пускателем и плавкими предохранителями. Выполнение требований по селективности позволяет избежать повреждений контактора и нежелательного отключения цепи электродвигателя.

Рекомендации по выбору плавких вставок для применения в комбинации с контактором/пускателем двигателя предоставляет производитель контактора/пускателя.

Цель данного подпункта — предоставить конечному пользователю руководство по выбору предохранителя, альтернативного указанному производителем пускателя. Необходимо соблюдать требования по монтажу.

В приложении А указана методика испытания и расчета, необходимых для достижения координации между пускателем двигателя и плавким предохранителем, который его защищает.

Испытания проводят для трех уровней ожидаемого тока согласно IEC 60947-4-1:

a) в зоне тока I_{co}, определенного как координация при переходном токе (см. 13.4). Испытания проводят при $0{,}75I_{co}$, когда пускатель должен отключать ток без повреждений, а плавкий предохранитель не срабатывает, а также при $1{,}25I_{co}$, когда предохранитель должен сработать до отключения пускателя (см. рисунок 12). Проверка координации при переходном токе допускается косвенным методом (см. IEC 60947-4-1:2009, пункт B.4.5);

b) при значении ожидаемого тока «r» согласно IEC 60947-4-1:2009, таблица 12 (см. таблицу А.2);

c) при номинальном условном токе короткого замыкания I_q, заявленном производителем коммутационного аппарата, если он более испытательного тока «r».

Выбранный предохранитель должен выдерживать пусковой ток двигателя и выбирается на основе рекомендаций производителя в соответствии с национальными правилами установки и правилами электромонтажа.

Типы плавких вставок для защиты электродвигателей приведены в таблице А.1.

Точка срабатывания предохранителя и пускателя должна находиться в пределах отключающей способности пускателя, а предохранитель выбирается таким образом, чтобы он не срабатывал при пусковом токе двигателя (см. рисунок 12).

13.3 Критерии координации при номинальном условном токе короткого замыкания I_q

Руководство по выбору максимального номинального тока для альтернативного типа плавкого предохранителя приведено в IEC 61912-1:2007, приложение А, с учетом следующих требований.

Значения напряжения, тока и условного тока короткого замыкания I_q для цепи не должны превышать значения, указанные в соответствующих стандартах.

На основе характеристики плавкого предохранителя определяют значения I_{co} и I^2t для номинального условного тока короткого замыкания I_q и при напряжении $u\sqrt{3}/2$.

Определенные выше значения I_{co} и I^2t не должны превышать стандартные испытательные значения.

Соответствие вышеприведенным требованиям означает, что плавкий предохранитель заменен правильно и дополнительных испытаний проводить не требуется.

13.4 Критерии координации при переходном токе I_{co}

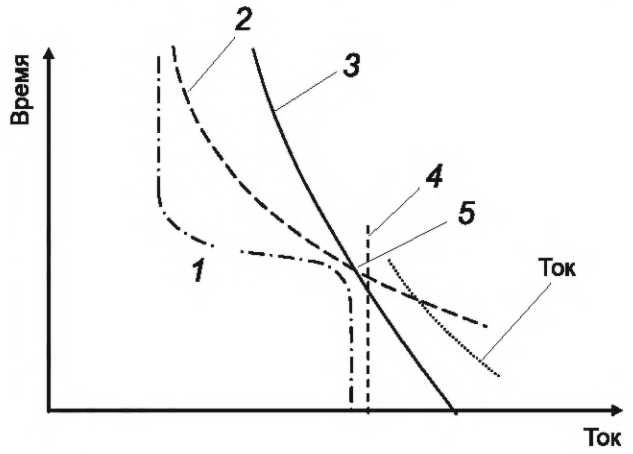
I_{co} — ток, соответствующий точке пересечения средних времятоковых характеристик предохранителя и реле перегрузки пускателя (см. рисунок 12). Перечень испытаний для обеспечения требуемой координации при I_{co} приведен в IEC 60947-4-1:2009, пункт B.4.

Основными факторами являются:

- характеристика без повреждений реле перегрузки;
- I_{co} не должно превышать значения электродинамического выдерживаемого тока контактов контактора и реле перегрузки;
- времятоковая характеристика срабатывания соответствующего предохранителя при токах выше I_{co} должна иметь значение не ниже, чем характеристика отсутствия повреждений реле перегрузки и контактора в той области, где предохранитель выполняет защитную функцию.

При необходимости установки сменной плавкой вставки аналогичного типа без дополнительных испытаний ее переходный ток не должен превышать значение I_{co}, наблюдаемое при типовых испытаниях, а ее времятоковая характеристика при токах выше I_{co} не должна показывать большее время, чем время плавкой вставки, применяемой в проверяемой комбинации, иначе может произойти повреждение пускателя.

Выбранный с учетом указанных выше требований предохранитель в соответствии с IEC 60947-4-1 обеспечивает защиту пускателя и связанного с ним оборудования от сверхтоков, превышающих отключающую способность пускателя до номинального условного тока короткого замыкания пускателя.



1 — ток двигателя; 2 — времятоковая характеристика работы реле перегрузки; *3* — времятоковая характеристика плавкой вставки; *4* — отключающая способность контактора; *5* — переходной ток I_{co}; *6* — температурные пределы реле перегрузки

Рисунок 12 — Координация плавкого предохранителя пускателя

13.5 Критерии координации при испытательном токе «r»

При выборе аналогичного типа плавкого предохранителя учитывают значения I_c и I^2t, указанные в IEC 61912-1:2007, приложение A. Соблюдение условий для значений тока I_q применимы для значений тока «r».

14 Защита автоматических выключателей в цепях с номинальным постоянным и переменным напряжением

Автоматические выключатели, отключающая способность которых ниже, чем ожидаемый ток короткого замыкания в сети, следует защищать дополнительным устройством защиты от короткого замыкания, имеющим достаточно высокую отключающую способность.

Токоограничивающие плавкие вставки — оптимальное решение для данного типа применений (см. рисунок 7, F_1 и C_1). При коротком замыкании токоограничивающие плавкие вставки быстро размы-

каются (менее чем за четверть периода), с снижением значений ожидаемого тока и электрической энергии, поступающих на автоматический выключатель, установленный ниже в цепи относительно плавкого предохранителя, до уровней, лежащих в пределах возможностей автоматического выключателя.

Применяемая плавкая вставка может относиться к категории общего назначения (gG и gN), категории применения резервной защиты (aM) или категории применения полного диапазона, применяемой в цепях электродвигателя (gD и gM).

Осуществить верный выбор категории применения плавкого предохранителя и его номинала для защиты конкретного автоматического выключателя непросто, и надежные результаты невозможно получить исключительно путем расчетов.

Основная причина такой проблемы выбора заключается в том, что уровни выдерживаемого пикового тока и сквозного I^2t различаются в зависимости от типа автоматического выключателя среди производителей автоматических выключателей. Для обеспечения безопасности персонала и защиты автоматического выключателя категория применения предохранителей и номинальные характеристики проверяют в сочетании с автоматическими выключателями, включенными в цепь после предохранителей.

Результаты этих испытаний и возможные последовательные комбинации предохранителей/выключателей предоставляются производителем предохранителей или автоматических выключателей или соответствующими уполномоченными органами, которые проводили испытания этих комбинаций.

Допускается установка плавких вставок альтернативной категории применения, отличных от тех, которые применялись при серийных испытаниях, при выполнении следующего условия: альтернативный тип плавкой вставки имеет значения I_p и рабочей характеристики I^2t, менее или равные значениям первоначально испытанного плавкого предохранителя.

15 Защита полупроводниковых приборов в цепях с номинальным постоянным и переменным напряжением

Выдерживаемые значения I^2t полупроводниковых приборов с номинальными значениями значительно ниже тех, которые определены для других приборов и цепей с соответствующими номиналами. Плавкие вставки, применяемые в цепях, содержащих полупроводниковые приборы, должны срабатывать при заданных токах быстрее, чем плавкие вставки, применяемые в других цепях.

Как правило, в одной части оборудования присутствует несколько полупроводниковых приборов, например, выпрямитель или инвертор. Защитное оборудование должно полностью обеспечивать выполнение следующих условий:

В случае неисправности полупроводникового прибора время срабатывания плавких вставок должно обеспечивать предотвращение повреждения других устройств (в связи с этим опыт показал, что полупроводники выходят из строя с коротким замыканием, образуя токи большой величины).

В случае других неисправностей в оборудовании срабатывание плавких вставок должно происходить до того, как возникнет косвенный ущерб полупроводниковым приборам. Потенциально опасные перегрузки по току следует устранить до того, как устройства будут повреждены.

Срабатывание плавких вставок не должно вызывать недопустимо высокое перенапряжение на любом из полупроводниковых устройств.

Требования к характеристикам плавких вставок для защиты полупроводниковых устройств приведены в IEC 60269-4, и такие плавкие вставки относятся к категории «частичный диапазон» или «резерв», категория применения aR. Плавкие вставки частичного диапазона для защиты выпрямителя (aR) обеспечивают быструю защиту устройств, в системах может потребоваться альтернативная защита устройств тепловой перегрузки, плавких вставок gG или других устройств защиты цепи для защиты других элементов схемы. Нижний предел характеристик плавкой вставки типа aR определяется кратным номинальному току.

По мере развития методов защиты возрастает потребность в плавких вставках для защиты полупроводниковых приборов с отключающей способностью «полного диапазона», что устраняет необходимость в одном или нескольких компонентах, упомянутых выше. В качестве примера может рассматриваться установка плавких вставок на стороне подключения источника питания взамен установки на стороне питания преобразователя. В этом случае плавкая вставка должна обеспечивать защиту кабеля в дополнение к силовым полупроводникам в преобразовательном оборудовании.

В IEC 60269-4 указаны две дополнительные категории с полным диапазоном, а именно «gR», оптимизированные для обеспечения низкого I^2t, и «gS», оптимизированные для обеспечения низкого рассеивания мощности. Плавкие вставки «gS» обеспечивают совместимость со стандартными основаниями плавких предохранителей и комбинациями других устройств с предохранителями. Плавкие вставки gR и gS должны срабатывать в течение стандартного времени при токе, в 1,6 раза превышающем их номинальный ток, однако они должны иметь значение, указанное в таблице 7 для условного времени.

Таблица 7 — Условный ток отсутствия плавления

Тип «gS»	Тип «gR»
$1{,}25I_n$	$1{,}13I_n$

В зависимости от расположения плавкой вставки в цепи, в которой применяются полупроводники, плавкая вставка рассчитывается с учетом условий переменного тока короткого замыкания и/или с учетом условий постоянного тока короткого замыкания. Следует выбирать плавкие вставки с соответствующими номинальными напряжениями и отключающей способностью.

Номинальное постоянное напряжение плавкой вставки зависит от постоянной времени цепи, которая определяет номинал плавкой вставки. Постоянные времени цепи, на основе значения которых проверяются плавкие вставки для защиты полупроводников, указаны в настоящем стандарте и представляют собой постоянные времени в энергосистемах. Защита инверторов напряжения (VSI) — это особый случай, когда в цепи питания применяются конденсаторы. В VSI постоянная времени цепи может иметь значения значительно ниже, чем в традиционных сетях постоянного тока, и в связи с этим IEC 60269-4 включает требования к специальным испытаниям для плавких вставок, с последующим определением номинального напряжения VSI в дополнение к присвоенным номиналам переменного и постоянного напряжения.

Производители плавких вставок для защиты полупроводниковых приборов предоставляют рекомендации по выбору плавких вставок для различного спектра применений. Данная информация приведена:

- в приложении AA IEC 60269-4:2009 указаны рекомендации по координации плавких вставок с полупроводниковыми приборами. В указанном приложении приведены ожидаемые характеристики плавких вставок с точки зрения их номиналов и цепей, частью которых они являются, для обеспечения выбора плавких вставок;
- в приложении BB IEC 60269-4:2009 приведен перечень информации, предоставляемой производителем в требованиях по эксплуатации для плавких вставок, предназначенных для защиты полупроводниковых приборов;
- IEC/TR 60146-6 — это руководство по применению плавких предохранителей для защиты полупроводниковых преобразователей от сверхтоков. Оно ограничивается преобразователями с линейной коммутацией в односторонних и двусторонних соединениях. В указанном стандарте приведены требования по применению предохранителей с учетом характеристик преобразователей, соблюдение требований обеспечивает применение плавких предохранителей с полупроводниковыми преобразователями, дополнительно в настоящем стандарте приведены рекомендации по обеспечению безаварийной работы преобразователей, защищенных плавкими предохранителями.

16 Предохранители в корпусах

16.1 Общие положения

При установке плавких предохранителей в корпусах с ограниченным тепловыделением их рабочая температура может достигать уровня, который изменяет их стандартные характеристики. В условиях эксплуатации согласно IEC 60269-1 учитывается атмосферный воздух с окружающей температурой до 40 °C.

Не существует общего правила для определения предельных показателей для применения плавких предохранителей в практических установках с ограниченным пространством и температурой окружающей среды выше 40 °C. В таких случаях необходимо консультироваться с производителями предохранителей и оборудования.

16.2 Предельная температура эксплуатации плавких вставок категории применения gG согласно IEC 60269-2 — система A

Проведенные исследования показывают, что предельная температура ножевого контакта 130 °C является допустимой. Допускается достижение предельной температуры при испытании на стойкость к повышению температуры исключительно для сборок из нескольких предохранителей.

Это соответствует требованиям для плавких вставок gG в соответствии с IEC 60269-2, система A. Измерения температуры ножевого контакта относительно температуры окружающего воздуха или клемм проводят следующим образом:

- ближайшая доступная контрольная точка к плавкому элементу;
- измерение температуры на твердых металлических контактах;
- применимо ко всем конструкциям предохранителей.

Предельная температура 130 °C является максимальной для кратковременной работы. В случае продолжительной работы рекомендована предельная температура 100 °C.

16.3 Прочие плавкие вставки

По применению плавких вставок при отличных условиях эксплуатации от рассмотренных в настоящем стандарте необходимо проконсультироваться с производителем предохранителя.

17 Установки постоянного тока

17.1 Общие положения

Источники питания постоянного тока применяются все шире, и в ближайшем будущем область их применения будет расширяться, например для распределенной выработки и областей электропитания от источников постоянного тока: ветряная энергия, гидроэнергетика, ФЭС, геотермальная энергия, топливные элементы, зарядка и/или питание электромобилей, аккумуляторов и других устройств хранения энергии, распределительные сети, промежуточные звенья постоянного тока для нескольких приводов, преобразователи DC/DC, а также AC/DC и цепей управления.

Как правило, характеристики источников питания постоянного тока отличаются от источников переменного тока. К ним относятся батареи, которые обеспечивают стабильную мощность и фотоэлементы. Типы источников питания постоянного тока учитывают при применении защитных мер и выборе устройств защиты и оборудования.

17.2 Защита от короткого замыкания

Токоограничивающие плавкие предохранители, как правило, применяют в системах переменного тока и в системах постоянного тока. Показатели постоянного тока плавких вставок отличаются от показателей переменного тока, поэтому предохранители переменного тока не допускается применять в цепях постоянного тока. Не существует простого правила надежного преобразования номинала напряжения переменного тока плавкой вставки в номинал напряжения постоянного тока. В цепях переменного тока коэффициент мощности является основным параметром, который необходимо учитывать; в цепях постоянного тока постоянная времени $T = L/R$ (см. рисунок 13) является определяющим фактором. По мере увеличения постоянной времени максимальное постоянное рабочее напряжение снижается. Отключающая способность в цепях постоянного тока для плавкой вставки определяется путем испытаний в испытательной цепи.

В условиях короткого замыкания постоянного тока процесс срабатывания плавкого предохранителя аналогичен условиям переменного тока (см. рисунок 3). При этом токи срабатывания не допускается брать из имеющихся кривых переменного тока срабатывания, поскольку они зависят от постоянной времени цепей. Значения постоянного тока указаны в технической документации производителей плавких предохранителей, либо определяют путем испытаний.

В отличие от других приборов для плавких предохранителей не требуется соблюдение полярности.

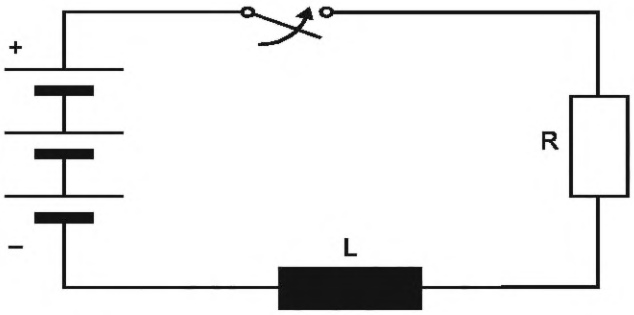
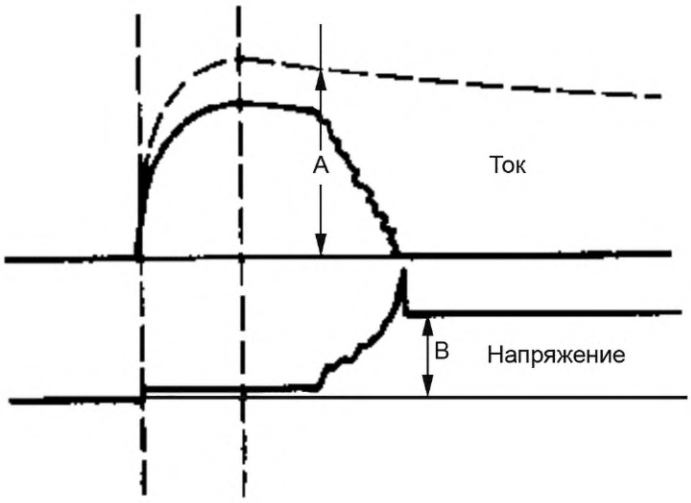


Рисунок 13 — Цепь постоянного тока

17.3 Защита от перегрузки

В условиях перегрузки, при работе без ограничения тока, срабатывание плавкого предохранителя в цепях переменного и постоянного тока различается (см. рисунок 14). Поскольку периодический нулевой ток отсутствует, номинальное напряжение постоянного тока ниже номинального напряжения переменного тока.



A — ожидаемый ток; B — восстанавливающее напряжение

Рисунок 14 — Операция отключения в цепи постоянного тока

Значения постоянного напряжения, указанные в маркировке плавких вставок согласно требованиям, установленным в IEC 60269-2, связаны с постоянной времени 20 мс и отключающей способностью не менее 25 кА. Для более высоких или более низких значений постоянной времени применяются различные номинальные значения напряжения, информация о значениях предоставляется производителем предохранителей или определяется испытаниями. Стандартные номинальные значения рабочего напряжения предохранителей постоянного тока приведены в таблице 5. Постоянные времени в областях применения приведены в таблице 8.

Таблица 8 — Постоянные времени распространенных сетей постоянного тока

Применение	Постоянная времени, мс
Промышленные цепи управления и нагрузки постоянного тока	≤ 10
Батарейные источники питания для ИБП	≤ 5
Двигатели и приводы постоянного тока	20—40
Магниты и периферийные источники питания	До 1000

17.4 Времятоковые характеристики

Средние времятоковые характеристики, приведенные производителями плавких предохранителей, дают среднеквадратичные значения рабочего тока, которые идентичны значениям постоянного тока в стабильном состоянии. В условиях переходного процесса мгновенные и среднеквадратичные значения могут в значительной степени различаться. Таким образом, времятоковая характеристика зависит от постоянной времени замкнутой накоротко цепи (см. рисунок 15).

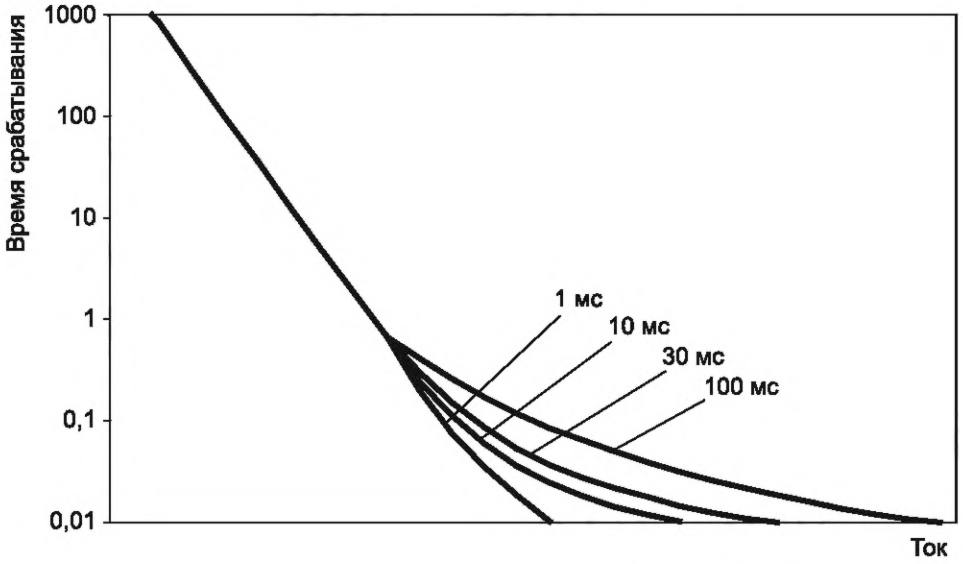


Рисунок 15 — Время срабатывания предохранителя при разных постоянных времени в цепи постоянного тока

18 Автоматическое отсоединение для защиты от поражения электрическим током в установках зданий

18.1 Общие положения

Токоограничивающая плавкая вставка — это защитное устройство, способное обеспечить полную защиту цепи. Применяют для защиты от поражения электрическим током путем автоматического отключения питания.

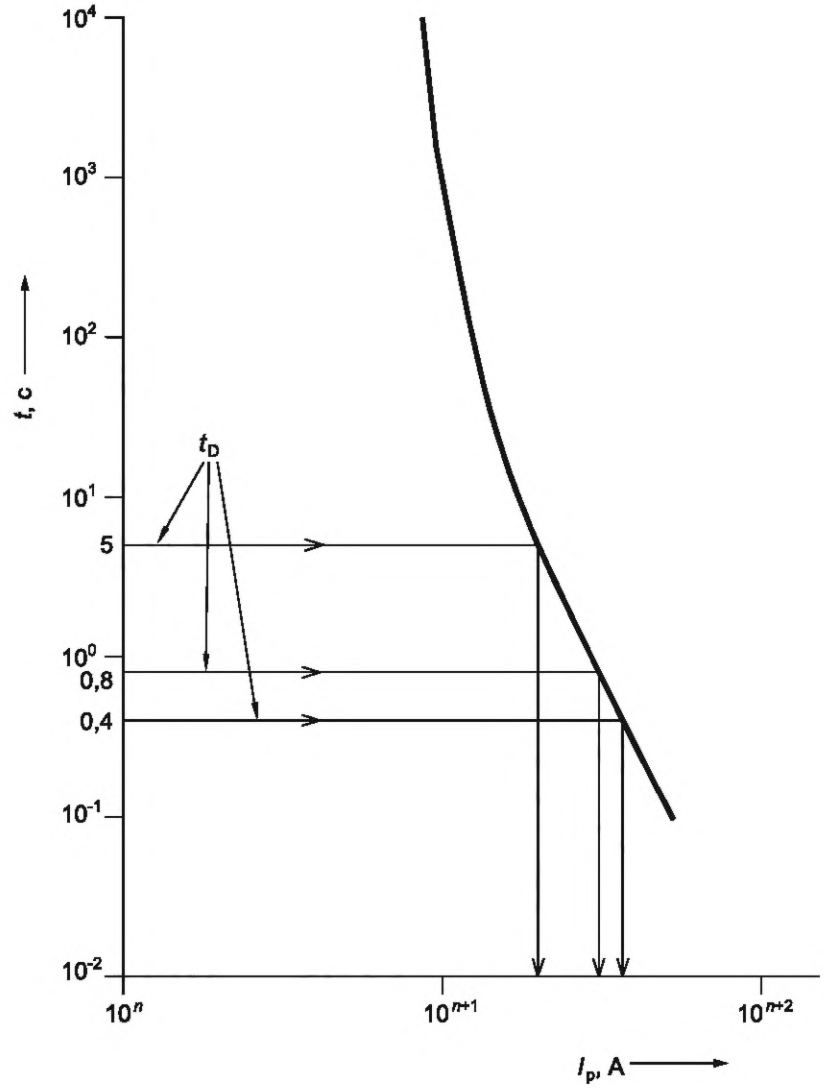
Защита путем автоматического отключения питания приведена в IEC 60364-4-41:2005, подраздел 413.1.

Существуют три основные системы низковольтных распределительных сетей (TN, TT и IT).

18.2 Принцип защиты

Защита путем автоматического отключения питания основана на срабатывании плавкой вставки, отключающей цепь питания. В случае короткого замыкания между токоведущей частью и оголенной (проводящей) частью или защитным проводником в цепи или оборудовании предполагаемое напряжение прикосновения более 50 В переменного тока или 120 В постоянного тока без пульсаций не должны сохраняться достаточно долго, чтобы оказывать вредное физиологическое воздействие на человека. Независимо от напряжения прикосновения, в определенных обстоятельствах допускается время отключения не более 5 с. Для некоторых типов сетей (TN, IT) требуется более короткое время отключения. См. примеры в 18.3.

Для определения условий отключения источника питания с токоограничивающими плавкими вставками необходимо указывать времятоковую характеристику. Необходимо учитывать время отключения в зависимости от типа защищаемого оборудования, типа заземления системы и окружающей среды. Необходимо определить ток I_a, который вызывает срабатывание плавкой вставки. Метод расчета приведен на рисунке 16. Для расчета максимального допустимого сопротивления петли короткого замыкания или сопротивления заземления используют значение тока I_a.



t — максимальное время срабатывания; I_p — ожидаемый ток; t_D — время отключения

Рисунок 16 — Времятоковая характеристика

18.3 Примеры

Пример 1 — Сеть TN, 230/400 В

Методика расчета: на основе данных, указанных в IEC 60364-4-41:2005 (таблица 41A), при U_o = 230 В, для значения времени отключения, равного 0,4 с, определяют значение тока I_a по рисунку 16. Максимальное допустимое сопротивление петли короткого замыкания рассчитывают по следующей формуле:

$$Z_s \leq \frac{U_o}{I_a},$$

где Z_s — сопротивление петли короткого замыкания, включая источник, проводник под напряжением до точки короткого замыкания и защитный проводник между точкой короткого замыкания и источником питания;

I_a — ток, вызывающий срабатывание плавкого предохранителя в течение времени, указанного как функция номинального напряжения U_o или в заявленных условиях в течение условного времени, не превышающего 5 с;

U_o — номинальное напряжение относительно земли.

Пример 2 — Сеть TT, 230/400 В

Методика расчета: на основе данных, указанных в IEC 60364-4-41, для значения времени отключения 5 с определяют значение тока I_a по рисунку 16. Максимальное допустимое сопротивление заземления рассчитывают по следующей формуле:

$$R_A \leq \frac{50}{I_a},$$

где R_A — полное сопротивление заземления.

Пример 3 — Сеть IT, 230/400 В, нераспределенная нейтраль, расчет второго короткого замыкания в сети

Методика расчета: на основе данных, указанных в IEC 60364-4-41, при U_o = 230 В, для значения времени отключения 0,4 с определяют значение тока I_a по рисунку 16. Полное сопротивление петли короткого замыкания рассчитывают по следующей формуле:

$$Z_s \leq \frac{\sqrt{3}U_o}{2I_a},$$

Пример 4 — Сеть IT, 230/400 В, распределенная нейтраль. Расчет второго короткого замыкания в сети

Методика расчета: на основе данных, указанных в IEC 60364-4-41, при U_o = 230 В, для значения времени отключения 0,8 с определяют значение тока I_a по рисунку 16. Полное сопротивление петли короткого замыкания рассчитывают по следующей формуле:

$$Z'_s \leq \frac{U_o}{2I_a}.$$

19 Защита ФЭС

19.1 Общие положения

ФЭС состоят из отдельных фотоэлектрических (ФЭ) модулей, последовательно соединенных в «цепочки», генерирующих напряжение за счет солнечной энергии, которое является суммой напряжений каждого элемента. Допускается подключение одной или нескольких цепочек параллельно для обеспечения более высокого уровня тока. Эти параллельные соединения цепочек называют ФЭ батареями. Большие ФЭ генераторы, где несколько ФЭ батарей подключены параллельно для обеспечения еще более высоких уровней тока, называют ФЭ блоком. Вырабатываемый постоянный ток необходимо преобразовать в переменный для передачи в электросети, поэтому инвертор (или инверторы) также рассматривают как часть системы. Необходимо учитывать наличие в ФЭС батарей или других средств хранения энергии постоянного тока для повышения надежности и предоставления энергии в отсутствие солнца.

ФЭ модули ограничивают ток и выдерживают любой ток вплоть до их номинального тока короткого замыкания I_{SC_STC} (см. примечание), а также случайные перегрузки по току из-за уровней освещенности, превышающих значение в стандартных испытательных условиях. Следовательно, для защиты ФЭ модулей от прямых перегрузок по току не требуется предохранителей или устройств защиты от сверхтоков.

Примечание — STC (стандартные испытательные условия): температура ФЭ элемента: 25 °С, освещение: 1000 Вт/м^2, коэффициент относительной массы воздуха: AM 1,5.

ФЭ модули получают повреждения при протекании значений обратного тока, превышающих их способность выдерживать обратный ток $I_{MOD_REVERSE}$, максимальное значение обратного тока указывает производитель ФЭ модуля. Обратные токи могут возникать из-за ряда условий, включая затенение и неисправные ФЭ модули. Последствия протекания обратных токов короткого замыкания приводят к необратимым повреждениям ФЭ модулей, снижению эффективности, повреждению проводников и возможным возникновениям электрической дуги и пожару. Поэтому плавкий предохранитель следует

устанавливать последовательно с каждой ФЭ батареей, чтобы предотвратить повреждение ФЭ модуля обратными токами от других ФЭ батарей, подключенных параллельно.

Соединительный провод и кабели, используемые для соединения ФЭ блоков и ФЭ батарей, получают термические повреждения при протекании токов перегрузки, превышающих их номинальный ток. Для защиты от токов перегрузки плавкий предохранитель устанавливают на каждый проводник ФЭ батареи.

Настоящее руководство по выбору предохранителей для ФЭ батарей относится в первую очередь к ФЭ генераторам без аккумуляторных батарей или с инверторами, которые не могут питаться от сети. Для ФЭС с другими компонентами (такими как батареи, преобразователи, конденсаторы и т. д.) потребуется собственная защита от сверхтоков. Эти компоненты не будут защищены плавкими предохранителями, установленными для защиты ФЭ блоков или ФЭ батарей.

19.2 Выбор плавких вставок для ФЭС

19.2.1 Категория применения плавкого предохранителя

Плавкие вставки, предназначенные для защиты ФЭ модулей и ФЭ батарей, указаны в IEC 60269-6 и имеют маркировку «gPV». Плавкие предохранители остальных категорий для применения не допустимы.

19.2.2 Плавкие предохранители для ФЭ батарей

Плавкие предохранители ФЭ цепи выбирают на основе выдерживающей способности ФЭ модулей к обратным токам $I_{MOD_REVERSE}$. Производители ФЭ модулей указывают эти значения как кратное I_{SC_STC} или указывают максимальный номинальный ток плавкого предохранителя (информацию предоставляет производитель ФЭ модуля).

В ФЭС с одной или двумя параллельно включенными ФЭ батареями предохранитель не требуется, поскольку токи не могут превышать обратный ток, выдерживаемый ФЭ модулями, при условии, что номинальные характеристики кабелей ФЭ батарей выше значений обратных токов, при превышении значений обратных токов, номинальных характеристик кабеля необходимо включить в цепь плавкую вставку gPV для защиты кабеля. Для ФЭ систем с тремя или более ФЭ батареями, подключенными параллельно, необходимо установить предохранитель.

19.2.3 Замена плавкого предохранителя

Комбинации плавких предохранителей-выключателей должны обеспечивать возможность безопасной замены плавкой вставки.

19.2.4 Незаземленные ФЭС

Для защиты от токов перегрузки незаземленных ФЭС плавкий предохранитель устанавливают в положительную и отрицательную цепь ФЭ батарей.

19.2.5 Плавкие предохранители для функционального заземления

Плавкие вставки допускается применять для защиты цепи заземления ФЭ батарей (схемы плавких вставок функционального заземления указаны в IEC 60364-7-712:2002, 4.101, 532.103 и в таблице 101, и следует соблюдать эти рекомендации).

19.2.6 Плавкие вставки для ФЭ батарей и ФЭ блоков

Необходимо устанавливать плавкие вставки в ФЭ батареи и ФЭ блоки для отключения сверхтока в этих проводниках до того, как такой ток сможет вызвать подъем температуры, ведущий к повреждению изоляции (см. руководство по выбору 19.2.10).

19.2.7 Контроль плавких предохранителей

Контроль плавких предохранителей рекомендуется для определения срабатывания предохранителя и для быстрого обнаружения неисправной цепи, ремонта батарей или блоков, сводя к минимуму потери генерируемой мощности.

19.2.8 Отключающая способность

Предохранители ФЭ батарей и ФЭ блоков фотоэлектрических элементов должны быть предусмотрены для применения в цепях постоянного тока и иметь номинальную отключающую способность, равную или превышающую максимальный ожидаемый ток повреждения ФЭС.

19.2.9 Напряжение плавких предохранителей gPV

Номинальное напряжение U_n плавкого предохранителя необходимо выбирать больше или равным максимальному напряжению разомкнутой цепи V_{OC} ФЭ батареи:

$$U_n \geq 1{,}2V_{OC_STC}.$$

Коэффициент 1,2 применяют, поскольку напряжение разомкнутой цепи ФЭ модуля выше при низких температурах окружающей среды до минус 25 °С. Для условий с более низкой окружающей температурой может потребоваться больший коэффициент (информацию предоставляет производитель ФЭ модуля).

19.2.10 Номинальный ток плавких вставок gPV

a) Плавкие вставки gPV для ФЭ батарей

Плавкие предохранители gPV должны размыкать цепь до того, как заявленная производителем способность ФЭ модуля выдерживать обратный ток будет превышена. В связи с этим к плавким предохранителям gPV применимо следующее правило:

$$I_n \leq I_{MOD_REVERSE}.$$

В IEC 60364-7-712 приведены следующие рекомендации для номинального тока I_n плавкой вставки защиты ФЭ батареи:

$$1{,}5I_{SC_MOD} < I_n \leq 2{,}4I_{SC_MOD}.$$

b) Плавкие предохранители gPV для ФЭ блоков и ФЭ батарей

В IEC 60364-7-712 приведены следующие рекомендации для номинального тока I_n плавкой вставки ФЭ блоков и ФЭ батарей:

$$1{,}25I_{SC\ S_ARRAY} < I_n \leq 2{,}4I_{SC\ S_ARRAY}.$$

Номинальный ток кабелей должен превышать ток любой включенной последовательно плавкой вставки.

20 Защита ветряных генераторов

Существует ряд ключевых секций ветряных генераторов, в которых для защиты применяют плавкие вставки. Конечное выходное напряжение ветряных генераторов будет сильно варьироваться в зависимости от подключения к местной сети. В ветряных установках применяют переменное напряжение 690 В в качестве рабочего напряжения генератора.

Плавкие вставки применяют в различных частях установки, в том числе в цепях:

- контроля шага обмотки ротора;
- контроля направления обтекателя ветровой турбины;
- защиты полупроводников в выпрямителе и инверторе;
- защиты управляющего оборудования;
- защиты элементов выходного трансформатора или сети.

Выбор плавких вставок для отдельных применений в ветряном генераторе изложен в другой части настоящего руководства. При применении плавких вставок в ветряном генераторе применяют соответствующие меры по снижению номинальных значений для крайних температур и/или требований к вибрации, которые могут выходить за пределы диапазонов, указанных в настоящем стандарте. В таких случаях следует обратиться к производителю плавкой вставки. Если в зоне применения экстремальные условия окружающей среды, которые превышают указанные в настоящем стандарте, такие как атмосфера с высоким содержанием солей, могут потребоваться специальные плавкие вставки.

Приложение А
(справочное)

Координация между плавкими предохранителями и контакторами/пускателями двигателей

А.1 Общие положения

В 13.2 приведено руководство по выбору плавкого предохранителя в качестве альтернативного (при необходимости замены) указанному производителем контактора или пускателя двигателя. В настоящем приложении приведена дополнительная информация по выбору плавкой вставки.

Координация между пускателями двигателей и плавкими предохранителями для их защиты определена требованиями и испытаниями, указанными в стандартах МЭК на конкретное оборудование, например серия стандартов IEC 60947, а именно части 1 и 4.

Защита оборудования, такого как двигатели, проводники и т. п., от сверхтоков не рассматривается в настоящем приложении.

А.2 Примеры плавких вставок для защиты электродвигателя

Рекомендации по выбору плавких вставок для применения в комбинации с контактором/пускателем двигателя предоставляет производитель. В соответствии с требованиями IEC 60947-4-1 производитель контактора/пускателя двигателя должен предоставить информацию по определению УЗКЗ на основе проведенных им испытаний. Рекомендации производителя являются основным руководством по выбору плавких вставок.

Номинальный ток предохранителя для защиты двигателя зависит от тока полной нагрузки двигателя, а также величины и продолжительности его пускового тока. Соответствие плавкой вставки номинальному току также зависит от категории плавкой вставки (gG, gM, aM, gD или gN и т. д.), как приведено в примерах, указанных в таблице А.1, с типичными предохранителями, применяемыми в разных странах совместно с трехфазным пускателем постоянного тока с током полной нагрузки двигателя 28 А. Примеры приведены исключительно для информирования и предполагают, что время пуска составляет менее 10 с, а максимальный пусковой ток не превышает ток полной нагрузки более чем в семь раз, и такие пуски случаются нечасто.

Таблица А.1 — Примеры стандартных номиналов плавких вставок, применяемых для защиты пускателей электродвигателей, иллюстрирующих то, как категория плавкой вставки может влиять на оптимальный номинал тока

Тип плавкого предохранителя	Применение	Соответствующий номинал
gG	Плавкий предохранитель общего назначения МЭК	63 А
gM	Плавкий предохранитель цепи двигателя	32 М 63
aM	Резервный плавкий предохранитель	32 А
gN	Плавкий предохранитель североамериканской системы	70 А
gD	Плавкий предохранитель североамериканской системы с задержкой по времени	40 А
Соответствующий номинал плавкой вставки должен выполнять требования А.4, А.5 и 13.4 для конкретного выбранного типа и номинала. Плавкая вставка, имеющая типоразмер, номинал, форму плавкой части и материал, аналогичные применяемым производителем контактора/пускателя двигателя, при проведении испытаний считается соответствующей требованиям А.4, А.5 и 13.4. Рекомендации производителя, имеют приоритет над значениями, указанными в настоящей таблице. Примечание — Примеры приведены для среднего пускового режима двигателя при токе полной нагрузки 28 А.		

А.3 Значения I^2t и тока срабатывания на основе результатов испытаний, подтверждающие соответствие требованиям координации плавких вставок/пускателей по всему миру

Исследования, проведенные Техническим комитетом IEC по плавким предохранителям в сотрудничестве с производителями пускателей двигателей по всему миру, не выявили трудностей в достижении координации с контакторами с применением предохранителей, выбранных в соответствии с IEC 60269-2.

Основная цель состоит в том, чтобы избежать сваривания контактов на рабочих компонентах пускателя, контактора, выключателя, переключателя. Для достижения этой цели ток срабатывания предохранителя должен

иметь значение ниже, чем значение пикового тока, выдерживаемого контактами защищаемого электроаппарата. Это значение определяют по кривым характеристик срабатывания.

Номинальный ток короткого замыкания I_{cm} определяется испытанием контактора, разъединителя или выключателя с помощью токоограничивающего предохранителя.

Сопоставленные результаты испытаний, проведенные для подтверждения соответствия координации в различных странах, установили, что результаты лежат в относительно узком диапазоне значений I^2t и тока срабатывания. Эти результаты приведены на рисунках А.1, А.2 и А.3.

Международные результаты испытаний, подтверждающие соответствие требованиям координации при срабатывании плавких предохранителей

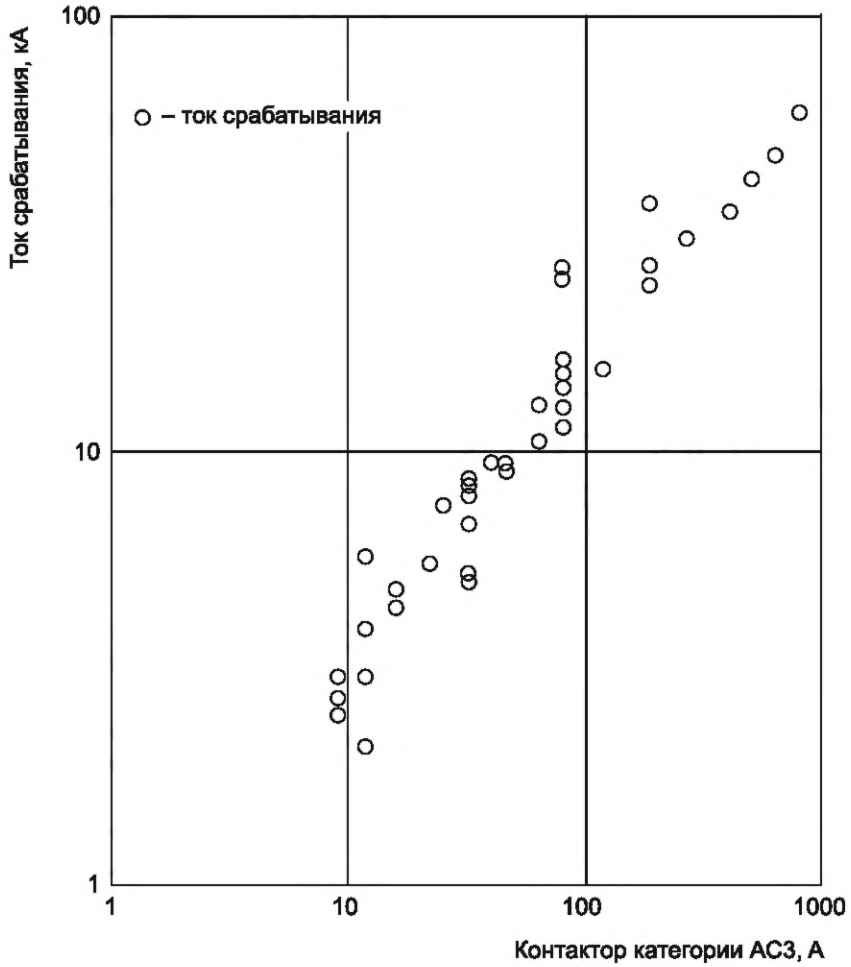


Рисунок А.1 — Сравнение значений тока срабатывания, получаемых при соответствии координации при I_q

Международные результаты испытаний, подтверждающие соответствие требованиям координации

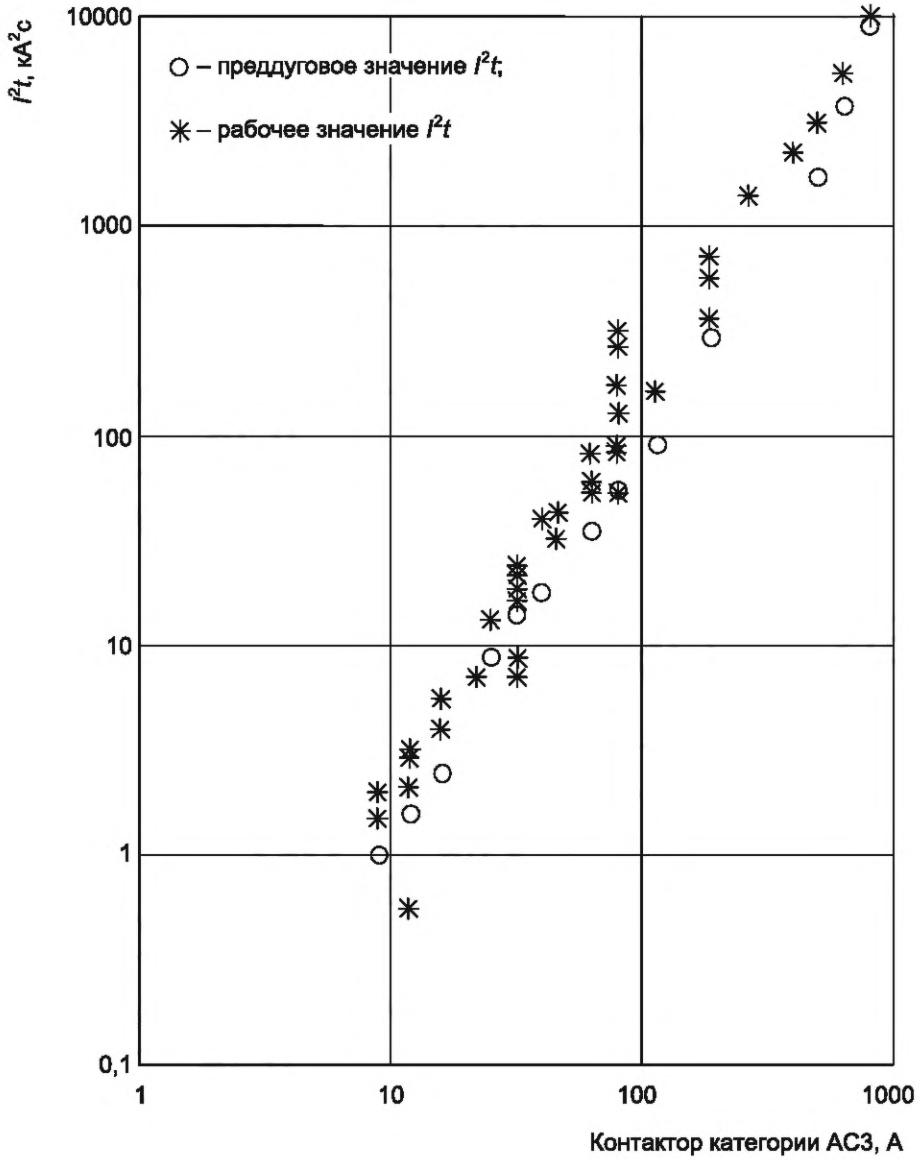


Рисунок А.2 — Преддуговое и рабочее значения I^2t плавких предохранителей, используемых при проведении испытаний, подтверждающих соответствие требованиям координации при номинальном токе контактора категории применения АС3

Международные результаты испытаний, подтверждающие соответствие требованиям координации

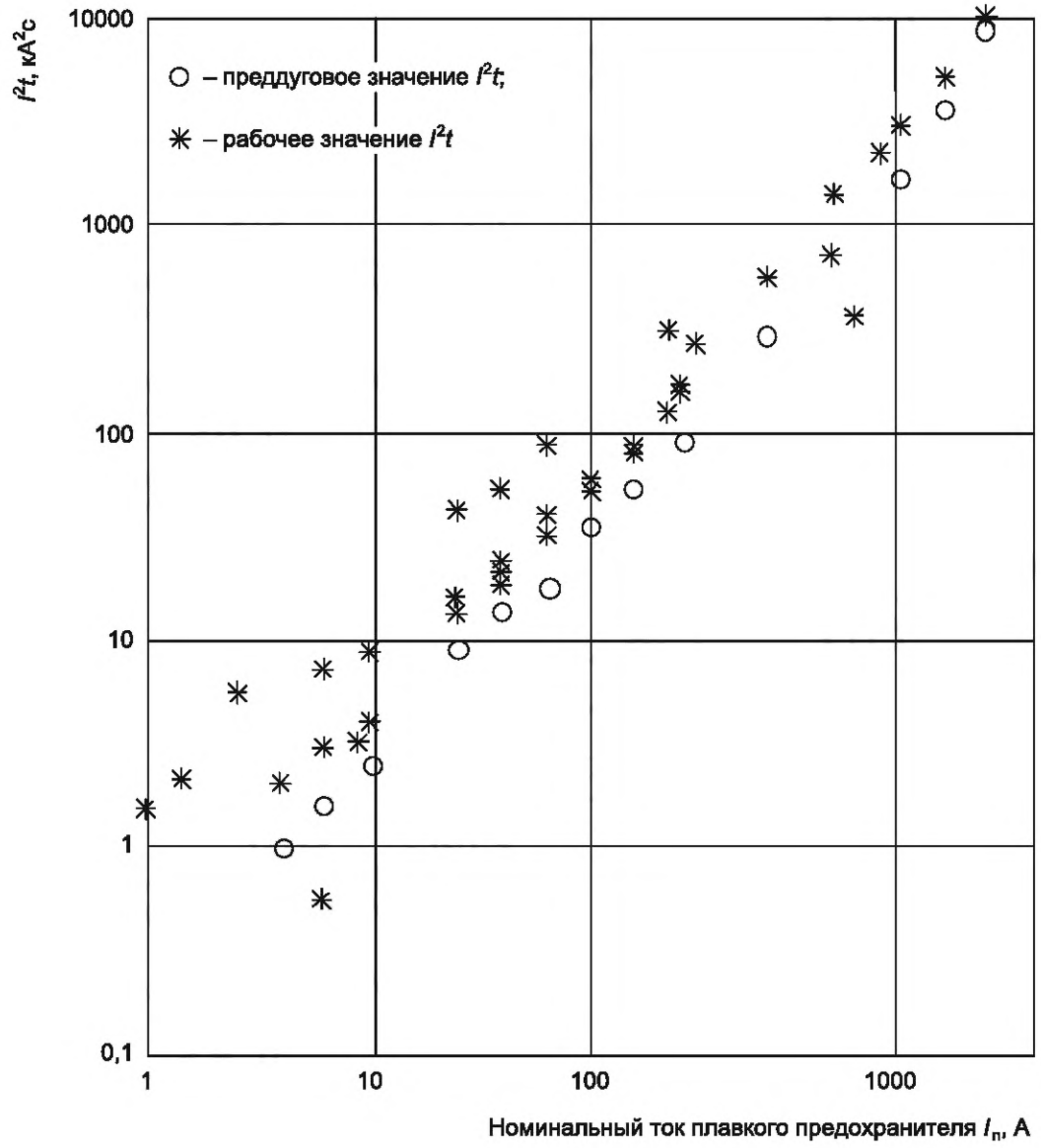


Рисунок А.3 — Преддуговое и рабочее значения I^2t плавких предохранителей, используемых при проведении испытаний, подтверждающих соответствие требованиям координации при номинальном токе плавкого предохранителя I_n

А.4 Критерии координации при номинальном условном токе короткого замыкания I_q

А.4.1 Общие положения

В IEC 60947-4-1:2009, пункт 8.2.5, изложено испытание с учетом требований к испытанию короткого замыкания согласно 9.3.4. Критерии допустимых повреждений зависят от типа координации.

А.4.2 Максимальная рабочая величина I^2t и ток срабатывания

В случае применения плавкого предохранителя в качестве УЗКЗ, значение тока I_q может принимать любое значение до 50 кА или более. В таких условиях наиболее важными параметрами являются рабочая характеристика I^2t плавкой вставки (в условиях испытания на соответствие координации в трехфазной сети с пускателем, включенным последовательно с плавким предохранителем) и максимальный ток срабатывания предохранителя.

Значения предоставляют для всех систем напряжения и максимальных значений I^2t, соответствующих испытательному напряжению, эквивалентному испытанию на соответствие координации в трехфазной сети.

Это также ограничивает пиковый ток срабатывания, поскольку указанные значения взаимосвязаны. На основе международных испытаний на соответствие координации при ожидаемых токах от 50 до 200 кА было под-

тверждено, что при ожидаемом токе I_p (А) ток отключения I_c (А) плавкой вставки номинального тока I_n (А) равен или меньше значения, рассчитанного по следующей формуле:

$$I_c = 20 \cdot \sqrt[3]{I_n^2} \cdot I_p \ .$$

А.4.3 Руководство по выбору максимального номинального тока для альтернативного типа плавкого предохранителя

На основе положительных результатов испытаний на соответствие типа координации при I_q производитель пускателя может построить кривые максимальной выдерживаемой характеристики I^2t контактора и реле перегрузки и максимального сквозного пикового тока в зависимости от номинального рабочего тока пускателя двигателя I_e. Такая кривая приведена на рисунке А.4а.

Плавкая вставка другой категории применения не может применяться без дополнительных испытаний, если ее значения I^2t и I_c не равны или меньше максимальных значений, наблюдаемых при испытаниях, используемых для построения кривых. Производитель плавкого предохранителя предоставляет информацию о рабочих значениях I^2t и токах срабатывания, измеренных в сопоставимых условиях (т. е. при эквивалентном испытательном напряжении и предполагаемом токе, равном I_q). Эти кривые строят как функцию номинального тока I_n плавкого предохранителя. Стандартные кривые, полученные на основе информации, полученной при помощи испытаний, приведены для предохранителей с аналогичными характеристиками типа А на рисунке А.4b) и для предохранителей типа В на рисунке А.4с). Их необходимо строить на той же шкале, что и на рисунке А.4а).

Без дополнительных испытаний не допускается применять предохранитель с большим I^2t или током отключения. Следовательно, для пускателя, рассчитанного на I_e = X (А), максимальный допустимый номинальный ток предохранителей типа А составляет Y (А) (см. рисунок А.4), I^2t номинального тока Y (А) является допустимым, при этом значение тока срабатывания будет слишком большим. При применении сменного предохранителя типа В ограничивающим фактором является I^2t, а, следовательно, Z′ (А) является наивысшим допустимым номинальным током для достижения требуемой координации с пускателем при I_q (см. рисунок А.4).

Типы плавких вставок А и В могут относиться к любой из категорий применения для защиты цепей двигателя, перечисленных в таблице А.1.

Данный метод может привести к выбору предохранителей со слишком низким номинальным током, поскольку при этом не учитывается дополнительное сопротивление пускателя (например, в случае, если номинальный рабочий ток пускателя ниже 10 А, полное сопротивление реле перегрузки может иметь заметное влияние). Не допускается установка предохранителей для применения в качестве защиты пускателя в случае отсутствия в расчете, по выбору номинала плавкой вставки, значений дополнительного сопротивления для оценки предполагаемого тока короткого замыкания.

Далее необходимо провести прямые испытания для проверки согласованности с предохранителями более высокого номинала, чем те, которые определены в соответствии с методикой, изложенной в настоящем стандарте.

А.4.4 Дополнительные требования

При выборе плавкого предохранителя необходимо учитывать следующие условия.

Высокие значения времени отключения повышают риск сваривания контактов контактора. При оценке времени отключения для этой цели учитывают, что ток «отключается», когда остается лишь небольшой процент (около 5 %) от его предельного пикового значения. В качестве альтернативы значение определяется расчетным методом, основанном на предположении, что кривая предельных показателей представляет собой синусоидальную форму волны, а по рабочей I^2t (значение = $[I^2t]$ в A^2c) и пиковому сквозному току (значение = $\hat{I}$ в А) эквивалентное время отключения t_{eq} определяется как:

$$t_{eq} = \frac{2 \cdot [I^2t]}{\hat{I}^2} \cdot$$

Значение эквивалентного времени отключения определено следующим выражением:

$t_{eq} < 5$ мс.

Примечание 1 — Риск сваривания контактов повышается, если эти токи остаются также спустя 5 мс после начала короткого замыкания.

Рабочая I^2t плавкого предохранителя в случае трехфазной цепи с незаземленной фазой равна рабочей I^2t с поданным на него напряжением, в $\sqrt{3}$ — 2 раза превышающим напряжение между фазами.

Примечание 2 — Приведенный метод указывает максимальный номинальный ожидаемый ток I_q. Для получения требуемой координации для испытательных токов I_c и/или «r» может потребоваться меньшее значение. Тип координации указан в IEC 60947-4-1 по результатам испытаний при всех уровнях тока. Руководство по типам координации приведено в А.5 и 13.4.

A.5 Критерии координации при испытательном токе «r»

В IEC 60947-4-1:2009, пункт 8.2.5, описано испытание с учетом требований к испытанию при коротком замыкании согласно 9.3.4. Критерии допустимых повреждений зависят от типа координации. Испытательный ток «r» (I_r) зависит от номинального рабочего тока I_e пускателя (см. таблицу А.2).

Таблица А.2 (таблица 12 стандарта IEC 60947-4-1:2009) — Значения ожидаемого испытательного тока в соответствии с номинальным рабочим током

Номинальный рабочий ток I_e (AC-3), А	Ожидаемый ток «r», кА
$0 < I_e \le 16$	1
$16 < I_e \le 63$	3
$63 < I_e \le 125$	5
$125 < I_e \le 315$	10
$315 < I_e \le 630$	18
$630 < I_e \le 1\,000$	30
$1000 < I_e \le 1600$	42
$1600 < I_e$	По согласованию между производителем и потребителем

Чтобы выбрать предохранитель для требуемой координации при I_r, необходимо построить (по результатам типовых испытаний) кривые, аналогичные приведенным на рисунке А.4*a*, показывающие максимальную выдерживаемую I^2t контактора и реле перегрузки и максимальный сквозной пиковый ток при I_r как функция I_e. Поскольку I_r увеличивается ступенчато, эти кривые не являются непрерывными, и перечень кривых будет аналогичен приведенным на рисунке А.5. Далее определяют максимально допустимые значения тока для обеспечения координации при токе I_r для плавких предохранителей каждой категории применения тем же методом, который был применен для определения максимального номинала при токе I_q [метод приведен на рисунке А.4; для выбора необходимого номинала плавких вставок типа А или типа В в зависимости от типа координации, как правило, применяют тип координации 2 (см. А.6)].

Кривые срабатывания плавкого предохранителя предоставляет производитель предохранителей (для типа А или типа В) с применением метода, приведенного на рисунке А.6. Полученные данным методом характеристики указаны на рисунках А.4b) и А.4c) для проведения оценки при I_r, а рисунок А.5 заменен на рисунок А.4a).

Дополнительные требования, указанные в А.4.4, применяют к испытаниям при I_r, за исключением того, что допустимым уровнем тока принято значение t_{eq}: $t_{eq} < 6$ мс.

Примечание — Из-за более низкой скорости нарастания тока, чем для токов I_q, электродинамическое разделение контактов (и последующее повторное включение) происходит после более длительной задержки, чем наблюдаемая для токов I_q. По этой причине приемлемое t_{eq} для тока «r» больше значения, приемлемого для тока I_q (см. примечание 1 к А.4.4).

A.6 Типы координации

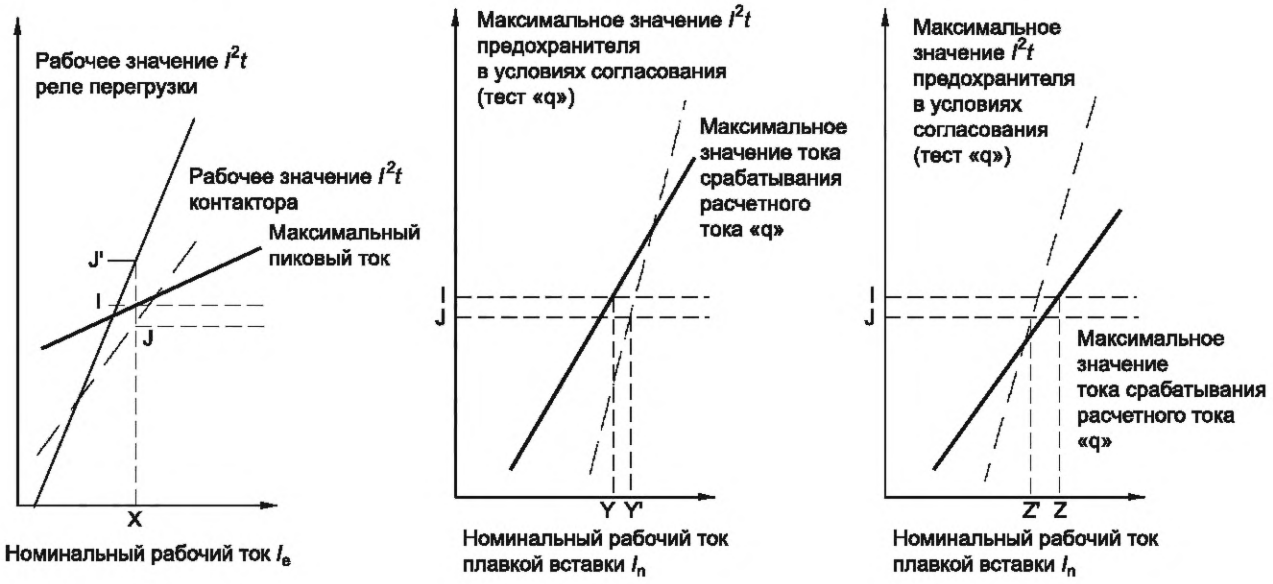
Согласно IEC 60947-4-1 координацию между плавкими предохранителями (УЗКЗ) и пускателями двигателей относят к типам 1 и 2. Требования к работоспособности приведены в таблице А.3.

Таблица А.3 — Типы координации

Требования к работоспособности	Тип 1	Тип 2
Отключение при коротком замыкании	Да	Да
Обслуживающий персонал не подвергается опасности	Да	Да
Проводники и клеммы остаются без повреждений	Да	Да
Отсутствует повреждение основной изоляции токоведущих частей	Да	Да
Отсутствует повреждение реле перегрузки или другой аппаратуры	Нет	Да*
Во время испытаний запрещается замена частей (за исключением предохранителей)	Нет	Да
Отсутствуют изменения в характеристиках срабатывания реле перегрузки	Нет	Да
После испытаний уровень изоляции пускателя соответствует необходимому для дальнейшей работы	Нет	Да

* Допускается незначительное сваривание контактов, которые легко разомкнуть.

Плавкая вставка для соответствия координации типа 2 для защиты пускателя двигателя, должна удовлетворять не менее двум требованиям, приведенным в А.4, А.5 и А.6.



a — стойкость контактора при ожидаемом токе «q» (определяется производителем контактора для своего ассортимента контакторов)

b — характеристики I^2t и срабатывания для плавких предохранителей типа А: ток срабатывания является ограничивающим критерием

c — характеристики I^2t и срабатывания для плавких предохранителей типа В: I^2t является ограничивающим критерием

Примечание — Вертикальная шкала: полные значения I^2t в A^2c и максимальный пиковый ток или ток срабатывания в кА наносят на одну шкалу.

Рисунок А.4 — Иллюстрация метода выбора максимального номинального тока плавкого предохранителя для резервной защиты контактора с номиналом I_e = X ампер

Метод на рисунке А.4а), выдерживаемая характеристика I^2t контактора с номиналом I_e = X (А) представлена как J (A^2c), а для реле перегрузки – как J' (A^2c). J' больше чем J. В связи с этим выбирают минимальное значение J (A^2c). Пиковый выдерживаемый ток контактора при I_e = X (А) представлен как *I* (кА).

Справа на рисунке А.4а) характеристики I^2t и срабатывания, измеренные при ожидаемом токе «q» плавкого предохранителя типа А [см. рисунок А.4b)] и плавкого предохранителя типа В [см. рисунок А.4с)], наносят на ту же шкалу на рисунке А.4а).

Для плавких предохранителей типа А ток срабатывания имеет значение *I* (кА) для плавких предохранителей с номиналом Y (А) и полную характеристику I^2t в J (A^2c) при номинальном токе Y′ (А). Выбирают меньший из этих номиналов. Y′ > Y, поэтому максимальный номинал плавких предохранителей типа А для обеспечения требуемой защиты — Y (А).

Для плавких предохранителей типа В ток срабатывания имеет значение *I* (кА) для плавких предохранителей с номиналом Z (А), и полную характеристику I^2t в J (A^2c) при номинальном токе Z′ (А). Выбирают меньший из этих номиналов. Z > Z′, поэтому максимальный номинал плавких предохранителей типа В для обеспечения требуемой защиты — Z' (А).

Приведенная методика устанавливает максимальное значение номинального тока с учетом требований по координации при I_q. Необходимо убедиться, что данный номинал также обеспечивает координацию при I_{co} и I_r.

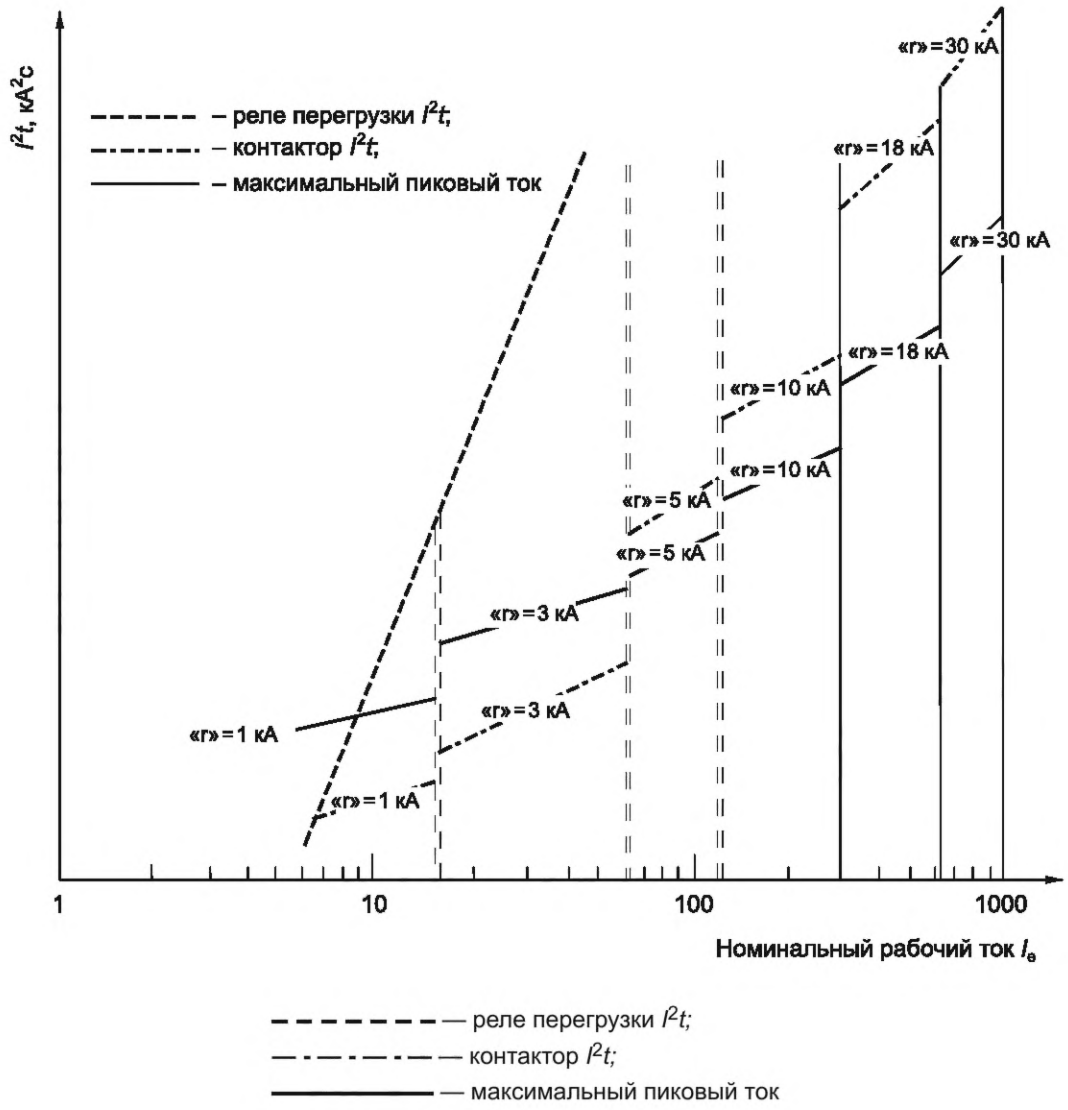
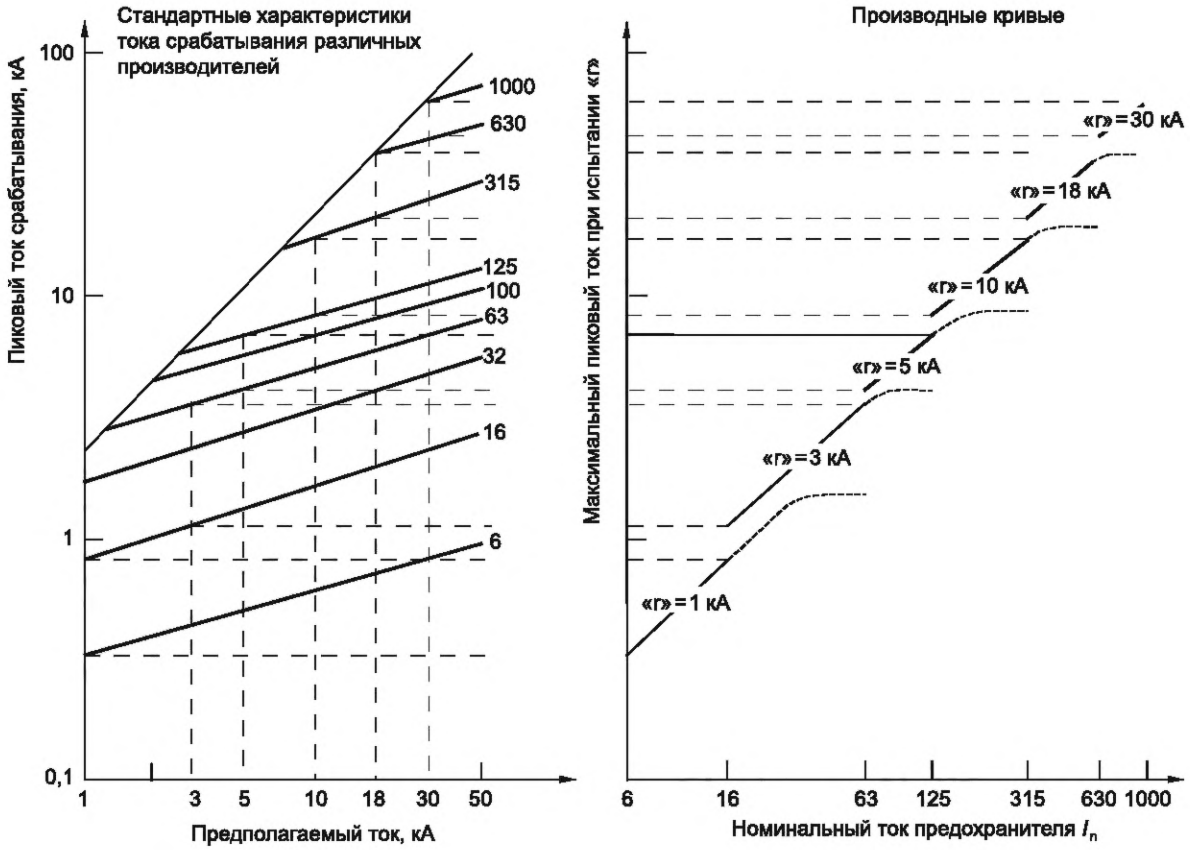


Рисунок А.5 — Выдерживающие способности ряда контакторов и сопутствующих реле перегрузки при испытательном токе «г»



Примечание 1 — Это максимальные значения. Фактические пиковые токи будут ниже из-за сопротивления контактора и его реле перегрузки.

Примечание 2 — Стандартные характеристики срабатывания, как правило, получают с меньшим коэффициентом мощности чем тот, который используется для испытательного тока «г». Корректировка может потребоваться для значений испытательного тока «г» 1 кА, 3 кА или 5 кА (при высоком коэффициенте мощности наблюдаются токи срабатывания на 20 % выше).

Примечание 3 — Максимальные пиковые токи для более высоких номиналов не могут превышать максимальный пик (асимметричный) ожидаемого тока при заданном коэффициенте мощности (по этой причине полученные кривые становятся постоянными при максимальном асимметрическом пике).

Примечание 4 — Полученные кривые применяют образом, аналогичным приведенному на рисунке А.4.

Рисунок А.6 — Иллюстрация метода получения кривых максимального пикового тока при испытательном токе «г» в качестве функции номинального тока плавкого предохранителя

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов межгосударственным стандартам

Таблица ДА.1

Обозначение международного стандарта, документа	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего межгосударственного стандарта
IEC 60050 (all parts)	IDT	ГОСТ IEC 60050 (все части) «Международный электротехнический словарь»
IEC/TR 60146-6	—	*
IEC 60269 (all parts)	IDT	ГОСТ IEC 60269 (все части) «Предохранители плавкие низковольтные»
IEC 60269-1:2006	—	*,[1)]
IEC 60269-2	MOD	ГОСТ 31196.2—2012 (IEC 60269-2:1986) «Предохранители плавкие низковольтные. Часть 2. Дополнительные требования к плавким предохранителям промышленного назначения»
IEC 60269-3	MOD	ГОСТ 31196.3—2012 (IEC 60269-3:1987, IEC 60269-3A:1978) «Предохранители плавкие низковольтные. Часть 3. Дополнительные требования к плавким предохранителям бытового и аналогичного назначения»
IEC 60269-4:2009	—	*,[2)]
IEC 60269-6	IDT	ГОСТ IEC 60269-6—2013 «Предохранители плавкие низковольтные. Часть 6. Дополнительные требования к плавким вставкам для защиты солнечных фотогальванических энергетических систем»
IEC 60364-4-41:2005	—	*,[3)]
IEC 60364-4-43:2008	—	*,[4)]
IEC 60364-5-52	—	*,[5)]
IEC 60947 (all parts)	IDT	ГОСТ IEC 60947 (все части) «Аппаратура распределения и управления низковольтная»
IEC 60947-3	IDT	*,[6)]
IEC 60947-4-1:2009	—	*,[7)]

[1)] Действует ГОСТ IEC 60269-1—2016 «Предохранители плавкие низковольтные. Часть 1. Общие требования», идентичный IEC 60269-1:2014.

[2)] Действует ГОСТ IEC 60269-4—2016 «Предохранители плавкие низковольтные. Часть 4. Дополнительные требования к плавким вставкам для защиты полупроводниковых устройств», идентичный IEC 60269-4:2012.

[3)] В Российской Федерации действует ГОСТ Р 50571.3—2009 (МЭК 60364-4-41:2005) «Электроустановки низковольтные. Часть 4-41. Требования для обеспечения безопасности. Защита от поражения электрическим током».

[4)] В Российской Федерации действует ГОСТ Р 50571.4.43—2012/МЭК 60364-4-43:2008 «Электроустановки низковольтные. Часть 4-43. Требования по обеспечению безопасности. Защита от сверхтока».

[5)] В Российской Федерации действует ГОСТ Р 50571.5.52—2011/МЭК 60364-5-52:2009 «Электроустановки низковольтные. Часть 5-52. Выбор и монтаж электрооборудования. Электропроводки».

[6)] Действует ГОСТ IEC 60947-3–2016 «Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 3. Выключатели, разъединители, выключатели-разъединители и комбинации их с предохранителями», идентичный IEC 60947-3—2012.

[7)] Действует ГОСТ IEC 60947-4-1—2021 «Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 4-1. Контакторы и пускатели. Электромеханические контакторы и пускатели», идентичный IEC 60947-4-1:2018.

Окончание таблицы ДА.1

Обозначение международного стандарта, документа	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего межгосударственного стандарта
IEC/TR 61912-1:2007	IDT	ГОСТ IEC/TR 61912-1—2013 «Низковольтная коммутационная аппаратура и аппаратура управления. Устройства защиты от сверхтоков. Часть 1. Применение расчетных характеристик короткого замыкания»

* Соответствующий межгосударственный стандарт отсутствует. До его принятия рекомендуется использовать перевод на русский язык данного международного стандарта.

Примечание — В настоящей таблице использованы следующие условные обозначения степени соответствия стандартов:

- IDT — идентичные стандарты;
- MOD — модифицированные стандарты.

Библиография

IEC 60050-441:1984	International Electrotechnical Vocabulary — Part 441: Switchgear, controlgear and fuses (Международный электротехнический словарь. Часть 441. Коммутационная аппаратура, аппаратура управления и плавкие предохранители)
IEC 60050-442	International Electrotechnical Vocabulary — Part 442: Electrical accessories (Международный электротехнический словарь. Часть 442. Арматура электрическая)
IEC 60050-448	International Electrotechnical Vocabulary — Chapter 448: Power system protection (Международный электротехнический словарь. Часть 448. Защита энергосистем)
IEC/TR 61912-2	Low-voltage switchgear and controlgear — Over-current protective devices — Part 2: Selectivity under over-current conditions (Низковольтная коммутационная аппаратура и аппаратура управления Устройства защиты от сверхтоков. Часть 2. Селективность в условиях сверхтоков)

УДК 621.316.923.1:006.354 МКС 29.120.50 IDT

Ключевые слова: предохранители плавкие, низковольтное оборудование, руководство по применению, предохранители

Редактор *Е.В. Якубова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *Е.Ю. Митрофанова*
Компьютерная верстка *Е.А. Кондрашовой*

Сдано в набор 22.09.2022. Подписано в печать 13.10.2022. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 6,05. Уч.-изд. л. 5,45.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «РСТ»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru