

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Низковольтные сети	D. 4
Сети связи	D. 12

СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРОВОДКИ

Токи перегрузки	D. 14
Токи короткого замыкания	D. 20
Прямые и не прямые контакты с электротокком	D. 27

УСТРОЙСТВА

Выключатели	D. 34
Спецификации UL и NEMA	D. 40
Предохранители	D. 44
Учет электроэнергии	
DIRIS и COUNTIS	D. 55
Измерения	D. 59
Дифференциальная защита	D. 61
Устройство контроля изоляции	D. 66
Корпус	D. 71
Шины	D. 73

Низковольтные сети

Схемы заземления

Схема заземления («нагрузки нейтрали») низковольтной сети обозначается двумя буквами.

Первая буква означает заземление вторичной обмотки трансформатора (в большинстве случаев - нейтрали).		Вторая буква указывает на подключение корпуса к заземлению.	
заземлена	T	T	заземлен
изолирована от земли	I	T	заземлен
заземлена	T	N	подключен к нейтрали

Схема заземления определяет принципы распределения электроэнергии, а также обеспечивает защиту от непрямого контакта с электротокм, автоматически отключая электропитание.

Сеть TT «Заземленная нейтраль»

Наиболее часто используется в системах электроснабжения. В случае возникновения пробоя изоляции все оборудование или его часть отключаются от электропитания.

Отключение происходит при первом обнаружении неисправности.

Рабочее оборудование должно быть оснащено мгновенной дифференциальной защитой.

Дифференциальная защита может быть общей или раздельной, в зависимости от типа и размера установки.

Такое заземление применяется в бытовых электросетях, в сфере услуг, в небольших промышленных цехах, в образовательных учреждениях с учебными мастерскими и т.п.

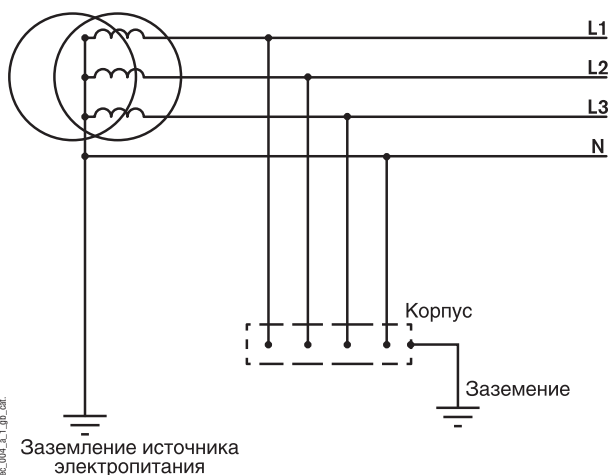


Рис. 1. Схема TT.

Сеть TN «Подключенная нейтраль»

Данная схема распределения электроэнергии может использоваться во всех сетях, где присутствует система отключения при первой неисправности.

Установка и эксплуатация такого типа сетей более экономична, однако требует надежной общей защиты цепи.

Нейтральный (N) и защитный (PE) проводники могут быть как совмещены (TNC), так и разделены (TNS).

Схема TNC

Нейтральный и защитный проводник (PEN) ни в коем случае нельзя разбивать на секции. Проводники должны иметь сечение более 10 мм² (медные) или более 16 мм² (алюминиевые), в такой сети не должно быть передвижных установок с гибкими кабелями.

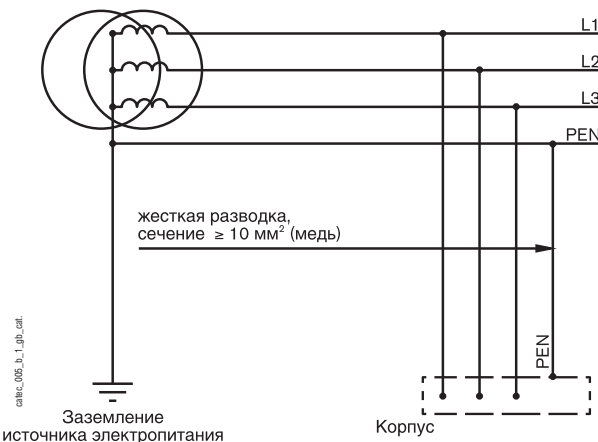


Рис. 2. Схема TNC.

Примечание: для предотвращения циркуляции тока на корпусе, корпус следует подключать непосредственно к клемме PEN (не противоклучение). См. рис. 3.

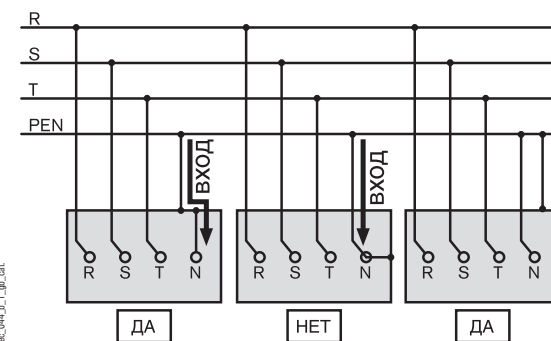


Рис. 3. Правильное подключение PEN.

Схемы заземления (продолжение)

► Схема TN «Подключение нейтрали» (продолжение)

Схема TNS

Сеть TNS может быть установлена перед сетью TNC, однако обратная последовательность установки запрещена.

Нейтральные проводники TNS обычно секционные, незащищенные и имеют такое же сечение, как и соответствующие фазовые проводники.

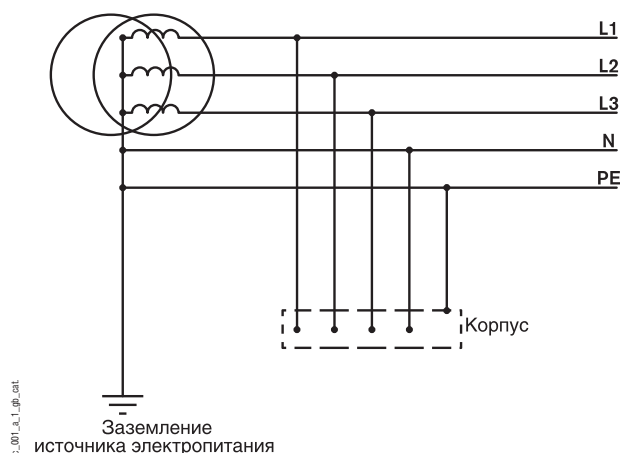


Рис. 1. Схема TNS.

► Сеть IT: «Изолированная нейтраль»

Этот тип сети используется в тех случаях, когда отключение от электропитания при первой неисправности может отрицательно повлиять на работу оборудования или безопасность персонала.

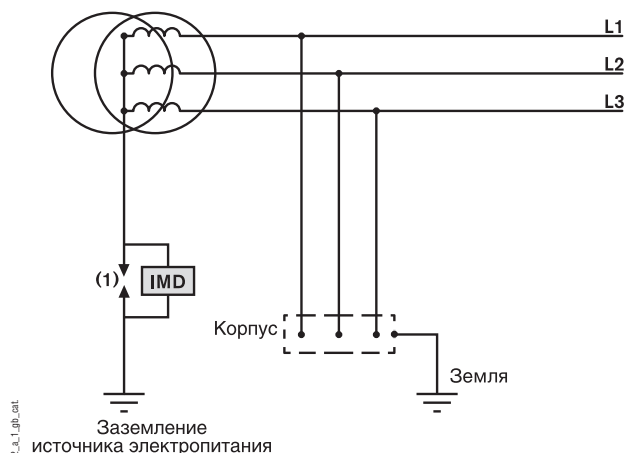
Реализация таких сетей отличается простотой, но они требуют повышенной квалификации персонала для быстрого вмешательства при обнаружении поврежденной изоляции.

Обязательным является использование ограничителя перенапряжения для обеспечения возможности отвода в землю напряжения с высоковольтных установок (при поломке понижающего трансформатора HV/LV, при работе устройства, при попадании молнии и т.д.)

Безопасность персонала обеспечивается следующими мерами:

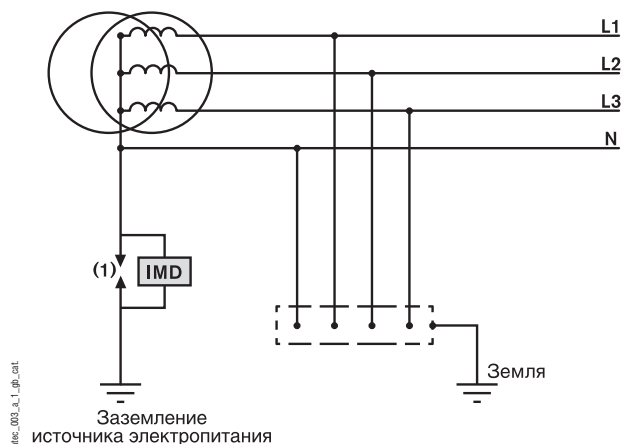
- соединением и заземлением корпусов;
- отслеживанием первого пробоя изоляции при помощи прибора IMD (устройство контроля изоляции);
- отключением от электропитания при второй неисправности с использованием устройств защиты от перегрузки по току или устройств дифференциальной защиты.

Такие системы используются, например, в больницах (операционные залы), в цепях освещения, а также на производствах, для которых важен непрерывный цикл работы или используется низкий рабочий ток, значительно уменьшающий опасность возгорания или взрыва.



(1) Ограничитель перенапряжения.

Рис. 2. Схема IT без распределения нейтрали.



(1) Ограничитель перенапряжения.

Рис. 3. Схема IT с распределением нейтрали.

Низковольтные сети

Напряжения, перенапряжения

Диапазон напряжения

В соответствии со стандартом IEC 364, различают два диапазона низковольтного напряжения (LV).

ДИАПАЗОН	НОМИНАЛЬНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ U_n	
	AC	DC
ELV – сверхнизкое напряжение	$\leq 50V$	$\leq 120V$
LV – низкое напряжение	$50V < U_n \leq 1000V$	$120V < U_n \leq 1500V$

Стандартные напряжения AC

- Однофазное: 230В
- Трехфазное: 230В/400В и 400В/690В
- Допустимое отклонение: +6%/-10%

История изменений стандартных напряжений и допусков

ПЕРИОД	НАПРЯЖЕНИЕ	ОТКЛОНЕНИЕ
До 1983	220В / 380В / 660В	$\pm 10\%$
С 1983 до 2003	230В / 400В / 690В	+6%/-10%
После 2003	230В / 400В / 690В	$\pm 10\%$

Напряжение изоляции U_i

Описывает максимальное рабочее напряжение устройства при нормальных условиях работы.

Пример: для работы в сетях 230В / 400В, следует использовать устройство, напряжение изоляции которого равно U_i 400В (см. рис. 1).

Для работы в сетях 400В / 690В, следует использовать устройство, напряжение изоляции которого равно U_i 690В.

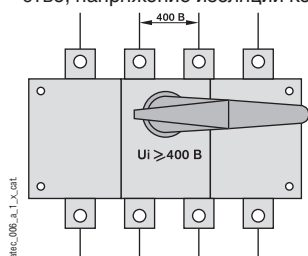


Рис. 1. для работы в сетях 230В / 400В, следует использовать устройство, напряжение изоляции которого равно U_i 400В.

Диэлектрическое качество (50 Гц)

Диэлектрическое качество определяется величиной переменного напряжения (частотой 50 Гц), которое может выдержать прибор в течение 1 минуты:

- между фазами;
- между фазой и землей;
- между разомкнутыми контактами одной фазы.

Этот параметр является ключевым для определения сопротивления перенапряжению в сети. Перенапряжение может возникнуть, например, вследствие повреждения обмотки понижающего трансформатора, пробоя клемм вследствие превышения напряжения в высоковольтной сети (HV).

Эффективным способом защиты является подключение нейтрали трансформатора к земле и использование ограничителя перенапряжения.

Диэлектрические тесты

Для определения качества диэлектрической изоляции прибора в стандарте IEC 947-3 предусмотрены следующие измерения:

- Сопротивление импульсному напряжению U_{imp} новых приборов перед тестированием (короткие замыкания, продолжительность и т.д.).
- Проверка электрической прочности диэлектрика после проведения тестирования с приложением напряжения $2xU_i$.

Сопротивление импульсным напряжениям U_{imp}

Данный параметр определяет возможность использования устройства в условиях аномальных сетевых перенапряжений, возникших вследствие:

- попадания молнии в линии электропередач;
- работы устройства в высоковольтных цепях.

Данная характеристика также определяет диэлектрическое качество устройства.

Пример: $U_{imp} = 8$ кВ (см. табл. А).

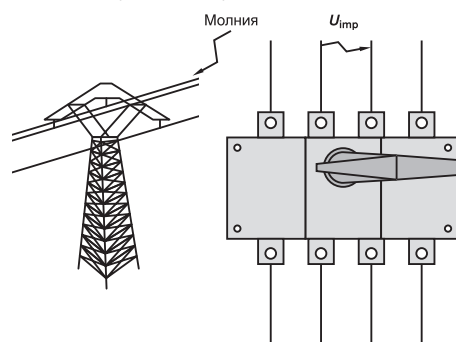


Рис. 2. Сопротивление устройства импульсному напряжению U_{imp} .

Защита от перенапряжения

Защита от перенапряжения достигается следующими способами:

- выбором правильного значения U_{imp} оборудования. В соответствии со стандартами NF C 15-100 и IEC 60364 существуют 4 категории использования:
 - I специально защищенное оборудование: компьютеры, электроника и т.д;
 - II устройства-потребители тока: переносные инструменты, двигатели и т.д;
 - III оборудование, устанавливаемое на распределительных сетях;
 - IV оборудование, устанавливаемое в начале систем.

Таблица А

ТРЕХФАЗНЫЕ СЕТИ	ОДНОФАЗНЫЕ СЕТИ	IV	III	II	I
230В/400В	230В	6	4	2.5	1.5
400В/690В	8	6	4	2.5	

Искажения напряжения в электросети

▶ Провалы и перебои напряжения

Определение

Провал напряжения – это уменьшение амплитуды напряжения в течение периода времени от 10 мс до 1 с. Изменение напряжения выражается в процентах от номинального тока (величина между 10% и 100%). Провал напряжения 100% называется прерыванием электропитания.

В зависимости от времени прерывания t , различаются следующие виды прерываний:

- $10 \text{ мс} < t < 1 \text{ с}$: микро прерывания, например, при быстром восстановлении питания после временного сбоя и т.п;
- $1 \text{ с} < t < 1 \text{ мин}$: короткие прерывания из-за срабатывания защитного устройства, при включении оборудования с высоким пусковым током и т.п;
- $1 \text{ мин} < t$: длительные отключения электропитания, обычно из-за аварии высоковольтной сети.

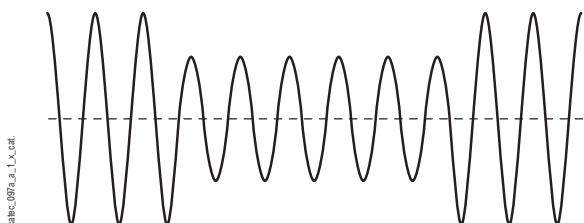


Рис. 1. Провал напряжения.

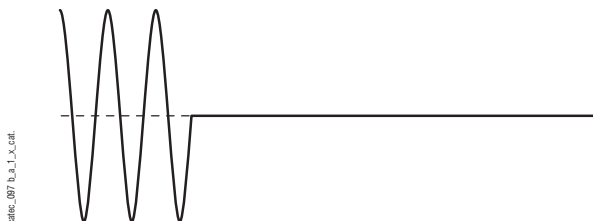


Рис. 2. Прерывание электропитания.

Последствия падения напряжения и отключения

- размыкание контакторов (провал $> 30\%$);
- потеря синхронизации синхронными двигателями, нестабильная работа асинхронных двигателей;
- компьютерные приложения: потеря данных и т.д.;
- нарушение работы газоразрядных ламп (гашение при возникновении 50% падения на протяжении 50 мс, работа возобновляется только через несколько минут).

Пути решения

- Вне зависимости от типа нагрузки:
 - использование ИБП (источников бесперебойного питания);
 - изменение структуры электросетей (см. стр. D.10).
- В зависимости от типа нагрузки:
 - подключение между фазами электромагнитного контактора;
 - увеличение инерционности двигателя;
 - использование ламп немедленного перезапуска.

▶ Колебания частоты

Появляются в основном вследствие сбоя в работе генераторного устройства. Пути решения: использование статического преобразователя или ИБП.

▶ Фликкер (колебания амплитуды)

Определение

Небольшой фликкер возникает из-за внезапных изменений напряжения, вызывая нежелательный эффект. Внезапные изменения напряжения могут возникнуть благодаря работе устройств, чья потребляемая мощность быстро изменяется: дуговые печи, сварочные агрегаты, прокатные станы и т.п.

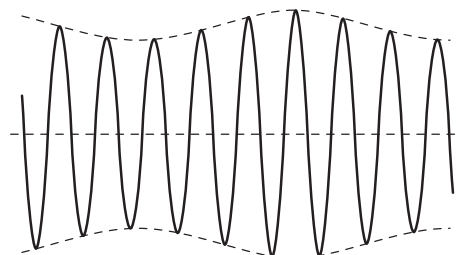


Рис. 3. Фликкер.

Пути решения

- ИБП (для небольших нагрузок);
- использование катушек индуктивности или конденсаторных батарей в цепи нагрузки;
- подключение через специальные понижающие трансформаторы (дуговые печи).

▶ Броски напряжения

Определение

Броски – это очень кратковременные, очень высокие напряжения (до 20 кВ), причинами которых являются:

- удар молнии;
- сбой в работе высоковольтных сетей;
- дуговые разряды в оборудовании;
- включения индуктивной нагрузки;
- включения питания высокоемкостных цепей:
 - длинных кабельных сетей;
 - использования машин, оснащенных конденсаторами защиты от паразитных токов.

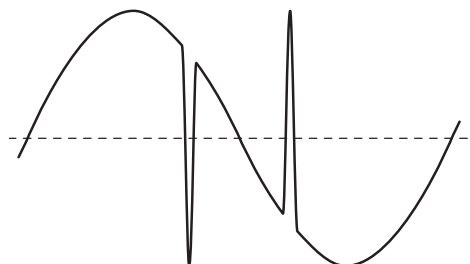


Рис. 4. броски напряжения.

Броски напряжения вызывают:

- внезапное срабатывание защитных устройств;
- электромагнитные помехи;
- повреждение недостаточно защищенных компонентов (разрыв изоляции внутри двигателей, повреждение электронных компонентов и т.д.).

Пути решения

- Использование материалов в соответствии со стандартом IEC 664. Все материалы SOCOMEC изготовлены в соответствии со стандартами IEC 664, предусматривающими сопротивление импульсным напряжениям (см. стр. D.6)
- Использование ограничителей перенапряжения.
- Правильное заземление понижающих трансформаторных установок.

Низковольтные сети

Искажения напряжения в электросети (продолжение)

Гармоники

Определение

Токи или напряжения высших гармоник – это «паразитные» токи или напряжения в питающей электросети. Они искажают форму волны тока или напряжения и приводят к следующим явлениям:

- увеличение значения действующего тока,
- прохождение тока через нейтраль, превышающего фазный ток,
- работа трансформатора в режиме насыщения,
- помехи в сетях низкого тока,
- внезапное срабатывание защитных устройств и т.д.,
- ошибки в измерениях (ток, напряжение, мощность и т.д.).

Гармонические токи могут возникать вследствие работы трансформаторов тока и электродуговых устройств (дуговых печей, сварочных аппаратов, флуоресцентных или газоразрядных ламп), но в большинстве случаев их наличие связано со статическими выпрямителями и преобразователями (силовая электроника). Такие нагрузки называют нелинейными (см. далее).

Гармоники напряжения возникают вследствие прохождения гармонического тока по сетям и сопротивления трансформатора.

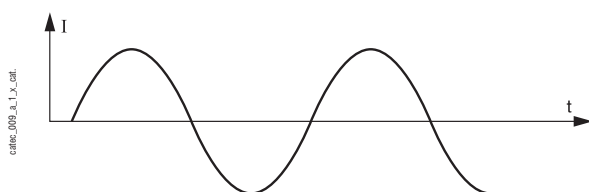


Рис. 1. Чистый синусоидальный ток.

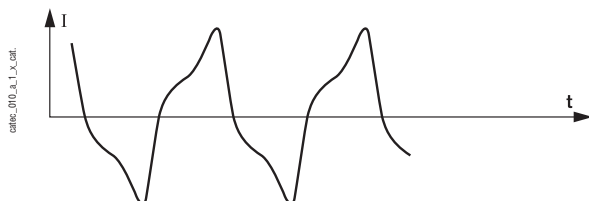


Рис. 2. Ток, искаженный гармониками.

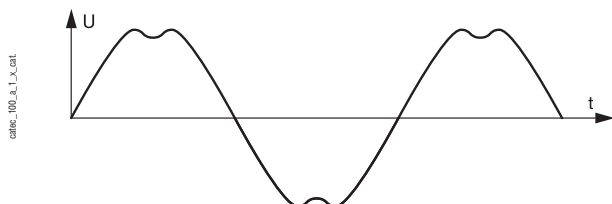


Рис. 3. Напряжение, искаженное гармониками.

Пути решения

- Защита нелинейных нагрузок при помощи ИБП;
- Применение компенсаторов гармоник;
- Увеличение сечения проводников;
- Завышение номинальной мощности устройств.

Линейные и нелинейные нагрузки

Нагрузка называется линейной, если кривая тока имеет такую же форму, как и кривая напряжения:

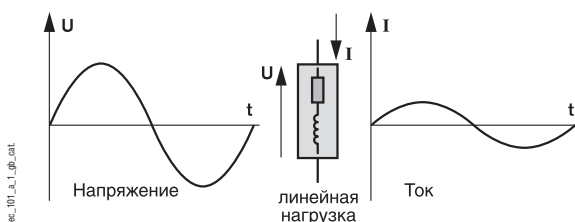


Рис. 4.

Если форма кривой тока не совпадает с формой кривой напряжения, то такая нагрузка называется нелинейной:

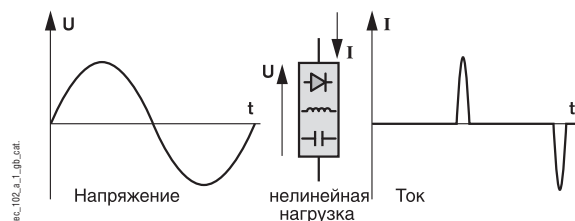


Рис. 5.

Нелинейные нагрузки приводят к высоким значениям тока нейтрали, которые могут значительно превышать значения фазного тока.

Пик-фактор тока (fp):

Для нелинейных нагрузок искажение тока может быть выражено пик-фактором:

$$fp = \frac{I_{peak}}{I_{rms}}$$

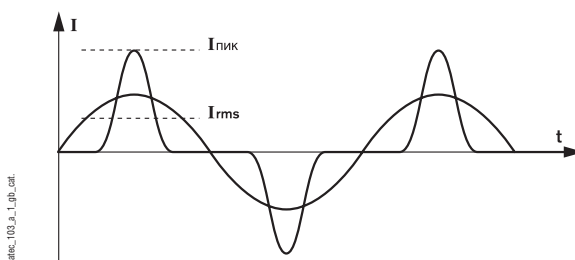


Рис. 6. пик-фактор: $fp = I_{peak}/I_{rms}$.

Примеры значений fp:

- резистивная нагрузка (чистая синусоидальная кривая): $\sqrt{2} = 1,414$;
- главный компьютер (сервер): от 2 до 2,5;
- рабочая станция на ПК: от 2,5 до 3;
- принтер: от 2 до 3.

Эти значения пик-фактора показывают, что кривая тока может сильно отличаться от чистой синусоиды.

Искажения напряжения в электросети (продолжение)

Гармоники

Гармоническое число

Частоты гармоник являются кратными частоте электросети (50 Гц). Соответствующий множитель называется гармоническим числом.

Пример:

Ток 5-й гармоники имеет частоту $5 \times 50 \text{ Гц} = 250 \text{ Гц}$.
Ток 1-й гармоники называется фундаментальным током.

Гармонические токи сети

Ток, циркулирующий в сети, является суммой чистого синусоидального тока (фундаментального) и определенного количества гармонических токов в зависимости от типа нагрузки.

Табл. А: гармонические токи в сети

ИСТОЧНИК	НОМЕР ГАРМОНИКИ	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
выпрямитель	1 полупериод	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	2 полупериод		•		•		•		•		•		•		•		•		•	
	3 полупериод	•		•			•			•			•			•			•	
	6 полупериод				•		•				•		•				•		•	
газоразрядная лампа			•		•		•		•		•		•		•		•		•	
			•		•		•		•		•		•		•		•		•	
дуговая печь			•		•		•		•		•		•		•		•		•	

Пример: газоразрядная лампа производит токи только 3й, 5й, 7й, 9й, 11й, и 13й гармоник. Четные гармоники отсутствуют.

Искажения в измерительных приборах

Ферромагнитные измерительные устройства (амперметры, вольтметры и т.д.) предназначены для измерения параметров синусоиды на заданной частоте (как правило, 50 Гц). Это же относится и к цифровым устройствам (кроме пробников). При наличии гармонических искажений показания данных приборов искажаются (см. пример ниже).

Правильные значения действующего напряжения дают только приборы, учитывающие искажения сигнала.

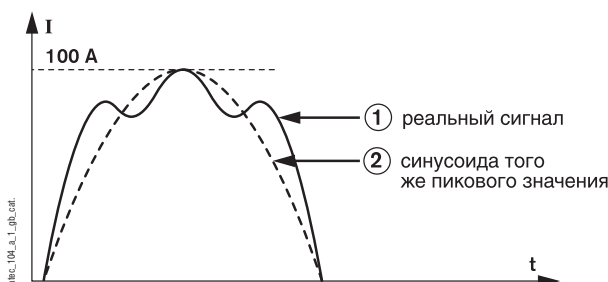


Рис. 1. Искажения при измерении.

Пример (рис. 1): сигнал 1 искажается третьей гармоникой. Действующее значение тока синусоидальной волны с тем же пиковым значением составляет: $100 \text{ A} / \sqrt{2} = 70 \text{ A}$.

Реальный действующий ток составляет 84 А (измеренный при помощи соответствующего устройства, (см. DIRIS стр. D.55)).

Расчет действующего (среднеквадратичного) тока

Обычно расчет действующего тока производится только для первых 10 – 20 значительных гармоник тока.

Действующий фазный ток:

$$I_{rms} = \sqrt{I_n^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_k^2}$$

где I_n – номинальный ток искажающего устройства;
 I_2, I_3 и т.д. – токи 2-й, 3-й и т.д. гармоник.

В нейтрали суммируются гармоники с нечетными номерами, кратными 3:

$$I_{Neutral} = \sqrt{I_{N3}^2 + I_{N9}^2 + \dots}$$

$$I_{N3} = 3I_3$$

$$I_{N9} = 3I_9$$

и т.д.

Действующие значения токов гармоник I_2, I_3 и т.д. определить сложно. (Пожалуйста, обращайтесь к нам за консультацией, указав тип нагрузки, токовый пик-фактор, мощность нагрузки и напряжение в сети).

Пример:

Определение фазного тока и тока нейтрали в сети с двухполупериодным выпрямителем.

- Пик-фактор тока: 2.5
- Нагрузка 180 кВА → эквивалент эффективного значения тока (50 Гц):

$$\frac{180 \text{ кВА}}{\sqrt{3} \times 400 \text{ В}}$$

Расчетные гармоники:

$$I_2 = 182 \text{ A } 50 \text{ Гц}$$

$$I_3 = 146 \text{ A } 150 \text{ Гц}$$

$$I_5 = 96 \text{ A } 250 \text{ Гц}$$

$$I_7 = 47 \text{ A } 350 \text{ Гц}$$

$$I_9 = 13 \text{ A } 450 \text{ Гц}$$

- Высшими гармониками можно пренебречь в силу их незначительности.

Ток в одной фазе:

$$I_p = \sqrt{(182)^2 + (146)^2 + \dots} = 260 \text{ A}$$

Ток в нейтрали:

$$I_{Neutral} = \sqrt{(3 \times 146)^2 + (3 \times 13)^2} = 440 \text{ A}$$

Ток в нейтрали превышает фазовый ток. Это следует учитывать при выборе сечений кабелей и типа оборудования.

Показатели искажения и гармоник

Общий уровень гармонических искажений:

$$T = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_k^2}}{I_{rms}}$$

Во избежание проблем с гармониками, данный показатель не должен превышать 5%.

Уровень n-й гармоники: действующий ток n-й гармоники, деленный на действующий фундаментальный ток. Он должен быть меньше 3%. Это определение справедливо и для гармоник напряжения.

Низковольтные сети

Улучшение качества электросети

Допуски по напряжениям, необходимые для нормальной работы электросетей, содержащих нагрузки, чувствительные к искажениям (электронное и компьютерное оборудование и т.п.), приведены в таблице:

ПАРАМЕТРЫ СЕТИ	ДОПУСК
Статическое напряжение (постоянная нагрузка)	$\pm 2\%$
Динамическое напряжение (переменная нагрузка)	$\pm 10\%$
Частота	$\pm 1\%$
Общие гармонические искажения	$< 5\%$
Максимальный уровень гармоник	$< 3\%$
Дисбаланс напряжения (по трем фазам)	$< 4\%$
Сдвиг по фазе между напряж. фазы и нейтралю	$120^\circ \pm 3^\circ$
Микро-прерывания	< 10 мс

Для достижения этих показателей можно установить альтернативный источник питания и/или реализовать определенные меры предосторожности при проектировании электроустановки.

Альтернативные источники электропитания

Различные альтернативные источники питания приведены в таблице:

ТИП ИСТОЧНИКА	УСТРАНЯЕМОЕ ИСКАЖЕНИЕ
Ротационная установка (маховик) с питанием от сети	<ul style="list-style-type: none"> Отключения < 500 мс (в соответствии с маховиком) провалы напряжения изменения частоты
ИБП	Эффективны для устранения всех искажений, кроме длительных отключений (от 15 мин. до 2 часов в зависимости от установленной нагрузки и мощности ИБП).
Автономная генераторная установка	Эффективна во всех случаях, но с прерыванием электропитания во время переключения из нормального в аварийный режим (< 2 с с моторизованным переключателем SIRCOVER)
ИБП + ротационные установки	Данное решение устраняет все типы искажений.

Меры предосторожности для электроустановки

Изолирование нелинейных нагрузок:

- электропитание от отдельного высоковольтного входа (для больших нагрузок);
- разделение цепей: сбой в одной цепи должен как можно меньше сказываться на других цепях;
- разделение цепей, включающих в себя нелинейные нагрузки. Эти цепи должны быть отделены от других цепей на как можно более высоком уровне низковольтных установок для максимального использования эффекта сопротивления кабеля с целью уменьшения искажений.

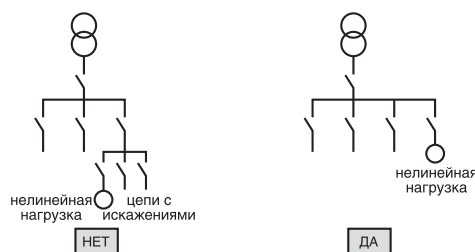


Рис. 1.

Выбор подходящей системы заземления

Система IT гарантирует непрерывную работу, предотвращая, например, размыкание цепи дифференциальной защиты при ее внезапном срабатывании после броска напряжения.

Обеспечение избирательности реагирования (селективности) защитных устройств

Селективность защитных устройств ограничивает аварийное размыкание цепи (см. стр D.52 - D.54 и D.63).

Правильное использование заземления сети:

- заземление сети в соответствии с выполняемыми функциями (компьютерная техника и т.д.);
- каждая сеть имеет цепную связь для достижения макс. эквипотенциальности (наименьшее сопротивление между разными точками заземленной сети);
- подключение сетей «звездой», как можно ближе к штырю заземления;
- использование кабельных лотков, шахт, труб и металлических желобов, подключенных к заземлению в определенных точках.

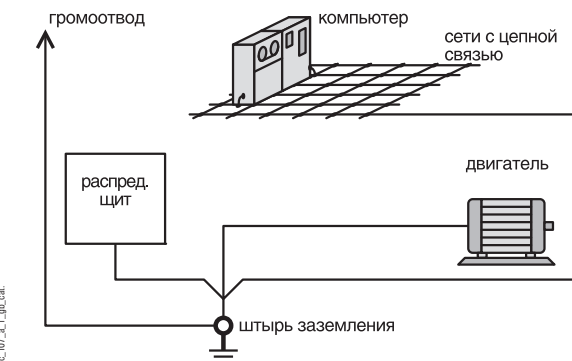


Рис. 2.

- отделение нелинейных цепей от чувствительных цепей при прокладке кабелей в одном лотке;
- для достижения эквипотенциальности - частое применение для заземления шкафов, конструкций и т.п.

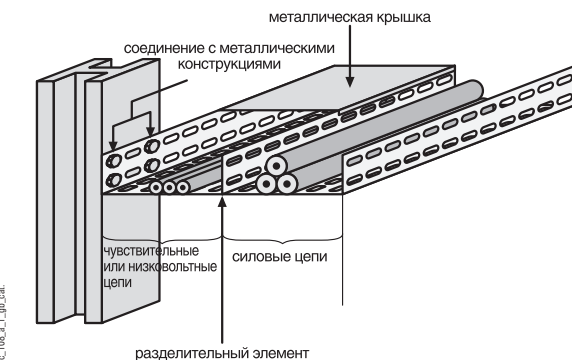


Рис. 3.

SOMEC 108_a_1_08.pdf

SOMEC 108_a_1_08.pdf

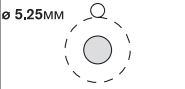

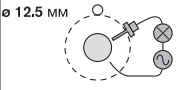

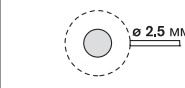

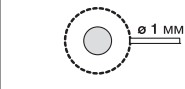

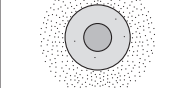

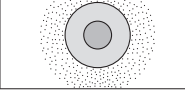


Влияние внешних факторов

► Степень защиты (коды IP)

Степень защиты обозначается двумя цифрами и (иногда) дополнительной буквой.

Например: IP 55 или IP xx B (x означает любую цифру).

Ниже представлена расшифровка цифр и дополнительных букв:

1-Я ЦИФРА ЗАЩИТА ОТ ПРОНИКНОВЕНИЯ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ			2-Я ЦИФРА ЗАЩИТА ОТ ПРОНИКНОВЕНИЯ ЖИДКОСТИ			ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ БУКВА(2)	СТЕПЕНЬ ЗАЩИТЫ
IP	Тесты		IP	Тесты			
0		Нет защиты	0		Нет защиты		
1		Защита от твердых частиц более 50 мм	1		Защита от вертикально падающих водных капель (конденсация)	A	Защита от проникновения кисти руки
2 ⁽¹⁾		Защита от твердых частиц более 12 мм	2		Защита от водных капель, падающих под углом до 15° к вертикали	B	Защита от проникновения пальца руки
3		Защита от твердых частиц более 25 мм	3		Защита от дождевания под углом до 60° к вертикали	C	Защита от попадания инструмента
4		Защита от твердых частиц более 1 мм	4		Защита от водных брызг с любого направления	D	Защита от попадания провода
5		Защита от пыли (не образующей вредный осадок)	5		Защита от водных струй с любого направления		
6		Полная защита от пыли	6		Защита от сильных водных брызг		
Первые две цифры определяются одинаково в стандартах NF EN 60 529, IEC 529 и DIN 40 050			7		Защита от полного погружения		

Примечания:

(1) Рис. 2 иллюстрирует 2 теста:

- не проникновение сферы диаметром 12,5 мм,
- невозможность введения зонда диаметром 12 мм.

(2) Эта дополнительная буква определяет только доступ к опасным компонентам.

Пример. Устройство имеет отверстие, достаточное для проникновения пальца. Тогда оно не будет классифицировано как IP 2х. Однако, если компоненты, доступные для пальца, не являются опасными (нет угрозы поражения электрическим током, ожогов и т.п.), то устройство будет классифицировано как xx B.

► Уровни защиты от механического удара

К коду IP может быть добавлена третья цифра. Эта цифра определяет степень защиты от механического удара в стандартах EN 50102, NF C 20015 вместо третьей цифры используется индекс IK.

Соответствие индексов IP и IK (в зависимости от определяющего стандарта)

энергия удара (J)	0	0.15	0.2	0.225	0.35	0.375	0.5	0.7	1	2	5	6	10	20
3-я цифра кода IP	-	-	-	1	-	2	3	-	-	5	-	7	-	9
индекс IK	0	1	2		3		4	5	6	7	8		9	10
Классификация AG (IEC 60 364)				AG1						AG2		AG3		AG4

Цифровая связь

Общий обзор

Сеть связи объединяет определенное количество устройств (электрических или компьютерных) с целью обмена информацией: команды, измерения и т.п.

Установка сети связи позволяет также использовать микропроцессорную технологию, которая значительно расширяет возможности диалога человека с машиной.

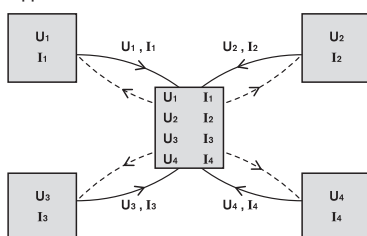


Рис. 1.

Определения, касающиеся передачи данных

Аналоговая передача

Передаваемым сигналом служит ток или напряжение. Пример: соединение 0 – 10В или 4 – 20 мА.

Цифровая передача

Сигнал является двоичным элементом (0 или 1), называемым битом. Информация кодируется в виде последовательности битов. Каждый тип цифрового интерфейса имеет свой аналоговый уровень (уровень напряжения: см. таблицу А) и логику 0 и 1 на входе и выходе.

Последовательный и параллельный интерфейсы передачи данных
При последовательной связи содержащий информацию набор битов передается по одному и тому же кабелю (последовательно) один за другим. Для этой связи требуются два кабеля и заземление, или просто два провода. При параллельной связи каждый бит передается по разным проводам. Так, для 8-битной кодировки потребуются как минимум 8 проводов плюс заземление.

Отправка/прием

Передача состоит из отправки и приема, которые могут быть:

- разделены на два отдельных канала (4-кабельный симплексный интерфейс плюс заземление для RS 485);
- совмещенными в одном канале, по очереди выполняя отставку и прием в обоих направлениях (2-кабельный полудуплексный интерфейс + заземление);
- совмещенными в одном канале, отставка и прием выполняются одновременно (2-кабельный дуплексный интерфейс).

Битовая скорость передачи данных (Bit rate)

Это количество битов, которое интерфейс может передать за 1 секунду, выражаемое в бодах.

Для рассматриваемых цифровых интерфейсов 1 бод = 1 бит в секунду.

Канал

Самый простой канал состоит из двух защищенных витых кабелей (телефонная пара), но возможно также использование коаксиальных, оптоволоконных кабелей или каналов радиопередачи. Канал зависит от выбора типа передачи.

Дальность передачи

Дальность передачи данных – это максимальное расстояние между источником и приемником, обеспечивающее правильную передачу сигнала.

Пример: для RS 485 дальность 1500 м при скорости 9600 бод.

Таблица А: Сравнение RS232, RS485, RS422.

ШИНА	ТОКОВАЯ ПЕТЛЯ	RS232-C	RS422-A	RS485
Макс. скорость (бод)	9.6 k	19.2 k	10 M	10 M
Число передатчиков	многоточечный	1	1	1
Число приемников	многоточечный	1	10	31
Дальность передачи (м)	3000	15	1500 ⁽¹⁾	1500 ⁽¹⁾
Напряжение передачи 0	от 0 до 4 мА	от +5 до +15 В	от +2 до +6 В	от +5 до +15 В
1	20 мА	от -5 до -15 В	от -2 до -6 В	от -5 до -15 В
Порог приема 0	5 мА	> +3 В	> +0.2 В	> +0.2 В
1	10 мА	< -3 В	< -0.2 В	< -0.2 В

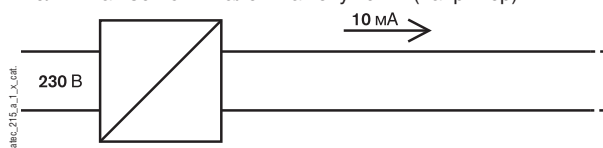
⁽¹⁾ 1500 м при скорости 9600 бод.

Пример

Передача информации, полученной посредством измерения: U = 230В

• **Вариант 1:** аналоговая передача.

Величина 230В эквивалентна току 10 мА (например).



• **Вариант 2:** цифровая передача.

Величина 230В кодируется последовательностью битов, несущих сообщение U = 230В.

В данном примере использована 8-битная кодировка: 230В = 00100110.

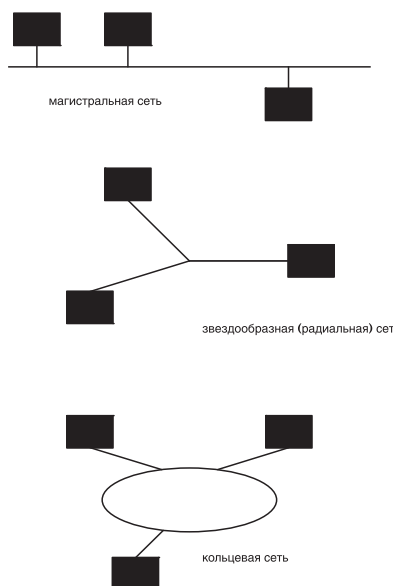
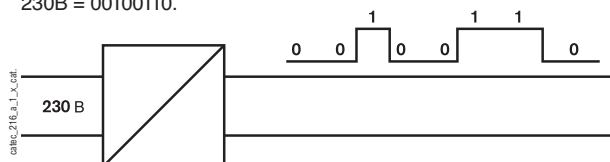


Рис.2. топология сети.

Сети связи (продолжение)

Протоколы

Для взаимодействия нескольких устройств требуется общая структура и язык: они известны под именем протокола. Для каждого типа связи (JBUS/MODBUS, BATIBUS, EIBUS, и т.д.) существует свой протокол, определяемый соответствующими стандартами. Однако, все протоколы подразделяют на 7 уровней. Каждый уровень получает элементарную информацию из нижнего уровня, обрабатывает ее, а затем передает более сложную информацию на уровень выше. Система DIRIS использует только 1, 2 и 7 уровни.

Уровень 1: физический уровень

Физический уровень является простейшим уровнем протокола. Он определяет режим передачи, передающую среду (свойства кабелей и т.д.) и топологию сети.

Уровень 1 (RS 232, RS 485) определяется стандартами IUT (International Union of Telecommunications, Международного союза телекоммуникаций).

Уровень 2: канальный уровень

Этот уровень контролирует доступ к сети (например, система с главным и подчиненными элементами, master/slave), осуществляет адресный контроль (опознавание источника или ресивера) а также проверяет ошибки передачи данных.

Уровень 3: сетевой уровень

К задачам данного уровня относятся адресация, маршрутизация или производительность системы.

Уровень 4: транспортный уровень

Данный уровень обеспечивает прямую связь между передатчиком и приемником, а также контролирует качество связи.

Уровень 5: сеансовый уровень

Контролирует процессы обмена данных и сохранения в памяти.

Уровень 6: представительский уровень

Занимается перекодировкой, форматированием, преобразованием и кодированием данных.

Уровень 7: прикладной уровень

Прикладной уровень является наивысшим информационным уровнем и обеспечивает связь с пользователем системы

Выбор протокола осуществляется согласно задаче. К многочисленным параметрам, которые необходимо учитывать при выборе, относятся расстояние между главным и подчиненными элементами, количество устройств в канале связи и электрическая сеть. На сегодняшний день есть несколько возможных решений.

Стандартные решения

- Для не слишком сложных передач сигналов между различными входными и выходными устройствами можно использовать такие протоколы, как Can или ASI (например: связь между однотипными устройствами).
- Для передачи данных между одним или несколькими исполнительными механизмами или датчиками, с одной стороны, и компьютерами (ПК) или программируемыми логическими контроллерами (ПЛК), с другой стороны, применяются такие протоколы, как INTERBUS-S®, PROFIBUS® или JBUS/MODBUS®
- Для передачи данных между разными ПК или между ПК и ПЛК все чаще применяется локальная вычислительная сеть ETHERNET с протоколом TCP-IP. В определенных случаях исполнительные механизмы подключаются напрямую к Ethernet при помощи специальных интерфейсов.

Частные решения

Существуют также особые протоколы, применяемые некоторыми производителями. Последние обычно предлагают шлюзы, позволяющие преобразовывать эти протоколы в стандартные протоколы, например, типа JBUS/MODBUS®.

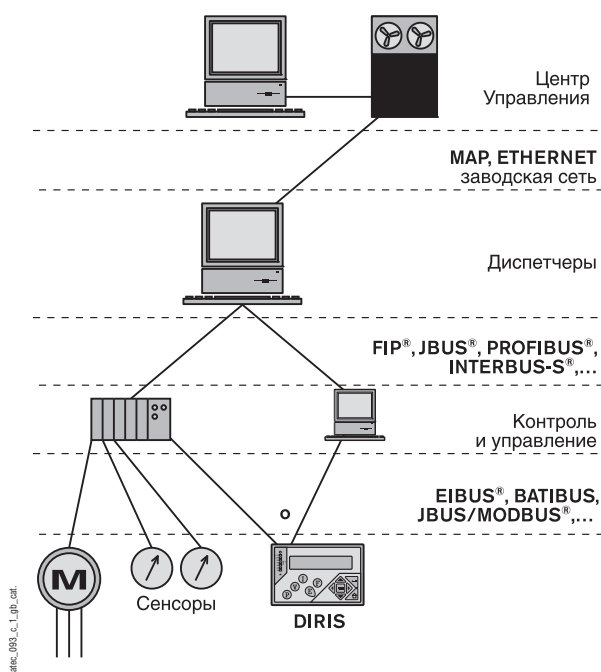


Рис. 1. Пример промышленной сети.

Токи перегрузки

Согласование кабелей и защитных устройств

Определения

Установка защитных устройств необходима для того, чтобы не дать току перегрузки попасть в проводники и вызвать повышение температуры, губительное для изоляции, соединений, клемм или окружения проводников (IEC 364).

При выборе защитного устройства необходимо определить следующие токи:

- I_b : ток, на который рассчитана цепь;
- I_z : допустимая нагрузка непрерывного тока для кабеля;
- I_n : номинальный ток защитного устройства;
- I_2 : ток, обеспечивающий эффективную работу защитного устройства.

На практике I_2 принимают равным:

- току срабатывания автоматических выключателей за определенное время,
- току плавления предохранителей типа gG за определенное время.

При защите кабелей должны выполняться два условия:

$$\begin{aligned} 1: I_b &\leq I_n \leq I_z \\ 2: I_2 &\leq 1,45 I_z \end{aligned}$$

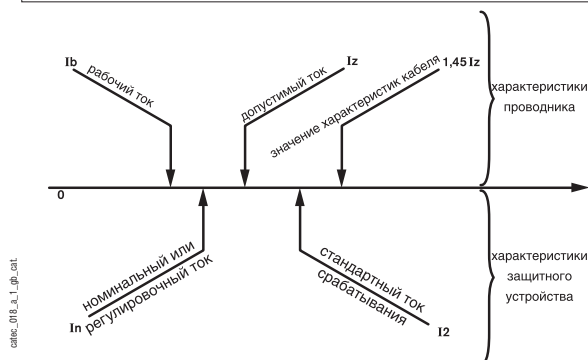


Рис. 1. Согласование кабелей и защитных устройств.

Пример

На трехфазную сеть 400В подается нагрузка в 150 кВт.

$I_b = 216A$ – ток нагрузки,

$I_n = 250A$ – номинальный ток предохранителя gG, защищающего цепь,

$I_z = 298A$ – максимальный допустимый ток для кабеля $3 \times 95 \text{ мм}^2$, соответствующий методу установки и внешним условиям, и определяемый по методике, изложенной на следующих страницах,

$I_2 = 400A$ – ток плавления для предохранителя 250A ($1,6 \times 250A = 400A$),

$1,45 I_z = 1,45 \times 293 = 425A$

Условия 1 и 2 выполнены:

$I_b = 216A \leq I_n = 250A < I_z = 298A$,

$I_2 = 400A \leq 1,45 I_z = 432A$.

Определение тока I_2

Это ток, обеспечивающий эффективную работу защитного устройства:

ТИП ЗАЩИТЫ	ТОК I_2
Предохранитель gG (IEC 269-2-1)	
Номинальный ток $\leq 4A$	$2.1 I_n$
$4A < \text{номинальный ток} < 16A$	$1.9 I_n$
Номинальный ток $\geq 16A$	$1.6 I_n$
Промышленный авт. выключатель	$1.45 I_n$
DIRIS CP или P/PS	$1.15 I_0$

Определение токов I_z (в соответствии со стандартом IEC 364)

► Непрерывный ток - допустимая нагрузка для кабелей

В таблице А приводится максимальное значение тока I_z для медных и алюминиевых кабелей разных сечений. Эти величины нужно брать с поправкой согласно следующим коэффициентам:

- K_m: коэффициент метода монтажа (стр. D.16);
- K_n: коэффициент, принимающий во внимание количество проложенных вместе кабелей;
- K_t: коэффициент, принимающий во внимание температуру окружающего воздуха и тип кабеля.

Коэффициенты K_m, K_n, и K_t, определяются в соответствии с категориями кабельной установки: B, C, E, or F (см. стр. D.16 и D.17).

Выбранная площадь поперечного сечения кабеля должна удовлетворять неравенству:

$$I_z \geq I'_z = \frac{I_b}{K_m \times K_n \times K_t}$$

Кабели подразделяются на два семейства: PVC и PR (см. таблицу, стр. D.22).

Следующая за буквенным обозначением цифра указывает на количество жил кабеля. К серии PR причисляют кабели, изолированные эластомерами (резиной, бутилом и т.д.).

Пример: PVC 3 обозначает кабель категории PVC, имеющий 3/4 нагружаемых жилы (3 фазы или 3 фазы + нейтраль).

Таблица А

Категория	Максимально допустимый ток I ₂ в проводниках (А)								
B	PVC3	PVC2		PR3		PR2			
C		PVC3		PVC2	PR3		PR2		
E			PVC3		PVC2	PR3		PR2	
F				PVC3		PVC2	PR3		PR2
S (мм²), медь									
1.5	15.5	17.5	18.5	19.5	22	23	24	26	
2.5	21	24	25	27	30	31	33	36	
4	28	32	34	36	40	42	45	49	
6	36	41	43	48	51	54	58	63	
10	50	57	60	63	70	75	80	86	
16	68	76	80	85	94	100	107	115	
25	89	96	101	112	119	127	138	149	161
35	110	119	126	138	147	158	169	185	200
50	134	144	153	168	179	192	207	225	242
70	171	184	196	213	229	246	268	289	310
95	207	223	238	258	278	298	328	352	377
120	239	259	276	299	322	346	382	410	437
150		299	319	344	371	395	441	473	504
185		341	364	392	424	450	506	542	575
240		403	430	461	500	538	599	641	679
300		464	497	530	576	621	693	741	783
400					656	754	825		940
500					749	868	946		1083
630					855	1005	1088		1254
S (мм²), алюминий									
2.5	2.5	16.5	18.5	19.5	21	23	24	26	28
4	22	25	26	28	31	32	35	38	
6	28	32	33	36	39	42	45	49	
10	39	44	46	49	54	58	62	67	
16	53	59	61	66	73	77	84	91	
25	70	73	78	83	90	97	101	108	121
35	86	90	96	103	112	120	126	135	150
50	104	110	117	125	136	146	154	164	184
70	133	140	150	160	174	187	198	211	237
95	161	170	183	195	211	227	241	257	289
120	188	197	212	226	245	263	280	300	337
150		227	245	261	283	304	324	346	389
185		259	280	298	323	347	371	397	447
240		305	330	352	382	409	439	470	530
300		351	381	406	440	471	508	543	613
400					526	600	663		740
500					610	694	770		856
630					711	808	899		996

Токи перегрузки

Определение токов Iz (продолжение)

► Коэффициент K_t

В соответствии со стандартом IEC 364 (Таблица A):

КАТЕГОРИЯ	МЕТОД МОНТАЖА	K_m			
		(a)	(b)	(c)	(d)
B	1 В стене с теплоизоляцией	0.77	-	0.70	0.77
	2 Видимый монтаж, кабели заделаны в стену или в навесной короб	1	-	0.9	-
	3 В конструктивных полостях зданий / подвесных потолках	0.95	-	0.865	0.95
	4 В кабельных желобах	0.95	0.95	-	0.95
	5 В кабельных шахтах, молдингах, бортиках или плинтусах	-	1	-	0.9
C	1 Одно – или многожильные кабели, встроенные непосредственно в стену без механической защиты	-	-	-	1
	2 • Кабели с настенным креплением • Кабели с креплением к потолку	-	-	-	1 0.95
	3 Кабельные жилы открытого или закрытого монтажа	-	1.21	-	-
	4 Кабели, проложенные в неперфорированных кабельных лотках	-	-	-	1
E F	Многожильные или одножильные кабели на $\left\{ \begin{array}{l} 1 - \text{перфорированных кабельных лотках} \\ 2 - \text{скобах, лестницах} \\ 3 - \text{настенных кабельных зажимах} \\ 4 - \text{подвесные кабели на несущем тросе} \end{array} \right.$	-	-	-	1

(a) Изолированная жила помещена в кабельный канал.

(c) Кабель помещен в кабельный канал.

(b) Изолированная жила не помещена в кабельный канал.

(d) Кабель не помещен в кабельный канал.

► Коэффициент K_p

В соответствии со стандартом IEC 364:

Таблица A

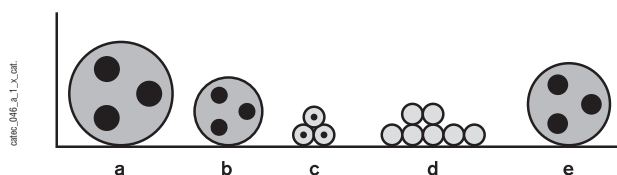
КАТЕГОРИЯ	ОБЪЕДИНЕННАЯ ПРОКЛАДКА КАБЕЛЕЙ	КОРРЕКТИРУЮЩИЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ K_p											
		КОЛИЧЕСТВО КАНАЛОВ ИЛИ МНОГОЖИЛЬНЫХ КАБЕЛЕЙ											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20
B, C	Встроенные или утопленные в стены	1.00	0.80	0.70	0.65	0.60	0.55	0.55	0.50	0.50	0.45	0.40	0.40
C	Один слой на стенах, полах или неперфорированных стойках	1.00	0.85	0.79	0.75	0.73	0.72	0.72	0.71	0.70	Более, чем для 9 кабелей корректирующий коэффициент отсутствует		
	Один слой на потолках	0.95	0.81	0.72	0.68	0.66	0.64	0.63	0.62	0.61			
E, F	Один слой на горизонтальных перфорированных полках или вертикальных стойках	1.00	0.88	0.82	0.77	0.75	0.73	0.73	0.72	0.72			
	Один слой на кабельных лестницах, крепежных скобах и т.д.	1.00	0.88	0.82	0.80	0.80	0.79	0.79	0.78	0.78			

При укладке кабелей в несколько слоев, величину K_p нужно умножить на следующий коэффициент:

Таблица B

Кол-во слоев	► 2	3	4 и 5	от 6 до 8	9 и более
Коэффициент	► 0.80	0.73	0.70	0.68	0.66

Пример







































Данные кабели уложены на перфорированной стойке:

- 2 трехжильных кабеля (2 канала, a и b),
- 1 группа из трех одножильных кабелей (1 канал, c),
- 1 группа, состоящая из 2 кабельных жил на фазу (2 канала, d),
- 1 трехполюсный кабель, для которого необходимо определить K_p (1 канал, e).

Итого, число каналов – 6. Способ отношения – способ E (перфорированная стойка). $K_p = 0.57$.

Определение токов Iz (продолжение)

Метод монтажа

<p>• категория В – 1</p>  <p>Изолированные кабельные жилы в кабельных каналах, заделанных в стену с теплоизоляцией.</p>  <p>Многожильные кабели в кабельных каналах, заделанных в стену с теплоизоляцией.</p>  <p>Изолированные кабельные жилы в видимых кабельных каналах.</p>  <p>Одно – или многожильные кабели в видимых кабельных каналах.</p>  <p>Изолированные кабельные жилы в видимых коробах. Одно – или многожильные кабели в видимых коробах.</p>  <p>Изолированные кабельные жилы в заделанных в стены кабельных каналах.</p>  <p>Одно – или многожильные кабели в заделанных в стены кабельных каналах.</p>	<p>• Категория В – 3</p>  <p>Одно или многожильные кабели в конструктивных полостях зданий.</p>  <p>Изолированные жилы в конструктивных полостях зданий.</p>  <p>Одно или многожильные кабели в секционных каналах в конструктивных полостях зданий.</p>  <p>Одно или многожильные кабели в секционных каналах в конструктивных полостях зданий.</p>  <p>Одно или многожильные кабели в секционных каналах в конструктивных полостях зданий.</p>  <p>Одно или многожильные кабели в секционных каналах в конструктивных полостях зданий.</p>  <p>Одно или многожильные кабели в секционных каналах в конструктивных полостях зданий.</p>	<p>• Категория В – 5</p>  <p>Изолированные кабельные жилы в молдингах.</p>  <p>Изолированные кабельные жилы, одно – и многожильные кабели в бороздчатых бортиках или плинтусах.</p>  <p>Изолированные кабельные жилы в кабельных каналах или одно – и многожильные кабели во внутренних наличниках.</p>  <p>Изолированные кабельные жилы в кабельных каналах или одно – и многожильные кабели в оконных рамах.</p>	<p>• Категории Е – 1⁽¹⁾ и F – 1⁽²⁾</p>  <p>На перфорированных кабельных лотках или стойках, горизонтальные или вертикальные трассы.</p> <p>• Категории Е – 2⁽¹⁾ и F – 2⁽²⁾</p>  <p>- на скобах,</p>  <p>- на кабельных лестницах.</p> <p>• Категории Е – 3⁽¹⁾ и F – 3⁽²⁾</p>  <p>На настенных зажимах.</p> <p>• Категории Е – 4⁽¹⁾ и F – 4⁽²⁾</p>  <p>Одно – и многожильные кабели, заделанные в стены, без дополнительной механической защиты.</p>
<p>• категория В – 2</p>  <p>Изолированные кабельные жилы; одно – или многожильные кабели в прикрепленных к стене желобах: – горизонтальное положение</p>  <p>– вертикальное положение</p>  <p>Изолированные жилы в конструктивных полостях зданий. Одно – и многожильные кабели в секционных каналах в конструктивных полостях зданий. Изолированные жилы в секционных каналах в конструктивных полостях зданий.</p>  <p>Одно – и многожильные кабели в секционных каналах в конструктивных полостях зданий.</p>	<p>• категория В – 4</p>  <p>Многожильные кабели, заделанные в теплоизолированные стены.</p>  <p>Изолированные жилы в кабельных каналах или многожильные кабели в закрытых кабельных желобах, вертикальная или горизонтальная трасса.</p>  <p>Изолированные жилы в кабельных каналах в вентилируемых кабельных желобах.</p>  <p>Одно – и многожильные кабели в открытых или вентилируемых кабельных желобах.</p>	<p>• Категория С – 1</p>  <p>Одно – и многожильные кабели, заделанные в стены, без дополнительной механической защиты.</p>  <p>Одно – и многожильные кабели, заделанные в стены, с дополнительной механической защитой.</p> <p>• Категория С – 2</p>  <p>Одно – и многожильные кабели с оболочкой или без оболочки: – с креплением к стене, – с креплением к потолку.</p> <p>• Категория С – 3</p>  <p>Открытый монтаж: изолированные кабельные жилы, уложенные на изоляторах.</p> <p>• Категория С – 4</p>  <p>Одно – и многожильные кабели на неперфорированных кабельных лотках или стойках.</p>	<p>(1) многожильные кабели (2) одножильные кабели</p>

Кэффициент Kf

В соответствии со стандартом IEC 364:

Таблица С

ТЕМПЕРАТУРА СРЕДЫ (° C)	ИЗОЛЯЦИЯ		
	ЭЛАСТОМЕ (РЕЗИНА)	ПВХ	Э/П КАУЧУК
10	1.29	1.22	1.15
15	1.22	1.17	1.12
20	1.15	1.12	1.08
25	1.07	1.06	1.04
35	0.93	0.94	0.96
40	0.82	0.87	0.91
45	0.71	0.79	0.87

ТЕМПЕРАТУРА СРЕДЫ (° C)	ИЗОЛЯЦИЯ		
	ЭЛАСТОМЕ (РЕЗИНА)	ПВХ	Э/П КАУЧУК
50	0.58	0.71	0.82
55	-	0.61	0.76
60	-	0.50	0.71
65	-	-	0.65
70	-	-	0.58

Пример: Для кабеля с изоляцией из ПВХ, когда температура среды достигает 40° C, имеем Kt = 0,87.

Токи перегрузки

Определение токов (продолжение)

Маркировка кабелей

Таблица А:

Соответствие старых и новых названий кабелей.

СТАРОЕ НАЗВАНИЕ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ)	НОВОЕ НАЗВАНИЕ (ГАРМОНИЗИРОВАННЫЙ СТАНДАРТ)
U 500 VGV	A 05VV - U (o R)
U 1000 SC 12 N	H 07 RN - F
U 500 SV 0V	A 05 VV - F
U 500 SV 1V	

Таблица В. Классификация кабелей.

ПРОПИЛЕН-КАУЧУК		ПВХ	
U 1000	R 12 N	FR-N 05	W-U, R
U 1000	R2V	FR-N 05	W-AR
U 1000	RVFV	FR-N 05	VL2V-U, R
U 1000	RGPFV	FR-N 05	VL2V-AR
H 07	RN-F	H 07	VVH2-F
FR-N 07	RN-F	H 07	VVD3H2-F
A 07	RN-F	H 05	VV-F
FR-N 1	X1X2	H 05	VVH2-F
FR-N 1	X1G1	FR-N 05	VV5-F
FR-N 1	X1X2Z4X2	FR-N 05	VVC4V5-F
FR-N 1	X1G1Z4G1	A 05	VV-F
FR-N 07	X4X5-F	A 05	VVH2-F
0.6/1	скрученный		
FR-N 1	XDV-AR, AS, AU		
H 05	RN-F		
A 05	RN-F		
H 05	RR-F		
A 05	RR-F		

Примеры

Пример 1:

Электропитание подается на трехфазную нагрузку с нейтралью и номинальным током 80А (следовательно, $I_b = 80A$). Используется кабель типа U 1000 R2V на перфорированной стойке, обслуживающей еще три других цепи при температуре окружающего воздуха 40° С. Какое сечение кабеля нужно выбрать? I_z должно удовлетворять неравенству:

$$I_z > I'z = \frac{I_b}{K_m \times K_n \times K_t}$$

• Определение $I'z$

- метод монтажа: «Е», следовательно, $K_m = 1$ (см. таблицу А, стр. D.17)

- число цепей: 4, следовательно, $K_n = 0.77$ (см. таблицу А, стр. D.16)

- температура окружающего воздуха: 40° С, следовательно, $K_t = 0.91$ (см. таблицу С, стр. D.17).

$$\text{Таким образом, } I'z = \frac{80A}{1 \times 0.77 \times 0.91} = 114A$$

• Определение I_z

Кабель U 1000 R2V определяется по классификации PR (см. таблицу В). Количество жил кабеля составляет 3. См. таблицу А, стр. D.55 (колонка PR3, соответствующая категории Е). Значение I_z на разряд больше, чем выбираемая величина $I'z$, следовательно $I_z = 127A$, что соответствует медному кабелю 3 x 25 мм², защищенному предохранителем gG на 100А или алюминиевому кабелю 3 x 35 мм², защищенному предохранителем gG на 100А.

Пример 2:

Регулировочный ток I_o для прибора DIRIS CP, защищающего цепь «3-фазную + нейтраль» цепь определяется при следующих условиях:

– одножильные медные кабели с изоляцией PR, уложенные на скобы,

– температура окружающего воздуха: 40° С,

– отсутствие любой другой близко расположенной цепи,

– $I_b = 450A$.

• Определение $I'z$:

– Метод монтажа: «F», следовательно, $K_m = 1$ (см. таблицу А, стр. D.16),

– общее число цепей: 1, следовательно, $K_n = 1$ (см. таблицу А, стр. D.16),

– температура окружающего воздуха: 40° С, следовательно, $K_t = 0.91$ (см. таблицу С стр. D.17).

$$\text{Таким образом, } I'z = \frac{450 A}{1 \times 1 \times 0.91} = 494 A$$

• Определение I_z и I_o :

– величина I_z выше, чем $I'z$: 506A,

– выбранное сечение: 185 мм².

Защита электропроводки от перегрузок при помощи предохранителей

Колонка Iz предоставляет максимально допустимое значение тока для каждого поперечного сечения медного и алюминиевого кабеля согласно стандарту IEC 60 364 и руководству UTE 15-105. Колонка F предоставляет номинал предохранителя gG, соответствующий данному поперечному сечению и типу кабеля.

Категории В, С, Е и F соответствуют различным способам монтажа кабеля (стр. D.18).

Кабели подразделяют на два семейства: PVC и PR (см. таблицу

на стр. D. 18).

Следующая цифра является числом нагружаемых жил (PVC3 указывает на принадлежность кабеля к классу PVC и наличие 3 нагружаемых жил: 3 фазы или 3 фазы + нейтраль).

Пример:

Медный кабель PR3 сечением 25 мм², смонтированный по категории Е, имеет ограничение по току 127А и защищается предохранителем gG на 100А.

КАТЕГОРИЯ	ДОПУСТИМЫЙ ТОК (Iz) И СООТВЕТСТВУЮЩИЙ ЗАЩИТНЫЙ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬ (F)																	
В	PVC3		PVC2				PR3				PR2							
С			PVC3				PVC2		PR3		PR2							
Е					PVC3				PVC2		PR3		PR2					
Ф							PVC3				PVC2		PR3				PR2	
S мм ²																		
МЕДНЫЙ	Iz	F	Iz	F	Iz	F	Iz	F	Iz	F	Iz	F	Iz	F	Iz	F	Iz	F
1.5	15.5	10	17.5	10	18.5	16	19.5	16	22	16	23	20	24	20	26	20		
2.5	21	16	24	20	25	20	27	20	30	25	31	25	33	25	36	32		
4	28	25	32	25	34	25	36	32	40	32	42	32	45	40	49	40		
6	36	32	41	32	43	40	46	40	51	40	54	50	58	50	63	50		
10	50	40	57	50	60	50	63	50	70	63	75	63	80	63	86	63		
16	68	50	76	63	80	63	85	63	94	80	100	80	107	80	115	100		
25	89	80	96	80	101	80	112	100	119	100	127	100	138	125	149	125	161	125
35	110	100	119	100	126	100	138	125	147	125	158	125	171	125	185	160	200	160
50	134	100	144	125	153	125	168	125	179	160	192	160	207	160	225	200	242	200
70	171	125	184	160	196	160	213	160	229	200	246	200	269	160	289	250	310	250
95	207	160	223	200	238	200	258	200	278	250	298	250	328	250	352	315	377	315
120	239	200	259	200	276	250	299	250	322	250	346	315	382	315	410	315	437	400
150			299	250	319	250	344	315	371	315	399	315	441	400	473	400	504	400
185			341	250	364	315	392	315	424	315	456	400	506	400	542	500	575	500
240			403	315	430	315	461	400	500	400	538	400	599	500	641	500	679	500
300			464	400	497	400	530	400	576	500	621	500	693	630	741	630	783	630
400									656	500	754	630	825	630			840	800
500									749	630	868	800	946	800			1083	1000
630									855	630	1005	800	1088	800			1254	1000
АЛЮМИНИЕВЫЙ																		
2.5	16.5	10	18.5	10	19.5	16	21	16	23	20	24	20	26	20	28	25		
4	22	16	25	20	26	20	28	25	31	25	32	25	35	32	38	32		
6	28	20	32	25	33	25	36	32	39	32	42	32	45	40	49	40		
10	39	32	44	40	46	40	49	40	54	50	58	50	62	50	67	50		
16	53	40	59	50	61	50	66	50	73	63	77	63	84	63	91	80		
25	70	63	73	63	78	63	83	63	90	80	97	80	101	80	108	100	121	100
35	86	80	90	80	96	80	103	80	112	100	120	100	126	100	135	125	150	125
50	104	80	110	100	117	100	125	100	136	125	146	125	154	125	164	125	184	160
70	133	100	140	125	150	125	160	125	174	160	187	160	198	160	211	160	237	200
95	161	125	170	125	183	160	195	160	211	160	227	200	241	200	257	200	289	250
120	188	160	197	160	212	160	226	200	245	200	263	250	280	250	300	250	337	250
150			227	200	245	200	261	200	283	250	304	250	324	250	346	315	389	315
185			259	200	280	250	298	250	323	250	347	315	371	315	397	315	447	400
240			305	250	330	250	352	315	382	315	409	315	439	400	470	400	530	400
300			351	315	381	315	406	315	440	400	471	400	508	400	543	500	613	500
400									526	400	600	500	663	500			740	630
500									610	500	694	630	770	630			856	630
630									711	630	808	630	899	800			996	800

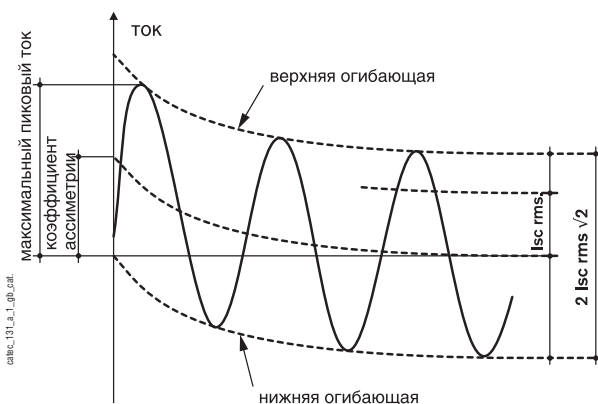
Ток короткого замыкания

Определение

Током короткого замыкания называют ток, возникающий вследствие незначительного сопротивления в месте короткого замыкания между точками электроприбора, в нормальных условиях обладающих разностью потенциалов.

Можно выделить 3 уровня токов короткого замыкания:

- пиковый ток короткого замыкания (I_{sc} пиковый) соответствует вершине волны тока, генерирующей повышенные электромагнитические силы, особенно на уровне шин и контактов или соединений оборудования,
- действующий ток короткого замыкания (I_{scrms}): среднеквадратичное значение тока повреждения, которое приводит к перегреву оборудования и проводника, и может повысить разность потенциалов с заземлением до опасного уровня,
- минимальный ток короткого замыкания (I_{scmin}): среднеквадратичное значение тока повреждения, устанавливающееся в цепях с большим импедансом (в длинных проводниках с уменьшенным сечением и т.д.). Необходимо быстро устранить данный тип аварии, известный импедансным, всеми надлежащими средствами.



Расчет тока I_{sc} для источника

С одним трансформатором

Питание	I_n	I_{sc} rms
127/220 В	$S \text{ (kVA)} \times 2.5$	$I_n \times 20$
220/380 В	$S \text{ (kVA)} \times 1.5$	$I_n \times 20$

- Упрощенный расчет в соответствии с мощностью трансформатора

$$I_{sc} \text{ (A rms)} = \frac{S}{U \sqrt{3}} \times \frac{100}{u} \times k$$

S : мощность (ВА),

U : линейное напряжение (В),

u : напряжение короткого замыкания (%),

k : коэффициент, учитывающий входной импеданс (например, 0,8).

С «n» трансформаторами, подключенными параллельно

«n» — число трансформаторов

- Т1; Т2; Т3 идентичны;
- при коротком замыкании в точках А, В или С защитные устройства 1, 2 или 3 должны выдерживать ток:

$$I_{scA} = (n-1) \times I_{sc};$$

- при коротком замыкании в точке D устройство 4 должно выдерживать ток:

$$I_{scB} = n \times I_{sc}$$

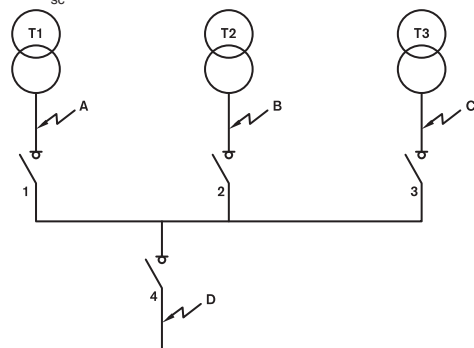


Рис. 1. Короткое замыкание с несколькими трансформаторами, соединенными параллельно.

Ток I_{sc} для аккумуляторов

$I_{sc} = 15 \times Q$ (открытые свинцово-кислотные аккумуляторы),
 $I_{sc} = 40 \times Q$ (герметичные свинцово-кислотные аккумуляторы),
 $I_{sc} = 20 \times Q$ (никель-кадмиевые аккумуляторы),
 Q (Ач): емкость в ампер-часах.

Ток I_{sc} для генераторных установок

Внутреннее полное сопротивление генератора переменного тока зависит от его модели. Оно может быть представлено величинами, выраженными в %:

- Реактивное сопротивление $X'd$:
 — от 15 до 20% для турбогенератора;
 — от 25 до 35% для явнополюсного генератора переменного тока (сверхпереходное реактивное сопротивление незначительно).
- Униполярное сопротивление $X'o$: может быть принято 6% при отсутствии более точных данных.

Токи короткого замыкания можно рассчитать следующим образом:

$$I_{sc3} = \frac{k_3 \times P}{U_0 \times X'd}$$

$$I_{sc2} = 0.86 \times I_{sc3}$$

$$I_{sc1} = \frac{k_1 P}{U_0 (2X'd + X'o)}$$

P : мощность генератора переменного тока (кВА),

U_0 : напряжение между фазой и нейтралью,

$X'd$: реактивное сопротивление,

$k_3 = 0,37$ при макс. I_{sc3}

$k_3 = 0,33$ при мин. I_{sc3}

$X'o$: униполярное сопротивление,

$k_1 = 1.1$ при макс. I_{sc1}

$k_1 = 1.1$ при мин. I_{sc1}

Пример: $P = 400$ кВА; $X'd = 30\%$; $X'o = 6\%$ $U_0 = 230$ В.

$$I_{sc3} \text{ max} = \frac{0.37 \times 400}{230 \times \frac{30}{100}} = 2.14 \text{ кА}; \quad I_{sc1} \text{ max} = \frac{1.1 \times 400}{230 \times \left[2 \times \frac{30}{100} + \frac{6}{100} \right]} = 2.944 \text{ кА};$$

$$I_{sc2} \text{ max} = 1.844 \text{ кА}.$$

Слабые токи короткого замыкания, генерируемые генераторными установками, затрудняют обеспечение защиты цепей обычными средствами. Система DIRIS предлагается компанией SOCOMEC как оптимальное решение.

Расчет тока I_{sc} для низковольтной установки

Общие положения

Расчет токов короткого замыкания позволяет определить следующие характеристики:

- разрывную мощность защитного устройства,
 - сечение проводников, позволяющее:
 - выдерживать тепловой удар тока при КЗ,
 - гарантировать срабатывание устройства защиты от непрямого контакта с током в течение времени, предусмотренного стандартом IEC 364.
 - обеспечить механическую стойкость опор проводников (электродинамический удар тока).
- Разрывная мощность защитного устройства определяется на основе тока I_{sc} , рассчитанного для его клемм.
- Сечение проводника зависит от минимального тока I_{sc} , рассчитываемого для клемм потребителя.
- Механическая стойкость опор проводника определяется путем вычисления пикового тока I_{sc} при максимальном I_{sc} .

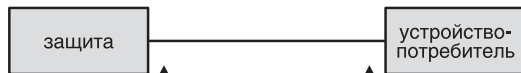


схема 133_а_1_рб_сд

Обычный метод

Позволяет рассчитывать минимальный I_{sc} . См. ниже.

Метод полного сопротивления (импеданса)

Данный метод заключается в расчете полного сопротивления контура Z , в расчет принимается тип источника питания (сеть, аккумуляторная батарея, генератор и т.д.). Является довольно точным методом, который позволяет рассчитывать как минимальный, так и максимальный ток I_{sc} . При этом, данный метод требует знания параметров отказа цепи (см. стр. D. 23).

Быстрый метод

Данный метод используется в том случае, если известны параметры отказа цепи.

Ток короткого замыкания I_{sc} определяется для одной точки сети, в которой известны предшествующий ток I_{sc} , а также длина и сечение предшествующего участка (см. стр. D.24). Используя данный метод, можно рассчитать только максимальное значение тока I_{sc} .

Обычный метод

Данный метод позволяет рассчитать минимальное значение I_{sc} в конечной точке установки, не питающейся от генератора.

$$I_{sc} = A \times \frac{0.8 U \times S}{2 \rho L}$$

U : напряжение между фазами, В;

L : длина проводки, м;

S : сечение проводника, мм²;

ρ = 0,028 мОм для медных кабелей с защитными предохранителями, 0,044 мОм для алюминиевых кабелей с защитными предохранителями, 0,023 мОм для медных кабелей защищенных размыкателями цепи, 0,037 мОм для алюминиевых кабелей защищенных размыкателями цепи;

A = 1 для цепей с нейтралью (сечение нейтрали = сечению фазного провода), 1,73 для цепей без нейтрали, 0,67 для цепей с нейтралью (сечение нейтрали = 1/2 сечения фазного провода).

Для кабелей сечением 150 мм² и более в расчет должна приниматься реактивность, это делается путем разделения значения I_{sc} на:

- 150 мм²: 1,15,
- 185 мм²: 1,2,
- 240 мм²: 1,25,
- 300 мм²: 1,3.

Метод полного сопротивления

Данный метод заключается в сложении всех активных (R) и реактивных (X) сопротивлений цепи до короткого замыкания (см. следующую страницу) и последующем расчете полного сопротивления (импеданса) Z .

$$Z_{(m)} = \sqrt{R_{(m)}^2 + X_{(m)}^2}$$

Данный метод позволяет рассчитывать:

- I_{sc3} : трехфазный ток короткого замыкания,

$$I_{sc3} = 1.1 \times \frac{U_0}{Z_3}$$

U_0 : напряжение между фазой и нейтралью (230В в сетях 230/400);

Z_3 : полное сопротивление трехфазного контура (см. стр. D. 23).

- I_{sc2} : ток короткого замыкания между двумя фазами,

$$I_{sc2} = 0.86 \times I_{sc3}$$

- I_{sc1} : однофазный ток короткого замыкания,

$$I_{sc1} = 1.1 \times \frac{U_0}{Z_1}$$

U_0 : напряжение между фазой и нейтралью (230 В в сетях 230/400);

Z_1 : полное сопротивление однофазного контура (см. стр. D. 23).

- Пиковый ток I_{sc} .

Пиковый ток короткого замыкания I_{sc} пик рассчитывается, если необходимо знать электродинамическую нагрузку (например, для шинных опор):

$$I_{sc \text{ cresta}} (kA) = I_{sc \text{ rms}} (kA) \times \sqrt{2} \times k$$

k : коэффициент асимметрии, представленный ниже.

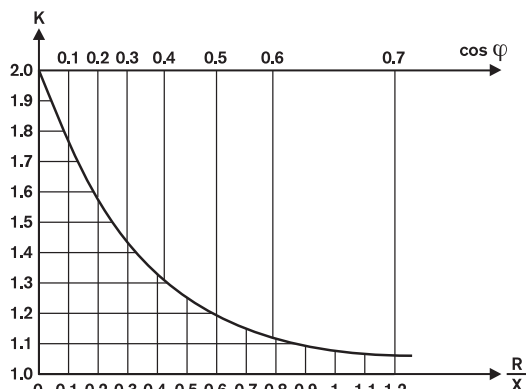


Рис. 1.

Примечание. Величина R/X , приведенная на графике, используется более часто.

$k = 1$ для симметричного тока короткого замыкания ($\cos \phi = 1$).

Ток короткого замыкания

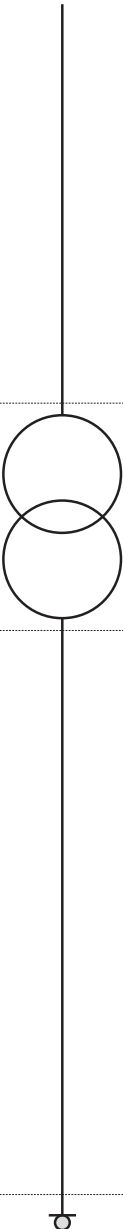
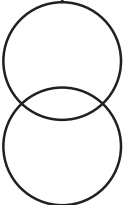

Расчет тока I_{sc} для низковольтной установки

► Метод полного сопротивления (продолжение)

Определение величин «R» и «X» для электросети R = Активное сопротивление X = реактивное сопротивление

• Приведенная таблица представляет значения R и X для разных участков цепи вплоть до точки короткого замыкания.

Для вычисления полного сопротивления контура необходимо отдельно суммировать величины R и X (см. пример на стр. D.23).

Схема	Величины R и X																																																				
	В начале сети Значения «R» и «X» на входе понижающего трансформатора (400В) в зависимости от мощности короткого замыкания сети (Psc, MBA).																																																				
	<table><tr><td>MBA</td><td>сеть</td><td>R (м)</td><td>X (м)</td></tr><tr><td>500</td><td>> 63 kV</td><td>0.04</td><td>0.35</td></tr><tr><td>250</td><td>> 24 кВ поблизости от электростанций</td><td>0.07</td><td>0.7</td></tr><tr><td>125</td><td>> 24 кВ на расстоянии от электростанций</td><td>0.14</td><td>1.4</td></tr></table>	MBA	сеть	R (м)	X (м)	500	> 63 kV	0.04	0.35	250	> 24 кВ поблизости от электростанций	0.07	0.7	125	> 24 кВ на расстоянии от электростанций	0.14	1.4																																				
	MBA	сеть	R (м)	X (м)																																																	
	500	> 63 kV	0.04	0.35																																																	
	250	> 24 кВ поблизости от электростанций	0.07	0.7																																																	
125	> 24 кВ на расстоянии от электростанций	0.14	1.4																																																		
Если известна мощность короткого замыкания (Psc),напряжение холостого хода Uo (400В перем. или 230В перем., 50 Гц), имеем:																																																					
<div>$R_{(m\Omega)} = 0.1 \times X_{(m)}$</div> <div>$X_{(m\Omega)} = \frac{3.3 \times U_0^2}{P_{cc} \text{ kVA}}$</div>																																																					
	Масляные трансформаторы с вторичными обмотками 400В Значения «R» и «X» в зависимости от мощности трансформатора.																																																				
	<table><tr><td>P (кВА)</td><td>50</td><td>100</td><td>160</td><td>200</td><td>250</td><td>400</td><td>630</td><td>1000</td><td>1250</td><td>1600</td><td>2000</td><td>2500</td></tr><tr><td>Isc3 (кА)</td><td>1.80</td><td>3.60</td><td>5.76</td><td>7.20</td><td>9.00</td><td>14.43</td><td>22.68</td><td>24.01</td><td>30.03</td><td>38.44</td><td>48.04</td><td>60.07</td></tr><tr><td>R (mΩ)</td><td>43.7</td><td>21.9</td><td>13.7</td><td>10.9</td><td>8.7</td><td>5.5</td><td>3.5</td><td>3.3</td><td>2.6</td><td>2.0</td><td>1.6</td><td>1.31</td></tr><tr><td>X (mΩ)</td><td>134</td><td>67</td><td>41.9</td><td>33.5</td><td>26.8</td><td>16.8</td><td>10.6</td><td>10.0</td><td>8.0</td><td>6.3</td><td>5.0</td><td>4.01</td></tr></table>	P (кВА)	50	100	160	200	250	400	630	1000	1250	1600	2000	2500	Isc3 (кА)	1.80	3.60	5.76	7.20	9.00	14.43	22.68	24.01	30.03	38.44	48.04	60.07	R (mΩ)	43.7	21.9	13.7	10.9	8.7	5.5	3.5	3.3	2.6	2.0	1.6	1.31	X (mΩ)	134	67	41.9	33.5	26.8	16.8	10.6	10.0	8.0	6.3	5.0	4.01
	P (кВА)	50	100	160	200	250	400	630	1000	1250	1600	2000	2500																																								
	Isc3 (кА)	1.80	3.60	5.76	7.20	9.00	14.43	22.68	24.01	30.03	38.44	48.04	60.07																																								
	R (mΩ)	43.7	21.9	13.7	10.9	8.7	5.5	3.5	3.3	2.6	2.0	1.6	1.31																																								
X (mΩ)	134	67	41.9	33.5	26.8	16.8	10.6	10.0	8.0	6.3	5.0	4.01																																									
Проводники																																																					
<div>$R_{(m)} = \frac{\rho \times l_{(m)}}{S_{(mm^2)}}$</div> <div>$\rho = \frac{m\Omega \times mm^2}{m}$</div>																																																					
<table><tr><td></td><td colspan="3">RESISTIVITY ρ [10⁻⁶ mΩ.m]</td></tr><tr><td></td><td>макс. I_{sc}</td><td colspan="2">мин. I_{sc}</td></tr><tr><td></td><td></td><td>Предохранители</td><td>Защита выключателем</td></tr><tr><td>Медь</td><td>18.51</td><td>28</td><td>23</td></tr><tr><td>Алюминий</td><td>29.4</td><td>44</td><td>37</td></tr></table>		RESISTIVITY ρ [10⁻⁶ mΩ.m]				макс. I _{sc}	мин. I _{sc}				Предохранители	Защита выключателем	Медь	18.51	28	23	Алюминий	29.4	44	37																																	
	RESISTIVITY ρ [10⁻⁶ mΩ.m]																																																				
	макс. I _{sc}	мин. I _{sc}																																																			
		Предохранители	Защита выключателем																																																		
Медь	18.51	28	23																																																		
Алюминий	29.4	44	37																																																		
<div>$X_{(m\Omega)} = 0.08 \times I_{(m)} \text{ (трехжильные кабели)}^{(1)}$</div> <div>$X_{(m\Omega)} = 0.13 \times I_{(m)} \text{ (одножильные кабели)}^{(1)}$</div> <div>$X_{(m\Omega)} = 0.09 \times I_{(m)} \text{ (отдельные кабельные жилы)}^{(1)}$</div>																																																					
<div>$X_{(m\Omega)} = 0.15 \times I_{(m)} \text{ (шины)}^{(1)}$</div>																																																					
(1) медь и алюминий.																																																					
	Защитное устройство в замкнутом положении																																																				
	$R = 0 \text{ и } X = 0.15 \text{ m}\Omega$																																																				

Расчет тока I_{sc} для низковольтной установки (продолжение)




Метод полного сопротивления (продолжение)

Расчет тока I_{sc} (продолжение)

ρ медь = 18.51

ρ алюминий = 29.4

$U_0 = 230V$

				ФАЗЫ		НЕЙТРАЛЬ		ЗАЩИТА	
				R	X	R	X	R	X
Сеть:	250 MVA	$R = 0.07 \text{ m}\Omega$	$X = 0.7 \text{ m}\Omega$	0.07	0.7				
Трансформатор да 630 кВА		$R = 3.5 \text{ m}\Omega$	$X = 10.6 \text{ m}\Omega$	3.5	10.6				
Кабель: алюминиевый									
Ph: $l = 10 \text{ м}$ $4 \times 240 \text{ мм}$		$Ph: R = \frac{29.4 \times 10}{240 \times 4} = 0.306 \text{ m}\Omega$	$X = \frac{0.13 \times 10}{4} = 0.325 \text{ m}\Omega$	0.306	0.325				
N: $l = 10 \text{ м}$ $2 \times 240 \text{ мм}$		$N: R = \frac{29.4 \times 10}{240 \times 2} = 0.612 \text{ m}\Omega$	$X = \frac{0.13 \times 10}{2} = 0.65 \text{ m}\Omega$			0.612	0.65		
PE: $l = 12 \text{ м}$ $1 \times 240 \text{ мм}$		$PE: R = \frac{29.4 \times 12}{240} = 1.47 \text{ m}\Omega$	$X = 0.13 \times 12 = 1.56 \text{ m}\Omega$					1.47	1.56
Защитное устройство	(защита трансформатора)		$X = 0.15 \text{ m}\Omega$		0.15				
	Промежуточная сумма: «вход» уровня TGBT			3.87	11.77	0.612	0.65	1.47	1.56
Медные шины $l = 3 \text{ м}$									
Ph: $2 \times 100 \times 5$		$Ph: R = \frac{18.51 \times 3}{2 \times 100 \times 5} = 0.055 \text{ m}\Omega$	$X = 0.15 \times 3 = 0.45 \text{ m}\Omega$	0.055	0.45				
N: $1 \times 100 \times 5$		$N: R = \frac{18.51 \times 3}{1 \times 100 \times 5} = 0.11 \text{ m}\Omega$	$X = 0.15 \times 3 = 0.45 \text{ m}\Omega$			0.11	0.45		
PE: $1 \times 40 \times 5$		$PE: R = \frac{18.51 \times 3}{40 \times 5} = 0.277 \text{ m}\Omega$	$X = 0.15 \times 3 = 0.45 \text{ m}\Omega$					0.277	0.45
Итого на уровне шин:				3.925	12.22	0.722	1.1	1.75	2.01

На входе TGBT

- Полное сопротивление трехфазного контура:

$$Z_3 = \sqrt{R_{ph}^2 + X_{ph}^2} = \sqrt{(3.87)^2 + (11.77)^2} = 12.39 \text{ m}\Omega$$

$$I_{sc3} \text{ макс.} = \frac{1.1 \times 230 \text{ V}}{12.39 \text{ m}\Omega} = 20.5 \text{ кА}$$

$$I_{sc2} \text{ макс.} = 0.86 \times 20.5 \text{ кА} = 17.6 \text{ кА}$$

- Полное сопротивление однофазного контура:

$$Z_1 = \sqrt{(R_{ph} + R_n)^2 + (X_{ph} + X_n)^2}$$

$$Z_1 = \sqrt{(3.87 + 0.612)^2 + (11.77 + 0.65)^2} = 13.2 \text{ m}\Omega$$

$$I_{c1} = \frac{1.1 \times 230 \text{ V}}{13.2 \text{ m}\Omega} = 19.2 \text{ кА}$$

На шинном входе

- Полное сопротивление трехфазного контура:

$$Z_3 = \sqrt{R_{ph}^2 + X_{ph}^2} = \sqrt{(3.925)^2 + (12.22)^2} = 12.8 \text{ m}\Omega$$

$$I'_{sc3} \text{ макс.} = \frac{1.1 \times 230 \text{ V}}{12.8 \text{ m}\Omega} = 19.8 \text{ кА}$$

$$I'_{sc2} \text{ макс.} = 0.86 \times 19.8 \text{ кА} = 17 \text{ кА}$$

$$\frac{R}{X} = \frac{3.925}{12.22} = 0.32 \text{ в соответствии с рис. 1 стр. D.21, } k = 1.4$$

$$I'_{sc3} \text{ peak} = 19.8 \times \sqrt{2} \times 1.4 = 39.2 \text{ кА}$$

Это пиковое значение 39.7 кА необходимо для определения динамического сопротивления шин и части оборудования.

- Полное сопротивление однофазного контура.

$$Z_1 = \sqrt{(R_{ph} + R_n)^2 + (X_{ph} + X_n)^2} = \sqrt{(3.925 + 0.722)^2 + (12.22 + 1.1)^2} = 14.1 \text{ m}\Omega$$

$$I'_{sc1} = \frac{1.1 \times 230 \text{ V}}{14.1 \text{ m}\Omega} = 18 \text{ кА}$$

- Полное сопротивление однофазного контура фаза/защита:

$$Z_1 = \sqrt{(4.11 + 2.62)^2 + (12.22 + 1.1)^2} = 14.92 \text{ m}\Omega$$

$$I_{sc1} \text{ мин.} = \frac{230 \text{ V}}{14.3 \text{ m}\Omega} = 16 \text{ кА} \quad I_{sc1} \text{ мин.} = \frac{230 \text{ V}}{14.92 \text{ m}\Omega} = 15.4 \text{ кА}$$

Пример вычисления минимального I_{sc}

Вычисление минимального I_{sc} аналогично предыдущему расчету, если заменить удельное сопротивление меди и алюминия на:

ρ медь = 28 ρ алю. = 44

- Полное сопротивление однофазного контура фаза/нейтраль:

$$Z_1 = \sqrt{(4.11 + 1.085)^2 + (12.22 + 1.1)^2} = 14.3 \text{ m}\Omega$$

► Быстрый метод

Поступаем следующим образом. В первой (для медных проводников) или третьей (для алюминиевых проводников) части таблицы выберите строку со значением сечения фазного провода. В горизонтальной строке таблицы найдите значение, находящееся под

Пример: I_{sc} предшествующего участка = 20кА, система соединений: 3 х 35 мм² (медь), длина 17 м. В строке со значением 35 мм², длина проводника, меньшая меньше 17 м, составляет 15 м. Точка пересечения колонки с 15м и строки с 20 кА дает $I_{sc} = 11$ кА.

Длина электропроводки (м)

[illegible]

I_{sc} в выбранной точке (кА)

100	93.5	91.1	87.9	83.7	78.4	71.9	64.4	56.1	47.5	39.01	31.2	24.2	18.5	13.8	10.2	7.4	5.4	3.8	2.8	2.0	1.4	1.0	
	90	82.7	82.7	80.1	76.5	72.1	66.6	60.1	52.8	45.1	37.4	30.1	23.6	18.1	13.6	10.1	7.3	5.3	3.8	2.7	2.0	1.4	1.0
	80	74.2	74.2	72.0	69.2	65.5	61.0	55.5	49.2	42.5	35.6	28.9	22.9	17.6	13.3	9.9	7.3	5.3	3.8	2.7	2.0	1.4	1.0
	70	65.5	65.5	63.8	61.6	58.7	55.0	50.5	45.3	39.5	33.4	27.5	22.0	17.1	13.0	9.7	7.2	5.2	3.8	2.7	1.9	1.4	1.0
	60	56.7	56.7	55.4	53.7	51.5	48.6	45.1	40.9	36.1	31.0	25.8	20.9	16.4	12.6	9.5	7.1	5.2	3.8	2.7	1.9	1.4	1.0
	50	47.7	47.7	46.8	45.6	43.9	41.8	39.2	36.0	32.2	28.1	23.8	19.5	15.6	12.1	9.2	6.9	5.1	3.7	2.7	1.9	1.4	1.0
	40	38.5	38.5	37.9	37.1	36.0	34.6	32.8	30.5	27.7	24.6	21.2	17.8	14.5	11.4	8.8	6.7	5.0	3.6	2.6	1.9	1.4	1.0
	35	33.8	33.8	33.4	32.8	31.9	30.8	29.3	27.5	25.2	22.6	19.7	16.7	13.7	11.0	8.5	6.5	4.9	3.6	2.6	1.9	1.4	1.0
	30	29.1	29.1	28.8	28.3	27.7	26.9	25.7	24.3	22.5	20.4	18.0	15.5	12.9	10.4	8.2	6.3	4.8	3.5	2.6	1.9	1.4	1.0
	25	24.4	24.4	24.2	23.8	23.4	22.8	22.0	20.9	19.6	18.0	16.1	14.0	11.9	9.8	7.8	6.1	4.6	3.4	2.5	1.9	1.3	1.0
	20	19.6	19.6	19.5	19.2	19.0	18.6	18.0	17.3	16.4	15.2	13.9	12.3	10.6	8.9	7.2	5.7	4.4	3.3	2.5	1.8	1.3	1.0
	15	14.8	14.8	14.7	14.6	14.4	14.2	13.9	13.4	12.9	12.2	11.3	10.2	9.0	7.7	6.4	5.2	4.1	3.2	2.4	1.8	1.3	0.9
	10	9.9	9.9	9.9	9.8	9.7	9.6	9.5	9.3	9.0	8.6	8.2	7.6	6.9	6.2	5.3	4.4	3.6	2.9	2.2	1.7	1.2	0.9
	7	7.0	7.0	6.9	6.9	6.9	6.8	6.7	6.6	6.5	6.3	6.1	5.7	5.3	4.9	4.3	3.7	3.1	2.5	2.0	1.6	1.2	0.9
	5	5.0	5.0	5.0	5.0	4.9	4.9	4.9	4.8	4.7	4.6	4.5	4.3	4.1	3.8	3.5	3.1	2.7	2.2	1.8	1.4	1.1	0.8
4	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	3.9	3.9	3.9	3.8	3.8	3.7	3.6	3.4	3.2	3.0	2.7	2.3	2.0	1.7	1.3	1.0	0.8	
3	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	2.9	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.2	2.0	1.7	1.5	1.2	1.0	0.8	
2	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8	1.7	1.6	1.5	1.3	1.2	1.0	0.8	0.7	
1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5	

Длина электропроводки (м)

[illegible]

Защита систем электропроводки

Токи короткого замыкания приводят к повышению температуры проводников. Во избежание повреждения или разрушения изоляции кабеля (которое, в свою очередь, может привести к неисправности) или опор для шин, необходимо использовать проводники со следующими указанными минимальными размерами сечений.

Шины

Термическое воздействие короткого замыкания на шины вызвано повышением температуры проводника. Данное повышение температуры должно быть совместимо с характеристиками опор для шин.

Пример: для опоры шин SOCOMEC (с температурой шины в 80 °C до короткого замыкания).

$$S_{\text{мин.}} (\text{мм}^2) = 1000 \times \frac{I_{\text{sc}} (\text{kA})}{70} \times \sqrt{t} (\text{s})$$

$S_{\text{мин.}}$: минимальное значение поперечного сечения фазы,

I_{sc} : действующий ток короткого замыкания,

t : время выключения для защитного устройства.

См. также расчеты для шины на [стр. D.73](#).

Изолированные проводники

Минимальное значение поперечного сечения устанавливают следующим образом:

$$S_{\text{мин.}} (\text{мм}^2) = 1000 \times \frac{I_{\text{sc}} (\text{kA})}{k} \times \sqrt{t} (\text{s})$$

I_{sc} : минимальный действующий ток короткого замыкания (кА) ([стр. D.20](#)),

t : время срабатывания защитного устройства (сек.),

k : константа, характеризующая тип изоляции (см. таблицу В).

Таблица В. Коэффициент k_{sc} (IEC 60364)

ВРЕМЯ ОТКЛЮЧЕНИЯ В м/сек	ДЛЯ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ТОКА КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ 1 КА						
	МИНИМАЛЬНОЕ ПОПЕРЕЧНОЕ СЕЧ. МЕДНОГО ПРОВОДНИКА ПОД НАПРЯЖ.		МИНИМАЛЬНОЕ ПОПЕРЕЧНОЕ СЕЧЕНИЕ МЕДНОГО ЗАЩИТНОГО ПРОВОДНИКА				
	ИЗОЛЯЦИЯ ПВХ	ПРОПИЛЕНОВЫЙ ЭТИЛЕНПРОПИЛЕН. КАУЧУК	ПРОВОДНИКИ В СОСТАВЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДКИ		ПРОВОДНИКИ В СОСТАВЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДКИ		
			ПВХ	ПОЛИПР. КАУЧУК	ПВХ	ПОЛИПР. КАУЧУК	БЕЗ ИЗОЛЯЦИИ
5	0.62	0.50	0.62	0.50	0.50	0.40	0.45
10	0.87	0.70	0.87	0.70	0.70	0.57	0.63
15	1.06	0.86	1.06	0.86	0.86	0.70	0.77
25	1.37	1.10	1.37	1.10	1.10	0.89	0.99
35	1.63	1.31	1.63	1.31	1.31	1.06	1.18
50	1.94	1.58	1.94	1.56	1.56	1.27	1.40
60	2.13	1.72	2.13	1.72	1.72	1.40	1.54
75	2.38	1.89	2.38	1.89	1.89	1.54	1.72
100	2.75	2.21	2.75	2.21	2.21	1.79	1.99
125	3.07	2.47	3.07	2.47	2.47	2.00	2.22
150	3.37	2.71	3.37	2.71	2.71	2.20	2.44
175	3.64	2.93	3.64	2.93	2.93	2.38	2.63
200	3.89	3.13	3.89	3.13	3.13	2.54	2.81
250	4.35	3.50	4.35	3.50	3.50	2.84	3.15
300	4.76	3.83	4.76	3.83	3.83	3.11	3.44
400	5.50	4.42	5.50	4.42	4.42	3.59	3.98
500	6.15	4.95	6.15	4.95	4.95	4.02	4.45
1000	8.70	6.99	8.70	6.99	6.99	5.68	6.29

Для алюминиевых проводников необходимо умножить указанные в таблице значения на 1,5.

Изолированные проводники (продолжение)

Таблица В. Константа k (IEC 60364)

	ИЗОЛЯЦИЯ	Проводники	
		Медь	АЛЮМИНИЙ
Провода под напряжением или защитные провода, которые являются частью	Резина	115	76
	Бутил-каучук	143	94
Защитные провода, которые являются частью системы электропроводки	Резина	143	95
	Бутил-каучук	176	116
	Без изол. ⁽¹⁾	159 ⁽¹⁾ 138 ⁽²⁾	105 ⁽¹⁾ 91 ⁽²⁾

1) Помещение без риска возникновения пожара;

2) Помещение с риском возникновения пожара.

Чтобы не заниматься вычислениями, пожалуйста, обратитесь к таблице А, в которой приведен коэффициент, на который необходимо умножить ток короткого замыкания, чтобы получить величину минимального поперечного сечения.

$$\text{Section mini. (мм}^2\text{)} = k_{\text{sc}} \times I_{\text{sc mini.}} (\text{kA})$$

Пример:

Для медного провода с изоляцией ПВХ, защищенного при помощи DIRIS CP настроенного на $t_s = 100$ мс, минимальный ток $I_{\text{sc}} = 22$ кА. Это дает $k_{\text{sc}} = 2,75$ для проводов под напряжением в таблице А. Для активных проводников минимальное сечение: $S = 2,75 \times 22 = 60 \text{ мм}^2$. Следует выбрать сечение 70 мм^2 .

Для такого же алюминиевого проводника минимальное поперечное сечение должно составлять 60 $\text{мм}^2 \times 1,5 = 90 \text{ мм}^2$.

Максимальная длина проводника

После определения минимальной длины проводника необходимо убедиться, что время срабатывания защитного устройства, установленного на входе, соответствует максимальной допустимой температуре для проводников.

Для этого минимальный ток короткого замыкания должен быть достаточным для того, чтобы сработало защитное устройство. Длина проводника должна находиться в пределах, указанных в таблицах А и В ([стр. D.26](#)).

Ток короткого замыкания

Защита электропроводки предохранителями

Максимальная длина проводников, защищенных предохранителями

В таблицах А и В указана максимальная длина для следующих условий:

- трехфазная цепь 230/400В,
- минимальный ток короткого замыкания,
- для контактного провода сечение нейтрали = сечение фазного провода,

- медные проводники.

Данные таблицы действительны для любого типа изоляции кабеля (ПВХ, пропиленовый и этиленпропиленовый каучук).

Если даны два значения, первое относится к кабелям ПВХ, а второе – к кабелям с пропиленовым и этиленпропиленовым каучуком.

Для трехфазных сетей напряжением 230В /400В с распределенной нейтралью или для однофазных сетей 230В длину нужно умножить на соответствующий коэффициент из таблицы С.

Для алюминиевого кабеля: умножить длину из таблицы на 0.41.

Таблица А. Максимальные длины кабелей, защищенных предохранителями **gG** (м).

HP C S (mm²)	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250
1.5	82	59/61	38/47	18/22	13/16	6/7														
2.5		102	82	49/56	35/43	16/20	12/15	5/7												
4			131	89	76	42/52	31/39	14/17	8/10	4/5										
6				134	113	78	67/74	31/39	18/23	10/12	7/9									
10					189	129	112	74	51/57	27/34	19/24	9/12	7/9	3/4						
16							179	119	91	67	49/56	24/30	18/23	9/11	5/7	3/4				
25								186	143	104	88	59/61	45/53	22/27	13/16	7/9	4/5			
35									200	146	123	86	75	43/52	25/36	14/18	8/11	4/5		
50										198	167	117	101	71	45/74	26/33	16/22	8/11	5/7	
70											246	172	150	104	80	57/60	34/42	17/22	11/14	
95												233	203	141	109	82	62	32/40	20/25	9/11
120													256	179	137	103	80	51/57	32/40	14/18
150														272	190	145	110	85	61	42/48
185															220	169	127	98	70	56
240																205	155	119	85	68

Таблица В. Максимальные длины кабелей, защищенных предохранителями **aM** (м).

HP C S (mm²)	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250
1.5	28/33	19/23	13/15	8/10	6/7															
2.5	67	47/54	32/38	20/24	14/16	9/11	6/7													
4	108	86	69	47/54	32/38	22/25	14/17	9/11	6/7											
6	161	129	104	81	65/66	45/52	29/34	19/23	13/15	9/10	6/7									
10				135	108	88	68	47/54	32/38	21/25	14/16	9/11	6/7							
16						140	109	86	69	49/55	32/38	21/25	14/17	9/11						
25								135	108	86	67	47/54	32/38	21/25	14/16	9/11				
35									151	121	94	75	58/60	38/45	25/30	17/20	11/13	7/9		
50										128	102	82	65	43/51	29/36	19/24	13/15	8/10		
70											151	121	96	75	58/60	38/45	25/30	17/20	11/13	
95												205	164	130	102	82	65	43/51	29/34	19/23
120														164	129	104	82	65	44/52	29/35
150															138	110	88	69	55	37/44
185																128	102	80	64	51
240																	123	97	78	62

Таблица С. Корректирующие коэффициенты для других сетей.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ	КОЭФФИЦИЕНТ
Сечение нейтрали = 0,5 x сеч. фазного провода	0.67 ⁽¹⁾
Цепь без нейтрали	1.73

(1) Расчет в таблице указан с использованием сечения фазного провода.

Прямые и не прямые контакты с электротоком

Защита от прямого контакта

► Определение

Прямой контакт – это контакт человека с активными компонентами (фаза, нейтраль), находящимися под напряжением (шины, клеммы и т.п.), который приводит к поражению электрическим током.

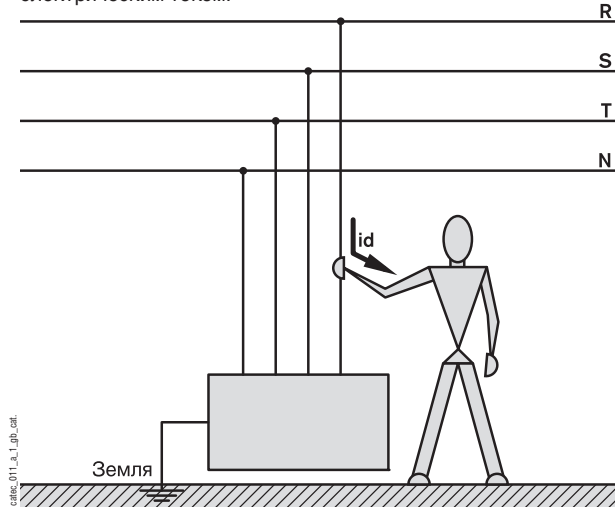


Рис. 1. Прямой контакт с электротоком.

► Меры предупреждения

Защита от прямого контакта достигается применением следующих мер:

- расположение проводников в недоступных местах, отделяя их защитными устройствами или помещая их вне досягаемости;
- изолирование проводников, находящихся под напряжением,
- использование барьеров и защитных корпусов: минимальный уровень защиты корпуса для компонентов, находящихся под напряжением, должен соответствовать IP 2x или xxV.

Вскрытие корпуса должно производиться только одним из следующих способов:

- с помощью ключа или другого инструмента,
- после отключения активных компонентов,
- если внутри ограждения есть второй барьер со степенью защиты IP > 2x или xxV (см. определение IP на стр. D.11),
- с использованием устройства остаточного дифференциального тока 30 мА. Данная мера является приемлемой дополнительной мерой защиты в случае отказа другого защитного механизма,
- использование сверхнизкого напряжения.

► Использование сверхнизкого напряжения

Применение сверхнизкого напряжения (см. определение на стр. D.6) обеспечивает защиту как от прямого, так и от непрямого контакта.

Различают следующие типы ELV:

• SELV

Security Extra-Low Voltage – безопасное сверхнизкое напряжение. Должно обладать следующими характеристиками:

- вырабатывается определенными источниками, такими как защитные трансформаторы, инвертеры, аккумуляторы, генераторные установки и т.п.;

- является абсолютно независимым от элементов, подверженных разнице потенциалов (заземление другой установки, другая цепь и т.д.).

• PELV

Protection Extra-Low Voltage – защитное сверхнизкое напряжение. Идентично SELV, однако имеет подключенное заземление для обеспечения работы устройств (электроника, вычислительные устройства и т.д.). Использование PELV имеет некоторые ограничения в использовании по сравнению с SELV. Они касаются защиты от непрямого контакта.

• FELV

Functional Extra-Low Voltage – функциональное сверхнизкое напряжение. Относится ко всем другим применениям ELV.

Не обеспечивает защиту от прямого и непрямого контакта.

► Дополнительная защита от прямого контакта

Вне зависимости от нагрузки нейтрали обеспечивается защита от прямого контакта, в частности, путем использования высокочувствительного устройства остаточного дифференциального тока RCD 30 (\leq мА).

Стандарты IEC 60364 и IEC 60364 требуют, в частности, использования таких устройств в следующих случаях:

- цепи, питающие 32 штепсельные розетки \leq А,
- временные установки, мобильные установки,
- установки, смонтированные на рабочих площадках,
- ванные комнаты, бассейны,
- дома-фургоны, прогулочные катера,
- системы энергоснабжения транспорта,
- сельскохозяйственные и садоводческие учреждения,
- нагревательные кабели или покрытия, встроенные в стены или полы зданий.

Эти дополнительные средства защиты теряют свою эффективность в соответствии со стандартом IEC 60479 в следующих случаях: риск контакта с напряжением, достигающим 500В; риск прохождения через тело человека опасного тока мощностью более 500 мА.

Прямые и не прямые контакты

Защита от непрямого контакта с электротоком

Определение

Непрямой контакт – это контакт человека с проводниками, возникновение напряжения в которых является случайным и возникает вследствие неполадок с изоляцией.

Защита от непрямого контакта может быть реализована:

- без автоматического отключения от источника питания,
- с автоматическим отключением от источника питания.

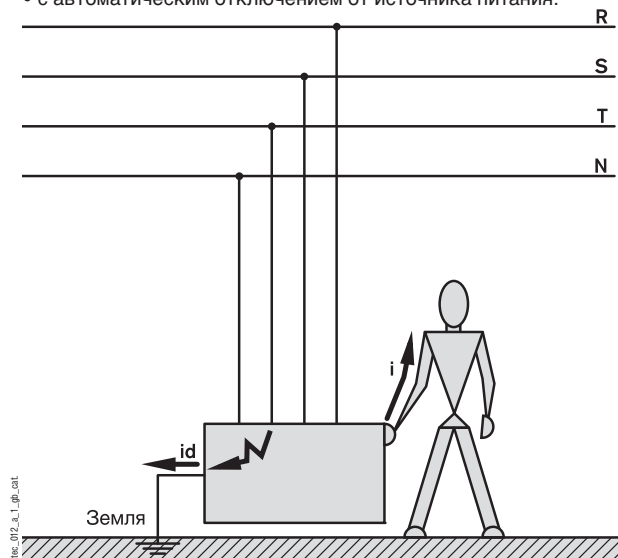


Рис. 1. Непрямой контакт.

Защита без автоматического отключения питания

Защита от непрямого контакта без автоматического отключения питания может обеспечиваться с помощью:

- использования ELV (сверхнизкого напряжения) (см. стр. D.27),
- разделения корпусов таким образом, чтобы не допустить одновременного контакта с двумя корпусами,
- двойной или усиленной изоляции (класс II),
- эквипотенциального соединения всех одновременно доступных корпусов без их заземления,
- гальванической изоляции (с помощью трансформатора, применимо к цепям <500В).

Защита с автоматическим отключением питания

Защита от непрямого контакта, реализуемая с автоматическим отключением от источника питания, состоит в отключении от электропитания цепей или материалов, в которых произошел пробой изоляции между силовой частью и корпусом. Для предотвращения опасных последствий для персонала, контактирующего с неисправной изоляцией, контактное напряжение U_c ограничивается предельным значением U_L .

Это предельное значение определяется, принимая во внимание:

- допустимый для человеческого организма ток I_L ,
- время протекания тока (см. рис.1 на стр. D.30),
- режим заземления установки,
- характеристики установки.

ПРЕДПОЛАГАЕМОЕ КОНТАКТНОЕ НАПРЯЖ. (В)	МАКСИМАЛЬНОЕ ВРЕМЯ ОТКЛЮЧЕНИЯ ДЛЯ ЗАЩИТНОГО УСТРОЙСТВА (СЕК)
	$U_L = 50В$
25	5
50	5
75	0.60
90	0.45
110	-
120	0.34
150	0.27
220	0.17
230	-
280	0.12
350	0.08
500	0.04

Отключение данной установки производится по-разному в зависимости от режима нейтрали.

Стандарт IEC 364 предусматривает максимальное время отключения устройства в нормальных ($U_L = 50В$) и влажных ($U_L = 25В$) условиях, (U_L – это максимальное напряжение при контакте, которое может выдерживать человек без опасности для здоровья, см. таблицу выше).

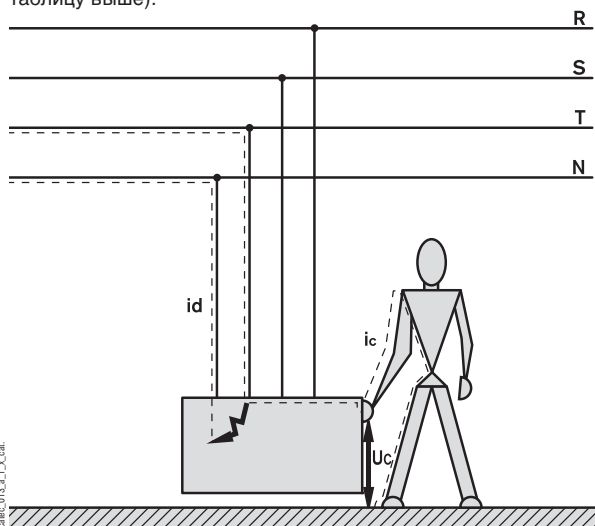


Рис. 2. Предельное значение контактного напряжения U_L .

Защита от непрямого контакта с электротоком (продолжение)

Защита с автоматическим отключением питания (продолжение)

• Режим ТТ

При использовании режима заземления нейтрали ТТ защита осуществляется дифференциальными устройствами. В этом случае сечение и длина проводника во внимание не принимаются. Убедитесь, что цепь заземления соответствует следующей формуле:

$$R_T < \frac{U_L}{I_{\Delta n}}$$

U_L : предельное напряжение;
 $I_{\Delta n}$: ток настройки
дифференциального
устройства.

Пример: при возникновении неисправности контактное напряжение должно быть ограничено пределом $U_L = 50V$.

Дифференциальное устройство настроено на $I_{\Delta n} = 500 \text{ mA} = 0,5A$.

Сопротивление заземления не должно превышать:

$$R_{T \text{ max}} = \frac{50V}{0,5A} = 100 \Omega$$

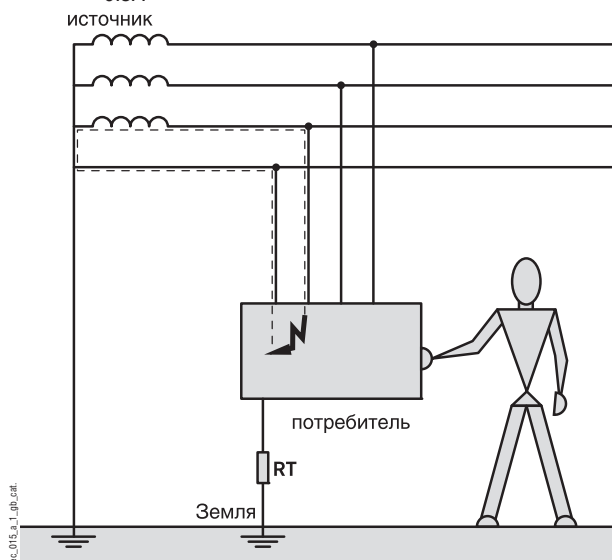


Рис. 1. Ток повреждения для системы ТТ.

• Режимы TN и IT

Введение:

Если сеть не защищена дифференциальным устройством, то необходимо обеспечить правильное соответствие между защитным устройством и выбранным проводником. В самом деле, если полное сопротивление проводника слишком высоко, то существует риск воздействия ограниченного тока повреждения на защитное устройство в течение более длительного периода времени, чем предусмотрено стандартом IEC 364.

Как следствие, итоговый ток может представлять собой опасность при контакте.

Для ограничения полного сопротивления контура, следует ограничивать длину проводника для данной секции.

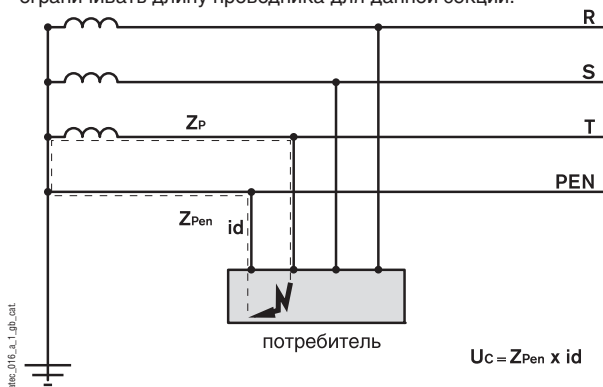


Рис. 2. Ток повреждения для системы TN.

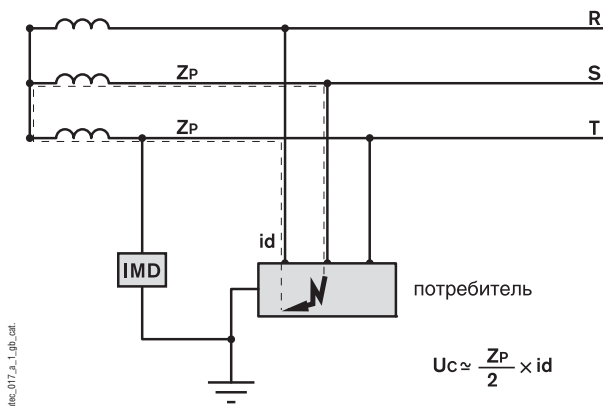


Рис. 3. Ток повреждения для системы IT.

Примечание: защита от превышения тока эффективна только в случае глухого короткого замыкания.

Дифференциальные устройства RESYS или DLRD 470, используемые в качестве приборов предварительного оповещения, являются эффективным способом предотвращения падения полного сопротивления и сдерживания опасных напряжений.

Прямые и не прямые контакты

Защита от не прямых контактов (продолжение)

► Защита с автоматическим отключением питания (продолжение)

• Режимы TN и IT (продолжение)

Максимальное время срабатывания

Во избежание попадания в зоны 3 и 4 (см. рис. ниже), стандарт IEC 364 определяет максимальное время срабатывания в соответствии с электрической сетью и пределом напряжения:

- 50В для сухих помещений,
- 25 В для влажных помещений, жилых помещений, животноводческих построек и т.п.

Табл. А. Максимальное время срабатывания защитного устройства, сек.

НОМИН. НАПРЯЖ. ▼	НАГРУЗКА ► U_L	TN	IT БЕЗ НЕЙТРАЛИ	IT С НЕЙТРАЛЬЮ
230/400		0.4	0.4	0.8
400/690		0.2	0.2	0.4

Особые случаи

Для системы TN время срабатывания может быть больше значений, указанных в табл. А (однако в любом случае менее 5 сек.) в следующих случаях:

- цепь не является оконечной и не питает мобильных или портативных нагрузок,
- цепь не питает оборудование или токовые разъемы,
- выполняется одно из следующих двух условий:
 - основное эквипотенциальное соединение дублируется идентичным эквипотенциальным соединением,
 - сопротивление защитного проводника R_{pe} соответствует формуле:

$$R_{pe} < \frac{50}{U_o} \times (R_{pe} + Z_a)$$

U_o : напряжение сети между фазой и нейтралью;

Z_a : полное сопротивление, включая источник и запитанный проводник вплоть до точки неисправности.

Максимальная длина проводника

Методом приблизительного расчета можно определить предельную длину проводника, применимую для установок, оснащенных трансформатором «звезда-треугольник» или «зигзаг».

$$L (m) = K \frac{U_o \times S}{(1 + m) I_d}$$

U_o : напряжение между фазой и нейтралью (230В в сети 230/400),

S : сечение фазового проводника (mm^2) для систем TN и IT без нейтрали.

$m = \frac{S}{S_{pe}}$ S_{pe} : сечение провода PE или PEN,

I_d : ток повреждения (А).

Защита с помощью предохранителей: значение тока, достигаемое за время плавления, равно времени размыкания защитного устройства (максимальные значения длины представлены в табл. В на стр. D.26).

K : переменная, зависящая от режима нагрузки нейтрали и проводника (см. табл. В).

Таблица В. Значения переменной K .

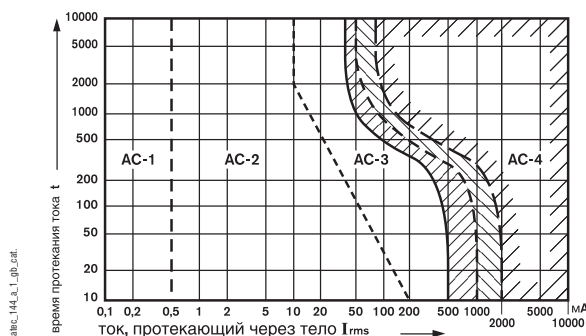
СХЕМА ПРОВОДНИК ▼		TN	IT
		БЕЗ НЕЙТРАЛИ	С НЕЙТРАЛЬЮ
медный	34.7	30	17.3
алюминиевый	21.6	18.7	11

Для кабелей с сечением менее $120 mm^2$ реактивным сопротивлением можно пренебречь. В противном случае, сопротивление должно быть увеличено на :

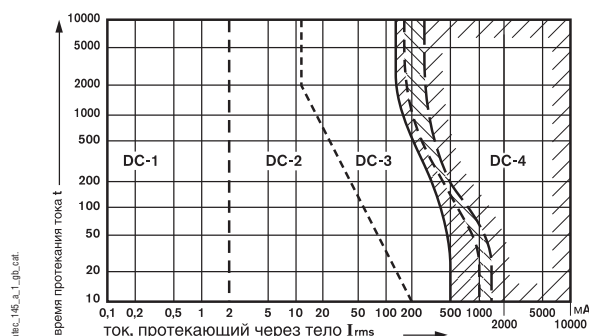
- 15% для сечения $150 mm^2$,
- 20% для сечения $185 mm^2$,
- 25% для сечения $240 mm^2$,
- 30% для сечения $300 mm^2$.

Если сечение кабеля больше, чем указанные выше значения, то для точного расчета полного сопротивления следует использовать коэффициент $X=0,08 mOm/m$.

► Действие электрического тока на организм человека



Ток, протекающий через тело человека, путем патофизиологического воздействия оказывает влияние на функции кровообращения и дыхания и может привести к летальному исходу или серьезным ожогам (при высоких значениях тока).



Зоны от -1 до -4 соответствуют разным уровням воздействия на человека:

- AC/DC-1: невосприятие,
- AC/DC-2: восприятие,
- AC/DC-3: обратимое воздействие, мышечные сокращения,
- AC/DC-4: возможно необратимое воздействие.

Защита от непрямого контакта с помощью предохранителей

Максимальная длина проводников, защищаемых предохранителями

Длина проводников, защищаемых от непрямого контакта, должна быть ограничена.

В табл. В и С приведены значения максимальной длины медных проводников. Они были определены для следующих условий:

- сеть 230В/ 400В,
- режим нейтрали TN,
- максимальное контактное напряжение $U_L = 50В$.

Для других случаев, значения, приведенные в таблицах В и С, должны быть скорректированы на коэффициент А.

Таблица В. Максимальная длина (в метрах) проводников, защищенных предохранителями gG.

S (мм²)	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250
1.5	53	40	32	22	18	13	11	7	8	4	3									
2.5	88	66	53	36	31	21	18	12	9	7	6	4								
4	141	106	85	58	49	33	29	19	15	11	9	6	6	4						
6	212	159	127	87	73	50	43	29	22	16	14	10	8	6	4					
10	353	265	212	145	122	84	72	48	37	28	23	16	14	10	7	6	4			
16	566	424	339	231	196	134	116	77	59	43	36	25	22	15	12	9	7	5	4	
25	884	663	530	361	306	209	181	120	92	67	57	40	35	24	18	14	11	8	6	4
35		928	742	506	428	293	253	169	129	94	80	56	48	34	26	20	15	11	9	6
50				687	581	398	343	229	176	128	108	76	66	46	35	27	20	15	12	8
70					856	586	506	337	259	189	159	11	97	67	52	39	30	22	17	11
95						795	687	458	351	256	216	151	131	92	70	53	41	29	23	16
120							868	578	444	323	273	191	166	116	89	67	62	37	23	20
150								615	472	343	290	203	178	123	94	71	54	39	31	21
185								714	547	399	336	235	205	145	110	82	64	46	36	24
240									666	485	409	286	249	173	133	100	77	55	44	29
300										566	477	334	290	202	155	117	90	65	51	34

Табл. С. Максимальная длина (в метрах) проводников, защищенных предохранителями aM.

S (мм²)	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250
1.5	28	23	18	14	11	9	7	6	5	4										
2.5	47	38	30	24	19	15	12	9	8	6	5									
4	75	60	48	38	30	24	19	15	12	10	8		6	5	4					
6	113	90	72	57	45	36	29	23	18	14	11	9	7	6	5	4				
10	188	151	121	94	75	60	48	38	30	24	19	15	12	10	8	6	5	4		
16	301	241	193	151	121	96	77	60	48	39	30	24	19	15	12	10	8	6	5	4
25	470	377	302	236	188	151	120	94	75	60	47	38	30	24	19	16	12	9	8	6
35	658	527	422	330	264	211	167	132	105	84	66	53	42	33	26	21	17	13	11	8
50	891	714	572	447	357	285	227	179	144	115	90	72	57	46	36	29	23	18	14	11
70			845	660	527	422	335	264	211	169	132	105	84	67	53	42	33	26	21	17
95				895	716	572	454	358	286	229	179	143	115	91	72	57	45	36	29	23
120					904	723	574	462	362	289	226	181	145	115	90	72	57	45	36	29
150						794	630	496	397	317	248	198	159	126	99	79	63	50	40	32
185							744	586	469	375	293	234	188	149	117	94	74	59	47	38
240								730	584	467	365	292	234	185	146	117	93	73	58	47
300									702	562	439	351	281	223	175	140	11	88	70	56

Пример:

Цепь состоит из медного кабеля 3 x 6 мм² и защищена предохранителем 40А gG. Длина не должна быть более 73 м для обеспечения гарантии защиты от непрямого контакта для сети TN 230В / 400В.

- если кабель алюминиевый, максимальная длина составляет: $0,625 \times 73 \text{ м} = 45,6 \text{ м}$,
- для сетей IT с нейтралью и алюминиевым кабелем длина составляет: $0,625 \times 0,6 \times 73 \text{ м} = 22,8 \text{ м}$.

Прямые и не прямые контакты

Защита от непрямого контакта с помощью дифференциального реле

Режим TT

При данном режиме заземления дифференциальное реле является практически единственным способом защиты от непрямого контакта. Например, для предотвращения контакта с напряжением свыше 50В ток $I_{\Delta n}$ должен соответствовать формуле:

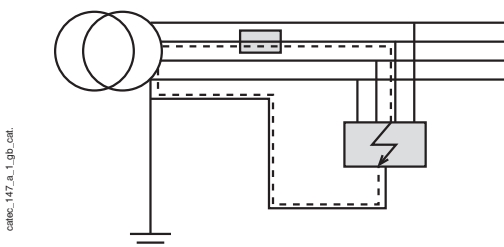
$$I_{\Delta n} \leq \frac{50}{R_p}$$

R_p : сопротивление заземления в Ω .

Если установка заземления особенно затруднена, и значения сопротивления превышают сотни Ом (возвышения, засушливые места и т.д.), выходом из ситуации является установка высококочувствительных устройств.

Режим TNS

При данном режиме заземления ток повреждения эквивалентен току короткого замыкания между фазой и нейтралью. Последний устраняется с помощью соответствующих устройств (предохранители, размыкатели и т.д.) в течение промежутка времени, достаточного для защиты от непрямого контакта. Если невозможно достичь требуемого времени срабатывания (слишком большая длина проводки, и, следовательно, недостаточное минимальное значение I_{sc} , слишком большое время реакции защитного устройства и т.п.), необходимо комбинировать защиту от превышения тока с установкой дифференциальной защиты. Такой вариант позволяет обеспечить защиту от непрямого контакта при практически любой длине проводников.

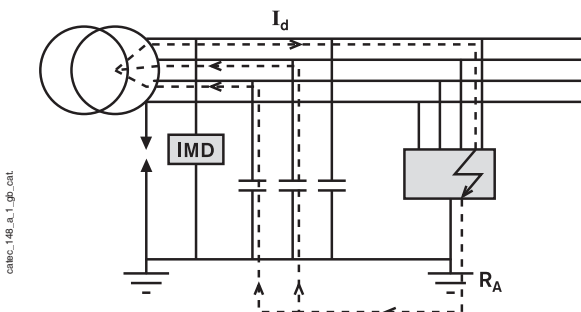


Режим IT

Обычно не требуется использование размыкателя сети при первой неисправности. Опасное контактное напряжение может возникнуть при второй неисправности, либо в том случае, когда корпуса подключены к несвязанным или удаленным друг от друга заземлителям (или же если доступные одновременно корпуса подключены к одному заземлению, полное сопротивление защитной цепи которого слишком высоко).

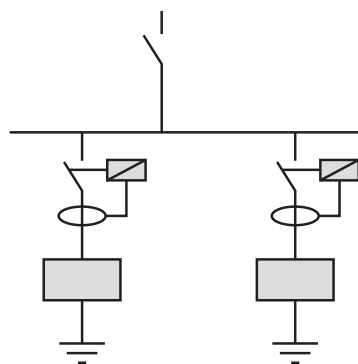
Исходя из этих соображений, для системы IT использование дифференциального устройства является обязательным:

- для устройств или установок, защитные сети или корпуса которых подключены к несвязанным заземлениям,
- для условий, описанных для нагрузки TNS (отключение при втором сбое не обеспечивается защитой от превышения тока, что недопустимо для данных условий безопасности).



Защита от непрямого контакта при подключении групп корпусов к независимым заземлениям

При режиме заземления нейтрали TT так же, как и при режиме IT, если корпуса электрооборудования подключены к отдельным заземлениям на выходе одного и того же источника питания, каждая группа корпусов должна быть защищена индивидуальным защитным устройством.



Высококочувствительная защита и разъемы для подключения компьютерного оборудования

Ток утечки компьютерного оборудования может быть довольно высоким, что представляет опасность для использования высококочувствительного дифференциального устройства.

В соответствии с предложением Министерства труда и Указом от 08/01/92, устанавливаются требуемые защитные меры для предотвращения прямого контакта; розетки $\leq 32A$, питающие стационарное или полустационарное оборудование класса I, которое не требует отключения питания при неисправности изоляции в соответствии с сервисными требованиями, могут не оснащаться высококочувствительными устройствами.

Руководитель организации самостоятельно принимает решение о целесообразности такой установки. Эти специальные розетки, не оснащенные высококочувствительной защитой, должны быть помечены во избежание их использования для других целей.

Защита от непрямого контакта с помощью дифференциального реле (продолжение)

Определения

Падение напряжения – это разница в напряжении между начальной точкой устройства и точкой подключения потребителя.

Для обеспечения корректной работы потребителя, стандарты IEC 60 364 и IEC 364 определяют максимальное падение напряжения (см. табл. А).

Таблица А. Максимальный перепад напряжения в соответствии с IEC 60 364.

	ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ	ДРУГИЕ ПОТРЕБИТЕЛИ
Низковольтное питание для сетей общего пользования		
• однофазные цепи	6%	10%
• трехфазные цепи	3%	5%
HV/LV питание		
• однофазные цепи	12%	16%
• трехфазные цепи	6%	8%

Расчет падения напряжения для кабеля длиной L

$$\Delta u = K_u \times I \text{ (Амперы)} \times L \text{ (км)}$$

Таблица В. Значения K_u .

СЕЧЕНИЕ КАБЕЛЯ, мм²	ПОСТ. ТОК	МНОГОЖИЛЬНЫЕ КАБЕЛИ ИЛИ ТРЕХЖИЛЬНЫЕ ОДНОЖИЛЬНЫЕ			ОДНОЖИЛЬНЫЙ СТЫКОВАННЫЙ КАБЕЛЬ В ПЛОСКОЙ УКЛАДКЕ			ОТДЕЛЬНЫЕ ОДНОЖИЛЬНЫЕ КАБЕЛИ		
		cos 0.3	cos 0.5	cos 0.8	cos 0.3	cos 0.5	cos 0.8	cos 0.3	cos 0.5	cos 0.8
1.5	30.67	4.68	7.74	12.31	4.69	7.74	12.32	4.72	7.78	12.34
2.5	18.40	2.84	4.67	7.41	85	4.68	7.41	2.88	4.71	7.44
4	11.50	1.80	2.94	4.65	1.81	2.95	4.65	1.85	2.99	4.68
6	7.67	1.23	1.99	3.11	1.24	1.99	3.12	1.27	2.03	3.14
10	4.60	0.77	1.22	1.89	0.78	1.23	1.89	0.81	1.26	1.92
16	2.88	0.51	0.79	1.20	0.52	0.80	1.20	0.55	0.83	1.23
25	1.84	0.35	0.53	0.78	0.36	0.54	0.78	0.40	0.57	0.81
35	1.31	0.27	0.40	0.57	0.28	0.41	0.58	0.32	0.44	0.60
50	0.92	0.21	0.30	0.42	0.22	0.31	0.42	0.26	0.34	0.45
70	0.66	0.17	0.23	0.31	0.18	0.24	0.32	0.22	0.28	0.34
95	0.48	0.15	0.19	0.24	0.16	0.20	0.25	0.20	0.23	0.27
120	0.38	0.13	0.17	0.20	0.14	0.17	0.21	0.18	0.21	0.23
150	0.31	0.12	0.15	0.17	0.13	0.15	0.18	0.17	0.19	0.20
185	0.25	0.11	0.13	0.15	0.12	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18
240	0.19	0.10	0.12	0.12	0.11	0.13	0.13	0.15	0.16	0.15
300	0.15	0.10	0.11	0.11	0.11	0.12	0.12	0.15	0.15	0.14
400	0.12	0.09	0.10	0.09	0.10	0.11	0.10	0.14	0.14	0.12

Однофазные цепи: значения умножаются на 2.

Пример

Двигатель 132 кВт потребляет ток 233А напряжением 400В. Питание производится с помощью 3 x 150 мм² медных одножильных кабелей длиной 200 м (0,2 км).

• При нормальных рабочих условиях,
 $\Delta u = 0,18 \times 233 \times 0,2 = 8,4 \text{ В}$ или 2,1% от 400В.

• При оперативном запуске
 $I_d = 5 I_n = 5 \times 233 \text{ А} = 1165 \text{ А};$
 $K_u = 0,13;$
 $\Delta u = 0,13 \times 1165 \times 0,2 = 20,3 \text{ В}$ или 7,6% от 400В.

Сечение кабеля достаточно для удовлетворения требованию по максимальному падению напряжения по стандарту IEC 60 364.

Примечание: данный расчет справедлив, если на 1 фазу приходится 1 кабель.

Если на фазу приходится n кабелей, разделите падение напряжение на значение n.

Коммутационные устройства

Стандарты IEC 947 -1 и IEC 947 -3

Определения

Выключатель (IEC 947 -3 и 2.1)



Механическое разъединительное устройство, предназначенное для:

- включения, проведения и отключения тока в нормальных условиях работы цепи (а), возможно наличие особых условий работы при перегрузке;
- проведения тока в аномальных условиях работы цепи – например при коротком замыкании определенной длительности (выключатель может иметь возможность создавать ток короткого замыкания, но не имеет возможности отключать его).

(а) Под нормальными условиями обычно понимается использование оборудования при температуре окружающей среды 40° С на протяжении 8 часов.

Разъединитель (IEC 947 -3 и 2.2)



«Механическое коммутационное устройство, которое в открытом состоянии отвечает требованиям к изоляции. Данное устройство может проводить ток как в нормальных условиях работы цепи, так и в аномальных на протяжении определенного промежутка времени.

Разъединитель предназначен для коммутации без нагрузки.

Выключатель-разъединитель (IEC 947 -3 § 2.3)



Выключатель, который в открытом положении соответствует определенным требованиям к выключателям-разъединителям.

Выключатель-разъединитель с предохран. (IEC 947 -3 § 2.9)



Выключатель-разъединитель, в одном или нескольких контактах которого присутствует последовательно подключенный предохранитель.

УСТР-ВО				
ДЕЙСТВИЯ				
Включение				
Проведение				
Отключение				

(1) Не включено в стандарт.

(2) С помощью предохранителя.



Нормальный ток.



Ток перегрузки.



Ток короткого замыкания.

Функции

Разделение контактов

В соответствии со стандартом для механических коммутационных устройств IEC 947 -3 или IEC 364 -5 -537 все разъединительные устройства должны обеспечивать надлежащее разделение контактов.

Проверка способности к разделению контактов в соответствии со стандартом IEC 947 -3 выполняется с помощью трех тестов:

- тест изоляции определяет сопротивление искровому пробую (U_{imp} : импульсное напряжение) в зависимости от зазора между контактами (Обычно $U_{imp} = 8$ кВ при $U_e = 400/690$ В);
- измерение тока утечки (I_p) определяет сопротивление изоляции в разомкнутом положении в частной зависимости длины пути тока утечки. При 110% от U_e , $I_p < 0,5$ мА (новые устройства) и $I_p < 6$ мА (устройства на стадии завершения рабочего цикла);

- проверка прочности исполнительного механизма и указателя положения проводится для проверки «механической» надежности указания положения. Устройство фиксируется в положении «I» и на исполнительный механизм подается усилие, в три раза превышающее стандартное рабочее усилие. Во время проведения теста, устройство не должно иметь возможности фиксации в положении «O», а устройство не должно оставаться в этом положении после проведения теста. Данный тест не является обязательным в том случае, если размыкание/замыкание контактов отображается другими средствами, например с помощью механического индикатора, за счет прямой видимости контактов и т.д.

Третий тест определяет соответствие принципу «полностью видимого» разрыва цепи, что требуется в соответствии с Указом от 14 ноября 1988 года для обеспечения функции изоляции в низковольтных системах класса В (500В < $U \leq 1000$ В переменного и 750В < $U \leq 1500$ В постоянного напряжения).

Последняя характеристика требуется в соответствии со стандартом NF C 15-100, за исключением устройств SELV или PELV ($U \leq 50$ В переменного или 120В постоянного напряжения).

Размыкание под нагрузкой и при перегрузке

Обеспечивается с помощью устройств, выполняющих функцию включения и отключения в нормальных условиях и в условиях перегрузки. По результатам тестов определяется способность устройств подключать и отключать определенные нагрузки. Здесь могут присутствовать большие токи перегрузки при низком значении cos (запуск двигателя или заблокированный ротор).

Тип нагрузки или режим нагрузки определяют категорию режима нагрузки устройства.

Размыкающее действие в случае короткого замыкания

Выключатель не предназначен для размыкания при возникновении тока КЗ. Однако его динамическая устойчивость должна быть достаточной для пропуска тока КЗ до момента срабатывания соответствующего защитного устройства.

В случае наличия предохранителя на выключателе, цепь при КЗ размыкается с помощью предохранителя (см. гл. «Предохранители», стр. D.44), что дает хорошие возможности ограничения высоких токов КЗ.

Стандарты IEC 947 -1 и IEC 947 -3 (продолжение)

Характеристики

Условия и категория применения в соответствии со стандартом IEC 947 -3

Таблица А.

КАТЕГОРИЯ ПРИМЕНЕНИЯ		ПРИМЕНЕНИЕ	ОБОРУДОВАНИЕ
AC	DC	Замыкание и размыкание без нагрузки.	Разъединитель(1).
AC20	DC20		
AC21	DC21	Резистивные нагрузки и небольшие перегрузки.	Выключатели, устанавливаемые на входе для резистивных цепей (нагрев, освещение кроме газоразрядных ламп и т.д.).
AC22	DC22	Индуктивные и резистивные смешанные нагрузки, в т.ч. небольшие перегрузки.	Выключатели, устанавливаемые на вторичных цепях или в реактивных цепях (конденсаторные батареи, разрядные лампы, шунтовые двигатели и т.д.).
AC23	DC23	Двигатели или другие высокоиндуктивные нагрузки.	Включение питания одного или нескольких двигателей или индуктивных цепей (электротранспортеры, тормозные магниты, двигатели с последовательным возбуждением и т.д.).

(1) Сейчас такие устройства заменяются размыкающими переключателями из соображений повышения безопасности.

Отключающая и включающая способность

В отличие от размыкателей цепи, для которых данные характеристики показывали бы размыкающие характеристики или характеристики КЗ (что, вероятно, приводило бы к необходимости замены оборудования), отключающая и включающая способность выключателей показывает максимально возможные значения в категории их использования. В таких экстремальных условиях эксплуатации выключатель должен сохранять свои характеристики, в частности стойкость к утечке тока и повышению температуры.

Таблица В.

	Включение		Отключение		Кол-во рабочих циклов
	I/I_e	$\cos \varphi$	I/I_e	$\cos \varphi$	
AC 21	1.5	0.95	1.5	0.95	5
AC 22	3	0.65	3	0.65	5
AC 23 $I_e \leq 100$ A	10	0.45	8	0.45	5
$I_e > 100$ A	10	0.35	8	0.35	3
	L/R (мс)		L/R (мс)		
DC 21	1.5	1	1.5	1	5
DC 22	4	2.5	4	2.5	5
DC 23	4	15	4	15	5

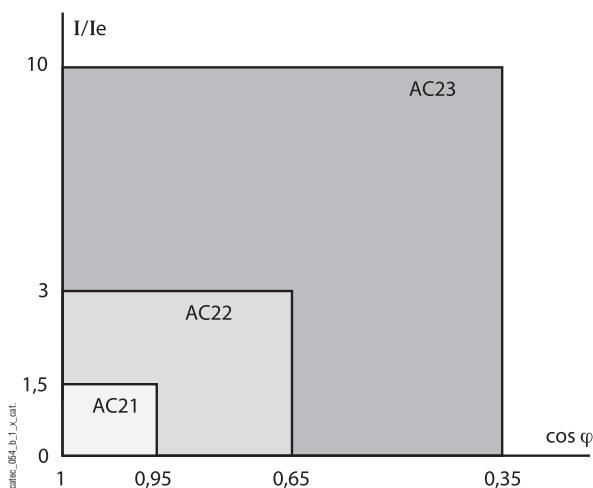


Рис. 1. Отключающая и включающая способность.

Электрическая и механическая долговечность

Данный стандарт устанавливает минимальное количество электрических (при полной нагрузке) и механических (без нагрузки) рабочих циклов, которые должны выполнять устройства. Эти характеристики показывают теоретический срок эксплуатации, во время которого устройства должны сохранять свои характеристики, в частности, сопротивляемость к утечке тока и повышению температуры.

Данные характеристики зависят от режима использования и номинала устройства. В соответствии с предполагаемым режимом использования, выделяют две дополнительные категории применения:

- категория А: частая коммутация (вблизи к нагрузке);
- категория В: нечастая коммутация (в начале установки или системы электропроводки).

Таблица С.

I_e (A)	≤ 100	≤ 315	≤ 630	≤ 2500	> 2500
Кол-во циклов в час	120	120	60	20	10
Количество срабатываний, кат. А					
Без тока	8500	7000	4000	2500	1500
С током	1500	1000	1000	500	500
Итого	10000	8000	5000	3000	2000
Количество срабатываний, кат. В					
без тока	1700	1400	800	500	300
с током	300	200	200	100	100
Итого	2000	1600	1000	600	400

Рабочий ток I_e

Рабочий ток определяется с помощью тестов на выносливость (как механическую, так и электрическую) и тестов на включающую, а также отключающую способность.

Характеристики кратковременного тока

- сопротивляемость кратковременному току (I_{cw}): Допустимый действующий ток rms на протяжении 1 сек.;
- отключающая способность (I_{cm}): пиковое значение тока, который может выдержать устройство во время К.З.;
- условный ток КЗ: действующий ток, который может выдержать устройство в случае использования совместно с защитным устройством, ограничивающим как ток, так и его продолжительность;
- динамическая сопротивляемость: пиковый ток, который выдерживает устройство в замкнутом положении.

Характеристика, определяемая данным стандартом – это сопротивляемость кратковременному току (I_{cw}), из которой выводится минимальная динамическая сопротивляемость. Она определяет ток, который выключатель может выдержать без плавления.

Коммутационные устройства

Стандарты установки IEC 60364 и IEC 60204

► Отключение

Данная функция предназначена для обеспечения полного или частичного отключения устройства в целях обеспечения безопасности. Функция отключения подразумевает следующие действия:

- **отключение всех проводников, находящихся под напряжением;**
- **гарантированное отключение без нагрузки**, в том случае, если присутствуют дополнительные меры (например, вспомогательный контакт «не включать при нагрузке» и т.д.), которые обеспечивают возможность избежать отключения рабочего тока при полной нагрузке. Для повышения безопасности может использоваться коммутационное устройство, способное разрывать цепь под нагрузкой или изолировать ее;
- **разделение контактов.**

► Отключение для проведения технического обслуживания механических узлов

Данная функция предназначена для отключения устройства с целью проведения техобслуживания без риска получения физического повреждения, либо же для более длительных отключений.

Устройства должны быть легко идентифицируемыми и использоваться в соответствии со своим назначением.

Функция отключения устройства с целью проведения техобслуживания подразумевает следующие действия:

- **Возможность отключения под нагрузкой.** Поскольку персонал, выполняющий обслуживание, не обязательно состоит только из квалифицированных электриков, должна быть обеспечена возможность разрыва цепи без предварительного снятия нагрузки или проверки категории применения устройства;
- **Разделение контактов.** Обеспечивает невозможность случайного включения устройства.

Такую же функцию может выполнять локальный защитный корпус.

В таких корпусах обычно используются видимые размыкающие выключатели в тех случаях, когда требуется внешний контроль за состоянием устройства. Визуальное отключение используется для увеличения безопасности персонала, работающего в опасных местах (особенно в местах с повышенными механическими рисками), а также в тех случаях, если поврежденная рукоятка рубильника исключает возможность индикации позиции выключателя.

► Аварийное отключение

Данная функция обеспечивает отключение от клемм цепи. Целью этой функции является отключение нагрузок во избежание опасности возгорания, ожогов или поражения электротоком. Это подразумевает возможность быстрого доступа к отключаемому устройству, равно как и его идентификации. Быстрота доступа зависит от планировки места установки устройства, рабочего оборудования и наличия персонала.

Функция аварийного отключения подразумевает следующие действия:

- **возможность отключения под нагрузкой;**
- **обесточивание всех проводников под напряжением.**

► Аварийная остановка

Отличается от аварийного отключения тем, что учитывает риски, связанные с движущимися частями машины.

Аварийная остановка подразумевает следующие действия:

- **возможность отключения под нагрузкой;**
- **обесточивание всех проводников под напряжением;**
- **возможность сохранения напряжения**, используемого, например, для торможения движущихся частей.

► Функциональное отключение

На практике, при эксплуатации электрической установки должна присутствовать возможность локального воздействия без отключения всей установки.

Функция функционального управления подразумевает следующие действия:

- **возможность отключения под нагрузкой;**
- **обесточивание отдельных проводников под напряжением** (например, 2 из 3 фаз двигателя).

Выбор коммутационного устройства

Выбор по признаку схемы подключения нейтрали

Трехфазная сеть с распределенной нейтралью

НЕЙТРАЛИ	СЕЧЕНИЕ НЕЙТРАЛИ \geq СЕЧЕНИЕ ФАЗЫ	СЕЧЕНИЕ НЕЙТРАЛИ $<$ СЕЧЕНИЕ ФАЗЫ
TT		
TNC		
TNS		
IT с нейтралью		

— полюс для отключения — полюс для защиты

(1) Нейтраль не обязательно должна быть защищена в том случае, если ее защита от КЗ обеспечивается защитным устройством фазы, а также, если максимальный ток повреждения в нейтрали гораздо ниже максимально допустимого стандартом тока для данного кабеля (IEC 60364 § 473.3).

Коммутационные устройства

Таблица А

Устройства	Размыкание Визуальное	Видим.	Переключатели полюсов	Устройство с предохранителями	Расцепляющие устройства	Моторизованные устройства
CMP	•	•			•	опция
SIDERMAT с предопр.	•	•		•	•	
SIDER переключатель	•	•	•			
SIRCO VM переключатель	•	•	•			
COMO C	•		•			
COMO I	•					
COMO M	•					
IDE	•				•	
SIRCO VM	•	•				
SIRCO	•					опция
SIDER	•	•				опция
SIDER ND	•	•				
SIDERMAT	•	•			•	
SIRCOVER	•		•			
Моторизированный SIRCOVER	•		•			•
FUSERBLOC	•			•		
FUSERBLOC V	•	•*		•		
FUSOMAT	•	•*		•	•	

* Кроме номинала 1250А.

Применение в сетях постоянного тока

Характеристики рабочего тока, указанные в общем каталоге, относятся к схеме, показанной на рис. 2 (кроме тех случаев, когда дополнительно указано «2 последовательных»; в данном случае, см. рис. 3).



Рис. 2. 1. Полюс на полярность.



Рис. 3. 2. Последовательных полюса на полярность.

Пример 1. Последовательные полюса

Устройство 400 А SIRCO, используемое в сети 500В постоянного тока с рабочим током 400 А в категории DC 23, должно иметь 2 полюса на полярность.

Пример 2. При параллельном подключении двух параллельных полюсов убедитесь в правильном распределении на обеих линиях.

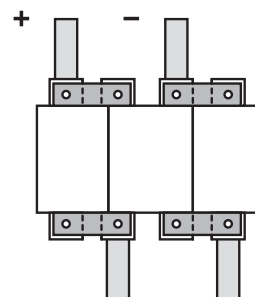


Рис. 4. Параллельные полюса.

Коммутационные устройства

Применение

Защита

При использовании устройств типа SIDERMAT или FUSOMAT, а также размыкающих устройств, предназначенных для защиты от непрямого контакта или короткого замыкания, следует принимать во внимание время размыкания цепи. Время между срабатыванием и фактическим размыканием контакта – менее 0,05 сек.

Переключение источников электропитания

Время срабатывания О - I или О - II от 0,7 до 2,1 сек. в зависимости от устройства.

Время переключения I-II – от 1,1 до 3,6 сек. (подробнее см. главу «Моторизированный переключатель SIRCOVER»).

Перед конденсаторной батареей

Выбирайте выключатель с номиналом в 1,5 раза больше номинального тока конденсаторной батареи (I_c).

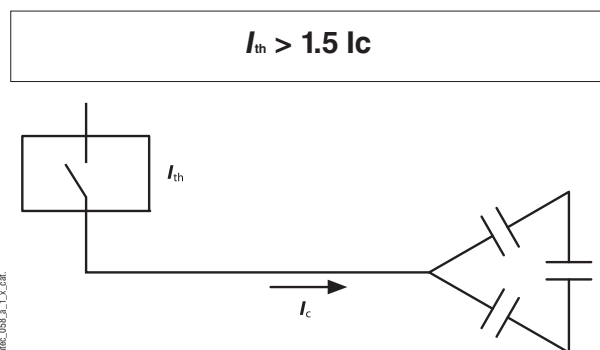


Рис. 1. Выключатель перед конденсаторной батареей.

На первичной обмотке трансформатора

Убедитесь, что включающая способность (включающая способность) выключателя превышает ток холостого хода трансформатора.

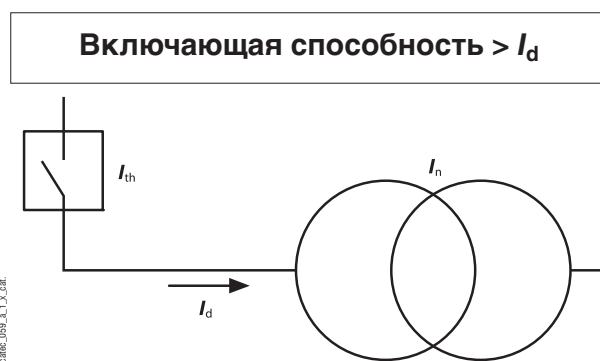


Рис. 2. Установка выключателя на первичной обмотке трансформатора.

Таблица А.

Р кВА	50	100	160	250	400	630	1000	1250	1600
I_d / I_n	15	14.5	14	13	12	11	10	9	8.5

I_d – холостой ток трансформатора

I_n – номинальный ток трансформатора

Перед двигателями

- Для локального аварийного выключателя номинал составляет – AC23 от номинального тока (I_n) двигателя;
- в цепях с частыми запусками двигателей требуется расчет эквивалентного теплового тока (I_{thq}).

Ток при запуске варьируется в зависимости от характеристик инерционности двигателя. При прямом пуске значения обычно находятся в следующих пределах:

- пиковый ток: от 8 до 10 I_n ;
- продолжительность пикового тока: от 20 до 30 мс;
- пусковой ток I_d от 4 до 8 I_n ;
- время запуска t_d от 2 до 4 сек.

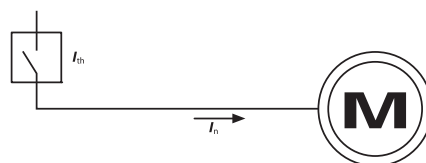


Рис. 3. Выключатель перед двигателем.

Пример изменения номинального значения в зависимости от типа запуска.

$$I_{thq} = I_n \times K_d \text{ и } I_{th} \geq I_{thq}$$

Таблица В.

ВРЕМЯ ЗАПУСКА	$\frac{I_p^{(4)}}{I_n}$	$t_d^{(4)}$ (s)	$n^{(1)}$	$K_d^{(2)}$
Прямой запуск до 170 кВт	6 to 8	0.5 to 4	$n > 10$	$\frac{\sqrt{n}}{3.16}$
Y - Δ ($I_d/3$)	2 to 2.5	3 to 6	$n > 85$	$\frac{\sqrt{n}}{9.2}$
Прямой запуск высокоинерционных двигателей ⁽³⁾	6 to 8	6 to 10	$n > 2$	$\frac{\sqrt{n}}{1.4}$

(1) n – кол-во запусков в час, при которых требуется изменение номинала;

(2) K_d – пусковой коэффициент ≥ 1 ;

(3) вентиляторы, насосы и т.д.;

(4) средние значения значительно колеблются в зависимости от типа двигателя и потребителя.

- Циклические перегрузки (кроме запусков). При использовании со специализированным оборудованием (сварочные машины, двигатели) и генераторами с периодическими пиковыми токами, расчет эквивалентного тока (I_{thq}) производится по следующей формуле:

$$I_{thq} = \sqrt{\frac{(I_1^2 \times t_1) + (I_2^2 \times t_2) + I_n^2 \times (t_c - [t_1 + t_2])}{t_c}}$$

I_1 – ток перегрузки;

I_2 – возможная промежуточная перегрузка;

I_n – номинальный рабочий ток;

t_1 и t_2 – продолжительность токов I_1 и I_2 в секундах;

t_c – продолжительность цикла в секундах (нижний предел 30 сек).

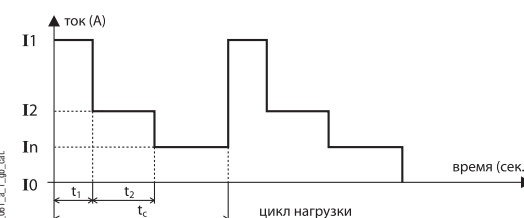


Рис. 4. Циклическая перегрузка.

Корректировочный коэффициент

Для некоторых условий работы требуется корректировка теплового тока с помощью корректировочного коэффициента.

Корректирующий коэффициент K_t в зависимости от температуры окружающей среды

Температура окружающей воздуха вокруг устройства

- Упрощенный метод.

$$I_{th} \leq I_{th} \times K_t$$

Табл. А: коэф. корректировки в зависимости от темп. окружающей среды.

К _t : корректирующий коэффициент.	
0.9	40° C < t _a ≤ 50° C
0.8	50° C < t _a ≤ 60° C
0.7	60° C < t _a ≤ 70° C

- Для конкретного применения можно выполнить более точный расчет. Для выполнения такого расчета обращайтесь, пожалуйста, в нашу компанию.

Использование в сочетании с предохранителями

- Упрощенный метод.

Номинал выключателя должен быть скорректирован на коэффициент 0,8, если напрямую к клеммам выключателя подключены плавкие предохранители.

Пример: Комплект с предохранителями 1250 А состоит из выключателя 1600 А и трех предохранителей 1250 А gG.

- Для конкретного применения можно выполнить более точный расчет. Для выполнения такого расчета обращайтесь, пожалуйста, в нашу компанию.

Изменение других номинальных значений в зависимости от температуры:

- выключатели с плавкими предохранителями, оснащенные быстродействующими предохранителями;
- в некоторых случаях, пересчет номиналов требуется при эксплуатации 24 часа в сутки на полной нагрузке. Обращайтесь, пожалуйста, в нашу компанию.

Кэффициент корректировки K_f в зависимости от частоты

$$I_{th} \leq I_{th} \times K_f$$

Таблица В. Коэфф. корректировки в зависимости от частоты f.

к _f : коэфф. корректировки.	
0.9	100 Гц < f ≤ 1000 Гц
0.8	1000 Гц < f ≤ 2000 Гц
0.7	2000 Гц < f ≤ 6000 Гц
0.6	6000 Гц < f ≤ 10000 Гц

Кэффициент корректировки K_a коррекция в зависимости от высоты

- Номинал I_{th} не изменяется;
- изменяются номиналы U_e и I_e как для постоянного, так и для переменного тока.

Таблица С. Коэфф. корректировки в зависимости от высоты А.

	2000 м < А ≤ 3000 м	3000 м < А ≤ 4000 м
U_e	0.95	0.80
I_e	0.85	0.85

Кэффициент корректировки K_p в зависимости от положения устройства

Подключение выключателей

Поскольку весь модельный ряд выключателей SOCOMEC имеет систему двойного размыкания на полюс, источник питания может быть подключен как сверху, так и снизу устройства (кроме случаев, когда регламентирующие нормы требуют подключения только с нижней стороны).

Кэффициент корректировки K_p в зависимости от положения устройства

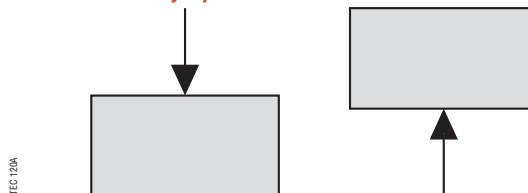


Рис. 1. Направление подключения питания.

Монтаж и размещение выключателей

$$I_{th} \leq I_{th} \times K_p$$

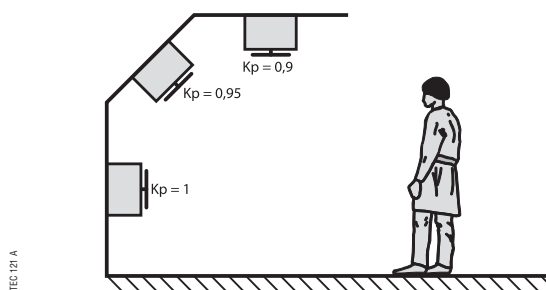


Рис. 2. Изменение номинала в зависимости от положения.

Вращение места установки устройства может производиться либо только по часовой стрелке, либо только против часовой стрелки. Это предусмотрено для обеспечения независимости переключающих характеристик от скорости работы.

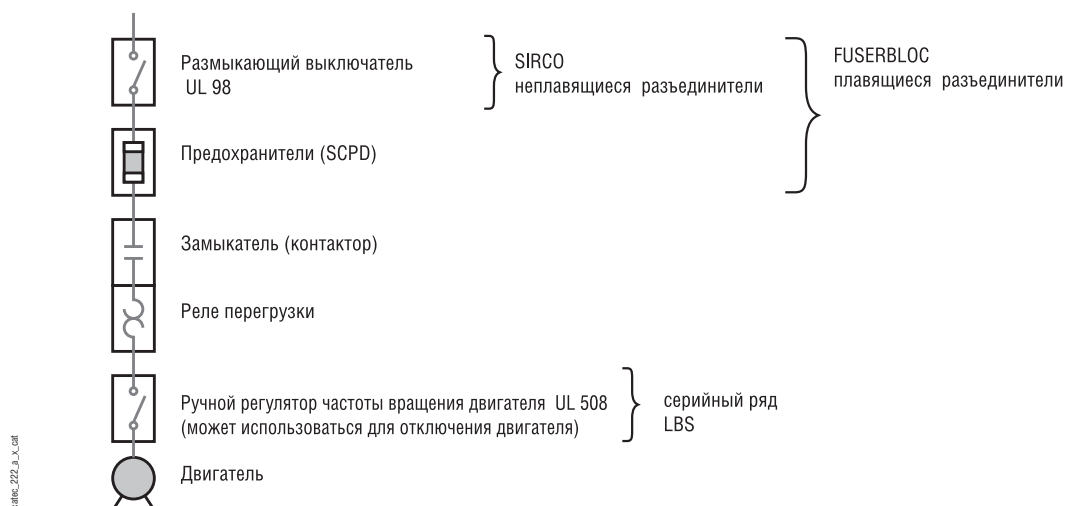
Таблица D.

		90° 180° 90° пр. часовой по часовой		
COMO M, COMO I, COMO C		ДА	ДА	ДА
SIRCO VM	VM0, VM2	32 ... 40; 125 ... 160	ДА	ДА
	VM1	63 ... 125	ДА	ДА
SIRCO	3/4 полюсов	40 ... 3150 A	ДА	ДА
	4000 A	ДА	ДА	ДА
	6/8 полюсов	125 ... 630 A	ДА	ДА
	800 ... 3150 A	ДА	ДА	ДА
SIRCO UL	V 60 ... V 400 A	ДА	ДА	ДА
SIDERMAT	Незав. расцеп.	250 ... 1800 A	ДА	ДА
	Расцепитель мин. напряжения	250 ... 1800 A	ДА	ДА
SIRCO VM1	Переключатель	I - 0 - II / I - I+II - II	ДА	ДА
SIRCOVER	I - 0 - II	CD 125 ... CD 630 A	ДА	ДА
	CD 800 ... 3150 A	ДА	ДА	ДА
	I - I+II - II	CD 125 ... 3150 A	ДА	ДА
	6/8 полюсов	CD 125 ... CD 630 A	ДА	ДА
SIRCOVER By-Pass	I - 0 - II	CD 125 ... CD 630 A	ДА	ДА
	CD 800 ... 3150 A	ДА	ДА	ДА
	I - I+II - II	CD 125 ... CD 630 A	ДА	ДА
	CD 800 ... 3150 A	ДА	ДА	ДА
Моториз. SIRCOVER VE	I - 0 - II	250 ... 3150 A	ДА	ДА
	I - I+II - II	250 ... 3150 A	ДА	ДА
ATyS	I - 0 - II / I - I+II - II	125 ... 630 A	ДА	ДА
FUSERBLOC	CD	CD 25 ... 1250 A	ДА	ДА
FUSOMAT	Незав. расцеп.	250 ... 1250 A	ДА	ДА
	Расцепитель мин. напряжения	250 ... 1250 A	ДА	ДА

Спецификации UL и NEMA

Общая информация о защите двигателя

► Обычная конструкция стартера двигателя



Основные составляющие ветви цепи двигателя согласно требованиям национальных правил по установке электрооборудования

- Разъединители;
- Устройство защиты ветви цепи от короткого замыкания;
- Блок управления двигателем;
- Средства защиты двигателя от перегрузки.

Разъединители

В качестве разъединителя можно использовать ручной размыкающий выключатель в соответствии с UL 98.

Ручной блок управления двигателем (в соответствии с UL 508) с дополнительной маркировкой «может использоваться для отключения двигателя» разрешается использовать в качестве разъединителя, только если его устанавливают между устройством защиты от короткого замыкания и неисправности заземления в последней ответвленной цепи и двигателем (NEC 2002 Article 430.109).

Устройство защиты ответвленной цепи от короткого замыкания

В качестве устройства защиты от короткого замыкания может использоваться предохранитель или выключатель с зависимой выдержкой времени.

Блок управления двигателем

Любой выключатель или устройство, используемое обычно для включения и остановки двигателя в соответствии со статьей Национальных правил по установке электрооборудования 430.81.

Устройства защиты двигателя от перегрузки

Национальные правила по установке электрооборудования разрешают использовать только предохранители, как единственные средства защиты ответвленных цепей двигателя от перегрузок. Такой подход часто удобен только для небольших однофазных двигателей.

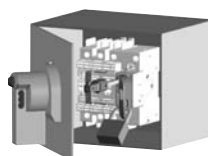
3-х фазные двигатели с большой интегральной мощностью в большинстве случаев управляются пускателем двигателя, в состав которого входит и противопоперегрузочное реле. Так как противопоперегрузочное реле обеспечивает защиту ответвленной цепи двигателя от перегрузок, предохранители можно применять для защиты от короткого замыкания.

Общая информация о защите двигателя (продолжение)

Обозначение площади сечения диаметра провода

AWG	мм ²	KCMIL/MCM	мм ²
14	2.1	250	127
12	3.3	300	152
10	5.3	350	177
8	8.4	400	203
6	13.3	500	253
4	21.2	600	304
3	26.7	700	355
2	33.6	750	380
1	42.4	800	405
1/0	53.5	900	456
2/0	67.4	1000	507
3/0	85.0	1250	633
4/0	107.2	1500	760
		1750	887
		2000	1014

Новые требования NFPA 79 и технические решения



Как указано в стандарте NFPA 79, раздел 5.3.3.1 и 6.2.3.1.2, предлагаемые нами разъединители полностью соответствуют всем указанным ниже требованиям.

1. Изоляция электрооборудования от сети электропитания и наличие только двух положений: выключить (разомкнуть) и включить (замкнуть).
2. Наличие дополнительных рабочих механизмов

(например, рукоятки).

3. Возможность зафиксировать устройство только в положении «выключить» (разомкнуть) (например, наличие висячего замка), независимо от положения дверцы. В зафиксированном виде необходимо предупреждать как удаленное, так и местное замыкание (включение).

4. Возможность управления устройством (только квалифицированными специалистами) независимо от положения дверцы, без использования вспомогательных инструментов или устройств.

Фланцевые и боковые выключатели.

Как фланцевые, так и боковые выключатели отвечают требованиям NFPA79 и не требуют дополнительных приспособлений.

Степени защиты Nema и соответствующие значения IP

Индекс	Предполагаемое использование, описание	Индексы NEMA и их связь с IP
1	Используется в помещении прежде всего для того, чтобы предупредить контакт с закрытым оборудованием и сократить степень загрязнения устройства.	NEMA 1 соответствует или превышает IP10
2	Используется в помещении, чтобы существенно сократить попадание воды и грязи в устройство.	NEMA 2 соответствует или превышает IP11
3	Предназначен для использования вне помещения, прежде всего для обеспечения защиты от дождя, слякоти, задуваемой ветром пыли и повреждений от наружного обледенения.	NEMA 3 соответствует или превышает IP54
3R	Предназначен для использования вне помещения, прежде всего для обеспечения защиты от дождя, слякоти, и повреждений от наружного обледенения.	NEMA 3R соответствует или превышает IP14
3S	Предназначен для использования вне помещения, прежде всего для обеспечения защиты от дождя, слякоти, задуваемой ветром пыли и для обеспечения работы дополнительных механизмов при обледенении.	NEMA 3S соответствует или превышает IP54
4	Предназначен для использования как в помещении, так и вне его, прежде всего для обеспечения защиты от задуваемой ветром пыли и дождя, сплошного обрызгивания, действия струй и повреждений от наружного обледенения.	NEMA 4 соответствует или превышает IP56
4X	Предназначен для использования как в помещении, так и вне его, прежде всего для обеспечения защиты от коррозии, задуваемой ветром пыли и дождя, сплошного обрызгивания, действия струй, и повреждений от наружного обледенения.	NEMA 4X соответствует или превышает IP56
6	Предназначен для использования как в помещении, так и вне его, прежде всего для обеспечения защиты от действия струй, доступа воды при кратковременном погружении на ограниченную глубину, и повреждений от наружного обледенения.	NEMA 6 соответствует или превышает IP67
6P	Предназначен для использования, как в помещении, так и вне его, прежде всего для обеспечения защиты от действия струй, доступа воды при длительном погружении на ограниченную глубину, и повреждений от наружного обледенения.	NEMA 6P соответствует или превышает IP67
12	Используется в помещении, прежде всего для обеспечения пыленепроницаемой защиты, защиты от попадания грязи и каплепадения жидкостей, не вызывающих коррозию.	NEMA 12 соответствует или превышает IP52
12K	Тип 12 с защитой от доступа.	NEMA 12K соотв-ет или превышает IP52

Данная таблица представляет собой руководство по преобразованию индексов защиты NEMA в индексы защиты IP. Коды NEMA соответствуют или превышают технические требования соответствующих европейских классификаций; по этой причине таблицу не следует использовать для преобразования «степени защиты IP в NEMA», а преобразование «степени защиты NEMA в IP» следует проверить при помощи тестирования.

Спецификации UL и NEMA

Схема использования разъединителей с плавкими предохранителями UL (для обычного времени разгона двигателя)

► Выбор предохранителя для трехфазного двигателя и плавкого разъединителя типа UL класс CC

Мощность двигателя в л/с	Полная нагрузка, А	Рекомендуемый номинальный ток предохранителя для типичного времени разгона двигателя * 5 сек.	Рекомендуемый плавкий разъединитель	
208В		Номинальный ток (А)	Номинальный ток (А)	Коды заказа
1/2	2.4	8	30	3710 3003
3/4	3.5	10		3712 3003
1	4.6	15		3712 6003
1-1/2	6.6	20		3716 3003
2	7.5	20		3716 6003
3	10.6	30		
240В		Номинальный ток (А)	Номинальный ток (А)	Коды заказа
1/2	2.2	7	30	3710 3003
3/4	3.2	10		3712 3003
1	4.2	12		3712 6003
1-1/2	6	17-1/2		3716 3003
2	6.8	20		3716 6003
3	9.6	30		
480В		Номинальный ток (А)	Номинальный ток (А)	Коды заказа
1/2	1.1	3-1/2	30	3710 3003
3/4	1.6	5		3712 3003
1	2.1	6-1/4		3712 6003
1-1/2	3	9		3716 3003
2	3.4	10		3716 6003
3	4.8	15		3716 6003
5	7.6	25		
7-1/2	11	30		
600В		Номинальный ток (А)	Номинальный ток (А)	Коды заказа
1/2	0.9	2-8/10	30	3710 3003
3/4	1.3	4		3712 3003
1	1.7	5-6/10		3712 6003
1-1/2	2.4	8		3716 3003
2	2.7	8		3716 6003
3	3.9	12		
5	6.1	17-1/2		
7-1/2	9	30		
10	11	30		

► Выбор предохранителя для трехфазного двигателя и плавкого разъединителя типа UL класс J

Мощность двигателя в л/с	Полная нагрузка, А	Рекомендуемый номинальный ток предохранителя для типичного времени разгона двигателя * 5 сек.	Рекомендуемый плавкий разъединитель	
208В		Номинальный ток (А)	Номинальный ток (А)	Коды заказа
1/2	2.4	3-1/2	30	3710 3004
3/4	3.5	5		3712 3004
1	4.6	7		3712 6004
1-1/2	6.6	10		3716 3004
2	7.5	10		3716 6004
3	10.6	15		
5	16.7	25		
7-1/2	24.2	35	60	3716 3006 3712 6006
10	30.8	45		3716 3006 3716 6006
15	46.2	70	100	3712 3010 3712 6010
20	60	90		3716 3010 3716 6010
25	75	110	200	3712 3020 3712 6020
30	88	150		3716 3020 3716 6020
40	114	175		
50	143	225	400	3712 3040 3712 6040
60	169	250		3716 3040 3716 6040
75	211	350		
100	273	400		
125	343	500	600	3712 3060 3712 6060
150	396	600		

* Рекомендуются в большинстве случаев. Сочетаются с реле перегрузки NEMA-класса 20. Подходят при времени разгона двигателя до 5 секунд.

Схема использования плавких разъединителей с предохранителями UL **(для обычного времени разгона двигателя)**

► Выбор предохранителя для трехфазного двигателя и плавкого разъединителя типа UL класс J

Мощность двигателя в л/с	Полная нагрузка, А	Рекомендуемый номинальный ток предохранителя для типичного времени разгона двигателя * 5 сек.	Рекомендуемый плавкий разъединитель	
240В		Номинальный ток (А)	Номинальный ток (А)	Коды заказа
1/2	2.2	3-1/2	30	3710 3004 3712 3004 3712 6004 3716 3004 3716 6004
3/4	3.2	5		
1	4.2	6-1/4		
1-1/2	6	9		
2	6.8	10		
3	9.6	15		
5	15.2	25	60	3716 3006 3712 6006 3716 3006 3716 6006
7-1/2	22	35		
10	28	40		
15	42	60	100	3712 3010 3712 6010 3716 3010 3716 6010
20	54	80		
25	68	100		
30	80	125	200	3712 3020 3712 6020 3716 3020 3716 6020
40	104	150		
50	130	200		
60	154	225	400	3712 3040 3712 6040 3716 3040 3716 6040
75	192	300		
100	248	350		
125	312	450	600	3712 3060 3712 6060
150	360	500		
480В		Номинальный ток (А)	Номинальный ток (А)	Коды заказа
1/2	1.1	1-6/10	30	3710 3004 3712 3004 3712 6004 3716 3004 3716 6004
3/4	1.6	2-1/4		
1	2.1	3-2/10		
1-1/2	3	4-1/2		
2	3.4	5		
3	4.8	8		
5	7.6	12		
7-1/2	11	17-1/2		
10	14	20		
15	21	30		
20	27	40	60	3716 3006 3712 6006 3716 3006 3716 6006
25	34	50		
30	40	60		
40	52	80	100	3712 3010 3712 6010 3716 3010 3716 6010
50	65	100		
60	77	125		
75	96	150	200	3712 3020 3712 6020 3716 3020 3716 6020
100	124	200		
125	156	225		
150	180	250	400	3712 3040 3712 6040 3716 3040 3716 6040
200	240	350		
250	302	450	600	3712 3060 3712 6060
300	361	600		
600В		Номинальный ток (А)	Номинальный ток (А)	Коды заказа
1/2	0.9	1-1/2	30	3710 3004 3712 3004 3712 6004 3716 3004 3716 6004
3/4	1.3	2		
1	1.7	2-1/2		
1-1/2	2.4	3-1/2		
2	2.7	4		
3	3.9	6		
5	6.1	10		
7-1/2	9	15		
10	11	17-1/2		
15	17	25		
20	22	35	60	3716 3006 3712 6006 3716 3006 3716 6006
25	27	40		
30	32	50		
40	41	60	100	3712 3010 3712 6010 3716 3010 3716 6010
50	52	80		
60	62	90		
75	77	125	200	3712 3020 3712 6020 3716 3020 3716 6020
100	99	150		
125	125	200		
150	144	225	400	3712 3040 3712 6040 3716 3040 3716 6040
200	192	300		
250	240	350		
300	289	450	600	3712 3060 3712 6060

* Рекомендуются в большинстве случаев. Сочетаются с реле перегрузки NEMA-класса 20. Подходят при времени разгона двигателя до 5 секунд.

Предохранители

Общие данные

Введение

Предохранители предназначены для разрыва электрической цепи при аномальном токе. Они также обладают дополнительным свойством ограничивать негативное воздействие высокого тока (см. пример ниже).

Основными свойствами предохранителя являются надежность защиты, простота конструкции и невысокая цена.

Оптимальный выбор предохранителя зависит от следующих технических характеристик:

• Преддуговое время

Это время, необходимое току для доведения предохранительного элемента до точки испарения перед началом плавления.

Преддуговое время не зависит от сетевого напряжения.

• Время горения дуги

Определяется как период с момента появления дуги до ее полного гашения (нулевой ток). Время горения дуги зависит от сетевого напряжения, но незначительно в сравнении с преддуговым временем для полного времени плавления >40 мсек.

• Время выполнения операции

Сумма преддугового времени и времени горения дуги.

• Разрывная мощность

Это предполагаемая величина тока короткого замыкания, при которой может расплавиться предохранитель при заданном рабочем напряжении.

• Интеграл Джоуля

$$\int_0^t I^2 dt$$

Это интегральное значение падения тока за полное время плавления, выраженное в единицах А²сек (ампер в квадрате на секунду).

Отсечка тока короткого замыкания

При отсечке тока короткого замыкания необходимо учитывать следующие два параметра:

- точное пиковое значение тока в защищаемой цепи;
- предполагаемое значение действующего тока, который может развиться при отсутствии в цепи предохранителей.

Примечание: При t преддуговое <5 мс (сеть 50 Гц) значение отсекаемого тока будет только одно. На графике отсекаемого тока приводится соотношение между этими двумя параметрами (см. стр. D.47 и D.49).

Чтобы определить максимальный ток (значение которого может расти в электрических цепях, защищенных предохранителями), необходимо выполнить следующее:

- рассчитать максимальный действующий ток короткого замыкания (см. стр. D.21);
- нанести это значение тока на график отключаемого тока и получить пиковое значение тока, соответствующее токовому номиналу предохранителя, защищающего цепь.

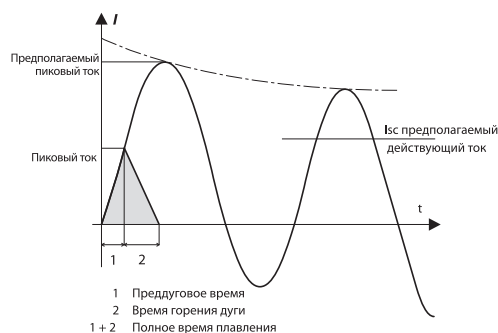


Рис. 1. Отсекаемый ток короткого замыкания.

Отсечка тока короткого замыкания (продолжение)

Пример:

Требуется отключить с помощью предохранителя ток короткого замыкания со следующими характеристиками: симметричный, 100 кА, предохранитель 630 А gG.

Предполагаемый действующий ток 100 кА дает следующий предполагаемый пиковый ток: $100 \times 2,2 = 220$ кА.

Пиковый ток предохранителя 50 кА (см. рис. 2), представляющий 35% от предполагаемого пикового тока (см. рис. 2) ведет к сокращению незащищенной величины электродинамических сил на 13% (см. рис. 3) и уменьшению I^2t до 2,1% своей величины (см. рис. 4).

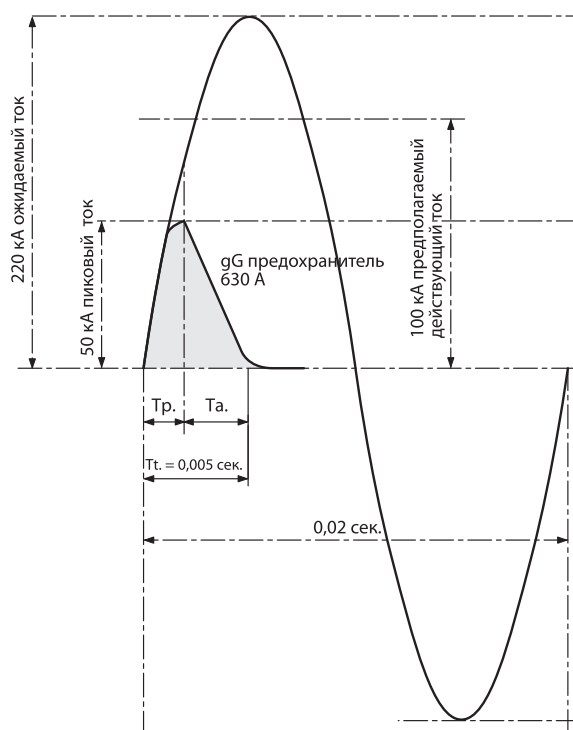


Рис. 2. Отсекаемый максимальный ток.

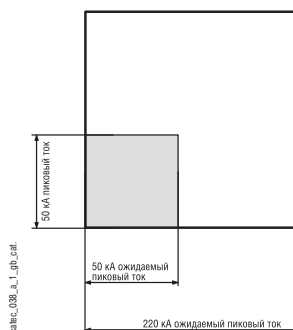


Рис. 3. Ограничение электродинамических сил прямо пропорционально квадрату значения тока.

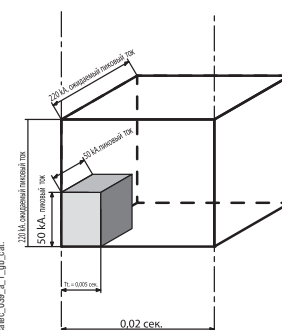


Рис. 4. Ограничение I^2t прямо пропорционально квадрату значения тока.

Выбор предохранителей «gG»и «aM»

При выборе системы защиты нужно принимать во внимание три параметра:

- характеристики электросети;
- характеристики установки;
- характеристики цепи.

Приведенные далее расчеты носят только информационный характер. Пожалуйста, обратитесь в компанию для проведения расчетов для вашего конкретного оборудования, используемого для решения отдельных прикладных задач.

Характеристики электросети

Напряжение

Предохранитель нельзя использовать с действующим напряжением, превышающим его номинальное напряжение. Он нормально работает при более низком напряжении.

Частота

- $f < 5$ Гц: рабочее напряжение (U_e) считается эквивалентным постоянному напряжению и $U_e = U_{max}$.
- $5 \leq f < 48$ Гц:

$$U_e \leq k_u \times U_n$$

f (в Гц)	5	10	20	30	40
k_u	0.55	0.65	0.78	0.87	0.94

k_u : коэффициент уменьшения номинального напряжения в соответствии с частотой.

- $48 \leq f < 1000$ Гц: изменение номинального напряжения отсутствует.

Ток короткого замыкания

После определения значения, его нужно проверить (оно должно быть меньше разрывной мощности предохранителей):

- 100 kA действующее значение для размеров 14 x 51, 22 x 58, T00, T0, T1, T2, T3, T4, T4A;
- 50 kA действующее значение для размеров 10.3 x 38.

Характеристики установки

Установка заземления

В зависимости от режима заземления нейтрали, предохранители обладают одной или двумя защитными функциями:

- защита от токов перегрузки A;
- защита от непрямого контакта B.

РЕЖИМ	ЗАЩИТА
TT	A
IT	A + B
TNC	A + B
TNS	A + B

Характеристики цепи

Использование предохранителя ограничено температурой воздуха (t_a), окружающего устройство.

$$I_{th} u \leq I_n \times Kt$$

I_{th} : рабочий тепловой ток: максимальный непрерывный ток, допускаемый устройством в течение 8 часов в определенных условиях работы;

I_n : номинальный ток предохранителя;

Kt : коэффициент, приведенный в таблице ниже.

Kt				
gG предохранитель			aM предохранитель	
t_a	Основание предохран.	Оборудование и соединение	Основание предохран.	Оборудование и соединение
40 °	1	1	1	1
45 °	1	0.95	1	1
50 °	0.93	0.90	0.95	0.95
55 °	0.90	0.86	0.93	0.90
60 °	0.86	0.83	0.90	0.86
65 °	0.83	0.79	0.86	0.83
70 °	0.80	0.76	0.84	0.80

Если предохранитель установлен в вентилируемом корпусе, необходимо перемножить величины Kt и K_v .

- Скорость воздуха $V < 5$ м/с. $K_v = 1 + 0,05B$

- Скорость воздуха $V \geq 5$ м/с. $K_v = 1,25$

Пример: Предохранитель gG установлен в вентилируемом корпусе.

- температура внутри ограждения: 60° C;

- скорость воздуха: 2 м/с.

$$K_v = 1 + 0.05 \times 2 = 1,1;$$

$$Kt = 1,1 \times 0,86 = 0,95.$$

Предохранители

Выбор предохранителей «gG» и «aM» (продолжение)

Характеристики цепи (продолжение)

Предупреждения при использовании на высотах >2000 м

- Отсутствует изменение номинального тока.
- Ограничена разрывная мощность. Пожалуйста, обратитесь к производителю.
- Рекомендуется изменение номинального размера.

Установка перед изолирующим трансформатором

При включении ненагруженного трансформатора происходит большой бросок тока. На первичной обмотке устанавливают предохранитель aM, способный выдержать повторные перегрузки. Вторичная обмотка защищается предохранителями gG.

Установка перед двигателем

За защиту двигателя обычно отвечает тепловое реле. Защита проводников, подводящих ток к двигателю, обеспечивается предохранителями aM или gG. В таблице А приведены номинальные мощности предохранителей, которые подбираются соответственно тепловому реле и с учетом мощности двигателя.

Примечание:

- Величина номинального тока двигателя варьируется среди производителей. В таблице А приведены стандартные величины.
- Предохранители aM с точки зрения применения предпочтительнее предохранителей gG.
- В случае частых запусков или в тяжелых условиях пуска (прямой запуск при токе >7 I_n в течение 2 или более секунд или запуск при токе >4 I_n в течение 10 или более секунд) рекомендуется выбирать больший размер, чем приведен в таблице. Тем не менее, необходимо проверить согласованность избирательности между предохранителем и прерывателем цепи (см. стр. D.52).
- Если предохранитель aM плавится, рекомендуется заменить предохранители во всех трех фазах.

Таблица А. Защита двигателей с помощью предохранителей aM.

Двигатель									
400В			500В			Мощность	Рекомендуемый размер	Соотв. выключатель с предохранителем рек-мого размера	
кВт	л/с	в А	кВт	л/с	в А				
7.5	10	15.5	11	15	18.4	20	10 x 38 or 14 x 51	FUSERBLOC 32A CD	
11	15	22	15	20	23	25	10 x 38 or 14 x 51		
15	20	30	18.5	25	28.5	40	14 x 51	FUSERBLOC 50A	
18.5	25	37	25	34	39.4	40	14 x 51		
22	30	44	30	40	45	63	22 x 58	FUSERBLOC 100A or 125A	
25	34	51	40	54	60	63	22 x 58		
30	40	60	45	60	65	80	22 x 58		
37	50	72	51	70	75	100	22 x 58		
45	60	85	63	109	89	100	22 x 58	FUSERBLOC 160A	
55	75	105	80	110	112	125	T 00		
75	100	138	110	150	156	160	T 0		
90	125	170	132	180	187	200	T 1		
110	150	205	160	220	220	250	T 1	FUSERBLOC 250A	
132	180	245	220	300	310	315	T 2		
160	218	300				315	T 2		
200	270	370	250	340	360	400	T 2		
250	340	475	335	450	472	500	T 3	FUSERBLOC 400A	
315	430	584	450	610	608	630	T 3		
400	550	750	500	680	680	800	T 4	FUSERBLOC 630A	
								FUSERBLOC 1250A	

Номинальный ток предохранителя

должен быть больше или равен двойному номинальному току конденсаторной установки.

$$I_n \geq 2 I_c$$

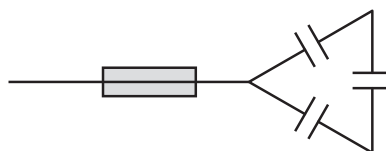


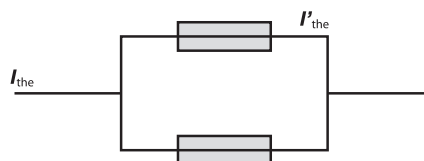
Таблица В. Номинальная мощность предохранителя для конденсаторной батареи 400В.

Емкость (кВАр)	5	10	20	30	40	50	60
Пр-тель gG (A)	20	32	63	80	125	160	200

Емкость (кВАр)	75	100	125	150
Пр-тель gG (A)	200	250	400	400

Параллельное соединение предохранителей

Единственное соединение, возможное между двумя предохранителями одного размера и мощности, - параллельное.



$$I_{the} = I'_{the} \times 2$$

Общий ограниченный пик I_{sc} =
= ограниченный пик I'_{sc} x 1.59
Общий A²t = A'²t x 2.52

I²t: тепловое напряжение.

Использование при постоянном токе

Преддуговое время для постоянного тока совпадает с преддуговым временем для переменного тока. Временные-токовые характеристики и ток отсечки действительны при использовании предохранителей при переменном токе. С другой стороны, время горения дуги для постоянного тока значительно выше, так как отсутствует возврат к нулевому напряжению.

МАКСИМАЛЬНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ	
Переменный ток	Постоянный ток
400В	260В
500В	350В
690В	450В

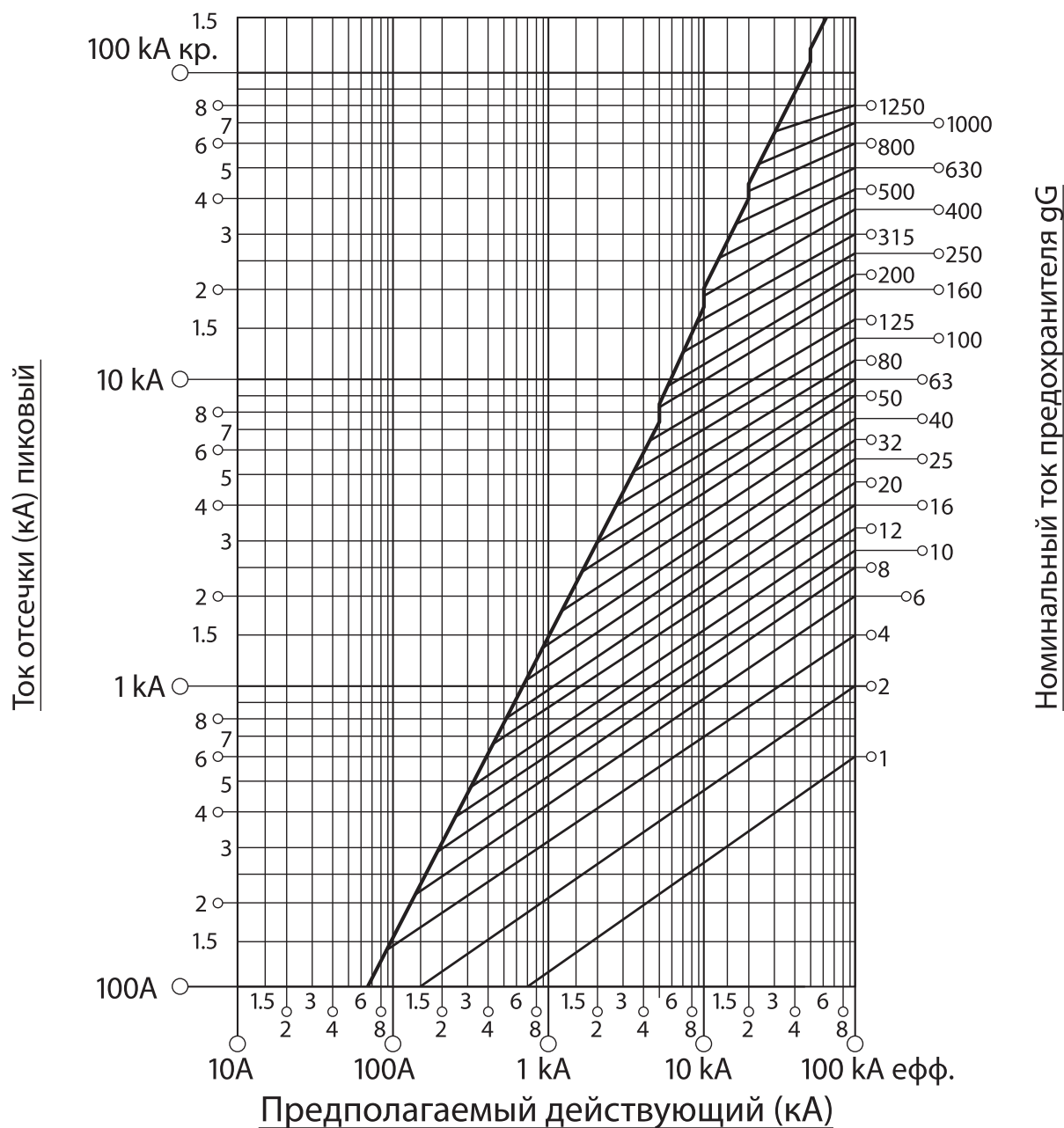
Рекомендуется использовать предохранители большего размера при тех же номиналах; размеры 10 x 38 и 14 x 51 предназначены для цепей ≤12А.

Для цепи с высокой индуктивностью рекомендуется последовательная установка предохранителей на положительном полюсе.

Использование предохранителей aM для постоянного тока невозможно.

Графики технических характеристик предохранителей «gG»

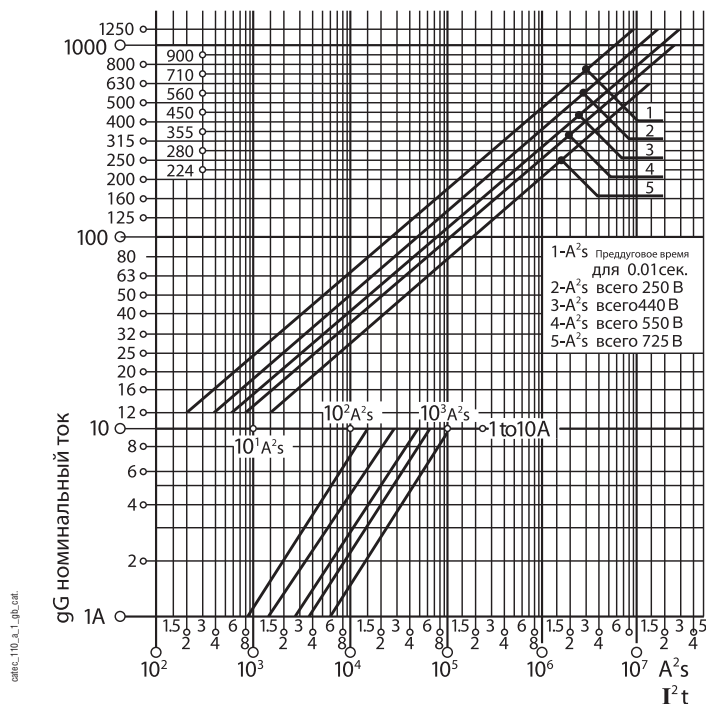
► Диаграмма тока отсечки



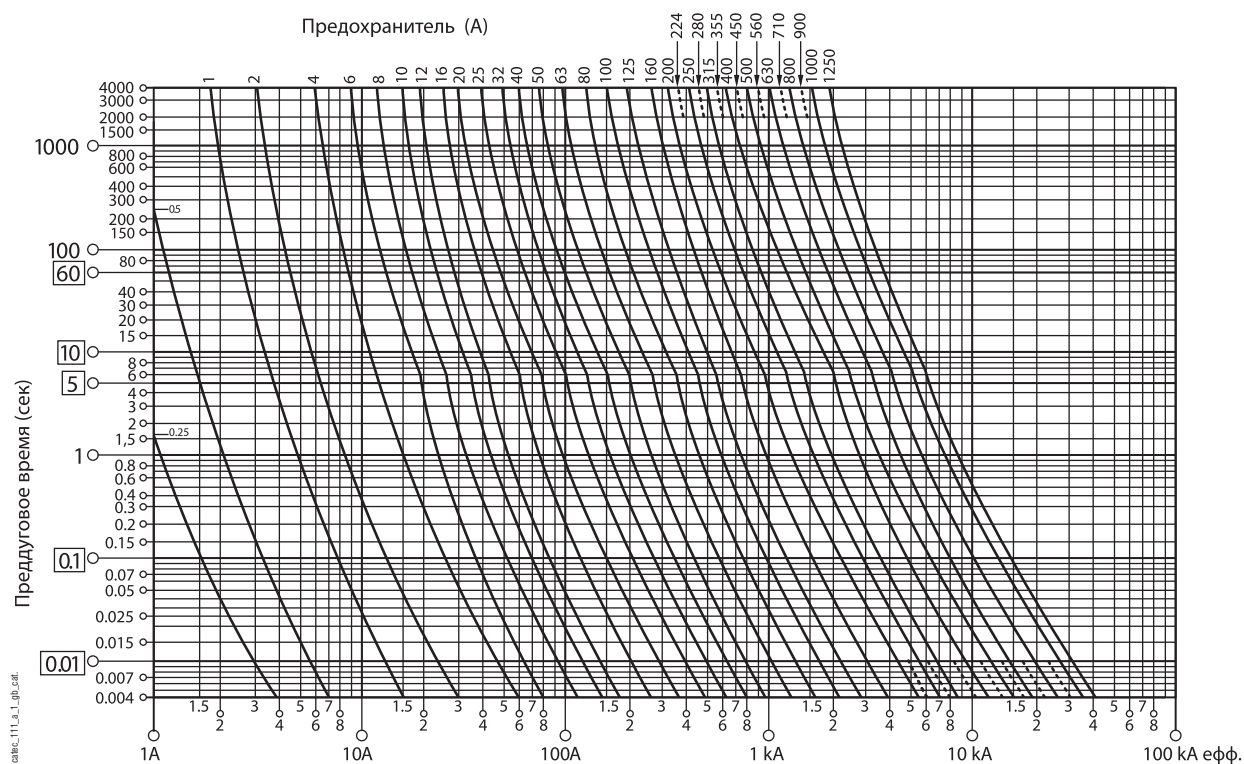
Предохранители

Графики технических характеристик предохранителей «gG»(продолжение)

► График теплового ограничения

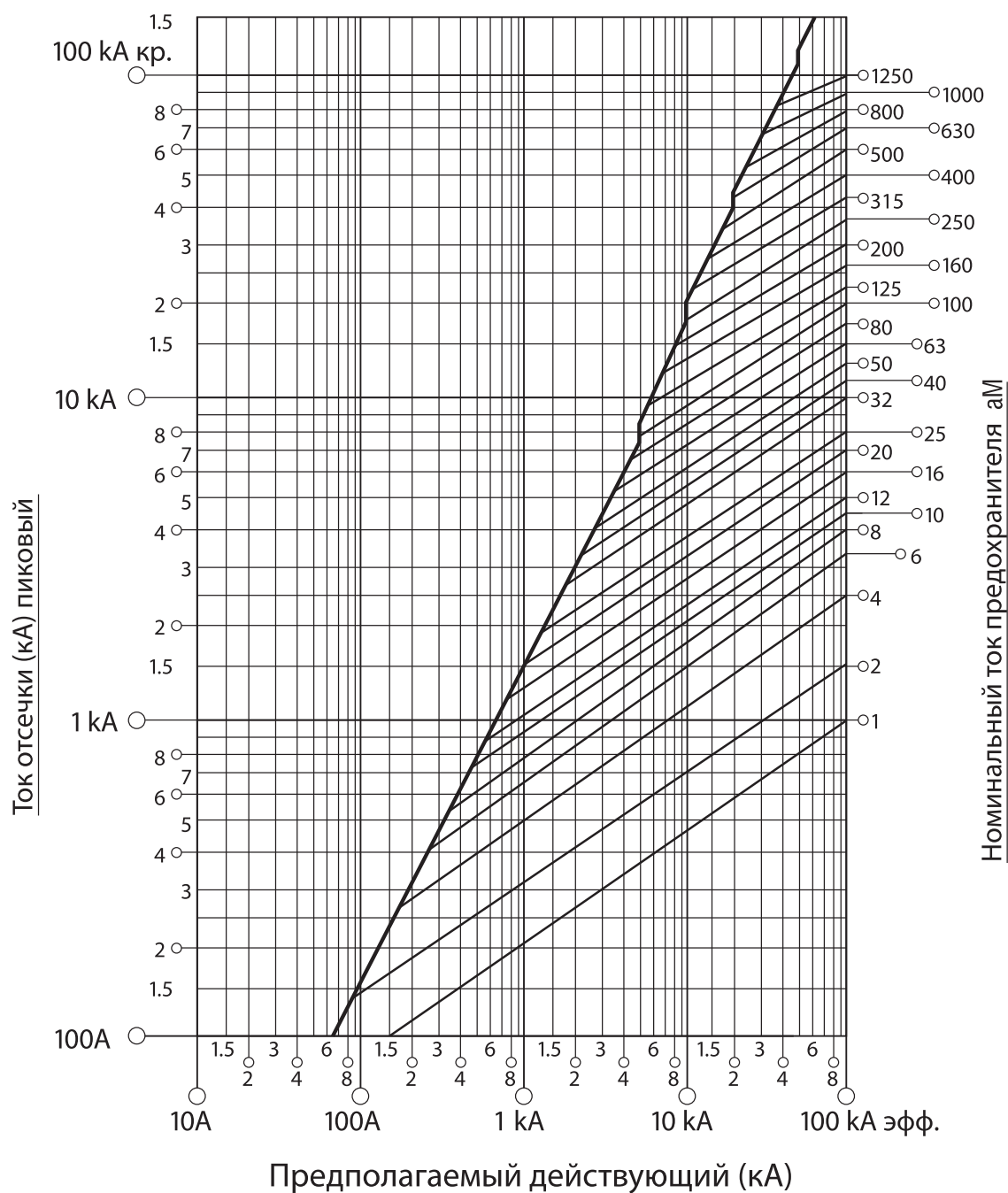


► Рабочие характеристики времени/тока (стандарт IEC или BS)



Графики технических характеристик предохранителей «аМ»

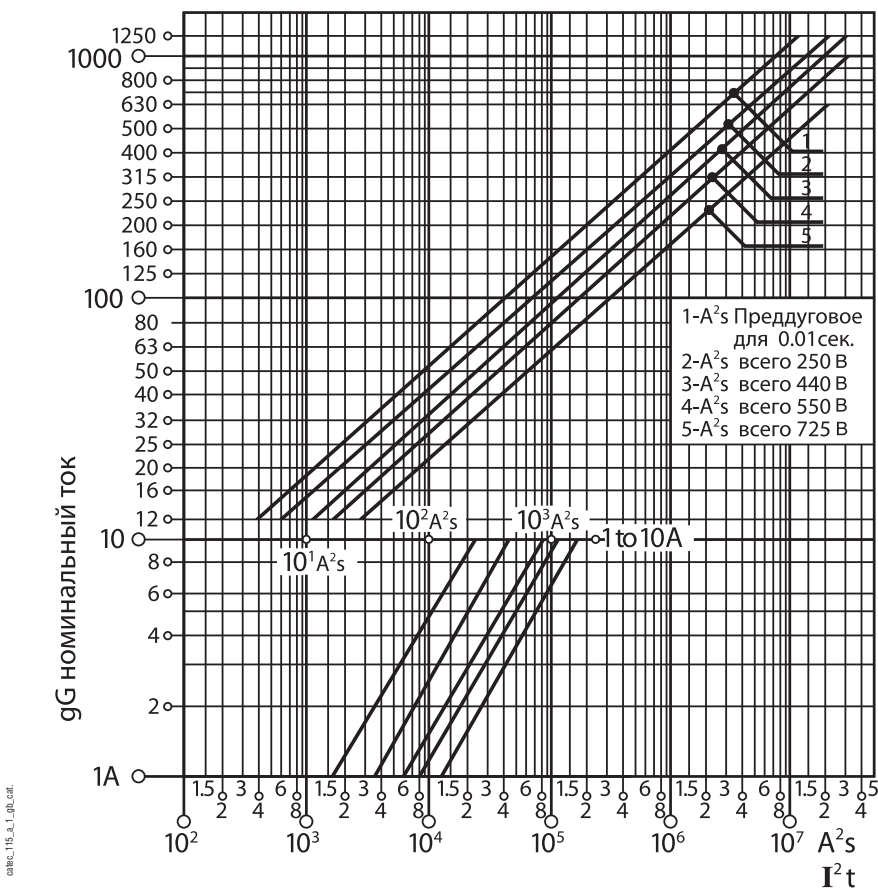
► График тока отключения



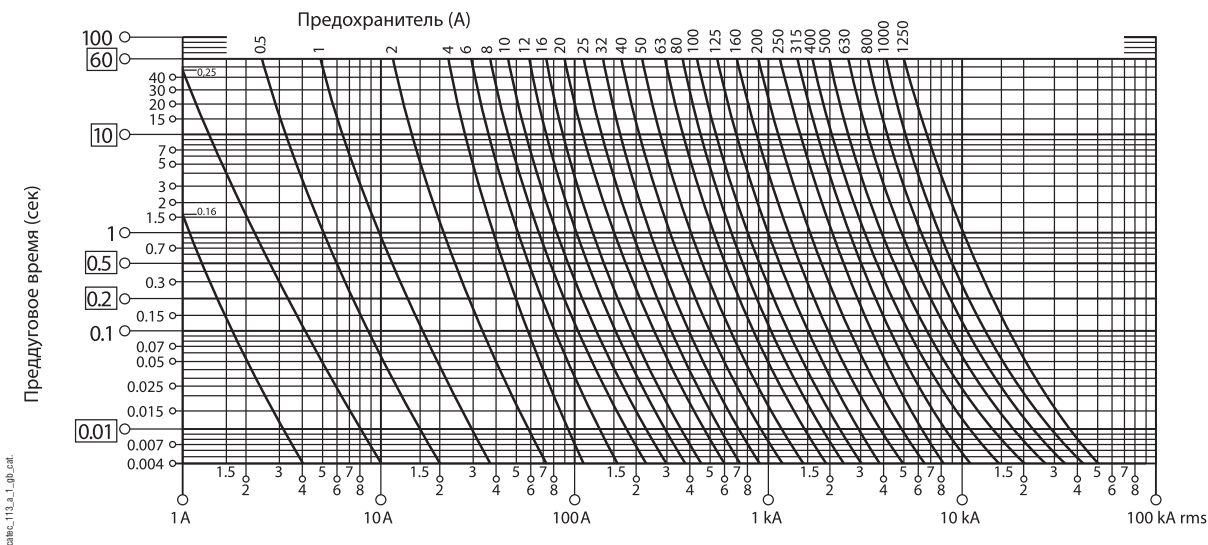
Предохранители

Графики технических характеристик предохранителей «аМ» (продолжение)

График теплового ограничения



Временные/токовые характеристики (стандарт IEC)



Быстродействующие предохранители

Быстрые предохранители обеспечивают защиту от токов короткого замыкания. Они устроены таким образом, что полное рабочее время этих предохранителей меньше, чем у предохранителей gG и aM.

Данный тип предохранителей используется обычно для мощных полупроводниковых устройств (величина I_{2t} быстродействующего предохранителя меньше I_{2t} защищаемого полупроводникового устройства).

Необходимо избегать перегрузок ($I \sim 2$ п, $t \geq 100$ секунд). В случае необходимости нужно установить другое устройство, которое обеспечило бы защиту от перегрузок.

Определение параметров быстродействующего предохранителя является довольно точной процедурой, которая в некоторых случаях может оказаться сложной для выполнения. Приведенный ниже метод представляет собой первый этап.

Пожалуйста, проконсультируйтесь с компанией по поводу конкретных вариантов использования.

Выбор быстродействующих предохранителей

Тепловое напряжение

Быстрые предохранители сконструированы для защиты полупроводниковых устройств.

У каждого полупроводникового устройства есть определенный максимальный I_{2t} , представляющий собой важнейший фактор, который необходимо учитывать при выборе подходящего предохранителя в большей степени, чем тепловую мощность. Для эффективной защиты I^2t для предохранителя должно быть на 20% меньше, чем I^2t повреждения полупроводникового устройства.

Пример: Дiode 30 A/400V выдерживает максимальный I^2t , равный 610 A²с. Максимальный I^2t соответствующих быстродействующих предохранителей составит 610 - 20% = 488 A²с при 400V.

Напряжение

I^2t (см. общий каталог) обычно дается для 660V. При другом напряжении требуется следующая поправка:

$$(i^2t) V = K_v \times (i^2t) 660V$$

Пример: для $U = 400V$ $K_v = 0.6$

$$(i^2t) 400V = 0.6 \times (i^2t) 660V$$

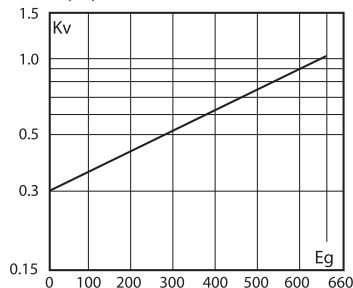


Рис. 1. Поправочный коэффициент K_v .

K_v поправочный коэффициент для I^2t ;

E_g значение действующего рабочего напряжения.

Коэффициент мощности: Представленный в общем каталоге I^2t дается для коэффициента мощности 0,15 (cos взятой по умолчанию цепи). Для остальных значений коэффициента мощности нужно умножить значение I^2t на K_u .

коэффициент мощности	0.1	0.15	0.2	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
K_u	1.04	1.00	0.97	0.93	0.90	0.87	0.85	0.82	0.81

Номинальный ток

После нахождения максимального I_{2t} предохранителя следует принять во внимание значение номинального тока.

Пример: В предыдущем примере максимальный I^2t быстродействующего предохранителя был задан таким образом: 488 A²с при 400V. При 660V это значение соответствует: $488/0,62 = 787$ A²с. Ток в цепи составляет 20A.

Обратите внимание, что в быстродействующем предохранителе 25A при 660V значение I^2t составляет 560 A²с.

Выбор быстродействующих предохранителей (продолжение)

Поправка с учетом температуры окружающего воздуха.

Номинальная мощность быстродействующего предохранителя представлена для температуры окружающего воздуха 20° C. Максимальный рабочий ток I_b рассчитывается так:

$$I_b = K_{TUR} \times (1 + 0.05 v) \times I_n$$

- I_n : номинальный ток предохранителя (A);
- s : скорость охлаждающего воздуха (м/с);
- K_{TUR} : значение, приведенное на рис. 2, соответствует температуре воздуха возле предохранителя.

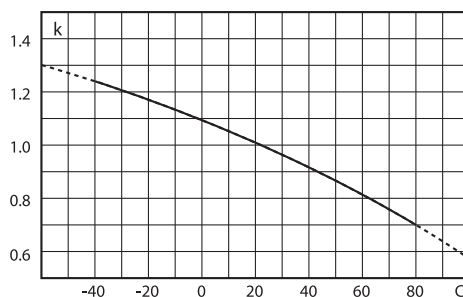


Рис. 2. Поправочный коэффициент K_{TUR} .

Последовательное соединение

Не рекомендуется при токе повреждения, недостаточном для того, чтобы расплавить предохранитель за время, меньшее 10 мс.

Параллельное соединение

Соединять параллельно можно предохранители одинаковой номинальной мощности и размера. Обычно это соединение производится компанией-изготовителем.

При параллельном соединении необходимо уделять внимание тому, чтобы рабочее напряжение не превышало 90% от номинального напряжения предохранителя.

Циклическая перегрузка

Пожалуйста, обратитесь в нашу компанию.

Потеря мощности (в ваттах)

Об этом идет речь в общем каталоге: соответствует потере мощности при номинальном токе.

Для того, чтобы использовать ток I_b , отличный от I_n , потерю мощности в ваттах, нужно умножить на величину K_p , приведенную ниже на графике.

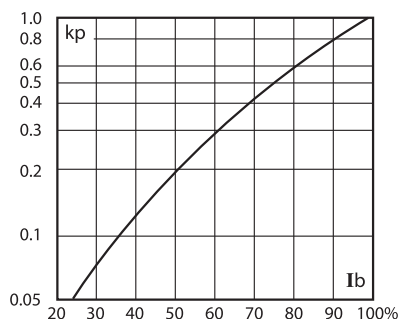


Рис. 3. Значение поправки K_p .

K_p : значение поправки на потери;

I_b : действующее значение токовой нагрузки в % от номинального тока.

Предохранители

Разграничение

Разграничение предохранителей

Разграничение низковольтных и высоковольтных предохранителей

Срабатывание низковольтного предохранителя не должно приводить к плавлению высоковольтного предохранителя, установленного на первичной обмотке понижающего трансформатора.

Для этого необходимо, чтобы нижняя часть кривой для высоковольтного (HV) предохранителя нигде не пересекалась с верхней частью кривой для низковольтного предохранителя (LV) до максимального для LV предела.

I_{sc} (См. стр. расчетов D.22).

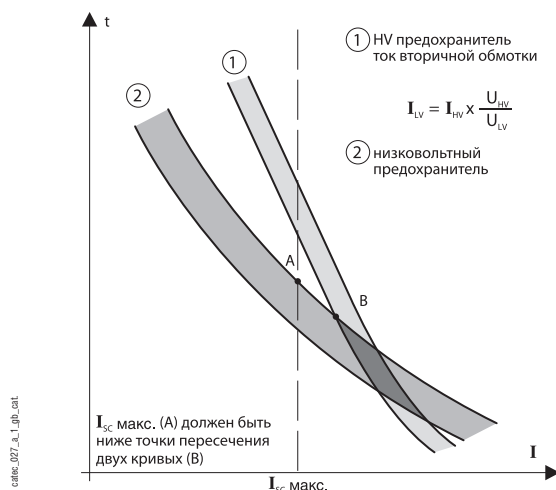


Рис. 1. Селективность HV и LV предохранителей.

Селективность в сетях, питающихся от ИБП (источника бесперебойного питания)

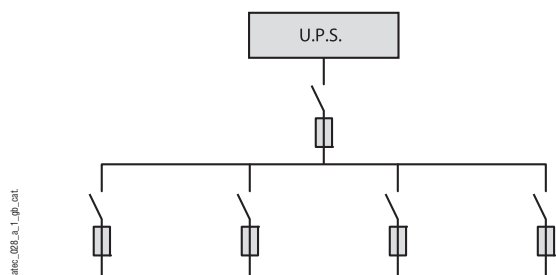


Рис. 2. Сеть, питающаяся от ИБП.

Селективность защитных устройств очень важна для сетей, питающихся от ИБП, где срабатывание защиты не должно отражаться на работе остальной части сети.

При разграничении нужно учитывать две особенности данных цепей:

- низкий ток повреждения (около $2 \times I_n$);
- максимальное время повреждения обычно устанавливается на уровне 10 мс.

Для удовлетворения этим критериям и обеспечения селективности защиты, ток в каждом направлении не должен превышать значений, указанных в таблице ниже:

Защита с помощью	Максимальный пусковой ток
Предохранителя gG	$\frac{I_n}{6}$
Быстрого предохранителя	$\frac{I_n}{3}$
Небольшого размыкателя цепи	$\frac{I_n}{8}$

Разграничение между предохранителями и автоматическими выключателями

Предохранитель ставится перед автоматическим выключателем превышения тока. Выключатель состоит из контактора и термореле.

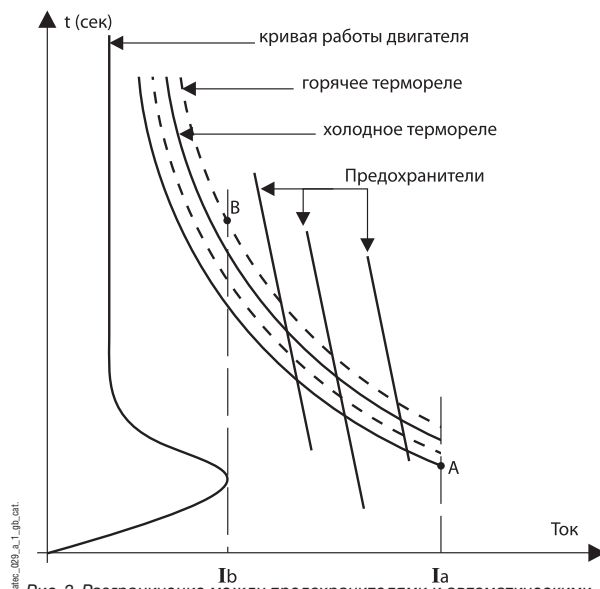


Рис. 3. Разграничение между предохранителями и автоматическими выключателями.

Кривые предохранителей, соединенных с выключателем превышения тока, должны проходить через точки A и B, соответствующие:

- I_a : разрывной способности выключателя;
- I_b : пусковому току двигателя.

Тип пуска	$I_b^{(1)}$	Время пуска ⁽¹⁾
Прямой	$8 I_n$	от 0.5 до 3 сек.
Со звезды на треугольник	$2.5 I_n$	от 3 до 6 сек.
Статорный пуск		$4.5 I_n$ от 7 до 12 сек.
Пуск через автотр-ор	1.5 до $4 I_n$	от 7 до 12 сек.
Роторный пуск	$2.5 I_n$	от 2.5 до 5 сек.

(1) Средние значения. Могут значительно изменяться в зависимости от типа двигателя и ресивера.

Температурное напряжение предохранителя должно быть ниже температурного напряжения выключателя превышения тока.

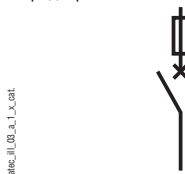
Выбирайте предохранители наиболее высокого номинала для минимизации рассеивания мощности.

Разграничение (продолжение)

Разграничение между размыкателями цепи и предохранителями

Продуманное сочетание предохранителей с другими устройствами (размыкатели цепи и т.д.) обеспечивает хорошую селективность и достижение оптимальной экономичности и безопасности.

Предохранитель выше по цепи – размыкатель ниже по цепи.



- Кривая преддугового плавления должна находиться выше точки А (рис. 1).
- Кривая полного срабатывания предохранителя должна пересекать кривую размыкателя цепи ниже точки значения I_{sc} (предельная разрывная способность).
- После точки пересечения, значение I^2t предохранителя должно быть ниже аналогичного значения размыкателя цепи.
- Значение I^2t предохранителя и размыкателя цепи всегда должно быть ниже аналогичного значения для кабеля.

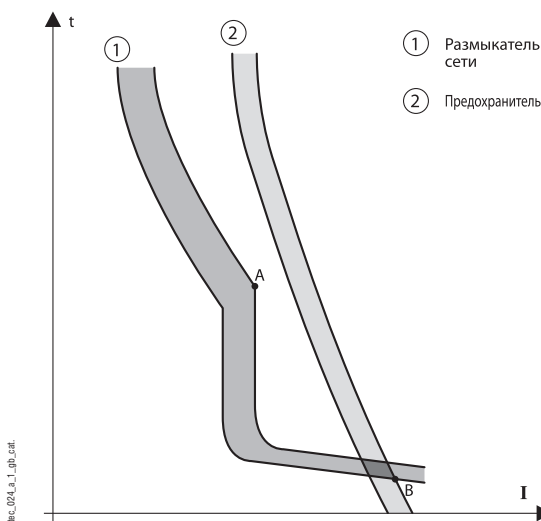
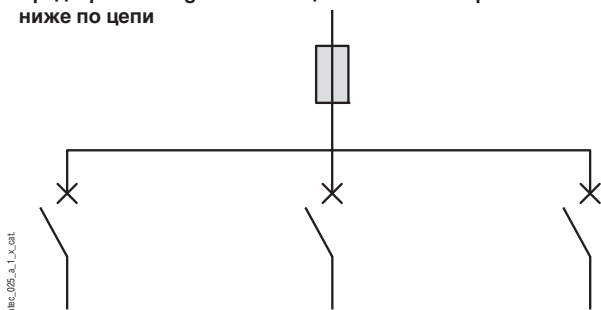


Рис. 1. Разграничение между предохранителями и размыкателями цепи.

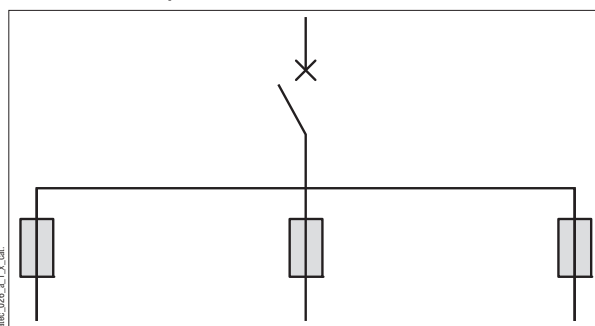
Предохранитель gG выше по цепи – несколько размыкателей ниже по цепи



- Номинал предохранителя должен быть больше суммы одновременных токов нагрузки размыкателей.
- Кривая перегорания предохранителя должна находиться выше точки А размыкателя наивысшего номинала.

- Точка пересечения В (см. рис. 1) должна быть ниже, чем наименьшая предельная разрывная мощность размыкателя цепи.
- После точки В, общее значение I^2t предохранителя должно быть меньше значения I^2t любого из расположенных выше размыкателей.

Размыкатель цепи выше по цепи – несколько предохранителей ниже по цепи



- Разрывная способность всех предохранителей и размыкателей должна быть выше, чем максимальный ток КЗ для данной цепи.
- Термоуставки размыкателя цепи (I_r) должны соответствовать следующей формуле:
 $1,05 I_r \geq I_1 + I_2 + \dots + I_n$
 $I_1 + I_2 + \dots + I_n$ – сумма токов, защищенных предохранителями в каждом направлении.
- значение тока I_r также должно отвечать следующим условиям:

$$I_r \geq K_d \times I_n$$

I_n – номинал предохранителя в цепи с наивысшей нагрузкой.

Таблица А. Значения K_d (в соответствии с IEC 269-2-1).

gG ТОК ПРЕДОХРАНИТЕЛЯ (I_n) (А)	K_d
$I_n \leq 4$	2.1
$4 < I_n < 16$	1.9
$16 \leq I_n$	1.6

Пример: Цепь с наибольшей нагрузкой защищена gG-предохранителем 100 А. Минимальный установочный ток расположенных выше размыкателей цепи, требуемый для селективности с предохранителем, будет равен:

$$I_r \geq 1,6 \times 100A = 160A.$$

- Значение I^2t предохранителя максимального номинала должно быть меньше, чем значение I^2t , ограничиваемое размыкателем цепи. Последнее в свою очередь должно быть меньше, чем максимальное значение I^2t кабеля.

- I_m (магнитный) – минимальное установочное значение.

$$8 K_d \leq I_m \leq 12 K_d$$

Значения K_d приведены в таблице А.

Предохранители

Разграничение (продолжение)

Общие положения

В случае возникновения неисправности в любой точке установки, селективность защиты позволяет обеспечить разрыв цепи с помощью защитного устройства непосредственно выше данной точки без срабатывания других устройств, расположенных на установке. Селективность обеспечивает непрерывность работы остальной сети.

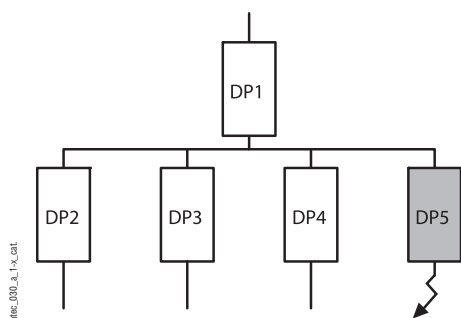


Рис. 1 Неисправность в точке А должна вызвать срабатывание защитного устройства DP5, не оказывая влияния на работу других защитных устройств

- Полная селективность обеспечивается при условии, что зоны время/ток на графике, характеризующие защитные устройства, не пересекаются.

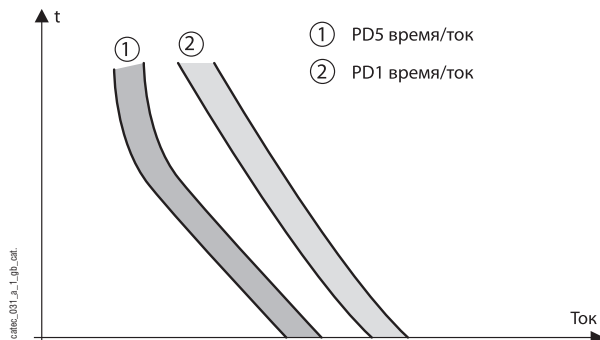


Рис. 2. Полное разграничение.

- Частичная селективность означает разграничение защитных устройств только в пределах одной части их зоны время/ток. Если ток неисправности ниже точки пересечения кривых, то селективность будет полной.

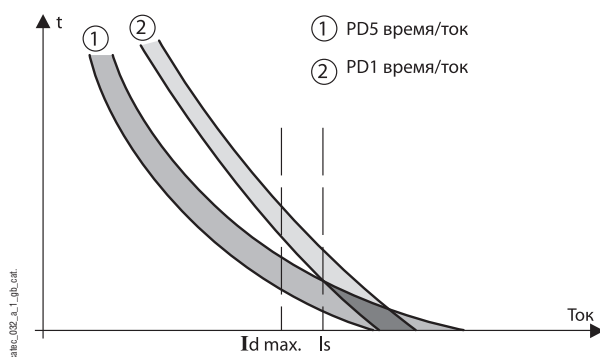


Рис. 3. Частичное разграничение.

Разграничение между предохранителями gG и aM

Полное разграничение достигается выбором предохранителей в соответствии с табл. А и В

(согласно IEC 269 -1 и 269 -2 -1).

Однако, в некоторых случаях будет достаточно частичного разграничения.

Таблица А.

Верх. предохранитель	Нижн. предохранитель	
gG	gG	aM
Номинал (А)		
4	1	1
6	2	2
8	2	2
10	4	2
12	4	2
16	6	4
20	10	6
25	16	8
32	20	10
40	25	12
50	32	16
63	40	20
80	50	25
100	63	32
125	80	40
160	100	63
200	125	80
250	160	125
315	200	125
400	250	160
500	315	200
630	400	250
800	500	315
1000	630	400
1250	800	500

Таблица В.

Верх. предохранитель	Нижн. предохранитель	
aM	gG	aM
Номинал (А)		
4	4	2
6	6	2
8	8	4
10	10	6
12	4	2
16	16	10
20	20	12
25	25	12
32	32	20
40	32	25
50	40	25
63	50	40
80	63	50
100	80	63
125	100	80
160	125	100
200	160	125
250	160	160
315	200	200
400	250	250
500	315	315
630	400	400
800	500	500
1000	500	630
1250	630	800

Разграничение между gG предохранителями и быстродействующими предохранителями

- gG предохранитель выше по цепи – быстродействующий предохранитель ниже по цепи.

Преддуговое время быстродействующего предохранителя должно быть меньше, чем половина преддугового времени предохранителя gG, в диапазоне между 0,1 и 1 сек.

- Быстродействующий предохранитель выше по цепи - gG ниже по цепи. Номинал быстродействующего предохранителя должен быть как минимум в три раза выше номинала предохранителя gG.

Регулирование потребления энергии DIRIS и COUNTIS

Функции и применение

Введение

Система COUNTIS используется для учета энергии. Система DIRIS используется для измерения электрических параметров, учета и управления электроэнергией (1), мониторинга, контроля/управления и защиты установок.

Все эти функции могут быть централизованы на ПК с использованием программного обеспечения CONTROL VISION или на другом устройстве (например, ПЛК) с использованием интерфейса RS485 с протоколом JBUS/MODBUS или PROFIBUS.

Измерения

Вне зависимости от сети (одно-, двух- или трехфазная), DIRIS измеряет ток (с 1, 2 или 3 токовых клемм) и напряжение 600 или 700В AC между фазами или с трансформатора напряжения. Кроме этого, позволяет производить расчеты:

- значений истинного действующего (TRMS) ⁽²⁾ тока;
- значений истинного действующего (TRMS) ⁽²⁾ напряжения;
- активной мощности (Вт);
- реактивной мощности (Q) с указанием знака (L – индуктивная; C – емкостная) по следующей формуле: $\sqrt{Q} = S^2 - P^2$;
- полной мощности (ВА);
- коэффициента мощности (FP) с указанием знака (L – индуктивная; C – емкостная) по следующей формуле: $FP = P/S$.

Частота (Гц) измеряется на фазе 1 сети.

Учет

Учет активной (кВт*ч) и реактивной (квар*ч) электроэнергии рассчитывается из активной и реактивной мощности. Отражает потребление электроустановки. COUNTIS используется для учета активной энергии на 2 квадрантах. DIRIS используется для учета активной и реактивной энергии на 2 или 4 квадрантах.

Благодаря наличию от 1 до 8 входов ON/OFF (вкл/выкл), есть возможность учета кВт*ч по внешнему сигналу (например: часы-автомат компании-поставщика электроэнергии) или по импульсам, приходящим со счетчиков (воды, газа, электричества и т.д.), или с других систем (размыкающие устройства и т.д.). Кроме того, DIRIS CMv2 имеет 8 субсчетчиков, работающих по времени/дате начала и окончания учета.

Примеры: каждый день с 8 до 12 часов или с 2 часов 01/01/99 до 2 часов 01/02/99.

Показания электроэнергии подаются на 1 программируемый импульсный выход (кВт*ч) (COUNTIS и DIRIS) и на 2й программируемый импульсный выход (квар*ч) (только для CM/CMv2).

(1) С помощью учета визуализируется потребление энергии от источника в реальном времени. Управление потреблением основано на записях за периоды 10 мин.

(2) Значение TRMS также называют истинным действующим значением (RMS). См. раздел «Помехи измерительных устройств».

Регулирование потребления электроэнергии

Учет энергии основан на подсчете активной энергии за период, установленный поставщиком во Франции, этот период составляет 10 минут, в Бельгии или Германии 15 минут.

Чтобы использовать эту функцию, необходимо использовать прибор, способный интегрировать это значение согласно внутреннему (часы DIRIS) или внешнему (сигнал компании энергоснабжения) сигналу синхронизации, и записывать его (память FIFO) до момента подключения к централизованной системе.

Память CM позволяет сохранять значения за период 8 дней при интервале 10 минут и 12 дней при интервале 15 минут. Память CMv2 позволяет запоминать значения за период 28 дней при интервале 10 минут и 42 дней при интервале 15 минут.

Взаимодействию между этими значениями позволяет:

- составления полной потребленной энергии в кВт*ч за определенный период;
- анализ графика потребления;
- показ полной потребленной энергии.

Регулирование потребления энергии DIRIS и COUNTIS

Функции и применение (продолжение)

Мониторинг

Система DIRIS позволяет сконфигурировать сигналы предупреждения для напряжения, тока, активной мощности, коэффициента мощности и частоты (Mh и CMv2).

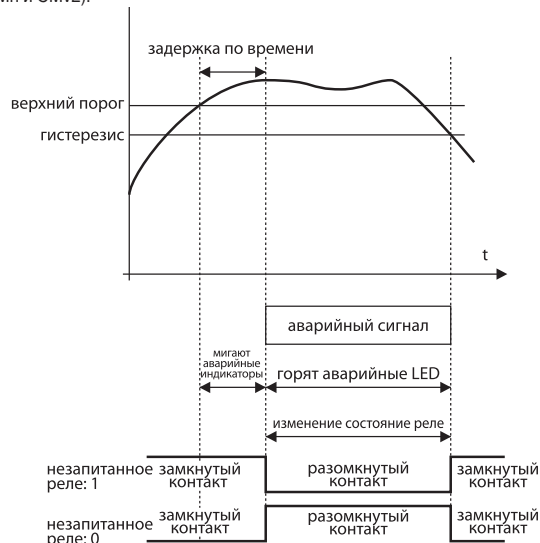


Рис. 1. Мониторинг верхнего порога.

Каждое аварийное предупреждение характеризуется следующими параметрами:

- порог:

Аварийный порог может быть верхним (превышение напряжения, тока) или нижним (падение напряжения и т.д.).

Применение:

- защита ответственного оборудования в случае падения напряжения в сети;
- мониторинг тока двигателя. Понижение тока ведет к изменению нагрузки (разрыв ремня...);
- мониторинг недостатка напряжения:
 - гистерезиса;
 - задержки по времени;
 - состояния реле;
 - 0: нормально разомкнутое;
 - 1: нормально замкнутое;

Использование нормально замкнутых реле обеспечивает организацию положительного сигнала: реле открывается при потере вспомогательного питания DIRIS, что соответствует аварийному предупреждению.

Использование нормально разомкнутых реле обеспечивает организацию отрицательного сигнала: реле закрывается при потере вспомогательного питания DIRIS, что соответствует аварийному предупреждению.

Примечания:

Для каждого параметра, подлежащего мониторингу, DIRIS:

- определяет правильность конфигурации;
- сохраняет в памяти три последних аварийных предупреждения для каждого параметра, включая:
 - продолжительность сбоя;
 - дату и время;
 - максимальные достигаемые значения.

Контроль и управление

Для осуществления контроля и управления необходимо иметь возможность управлять набором входных и выходных сигналов. DIRIS с 2 – 8 входами и 2 – 6 выходами позволяет оператору удаленно управлять работой устройств. Входы ON/OFF (вкл/выкл), подключенные к вспомогательным контактам, несут информацию о положении (закрытое, открытое) и количестве рабочих циклов (тех. обслуживание).

Выходы реле приводят в действие ряд коммутационных аппаратов (выключатели, контакторы и т.д.), что позволяет распределять нагрузку или остановить процесс. Такая система удаленного контроля легко достигается при использовании последовательного интерфейса RS485, напрямую подключенного к ПК. (программное обеспечение CONTROL VISION, например) или к другой системе (PLC, и т.д.).

Коммуникации

Смотрите раздел «Сети связи».

Коммуникации: общие положения

Описание

DIRIS и COUNTIS могут быть подключены к любой системе (ПЛК, ПК и т.д.), использующей интерфейс RS485 и протокол JBUS/MODBUS®.

Коммуникационная функция обеспечивает:

- удаленное считывание результатов измерения системы DIRIS и их обработку на ПК или другом устройстве;
- считывание конфигураций (измерения, аварийные предупреждения и т.д.);
- удаленное конфигурирование (коэффициенты трансформации, аварийные предупреждения и т.д.).

Физический уровень: RS485

- 3-проводная последовательная связь + земля (см. также «Установка связи»);
- Конфигурируемый выход: 1200, 2400, 4800, 9600, 19200 или 38400 бод;
- Топология: система шин с возможностью подключения до 31 шины на один канал. Для подключения более 31 устройства можно использовать повторители RS485 (проконсультируйтесь с нашим предприятием);
- Максимальная дальность: 1500 м – 9600 бод. Для больших расстояний должны использоваться повторители или разделители RS485 (проконсультируйтесь с нашим предприятием).

Канальный уровень

- Работа в режиме master/slave (главное/подчиненное устройство).

Master (диспетчерское устройство, ПЛК и т.д.)

- опрашивает или посылает команды на каждый DIRIS или другой терминал (slave), который отвечает или выполняет команды;

- опознает каждое подчиненное устройство (slave), идентифицируя его по номеру, который называется адресом. Адрес каждого DIRIS может быть задан в пределах от 1 до 255.

- Канальный уровень также предоставляет возможность контроля отправленного сообщения, что позволяет определять возможные ошибки при передаче.

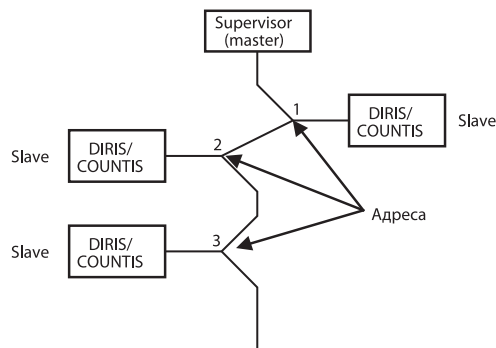


Рис. 1. Работа в режиме master/slave.

Протокол

Jbus/Modbus используется в режиме RTU (режим удаленного терминала) и состоит из шестнадцатеричного кода размером минимум 8 бит. Этот протокол включает в себя диалог master-slave, который может работать в соответствии с двумя принципами:

- master опрашивает slave и ожидает его ответа;
 - master опрашивает все slaves один за другим без ожидания ответа от них.
- Диалог также называют системой коммуникации. Система состоит из:

Адрес Slave	Код функции	Адрес	Размер
-------------	-------------	-------	--------

Для использования информации наши устройства имеют 4 функции:
 Функция 3: для считывания N слов (максимум 128 слов);
 Функция 6: для записи слова;
 Функция 8: для диагностирования обмена (со счетчиков 1, 3, 4, 5 и 6);
 Функция 16: для записи N слов.

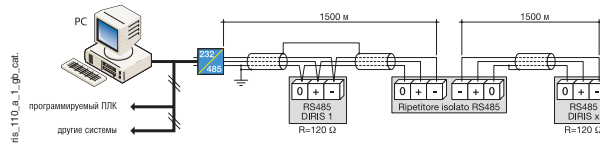
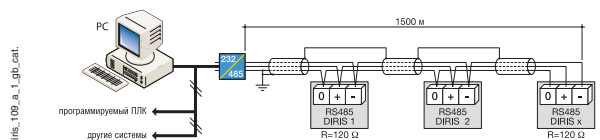
Подключение интерфейса RS485

DIRIS и COUNTIS общаются посредством 3 проводного (L1, L2 и 0B) последовательного EIA 485 (RS485) с экранированием или без него.

К одному каналу RS485 можно подключать до 31 устройства плюс master (ПЛК или микрокомпьютер), оснащенных интерфейсом RS485.

Количество устройств в сети может быть увеличено путем использования повторителей (максимум 255 на канал связи).

Мы рекомендуем использовать витую пару с проводом заземления. В условиях большого уровня помех рекомендуется использовать 3-х проводниковый экранированный кабель, экранирующая оболочка которого подключена к земле только на одном конце.



На обоих концах канала RS485 необходимо иметь интегрированную в DIRIS резистивную нагрузку 120 Ом.

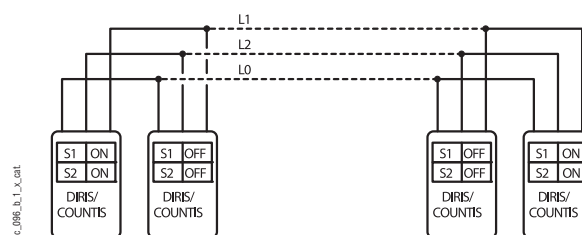


Рис. 3. Пример подключения DIRIS.

Мы рекомендуем использовать кабели следующих типов:

- LIYCY 2 витых пары с общим экраном (минимальное сечение 0,34 мм²);
- LIYCY-CY 2 витых пары с экранированием каждой пары плюс общее экранирование (минимальное сечение 0,34 мм²).

Примечание: все устройства, подключенные к каналу RS485, должны иметь разные адреса (адреса JBUS/MODBUS®).

Регулирование потребления энергии DIRIS и COUNTIS

Коммуникационная схема

Таблица адресации DIRIS M

Считывание информации (функция 3).

АДРЕС В НЕЧА.	КОЛ-ВО СЛОВ ⁽¹⁾	ИМЯ	ЕД. ИЗМ.
700	1	0 для СТ с 1А вторичным тр-ом 1 для а СТ с 5А вторичным тр-ом	A
701	1	Фаза 1	0.1 A
703	1	Фаза 2	0.1 A
705	1	Фаза 3	0.1 A
707	1	ток нейтрали	0.1 A
709	1	Напр. между фазой 1 и нейтралью	0.1 В
70В	1	Напр. между фазой 2 и нейтралью	0.1 В
70D	1	Напр. между фазой 3 и нейтралью	0.1 В
70F	1	Напряжение между фазами 1 и 2	0.1 В
711	1	Напряжение между фазами 2 и 3	0.1 В
713	1	Напряжение между фазами 1 и 3	0.1 В
715	1	Активная энергия	0.1 кВт
717	1	Реактивная энергия	0.1 кВАр
719	1	Очевидная энергия	0.1 кВА
71В	1	Энергия	/
71D	1	Частота	0.1 Гц
71F	1	I1 макс.	0.1 A
721	1	I2 макс.	0.1 A
723	1	I3 макс.	0.1 A
725	1	P макс.	0.1 кВт
727	1	активная энергия + (4 верхние цифры)*	кВт*ч
729	1	активная энергия + (3 нижние цифры)*	
72В	1	реактивная энергия + (4 верхние цифры)*	квар*ч
72D	1	реактивная энергия + (3 нижние цифры)*	
72F	1	активная энергия + (4 верхние цифры)*	кВт*ч
731	1	активная энергия + (3 нижние цифры)*	
733	1	реактивная энергия + (4 верхние цифры)*	квар*ч
735	1	реактивная энергия + (3 нижние цифры)*	
737	1	знач. Р 0 =+ и 1 =-	/
738	1	знач. Q и PF 0 =+ и 1 =-кВАр	/

(1) размер данного поля: 30 слов или 1E в шестнадцатеричной системе (с опцией 4 квадрантов) – 24 слова или 18 в шестнадцатеричной системе (без опции 4 квадрантов).

* точка-разделитель разрядов на дисплее.

Пример:

Для считывания 3650 кВт*ч необходимо послать следующее сообщение:

Втор.	Функция	Адрес верх. рег.	Адрес нижн. рег.	Кол-во слов верх. рег.	Кол-во слов нижн. рег.	CRC 16
05	03	07	27	00	02	74F0

Ответ DIRIS M:

Втор.	Функция	Количество байт	Значение верх. рег.	Значение нижн. рег.	CRC 16
05	03	04	0003	028A	CF34
			3	650 kWh	

Пример:

Для отображения всех значений в одном опросе, необходимо отправить следующую схему:

Втор.	Функция	Адрес верх. рег.	Адрес нижн. рег.	Кол-во слов верх. рег.	Кол-во слов нижн. рег.	CRC 16
05	03	07	00	00	1E	C532

Запись устройств (функция 6 или 16).

АДРЕС В НЕЧА.	КОЛ-ВО СЛОВ ⁽¹⁾	ИМЯ	ЕД. ИЗМ.
100	1	Первичный СТ	1 A
102	1	Задержка импульсного выхода	10Вт*ч
104	1	Тип сети: 0: 3 Lb 1: 3 Lnb 2: 4 Lb 3: 4 Lnb	/
105	1	Частота 0: 50 Гц и 1: 60 Гц	Гц
106	1	Суммарное время энергии	1 минута
107	1	Суммарное время тока	1 минута
108	1	Изменение параметров	500 мс
10A	1	Изменение измерений	500 мс
500	1	Сброс	/

(1) размер данного поля: 9 слов или 9 в шестнадцатеричной системе.

Рекомендации:

После изменения параметров нужно сделать резервную копию по адресу 500.

Пример:

Конфигурирование первичной обмотки трансформатора 10 А на DIRIS № 5:

Втор.	Функция	Адрес верх. рег.	Адрес нижн. рег.	Кол-во слов верх. рег.	Кол-во слов нижн. рег.	CRC 16
05	06	01	00	00	0A	09B5

Ответ DIRIS M идентичен отосланному сообщению.

Измерения

Инструкция по установке

► Ферромагнитное оборудование



Состоит из двух отталкивающих магнитов (один фиксированный, второй подвижный и прикрепленный к игле), помещенных внутри катушки, к которой подключается измеряемый ток.

Магнитоэлектрическое оборудование считывает среднеквадратичные сигналы: влияние формы кривой в расчет не принимается. Также может использоваться для сигнала постоянного тока, однако это отрицательно сказывается на точности измерений.

Простота прибора позволяет его применять для измерения переменных токов на низковольтных щитах.

► Магнитоэлектрическое оборудование



Измеряет ток, протекающий через подвижную катушку, помещенную в магнитное поле постоянного магнита. Под действием электромагнитных сил катушка отклоняется пропорционально величине тока. Принимая во внимание низкое потребление, является отличным измерительным устройством для измерения низких сигналов постоянного тока.



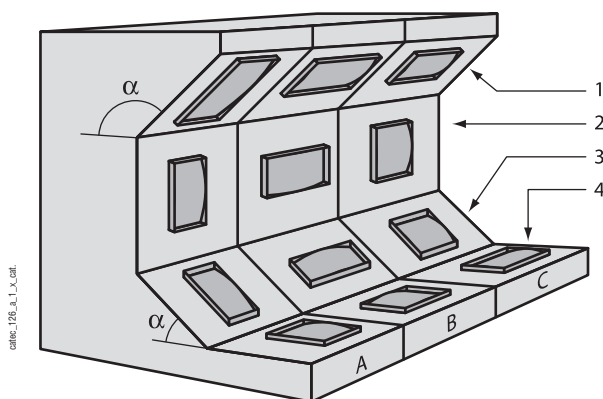
► Магнитоэлектрическое оборудование с выпрямителем

Т.к. магнитоэлектрический гальванометр является поляризованным устройством постоянного тока, он способен измерять высокие значения переменного тока после добавления диодного выпрямителя.

► Рабочее положение

Индикаторы ROTEX и DIN оснащены калибровочными шкалами для использования в вертикальном положении. Возможно использование в другом положении без заметного влияния на точность измерений.

Индикаторы могут быть откалиброваны для эксплуатации в других положениях по требованию (указывается при заказе).

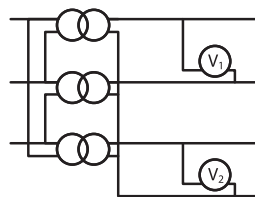


- 1: $\alpha > 90^\circ$; 3: $\alpha < 90^\circ$;
2: $\alpha = 90^\circ$; 4: $\alpha = 0^\circ$;

► Использование трансформаторов напряжения (VT)

Цепь 3 VT: сеть 63 кВ – VT 63 кВ / 100 В / $\sqrt{3}$

calmc_127_a_1_x_cat.

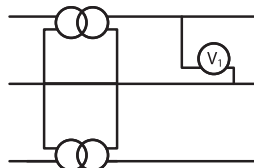


Вольтметр 100В = 63 кВ измеряет низковольтное напряжение между фазами и показывает высоковольтное напряжение между фазами.

Вольтметр 100В / $\sqrt{3}$ = 63 кВ измеряет низковольтное напряжение фазы и показывает высоковольтное напряжение фазы.

2 VT в цепи «V»: сеть 63 кВ – VT: 63 кВ / 100В
(использование: измерение 3 значений напряжения на 2 VT)

calmc_128_a_1_x_cat.



Вольтметр 100В = 63 кВ измеряет низковольтное напряжение между фазами и показывает высоковольтное напряжение между фазами.

► Преобразователь мощности

Пример: Калибровка преобразователя активной мощности:
СТ 20 / 5 А, U = 380В, трехфазные сети, $\cos \phi = 1$.

Стандартная калибровка:

$P' \text{ (преобр.) } UI \cos \phi \sqrt{3} = 380 \text{ В} \times 5 \text{ А} \times 1 \times 1.732 = 3290 \text{ Вт}$.

Таким образом, 20 А СТ P = 3290Вт х 20 / 5 = 13,16 кВт.

на выходе преобразователя: 0мА = 0%; 20мА = 100% нагрузка.

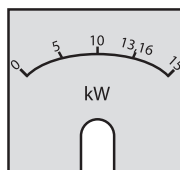
- Калибровка цифрового дисплея, порогового реле или BMS (система диспетчеризации инженерного оборудования): Цифровой дисплей может быть откалиброван для отображения 13,16 кВт при 20 мА, таким образом, калибровка преобразователя не требуется.

- Калибровка стрелочного индикатора (шкала от 0 до 15 кВт). Калибровка производится при 20мА по нижнему пределу шкалы. Соответствующее устройство не поддается регулировке, поэтому калибровка преобразователя будет производиться следующим образом:

$$P' \text{ (преобр.)} = \frac{15 \text{ кВт}}{13.16 \text{ кВт}} \times 3290 \text{ кВт} = 3750 \text{ Вт для } 20 \text{ мА}$$

$$I' \text{ (выход преобр.)} = \frac{13.16 \text{ кВт}}{15 \text{ кВт}} \times 20 \text{ мА} = 17.55 \text{ мА};$$

calmc_129_a_1_x_cat.



3290Вт => 13.16 кВт => 17.55 мА;

3750Вт => 15 кВт => 20 мА.

Измерения

Инструкция по установке (продолжение)

Индекс класса точности

• **Аналоговые измерительные устройства** характеризуются индексом класса (или классом точности). Данное значение показывает максимальную погрешность, выраженную в сотых частях максимального значения шкалы устройства.

Пример: Для амперметра с 50 делениями шкалы, класса 1,5 погрешность будет составлять $1,5/100 \times 50$, то есть 0,75 деления:

– для амперметра 20 А: $20/50 \times 0,75 = 0,3$ А;

– для амперметра 400 А: $400/50 \times 0,75 = 6$ А.

Цифровые устройства могут искажать значение на ± 1 единицу от последней отображаемой цифры в дополнение к реальной погрешности компонентов устройства.

Пример: Трехзначный индикатор (999 положений) с погрешностью 0,5%, подключен к СТ 400/5А, 400А может отображать:

– (а) основная погрешность $400 \times 0,5/100 = \pm 2$ А,;

– (б) погрешность дисплея: 1 цифра, т.е.: ± 1 А;

– максимальная погрешность: (а) + (б) = ± 3 А (при номинальной нагрузке).

• **Трансформаторы тока (СТ)** характеризуются классом точности.

Погрешность изменяется в зависимости от нагрузки в следующей закономерности:

Ошибка ($\pm \% \text{ of } I_n$)							
УРОВЕНЬ ЗАГРУЗКИ	0.1 I_n	0.2 I_n	0.5 I_n	I_n	1.2 I_n	5 I_n	10 I_n
Класс 0.5	1.0	0.75		0.5			
1	2.0	1.50		1.0			
3			3	3	3		
5			5	5	5		
5P5				5		5	
5P10				5			5

Пример: Трансформаторы 5P5 используются для измерения тока цепи двигателя и гарантируют точность $\pm 5\%$ при 5 I_n .

Потери в медном кабеле

При выборе мощности трансформатора или преобразователя следует учитывать потери в кабеле для обеспечения корректного функционирования измерительной цепи.

$$\text{Потери (в ВА)} = \frac{I^2 \text{ (в А)} \times 2}{S \text{ (в мм}^2\text{)} \times 56} \times L \text{ (в м)}$$

L: расстояние между трансформатором тока и индикатором.

Потери кабеля в ВА ⁽¹⁾ для 5 А СТ							
L (м)	1	2	5	10	20	50	100
S (мм ²)							
1.0	0.89	1.79	4.46	8.93	17.9	44.6	89.3
2.5	0.36	0.71	1.79	3.57	7.14	17.9	35.7
4.0	0.22	0.45	1.12	2.23	4.46	11.2	22.3
6.0	0.15	0.30	0.74	1.49	2.98	7.44	14.9
10	0.09	0.18	0.45	0.89	1.79	4.46	8.93
Потери кабеля в ВА ⁽¹⁾ для 1 А СТ							
1.0	0.04	0.07	0.18	0.36	0.71	1.79	3.57
2.5	0.01	0.03	0.07	0.14	0.29	0.71	1.43
4.0	-	0.02	0.04	0.09	0.18	0.45	0.89
6.0	-	-	0.03	0.06	0.12	0.30	0.60
10	-	-	0.02	0.04	0.07	0.18	0.36

(1) в расчет принимается только активный компонент потерь.

Суммирующий трансформаторы тока

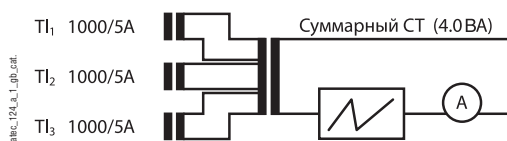
Суммирующие трансформаторы тока позволяют складывать действующие значения нескольких переменных токов одной фазы. Эти трансформаторы могут иметь разные значения cos ϕ .

Суммирующие трансформаторы тока характеризуются:

• количеством подключаемых трансформаторов (с одинаковым отношением числа витков обмоток);

• номинальной рабочей мощностью.

Пример: Измерение в 3-х цепях для записи и индикации:



Записывающее устройство (7,0ВА) + амперметр (1,5 ВА).

• (а) баланс мощностей на выходе суммирующего трансформатора:

(амперметр + записывающее устройство + потери в измерительной цепи):

$P' = 1,5 \text{ ВА} + 7,0 \text{ ВА} + 1,5 \text{ ВА} = 10,0 \text{ ВА}$.

• (б) баланс мощностей на выходе СТ:

$P = P' + \text{сумма собственного потребления трансформаторов тока}$

$P = 10,0 \text{ ВА} + 4,0 \text{ ВА} = 14,0 \text{ ВА}$ в результате получаем: $P/3$ на каждый трансформатор.

Насыщающийся трансформатор тока

Насыщающиеся трансформаторы используются для подачи питания на мало-мощные термореле с целью их защиты от превышения тока вследствие частых пусков двигателей (насыщающиеся трансформаторы имеются только с выходом 1А).

SOCOMEC различает два типа насыщающихся трансформаторов тока:

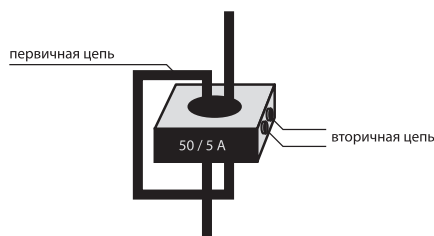
• трансформаторы с насыщением, начинающимся при 4 I_n для нормальных пусков (например, насосы);

• трансформаторы с насыщением, начинающемся при 1,5 I_n для прерывистых пусков (например, вентиляторы с убранными закрылками).

Выбор отношения числа витков обмоток

При номинальных токах менее 50А возможно использование токовых трансформаторов с более высоким первичным током, при этом первичная линия пропускается через трансформатор несколько раз.

За исключением экономии, данный метод позволяет выбирать различные отношения числа витков обмоток (постоянная эффективность и точность измерений).



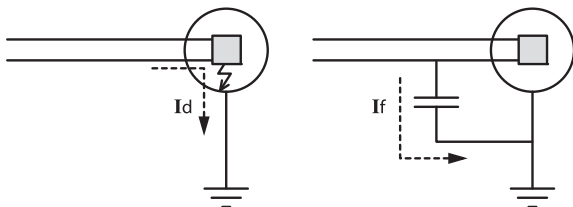
Пример: первичная цепь трансформатора тока 50А.

ИЗМЕРЯЕМЫЙ ПЕРВИЧНЫЙ ТОК	КОЛИЧЕСТВО ПРОХОДОВ
50А	1
25А	2
10А	5
5А	10

Дифференциальная защита

Общие положения

Ток замыкания на землю представляет собой ток, который течет к земле при повреждении изоляции (I_d). Утечкой тока на землю является вытекание тока из токоведущих частей изоляции на землю при отсутствии поврежденной изоляции (I_f).



Прибор остаточного тока (Residual Current Device (RCD)) согласно IEC 755 сконструирован для обнаружения утечки на землю или тока замыкания, появляющегося обычно ниже места его установки.

К основным типам дифференциальных устройств относятся:

- дифференциальные размыкатели цепи;
- дифференциальные выключатели;
- дифференциальные реле, которые не встроены в прерывающее устройство.

Компанией SOCOMEC предлагается полный ассортимент дифференциальных реле, которые смогут удовлетворить требованиям для каждого отдельного случая.

Дифференциальные реле служат двум целям:

- **прерывание питания установки**, если реле подключено к отключающему устройству с автоматическим механизмом прерывания;
- **сигнализация об утечке или токе замыкания** при использовании в качестве сигнального реле.

Система сигнализации

Обеспечивает оповещение в случае обнаружения утечки или тока замыкания на землю, которые еще позволяют проведение профилактических работ персоналом.

Устройство дифференциальной сигнализации состоит из:

- кольцевого сердечника, окружающего токоведущие проводники, подлежащие мониторингу; он определяет остаточный ток с того момента, когда сумма токов в цепи становится отличной от нуля;
- устройства измерения и анализа дифференциального тока, которое при помощи аварийных индикаторов, выходных реле или цифрового выхода подаст сигнал тревоги операторам.

В некоторых случаях могут потребоваться обе функции: и прерывающая, и сигнальная одновременно.

Прерывание питания установки

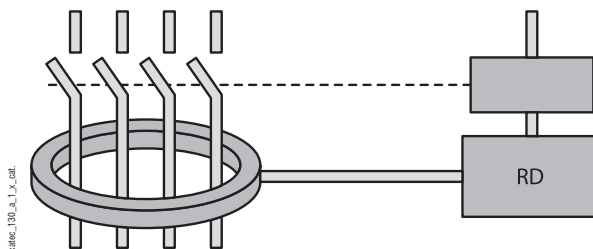
В этом случае дифференциальная защита состоит из:

- кольцевого сердечника, окружающего токоведущие проводники, подлежащие мониторингу; он определяет остаточный ток с того момента, когда сумма токов в цепи становится отличной от нуля;
- устройства измерения и анализа дифференциального тока, которое подает сигнал тревоги;
- устройства прерывания электропитания, которое связано с аварийным реле.

При возникновении опасности (поражение электротоком, пожар, взрыв, неисправная работа машины и т.д.) автоматическое устройство прерывания электропитания выполняет одну или несколько следующих функций:

- защита от непрямого контакта;
- ограничение утечки токов;
- дополнительная защита от прямого контакта;
- защита оборудования или продукции;
- другие.

Дифференциальные реле можно комбинировать в определенных условиях с контакторами, автоматическими прерывателями или выключателями и с - выключателями с плавкими предохранителями с размыкающим механизмом из ассортимента SIDERMAT и FUSOMAT SOCOMEC.



Дифференциальная защита

Определения

Номинальный остаточный дифференциальный ток $I_{\Delta n}$

Номинальный остаточный дифференциальный ток, обозначаемый I_n , представляет собой максимальное значение дифференциального тока, который запускает работу устройства.

Его значение обычно выражает чувствительность RCD или номинал (пример: RCD 30 mA). RCD может, согласно стандартам для дифференциальных устройств, произвести отключение при половине своего номинального остаточного дифференциального тока.

Устройства компании SOCOMEC, благодаря измерению действующего тока, могут выдерживать токи до 75% (в классе AC) номинального остаточного тока. Этот уровень точности позволяет производить защиту на том же уровне при больших утечках тока и таким образом обеспечивать лучшую селективность. Значения тока I_n систематизируются согласно трем классам чувствительности:

Чувствительность	Номиналы $I_{\Delta n}$
Низкая чувствительность	20A
	10A
	5A
	3A
Средняя чувствительность	1A
	500 mA
	300 mA
	100 mA
Высокая чувствительность	≤ 30 mA

Время отключения

Стандарт IEC 60755 предусматривает период максимального времени отключения, выраженного в секундах для дифференциальных устройств, запускающихся от неправильных контактов с токоведущими частями:

Класс	I_n (A)	Значения времени отключения		
		$I_{\Delta n}$ s	$2 I_{\Delta n}$ s	$5 I_{\Delta n}$ s
TA	Любое значение	2	0.2	0.04
TB	Только $\leq 40A$	5	0.3	0.15

Класс TB учитывает комбинации дифференциального реле с отдельным размыкающим устройством. Для защиты от не прямых контактов стандарт установки IEC 60364 допускает время отключения 1сек. для разводки цепи, при этом не принимая во внимание напряжение контакта, если необходима селективность. При окончательной разводке дифференциальные устройства, используемые для защиты людей, должны принадлежать к типу быстрого реагирования.

Время отсечки

Стандарт IEC 60755 определяет три класса использования для RCD, в зависимости от типа сети:

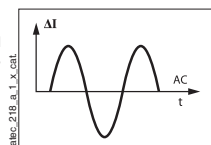
• класс AC

СИМВОЛ:



Пример тока повреждения:

Устройство обеспечивает отключение при остаточных дифференциальных синусоидальных переменных токах.



Классы дифференциальных реле

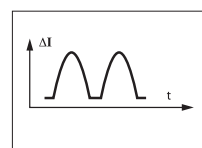
•класс A

СИМВОЛ:



Пример тока повреждения:

Устройство обеспечивает отключение при остаточных дифференциальных, импульсных переменных токах, постоянная составляющая которых остается ниже 6 mA в период не менее 150° при заданной номинальной частоте.



•класс B

СИМВОЛ:



Пример тока повреждения:

Устройство обеспечивает отключение при дифференциальных токах, соответствующих устройствам класса A, но также при дифференциальных токах, идущих из цепи выпрямителя:

- один полупериод для емкостной нагрузки, вырабатывающей плавный постоянный ток;
- трехфазный ток: одиночный или двойной полупериод;
- однофазный ток: двойной полупериод между фазами;
- любой ток, заряжающий аккумулятор.



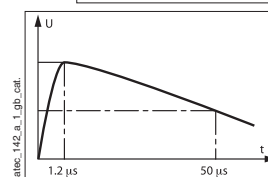
Электромагнитная совместимость (ЭМС)

RCD иногда производит отключение по другим причинам, не только при нарушении изоляции. Причины могут быть разнообразными: буре, эксплуатация устройств с высоким напряжением, токи короткого замыкания, пуск двигателей, близкое соседство с люминесцентными лампами, емкостными нагрузками, электромагнитные поля, электростатические разряды.

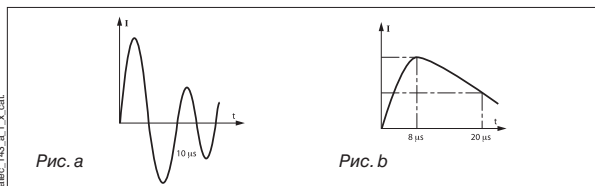
RCD с достаточной невосприимчивостью к этим неисправностям помечены специальной маркировкой.



Вспомогательные источники питания дифференциальных реле компании SOCOMEC основательно защищены от ложных тревог и повреждения компонентов в случае превышения напряжения из-за молнии или эксплуатации устройств высокого напряжения (смотрите. напротив).



Принцип измерения цифровой выборкой дифференциального сигнала и выбор материалов сердечника гарантирует хорошее сопротивление дифференциальных реле в случае волны переходного тока, появляющейся на замыкании цепей с высокой емкостью (рис. a) или при электрическом пробое изоляции из-за перенапряжения (рис. b).



Применение

Обеспечение защиты установки

- Общая селективность (вертикальная селективность)

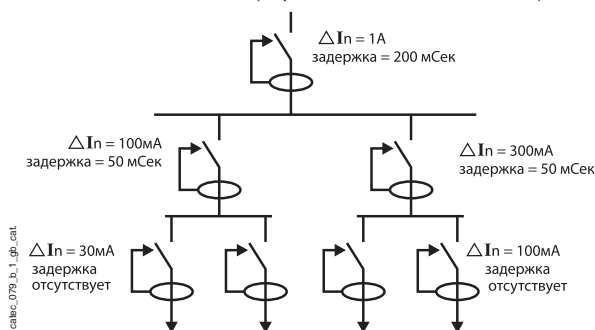


Рис. 1.

Ее предназначение - подавление тока повреждения только в той области установки, где обнаружена неисправность. Чтобы осуществить это, необходимо выполнить два условия:

1. Рабочее время RCD, установленного ниже по цепи (t_{fB} рис. 2), должно быть меньше нерабочего времени устройства, установленного выше (t_{nfA}).

Простое решение для удовлетворения данному условию заключается в использовании RCD-устройств класса S (с регулируемой задержкой). Задержка RCD, установленного выше по цепи, должна превышать задержку RCD, установленного ниже (рис. 1).

2. Чувствительность RCD, установленного ниже по цепи ($I \Delta n$), должна быть меньше половины $I \Delta n$ A чувствительности RCD, установленного выше (см. рис.1 и 2).

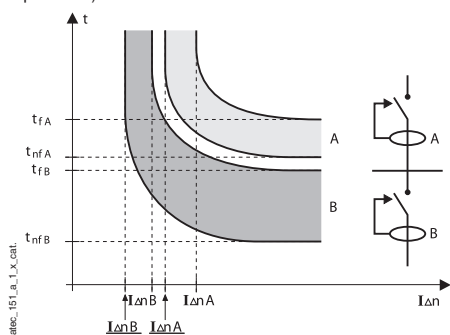
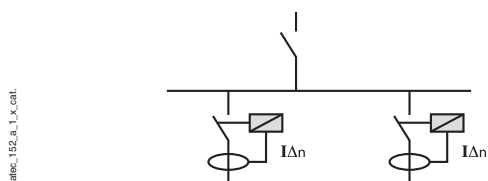


Рис. 2.

- Горизонтальная селективность

Эта компоновка состоит из размещенных в определенных условиях дифференциальных устройств, которые могут быть одинаковыми (по $I \Delta n$), находящаяся на том же уровне распределения (внутри той же панели, соседней панели или соединенной кабелем типа U1000 ...), без необходимости использования обычного дифференциального устройства.



При режиме заземления нейтрали ТТ общее дифференциальное устройство не обязательно устанавливается выше фидеров дифференциальной секции, поскольку вся установка до клемм, расположенных выше нее, относится к классу II или имеет дополнительную изоляцию.

Защита двигателей

Повреждение изоляции обмотки двигателя может привести:

- к разрушению обмотки (при этом двигатель еще можно отремонтировать);
- к разрушению магнитной цепи (двигатель ремонту не подлежит).

Установка дифференциального устройства, уменьшающего ток повреждения до уровня менее 5% I_n , гарантирует целостность магнитных цепей и защищает двигатель. Поскольку некоторые двигатели большой мощности могут иметь разбаланс между токами или токами утечки во время фазы запуска, принято при определенных условиях при запуске нейтрализовать дифференциальное реле.

Утечка тока в оборудовании

Информационное оборудование, согласно стандартам EN и IEC 60950, может являться источником утечки тока из-за особых фильтрующих устройств. Утечки емкостного тока в 3,5 мА приемлемы для цепей с силовыми разьемами и в 5% (в определенных условиях) для стационарно установленных цепей.

Стандарт EN 50178 по электронному оборудованию (ЕЕ), используемый в силовых установках, допускает максимальную утечку тока в 3,5 мА АС и 10 мА DC для ЕЕ.

В случае превышения этих величин необходимо принять дополнительные меры, такие как: удвоение защитного проводника, отключение электропитания при поврежденном заземлении, установка трансформатора, который обеспечит гальваническую развязку и т.д.

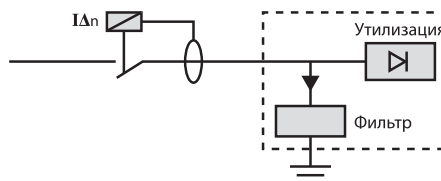
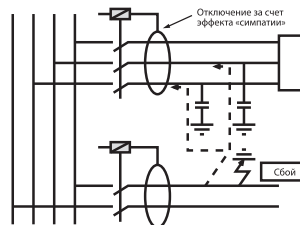


Рис. 1. Соединение IMD: обычный случай.

Эффект «симпатии»

Серьезное повреждение изоляции оказывает воздействие на фидер (источник питания), который может образовать контур благодаря возможности емкостной утечки на землю другого фидера и вызвать отключение последнего при отсутствии там какого-либо нарушения изоляции цепи.

Это явление особенно часто встречается на источниках питания с потенциальной возможностью утечки емкостного тока на землю, или когда в очень длинной системе проводки возникает неисправность.



Единственным решением для ограничения этого эффекта является задержка дифференциальных устройств.

Противопожарная защита

Параграф 482.2.10 стандарта IEC 60 364 оговаривает использование устройств RCD при $I \Delta n \leq 500$ мА для защиты помещений, в которых есть риск возникновения пожара.

Дифференциальная защита

Ввод в эксплуатацию

На всех установках присутствует утечка тока на землю, в основном из-за емкостной проводимости проводников и антипаразитных или EMC-фильтрующих конденсаторов, например, на оборудовании класса I.

Общее количество всех этих токов утечки может вызвать срабатывание высокочувствительных устройств RCD (отключение происходит при токах от $I_n/2$ ($I_n \times 0,80$) для устройств SOCOMEC RESYS P и M), не подвергая опасности персонал.

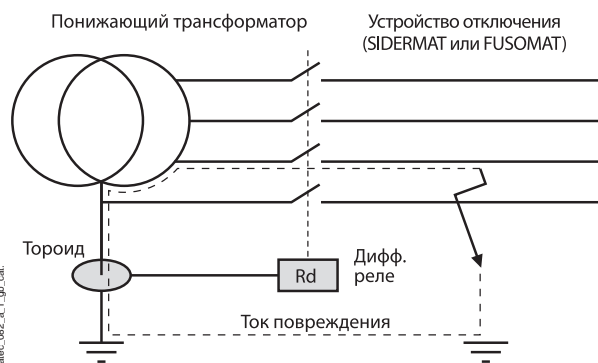
Утечку тока на землю можно ограничить следующим образом:

- использованием оборудования класса II;
- применением разделительных трансформаторов;
- применением цепей с питанием от ИБП;
- ограничением числа потребителей, защищенных одним и тем же RCD.

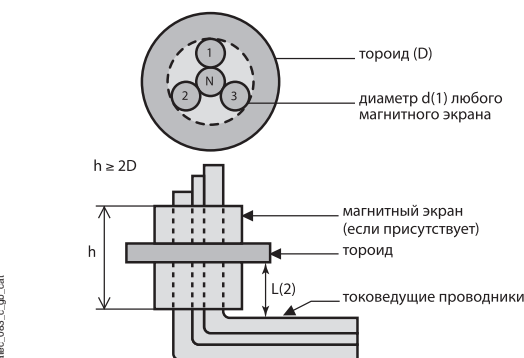
Улучшение работы RCD

- Процесс установки следует начать с установки ТТ.

В самом начале ТТ установки (и только в этом случае), можно заменить детекторный тороид (тороидальный сердечник), расположенный на токоведущих проводниках одним тороидом, связывающим нейтраль понижающего трансформатора и заземление. Это уменьшает чувствительность к помехам и является более экономичным исполнением защиты.



- Для уменьшения чувствительности к помехам тороида необходимо:
 - симметрично располагать фазные проводники вокруг нейтрального проводника;
 - использовать тороид диаметром как минимум в два раза большим, чем круг, образованный проводниками: $\Delta \geq 2d$;
 - можно добавить магнитный экран высотой как минимум в 2D.



(1) d – центрирование кабелей в тороиде является гарантией ненасыщения тороида. Насыщенный тороид вызывает ложные отключения.

(2) L – расстояние от тороида до изгиба кабелей.

Маркировка условий проверки дифференциальных устройств

Необходима дополнительная маркировка, чтобы показать пользователю, что проверку необходимо проводить регулярно (рекомендуется через каждые 3 - 6 месяцев).

Выбор дифференциального устройства по принципу вспомогательного питания

Уровень подготовки операторов и назначение установки, согласно IEC 60364, определяют выбор устройств дифференциальной защиты по способу действия, связанного с принципом питания.

Тип дифференциального устройства	Возможный выбор согласно типу установки	
	Персонал без спецодежды (BA1)	Опробование и проверка персоналом, как минимум информированность (BA4)
С дополнительным источником питания, независимым от сети	НЕТ	ДА
Работающий независимо от сетевого напряжения	ДА	ДА
С работой, зависящей от сетевого напряжения или от любого вспомогательного источника питания с защитой от неисправности	Не рекомендован	ДА
С работой, зависящей от сетевого напряжения (защита от неисправности отсутствует)	НЕТ	ДА, кроме цепей РС 16А
С работой, зависящей от сетевого напряжения вспомогательного источника питания (защита от неисправности отсутствует)	НЕТ	Сигнализации о неисправности во вспомогательном источнике питания

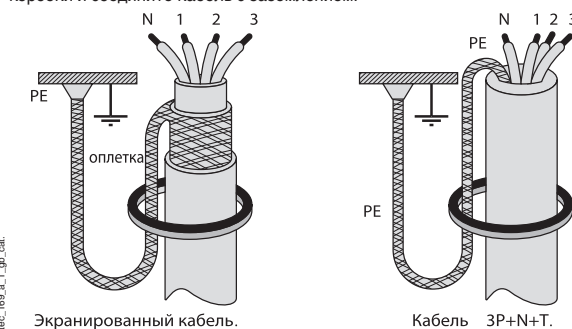
Внимание: подключенный к сети трансформатор не является вспомогательным источником, независимым от сети.

Характеристики дифференциального устройства со вспомогательным источником

- Мониторинг цепи, не зависящий от ее напряжения;
- подходит к сетям с большими и быстрыми флуктуациями;
- мониторинг не зависит от тока нагрузки (роста неустановившихся токов, подключения индуктивных нагрузок);
- повышенная невосприимчивость к неустойчивым коротким замыканиям (время интеграции порядка 30 нс, в то время как для устройства со своим током существует риск отключения за несколько мс).

Меры предосторожности при установке тороидов на армированные кабели

- Армированный кабель: обеспечьте электроизоляцию от соединительной коробки и соедините кабель с заземлением.



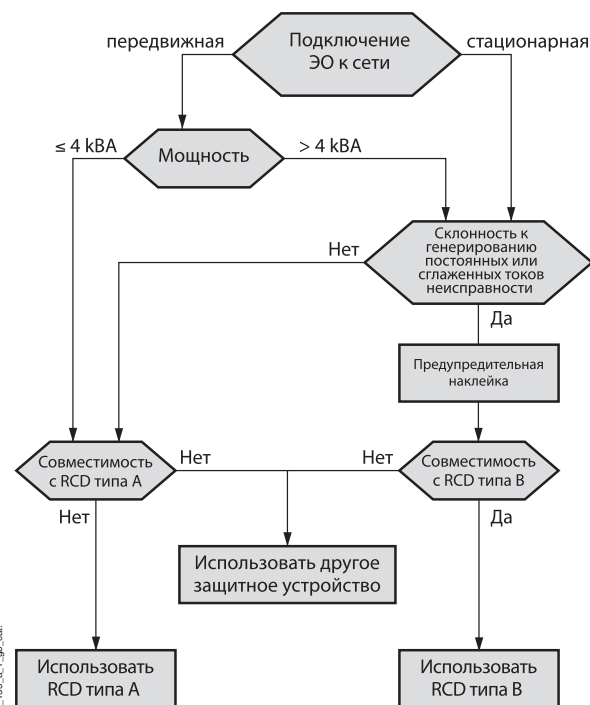
Установка (продолжение)

Выбор класса дифференциальных устройств по типу нагрузки

Оборудование все чаще оснащается выпрямительными устройствами (диоды, тиристорами). На выходе этих устройств у токов замыкания на землю есть постоянная составляющая, способная снизить чувствительность RCD.

Дифференциальные устройства должны относиться к классу, соответствующему данным нагрузкам (смотрите главу об определениях классов).

В стандарте EN 50178 приводится следующая блок-схема, определяющая требования к использованию ЭО за дифференциальным устройством (ЭО – электронное оборудование).



Передвижное ЭО, номинальная входная мощность которого не превышает 4 kVA, должно быть совместимым по конструкции с устройствами RCD типа A (защита от прямых и не прямых контактов).

На любом ЭО, для которого существует риск генерации тока повреждения, постоянная составляющая которого может нарушить работу защитных дифференциальных устройств, должна быть предупредительная наклейка, информирующая об этом.

Если устройства RCD несовместимы с ЭО, нуждающимся в защите, необходимо задействовать другие меры защиты, такие как двойная или усиленная изоляция, гальваническая изоляция ЭО от электросети при помощи трансформатора и т.д.

«Производственные» нагрузки

Большинство устройств принадлежат к классу AC, но на практике для промышленных установок требуется использование устройств как минимум класса A.

Нагрузки типа «вариатор скорости»

Так как данный тип нагрузок подвержен значительным изменениям, реле класса B, независимые от напряжения и тока, являются наиболее подходящими к данному типу нагрузок во избежание риска ложного выключения.

Группирование установок по типу нагрузки

Следует группировать вместе типы устройств установки, вызывающие одни и те же неисправности.

Если нагрузки могут генерировать постоянные составляющие, их нельзя подключать ниже по сети от устройств, которые при неисправности генерируют только переменные или импульсные выпрямленные составляющие.

Сигнализация или предаварийное предупреждение об утечке или неисправности

В устройствах, где непрерывность работы является обязательной (в противном случае безопасность оборудования и людей ставится под угрозу), наибольшие риски связаны с неисправностями в изоляции, что необходимо принимать во внимание.

Функция сигнализации может осуществляться двумя способами:

1. Автоматическое отключение электропитания в целях обязательной защиты (защиты от прямых и не прямых контактов, ограничения утечки тока) осуществляется дифференциальными устройствами, сигнализирующая функция которых может выполняться предаварийными реле, включенными в определенные дифференциальные реле (RESYS M40, P40, B,... компании SOCOMEC).
2. Автоматическое отключение электропитания в целях обязательной защиты (защиты от прямых и не прямых контактов, ограничения утечки тока) осуществляется другими устройствами, такими как, например, устройства защиты от тока перегрузки. Далее аварийный контакт реле (RESYS M, P, E,... компании SOCOMEC) можно использовать только для сигнализации о дифференциальном токе.

Предупредительная сигнализация о неисправностях в изоляции предоставляет широкие возможности в оптимизации электрической установки:

- предупредительный ремонт устройства до остановки его работы или поломки;
- определение местонахождения неисправностей в изоляции в сетях TNS;
- предупреждение риска возникновения пожара, взрыва и т.д.;
- заблаговременное внедрение устройства защиты от тока перегрузки и таким образом, предупреждение замены предохранителя или износа разъединителя цепи;
- контроль утечек тока и, таким образом, сокращение гомополярных токов в схемах защиты, генерирующих особенно разрушительные электромагнитные поля;
- другие.

IMD (Устройство контроля изоляции)

Общие положения

Введение

Стандарт IEC 60 364 предписывает обязательное использование устройства контроля изоляции (Insulation Monitoring Device (IMD)) в структуре IT:

«обязательное устройство контроля изоляции должно быть сконструировано таким образом, чтобы реагировать при первом же пробое на корпус или токе замыкания на землю; устройство должно подавать визуальный или звуковой сигнал».

Устройства IMD можно также применять во множестве других случаев (смотрите применения на странице D.68). Компания SOCOMEC предлагает широкий выбор устройств IMD из линейки ISOM.

Принцип работы

Большинство устройств IMD подают ток зонда в контуры, образуемые проводниками под напряжением и заземлением (рис.1). Увеличение значения тока зонда означает нарушение изоляции цепи. Ток зонда сравнивается с заданным аварийным порогом IMD.

Правильно выбранное устройство IMD из линейки ISOM не нуждается в высоком токе зонда.

Импеданс 1кОм, обычно добавляемый между подконтрольной цепью и заземлением (сопротивление нейтрали), практически не нужен для устройств IMD компании SOCOMEC.

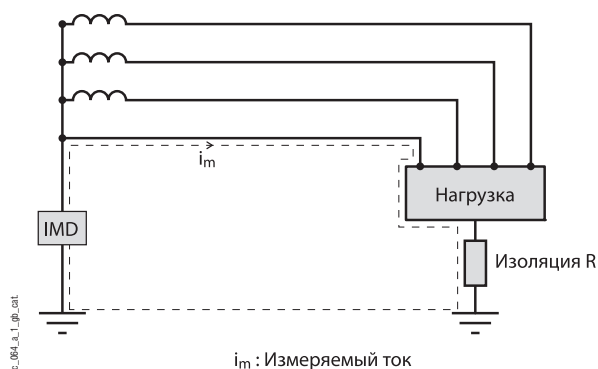
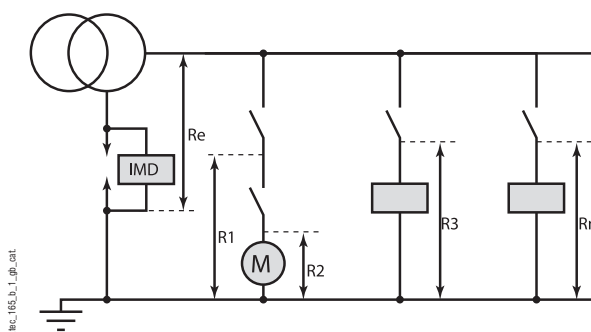


Рис.1. Измерение сопротивления изоляции установки при помощи устройства IMD.

Настройки

При вводе в эксплуатацию устройства IMD нужно принять во внимание тот факт, что данное устройство предназначено для измерения всей изоляции установки, то есть суммы сопротивлений индивидуальных утечек для всех фидеров.



$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_n} \quad (R_1, R_2, R_n \geq 0.5 \text{ МОм}).$$

Примечание:

Устройство IMD может показать сопротивление нарушения изоляции даже при отсутствии глухого короткого замыкания (например, при наличии влажности после длительного отключения). Запуск установки восстановит прежний уровень изоляции (IEC 60 364).

Определения

Разветвленная сеть

Разветвленная сеть характеризуется:

- одиночным потребителем или потребителями одного типа (двигатели, защита от грозовой помехи...);
- умеренно удлиненной цепью (низкая емкость утечки на землю) и четкой расположенностью цепи (цех, операционная...);
- четкой распределенностью цепи (нагрузки только переменного или только постоянного тока).

Глобальная сеть

Глобальная сеть, наоборот, включает в себя разнообразные потребители и преобразователи тока (с переменными и постоянными токами). Часто сеть имеет большую протяженность (высокая емкость утечки на землю).

Ассиметричный пробой (сеть постоянного тока)

Ассиметричный пробой возникает только на одной из двух полярностей сети.

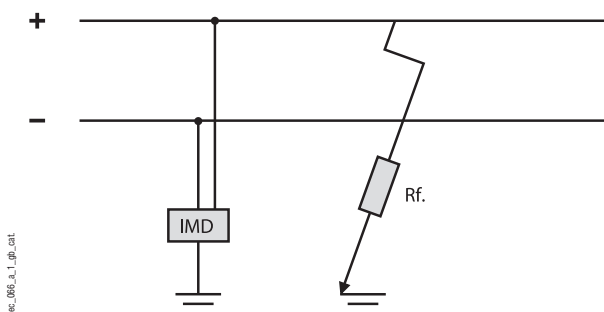


Рис. 1. Ассиметричный пробой

Симметричный пробой (сеть постоянного тока)

Симметричный пробой возникает в обеих полярностях сети. Неисправность такого типа часто развивается в цепи, в которой соответствующие длины проводников «+» и «-» соизмеримы.

С конца 1997 стандарты IEC 61557-8 и EN 61557-8 требуют, чтобы цепи постоянного тока контролировались устройствами IMD, способными выявлять симметричный пробой.

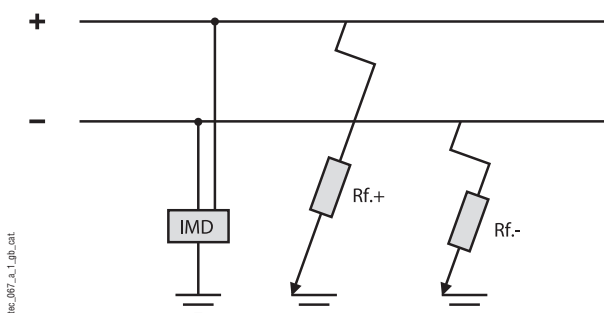


Рис. 2. Симметричный пробой.

Сопротивление изоляции электрической установки

Это уровень сопротивления изоляции установки относительно земли. Контролирующими службами должны его регулярно измерять. Сопротивление должно быть больше стандартных значений IEC 60 364.

Таблица А: Минимальные значения сопротивления изоляции (IEC 60 364) при отключенном электропитании.

Номинальное напряжение цепи (В)	Нестовое напряжение DC (В)	Сопротивление изоляции (МОм)
TLVS и TLVP	250	≥ 0.25
≤ 500 V	500	≥ 0.5
> 500 V	1000	≥ 1.0

Изоляция потребителя

- R_f двигателя $> 0,5$ МОм;
- $R_f > x$ МОм согласно стандарту данного устройства.

Емкостная утечка тока на землю из проводника

Когда два проводника обладают разностью потенциалов (напряжением), между ними возникает емкостной эффект в соответствии с их геометрической формой (длина, форма), изоляцией (воздушная, ПВХ...) и расстоянием между ними.

Данная физическая характеристика может инициировать емкостную утечку тока между проводниками электросети и заземлением. Чем больше протяженность сети, тем выше будет ток.

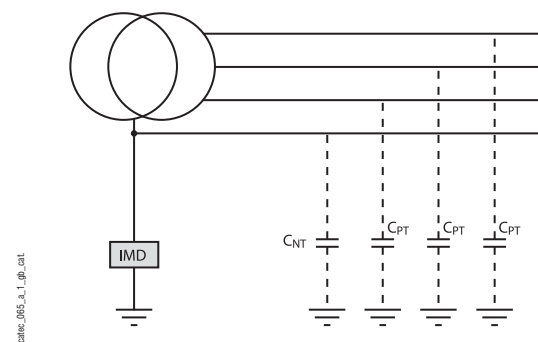
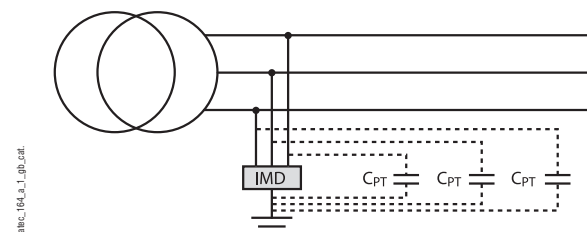


Рис. 2. Емкостная утечка тока на землю в сети переменного тока.

Максимальная емкость утечки на землю

Это сумма емкости утечки на землю данной сети и емкости конденсаторов, установленных в электронном оборудовании, компьютерном оборудовании и т.п. Максимальная емкость утечки тока на землю является важным параметром при выборе устройства IMD. Следует отметить, что общая емкость утечки значительно увеличилась благодаря применению фильтров электромагнитных помех EMC.



IMD (Устройство контроля изоляции)

Пример использования

► Контроль изоляции обесточенных двигателей (на примере IMD SP 003)

Контроль изоляции обесточенных двигателей является необходимой профилактической мерой в тех случаях, когда обязательными являются требования безопасности и работоспособности:

- оборудования, обеспечивающие безопасность: противопожарные двигатели;
- дымососные установки;
- ответственные производственные циклы;
- оперативные или большие двигатели.

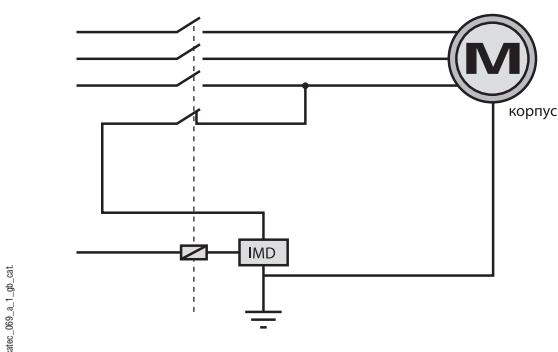


Рис. 2. Принцип подключения: устройство IMD выключено из сети при подаче питания на двигатель.

Настройка IMD, контролирующего обесточенный двигатель.

Устройство IMD должно генерировать аварийный сигнал при сопротивлении изоляции меньше 1 МОм (1000 кОм).

Двигатель нельзя использовать при сопротивлении изоляции меньше 500 кОм.

Устройства IMD типа SP специально сконструированы для контроля изоляции при отключенном питании, а также являются средствами быстрого обнаружения коротких скачков напряжения благодаря их функции запоминания (примеры: двигатели стрелочных электроприводов, портовые подъемные краны) с быстрой обработкой данных.

► Контроль вариаторов скорости

При контроле вариаторов скорости необходимо учитывать генерируемые ими низкие частоты.

Только устройства IMD и поисковые устройства с принципами измерения, использующими закодированные сигналы или сигналы, отличные от генерируемых вариаторами, могут на протяжении длительного времени выполнять свои функции.

► Передвижные генераторные установки

Часто очень сложно организовать защиту цепей, питаемых передвижными генераторными установками, из-за того, что их заземление невозможно (портативные установки, экстренное аварийное питание и т.д.) или считается недействительным (сопротивление невозможно измерить, и т.д.).

Такую защиту часто обеспечивают при помощи устройств RCD 30 мА, недостатком которых является ложное срабатывание (смотрите страницу D.63). В том случае, когда непрерывная работа является критичной для безопасности (см. рис. 3), можно использовать устройство IMD.

Корпус установки соединен не со средней точкой генератора, а с сетью, состоящей из соединенных друг с другом корпусов оборудования. Устройство IMD устанавливают между корпусом и фазой.

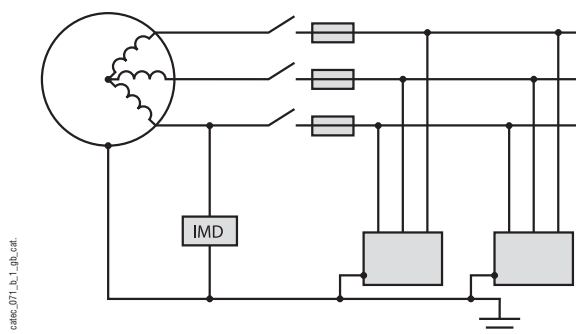


Рис. 3. Использование устройства IMD для цепи, питающейся от генераторной установки.

► Контроль фидеров с высокими помехами от DLD (дискриминаторов слежения за задержкой)

Низкие частоты

Место короткого замыкания в этом типе цепи контролируется синхронизацией инъекций поисковых токов и локаторным анализом.

Высокие частоты

Центральный локатор имеет функцию подтверждения измерения при помощи обновления циклов анализа по требованию.

Высокие гомополярные токи

Тороиды DLD оснащены выравнивающими диодами, контролирующими потенциальные превышения напряжения на вторичной обмотке.

Примеры использования (продолжение)

Сети с питанием от ИБП

Сети с питанием от ИБП

Статические системы бесперебойного питания (ИБП) содержат составляющую постоянного тока.

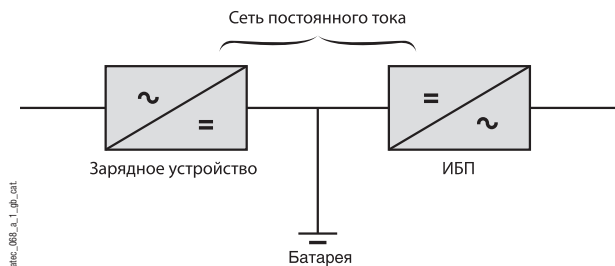
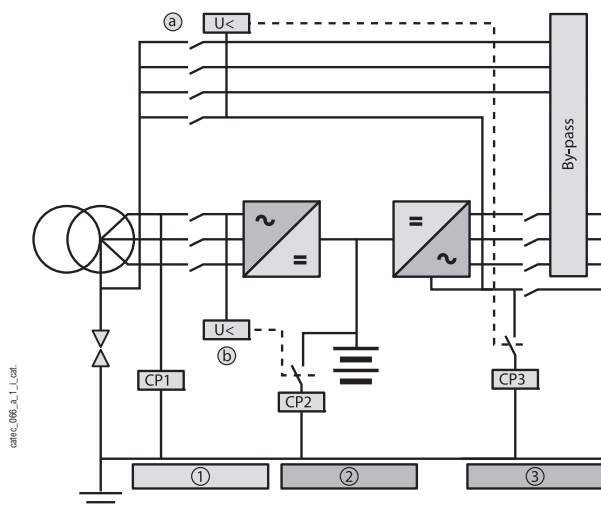


Рис. 3. IMD в сети, питающейся от ИБП.

Требуется, чтобы установки, питающиеся постоянным током, были сгруппированы в той же области, чтобы обеспечить эквипотенциальную защиту корпусов. Если невозможно выполнить данное требование, необходимо установить IMD для наблюдения за целостностью изоляции установок, питающихся постоянным током.

Другие общие критерии для установки ИБП

- отсутствие одновременно двух IMD устройств, контролирующих гальванически соединенные сети (особенно на фазах байпаса);
- обеспечение установки устройством IMD, соответствующим подконтрольной сети.



1. IMD, способное контролировать цепи с постоянными составляющими тока и высокими емкостями утечки.
2. IMD, способное контролировать цепи постоянного тока с симметричными пробоями.
3. IMD, способное контролировать цепи переменного тока (обратите внимание на (а) и (б) на схеме), система управления, предотвращающая использование параллельно подключенных устройств IMD в гальванически неизолированных сетях.

Контроль цепей управления и сигнализации

Данные цепи, питающиеся обычно от изолирующих трансформаторов, должны предупреждать ложное отключение силовых цепей. Общим решением, предлагаемым стандартами и нормами, является система электропроводки со схемой TN (катушка соединена с заземлением в общей точке). Соответствие данным требованиям достигается также отсутствием соединения вторичной обмотки с заземлением в сочетании с устройством IMD.

Это решение создает риск шунтирования исполнительных механизмов устройств из-за неисправности изоляции. Эта неисправность может стать достаточной для управляющих исполнительных механизмов, но слишком слабой для срабатывания защиты от тока перегрузки.

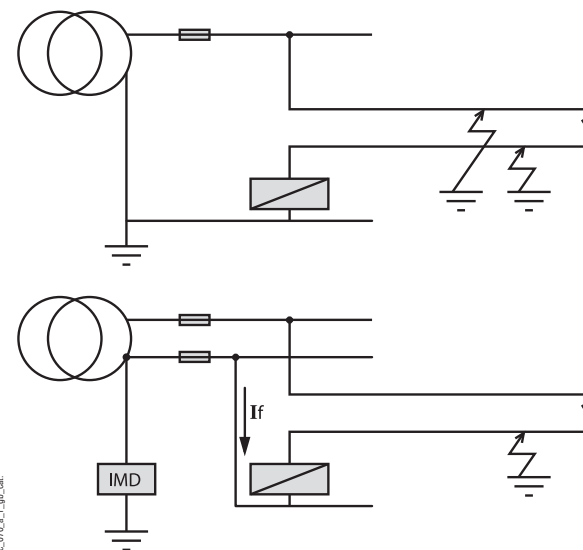


Рис. 1. Контроль изоляции цепей управления.

Этот риск возрастает на новом оборудовании по двум основным причинам:

- рабочее напряжение низкое и не способствует обнаружению неисправностей;
- чувствительность рабочих порогов вспомогательных цепей управления возрастает до нескольких десятков мА (микрореле, ПЛК, оптопары и т.д.).

По сравнению с вариантом решения с заземлением, изолированная сеть, подключенная к устройству IMD, обладает двойным преимуществом: отсутствие отключения при первом пробое и организация предварительного контроля за износом оборудования.

Настройка IMD

$$Z_m = \frac{U}{I_r}$$

U – максимальное напряжение питания в цепи управления;

I_r – минимальный ток отпускания реле;

Z_m – настроечный импеданс устройства IMD.

Такие системы обнаружения неисправностей, как DLD204 и портативная система DLD3204, позволяют заблаговременно обнаружить месторасположение неисправности (пробоя) в изоляции без изменения состояния коммутационных устройств или рабочих систем управления, благодаря ограничению поискового тока до 1 мА.

IMD (Устройство контроля изоляции)

Подключение устройств IMD

Общий случай

Обычно IMD подключают между нейтралью трансформатора, расположенного в начале электроустановки ИТ, и заземлением.

Установка должна включать в себя устройство аварийной сигнализации и устройство защиты от перенапряжения (для понижающего трансформатора). Использование IMD типа ISOM не требует обязательного импеданса в 1 кОм в параллельном соединении (см. принцип работы, стр. D.66).

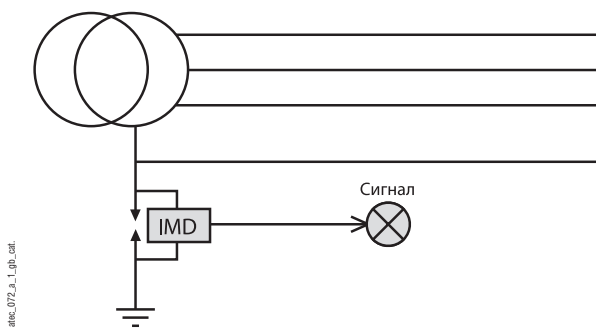


Рис. 1. Подключение устройства IMD: общий случай.

Питание от нескольких параллельно соединенных трансформаторов

- Если трансформаторы предназначены для постоянной параллельной работы, и достаточно одного устройства IMD.
- Если трансформаторы могут работать независимо друг от друга, каждый трансформатор необходимо оборудовать своим устройством IMD (смотрите рис. ниже), а также установить систему управления, которая будет отключать оба IMD в том случае, если сети будут соединены.

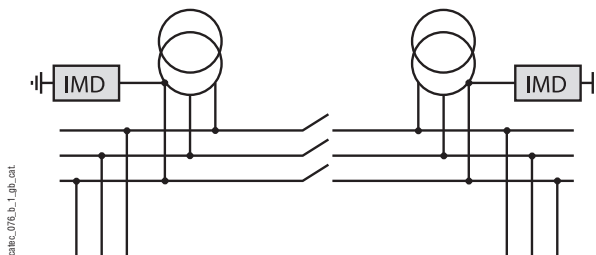


Рис. 6. Несколько трансформаторов, соединенных параллельно.

Контроль обесточенной сети

Использование искусственной нейтрали

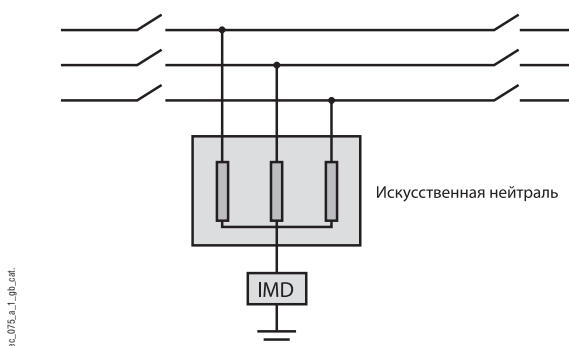


Рис. 5. Контроль обесточенной сети.

Подключение и защита измерительных контуров IMD

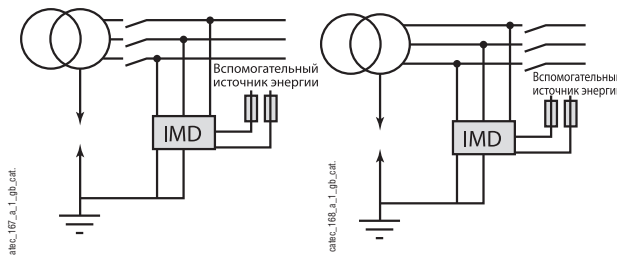


Рис. 3. Подключение IMD после главного рубильника.

Рис. 4. Подключение IMD перед главным рубильником.

В настоящее время IEC 60 364 не разрешает защиту от коротких замыканий, иначе измерение было бы невозможным, но предполагает надлежащую схему установки, при которой будет устранен риск возникновения короткого замыкания. (Проводники не касаются острых краев шины и других изолированных проводников).

Самоконтроль сетевого подключения большинства устройств IMD компании SOCOMEC делает приведенную выше меру предосторожности излишней.

- подключение устройства IMD перед рубильником трансформатора отменяет системы контроля между устройствами IMD на подключенных звеньях сети (рис. 4);
- подключение устройства IMD после рубильника трансформатора допускает использование предупредительного измерения на заданной обесточенной сети (измерение сигнала, имеющегося на фазах) и не требует замыкания через обмотки трансформатора (рис. 3).

Доступность нейтрали

В данном случае устройство IMD подключено между нейтралью трансформатора и заземлением ближайшего корпуса или (если он отсутствует) заземлением нейтрали.

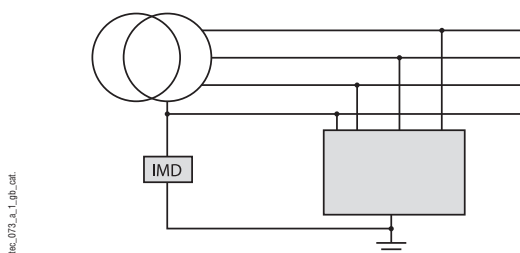


Рис. 2. Подключение устройства IMD: недоступное заземление.

Данный тип подключения также отменяет установку защиты на измерительный проводник в IMD устройстве (перегрузки по токам короткого замыкания невозможны).

Подключение вспомогательного источника электропитания

У определенных устройств IMD есть вспомогательный источник питания, который делает их невосприимчивыми к колебаниям напряжения. Входы вспомогательного источника должны быть защищены:

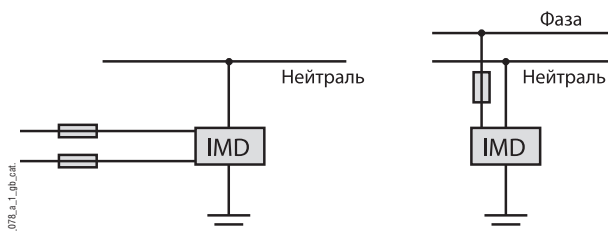


Рис. 7. Подключение вспомогательного источника питания.

Корпуса

Тепловые эффекты

Рассеиваемая мощность устройства

Величины номинальных мощностей приведены для тока I_{th} (номинальные величины в приведенной ниже таблице).

Для рабочего тока устройства:

$$P = P_N \times \left[\frac{I_e}{I_{th}} \right]^2$$

P – рассеиваемая мощность в Вт;

P_N – номинальная рассеиваемая мощность в Вт (смотрите таблицу ниже);

I_e – рабочий ток устройства;

I_{th} – номинальная мощность устройства.

Тепловые характеристики

Вычисление повышения температуры

$$\Delta T (^{\circ}K) = \frac{P \text{ (Вт)}}{K \times S \text{ (м}^2\text{)}}$$

P – рассеиваемая мощность внутри корпуса (оборудование, соединения, кабели и т.д.);

ΔT – повышение температуры в $^{\circ}K$;

S – площадь корпуса (не считая поверхностей, соприкасающихся со стенами или другими препятствиями);

K – коэффициент теплообмена;

$K = 4 \text{ Вт/м}^2\text{C}$ для полиэфирных корпусов;

$K = 5.5 \text{ Вт/м}^2\text{C}$ для металлических корпусов.

При оборудовании кожуха или корпуса подводом воздуха руководствуйтесь для расчетов стандартом IEC 890 или проконсультируйтесь с нами.

Расчеты для вентиляции

При наличии принудительной вентиляции необходим поток воздуха D , который рассчитывается по следующей формуле:

$$D \text{ (м}^3\text{/ч)} = 3.1 \times \left[\frac{P}{\Delta T} - (K \times S) \right]$$

Вентиляторы предлагаются в качестве аксессуаров для линейки CADRYS.

Выбор терморезистора:

Термистор необходим, чтобы предотвратить конденсацию внутри корпуса. Мощность термистора P_c определяется формулой:

$$P_c \text{ (Вт)} = (\Delta T \times K \times S) - P$$

Термисторы в ассортименте CADRYS представлены следующими мощностями: 15Вт, 30Вт, 45Вт, 75Вт и 150Вт.

Определение объемов воздуха/воздухообмена: смотрите страницу D.72.

Выбор кондиционирования воздуха: смотрите страницу D.72.

Пример

Панель распределительного щита состоит из главного рубильника (FUSERBLOC 4 x 630A) и нескольких выводных кабелей. Номинальный ток составляет 550A.

• Рассеиваемая мощность при 630A (таблица ниже) составляет: $97,7 \times 3 = 293 \text{ Вт}$.

• Рассеиваемая мощность при 550A составляет:

$$293 \times \left[\frac{550}{630} \right]^2 = 223 \text{ Вт.}$$

Общая мощность щита (оборудование, кабели и т.д.) достигает 400Вт.

Размеры щита: В=2000 мм, Г=600 мм, Д=800 мм.

Данный щит помещают между двумя другими у стены.

Площадь свободной поверхности составляет:

$$S \text{ (м}^2\text{)} = 2 \times 0,8 \text{ (спереди)} + 0,6 \times 0,8 \text{ (сверху)} = 2,08 \text{ м}^2.$$

• Повышение температуры внутри щита:

$$\Delta T = \frac{400 \text{ Вт}}{5,5 \times 2,08 \text{ м}^2} = 35^{\circ} \text{ C.}$$

При температуре окружающего воздуха в 35° C применяется следующая формула:

$$T = 35^{\circ} \text{ C} + 35^{\circ} \text{ C} = 70^{\circ} \text{ C.}$$

Для обеспечения максимальной температуры 55° C ($T = 20^{\circ} \text{ C}$), необходим следующий вентиляционный воздушный поток:

$$D = 3.1 \times \left[\frac{400}{20} - 5,5 \times 2,08 \right] = 26,5 \text{ м}^3\text{/ч.}$$

Полиэфирные корпуса

Такие корпуса можно использовать в общественных зданиях. Согласно директиве французского правительства от 25.06.80 оболочка должна быть с самотухнением (выдерживать нагрев минимум до 750° C проводами накаливания, в соответствии с NF C 20-445).

Тип корпуса	Комбинированная оболочка		MINIPOL	MAXIPOL
	Прозрачная	Непрозрачная		
Сопротивление провода накали.	960° C	850° C	960° C	960° C

Защита от тепловых эффектов

(В соответствии с IEC 60 364)

Во избежание риска теплового воздействия (пожар, ожоги, перегрев) в процессе обычной эксплуатации, можно принять следующие меры:

• дифференциальные устройства в сетях TT и TN;

• устройства контроля изоляции в сетях IT.

Кроме того, температура электрооборудования ограничивается до величин, приведенных в таблице ниже:

Доступные компоненты	Материалы	Макс. темп. ($^{\circ}C$)
Органы ручного управления	Металлические	55
	Неметаллические	65
Детали, рассчитанные на временный, а не постоянный контакт	Металлические	70
	Неметаллические	80
Детали, не рассчитанные на контакт во время норм. функционирования	Металлические	80
	Неметаллические	90

Рассеиваемая мощность в Вт/полюс для каждой составляющей оборудования.

Номинальная (A)	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	1800	2000	2500	3150	4000
SIRCO	-	0.6	-	2	2.6	3	1.8	3	4	5.8	7.6	10.8	16	30.9	39.2	45	85	122	153	178	255	444	916
SIRCO VM	0.9	1.3	-	1.2	2.1	3.1	5.7	3.3	5.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SIDER	-	-	1	-	2.9	-	1.5	-	3.4	-	-	12.9	17	20.7	32	-	42.5	102	-	-	-	-	-
SIDERMAT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.2	-	15.6	-	45	66.4	-	80	113	-	-	-	-	-
FUSERBLOC	4.7 (CD)	-	7.3	9	-	14.5	20	23	25.4	41	-	60	-	100	143.4	-	215	-	-	-	-	-	-
FUSOMAT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30.3	-	50	-	83.5	-	-	222	-	-	-	-	-	-

Тепловые расчеты для корпусов

Задачи

- Определить максимальную температуру внутри ограждения, которую сообщает самый чувствительный компонент;
 - Определить максимальную температуру окружающего воздуха (снаружи щита);
 - Определить размеры ограждения;
- в котором T_i (°C) = Внутренняя температура;
 T_a (°C) = Температура окружающего воздуха;
 $H \cdot L \cdot P$ (м) = Высота - Ширина - Глубина.

Мощность, рассеиваемая компонентами

Оборудование компании SOCOMEC

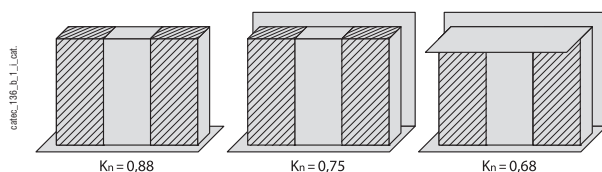
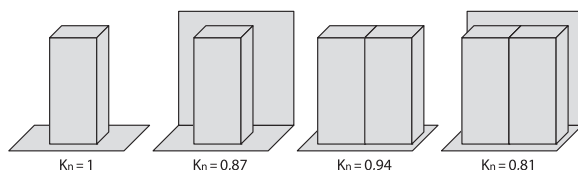
Подробнее о рассеиваемых мощностях при номинальном токе (смотрите страницу D.71.)

$$P_d = P_{nom} \times \left[\frac{I_e}{I_{th}} \right]^2$$

Где P_{nom} (Вт): номинальная мощность;
 P_d (Вт): рассеиваемая мощность при рабочем токе;
 I_e (А): рабочий ток;
 I_{th} (А): номинальный ток.

Корректировка площади поверхности теплообмена

- Определение корректирующего коэффициента K_n (зависит от способа установки)



- Скорректированная площадь поверхности.

$$S = K_n (1,8 \times H \times (L + P) + 1,4 \times L \times P)$$

Мощность, необходимая для поддержания температуры внутри корпуса

$$P_n \text{ (Вт)} = P_d - K \times S \times (T_i \text{ макс} - T_a \text{ макс})$$

Где $K = 5,5 \text{ Вт/м}^2\text{°C}$ для окрашенного листового металлического корпуса;
 $K = 4 \text{ Вт/м}^2\text{°C}$ для полиэфирного корпуса;
 $K = 3,7 \text{ Вт/м}^2\text{°C}$ для корпуса из нержавеющей стали;
 $K = 12 \text{ Вт/м}^2\text{°C}$ для алюминиевого корпуса;
 P_n (Вт): необходимая мощность.

Выбор метода настройки

а) Вентиляция.

Выберите вентилятор с потоком, немного превышающим расчетное значение.
 Примечание: данное решение возможно, только если $T_i \text{ макс} - T_a \text{ макс} > 5^\circ \text{C}$.

$$\text{Воздушный поток (м}^3\text{/h)} = \frac{3,1 \times P_n}{T_i \text{ макс} - T_a \text{ макс}}$$

б) Воздухообменник.

Выберите обменник с мощностью, немного превышающей расчетное значение.
 Примечание: данное решение возможно, только если $T_i \text{ макс} - T_a \text{ макс} > 5^\circ \text{C}$.

$$\text{Мощность воздухообменника (Вт/°K)} = \frac{P_n}{T_i \text{ макс} - T_a \text{ макс}}$$

с) Воздушный кондиционер.

Выберите воздушный кондиционер с мощностью охлаждения, немного превышающей требуемую мощность (P_n). Смотрите таблицу на стр. D.71.

д) Термистор.

Выберите термистор с мощностью, немного превышающей расчетное значение.

$$P_c \text{ (Вт)} = [(T_i \text{ макс} - T_a \text{ макс}) \times K \times S] - P_n$$

Шины

► Выбор материала для шины

Таблица А: физические константы меди и алюминия.

	Медь	Алюминий
Стандарты	C31-510 и A51-434	C31-520, HN 63J 60, CNET 3072-1. качество 6101T5
Тип	Полутвердый	Сплав Al Mg Если луженый, 15 мкм
Теоретическая плотность	8890 кг/м³	2700 кг/м³
Коефф. линейного расширения	17 x 10 ⁻⁶ на ° C (17 x 10 ⁻³ мм/м)	23 x 10 ⁻⁶ на ° C (23 x 10 ⁻³ мм/м)
Миним. динамическая стойкость	250 Н/мм²	150 Н/мм²
Удельное сопротивление при 20°C	≤ 18 МОм мм²/м	≤ 30 МОм мм²/м
Модуль упругости	120 000 Н/мм²	67 000 Н/мм²

► Определение пикового тока I_{sc} по действующему току I_{sc}

Таблица В.

В соответствии с EN 60439-1.

величины действующего тока короткого замыкания	n
I ≤ 5 kA	1.5
5 kA < I ≤ 10 kA	1.7
10 kA < I ≤ 20 kA	2
20 kA < I ≤ 50 kA	2.1
50 kA < I	2.2

$$Peak I_{sc} = n \times rms I_{sc}$$

► Тепловой эффект короткого замыкания

Токи короткого замыкания вызывают повышение температуры шины. Конечная температура шины должна быть ниже 160° C, чтобы не повредить опору шины. Температурные ограничения должны быть такими, чтобы выполнялась следующая формула:

$$(I_{sc})^2 \times t \leq K_E^2 S^2$$

I_{sc}: действующий ток короткого замыкания (А);

t: длительность короткого замыкания (обычно равна времени работы защитного устройства);

S: сечение шины в (мм²);

K_E: коэффициент, представленный в таблице С в зависимости от температуры шины *Tf* в обычных рабочих условиях (до короткого замыкания).

Таблица С.

Tf	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
K _E	134.1	127.3	120.4	113.3	106	98.4	90.4	82	72.8	62.6

► Электрохимическая коррозия

Во избежание сильного повышения температуры из-за электрохимической коррозии не разрешается применять соединительные проводники с электрохимическими потенциалами, превышающими 300 мВ (см. таблицу D).

Пример:

Алюминиевую шину нельзя напрямую подсоединить к медной шине.

Поэтому необходимо вставить луженую алюминиевую шину.

• Alu/Tin → ДА;

• Tin/Copper → ДА.

Таблица D.

	Серебро	Медь	Алюминий	Жесть	Сталь	Латунь	Никель
Серебро	ДА	ДА	НЕТ	НЕТ	НЕТ	ДА	ДА
Медь	ДА	ДА	НЕТ	ДА	НЕТ	ДА	ДА
Алюминий	НЕТ	НЕТ	ДА	ДА	ДА	НЕТ	НЕТ
Жесть	НЕТ	ДА	ДА	ДА	ДА	ДА	НЕТ
Сталь	НЕТ	НЕТ	ДА	ДА	ДА	НЕТ	НЕТ
Латунь	ДА	ДА	НЕТ	ДА	НЕТ	ДА	ДА
Никель	ДА	ДА	НЕТ	НЕТ	НЕТ	ДА	ДА