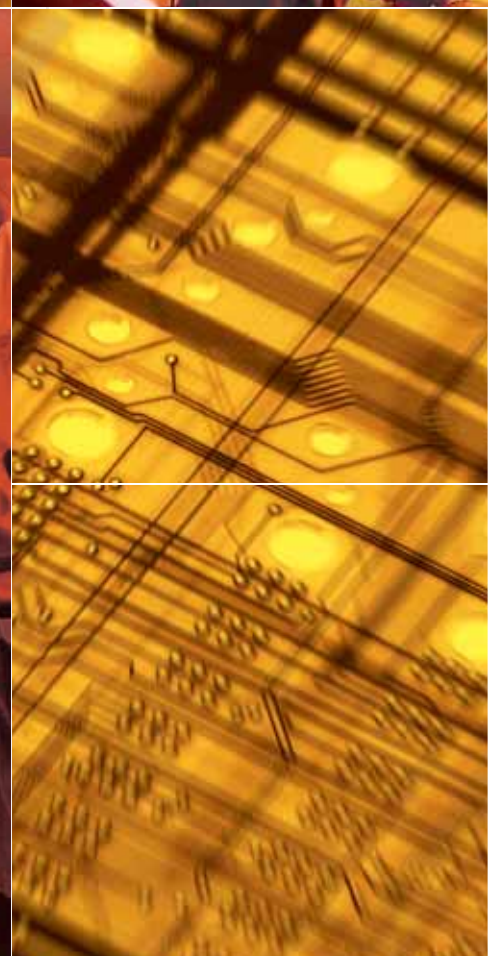








## ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

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 электротоком — D. 27

## УСТРОЙСТВА

Выключатели — D. 34

Спецификации UL и NEMA — D. 40

Предохранители — D. 44

Учёт 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 | заземлён                                                    |
| изолирована от земли                                                                                  | I | T | заземлён                                                    |
| заземлена                                                                                             | T | N | подключён к нейтрали                                        |

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

### ► Сеть TT «Заземлённая 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.

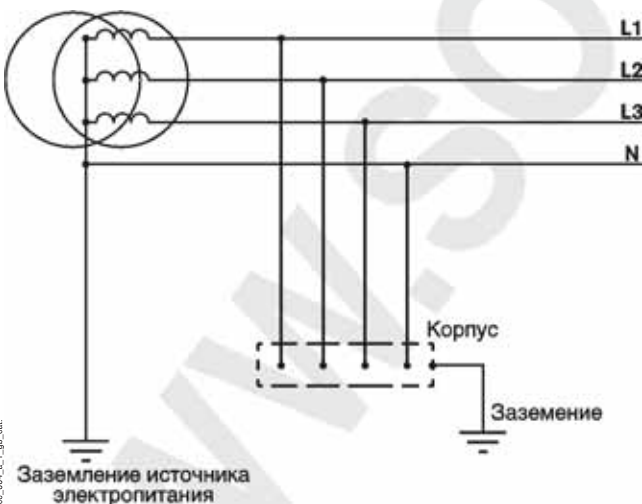


Рис. 1. Схема TT.

### ► Сеть TN «Подключённая 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 надёжной 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 мм<sup>2</sup> (медные) или более 16 мм<sup>2</sup> (алюминиевые), в такой сети не должно быть передвижных установок с гибкими кабелями.

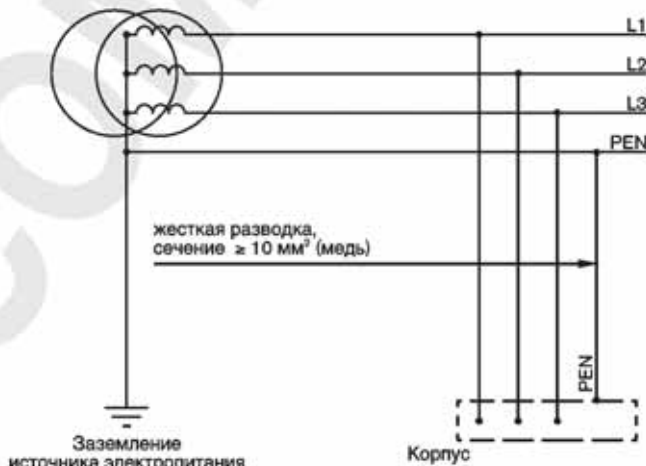


Рис. 2. Схема TNC.

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

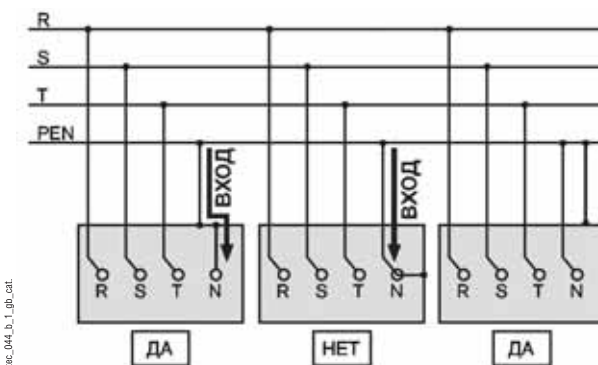


Рис. 3. Правильное подключение PEN.

## 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.



Рис. 2. Схема IT без распределения нейтрали.

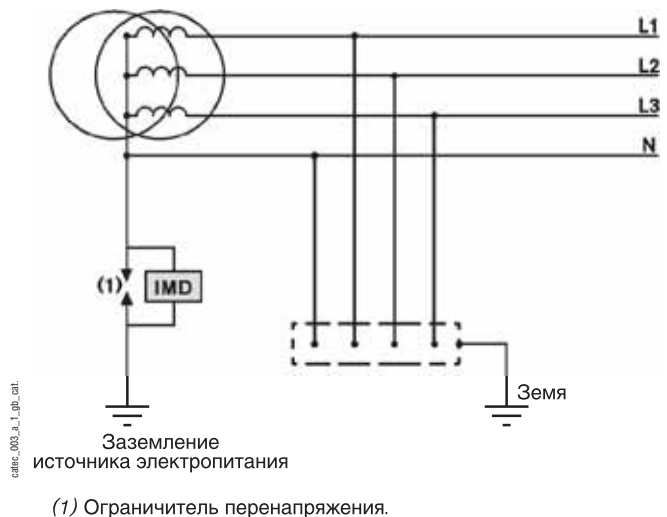


Рис. 3. Схема IT с распределением нейтрали.



# 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 | $\leq 50 \text{ В}$                      | $\leq 120 \text{ В}$                      |
| LV – низкое напряжение       | $50 \text{ В} < U_n \leq 1000 \text{ В}$ | $120 \text{ В} < U_n \leq 1500 \text{ В}$ |

### Стандартные напряжения AC

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

История изменений стандартных напряжений и допусков

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

### Напряжение изоляции $U_i$

Описывает максимальное рабочее напряжение устройства при нормальных условиях работы.

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

Для работы в сетях 400 В / 690 В, следует использовать устройство, напряжение изоляции которого равно  $U_i 690 \text{ В}$ .

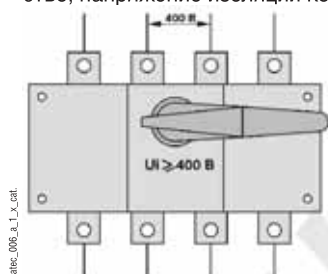


Рис. 1. для работы в сетях 230 В / 400 В, следует использовать устройство, напряжение изоляции которого равно  $U_i 400 \text{ В}$ .

### 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:**  $U_{imp} = 8 \text{ кВ}$  (см. табл. А).

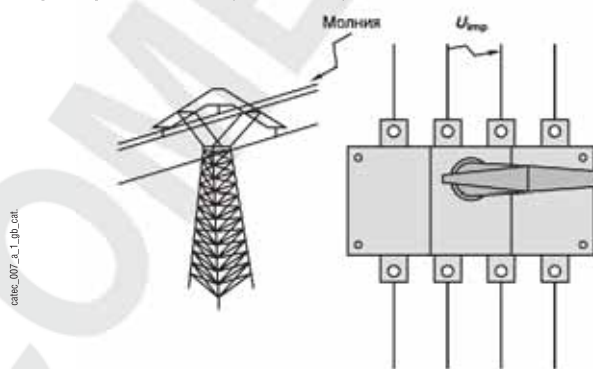


Рис. 2. Сопротивление устройства импульсному напряжению  $U_{imp}$ .

### 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   |
|-----------------|-----------------|----|-----|-----|-----|
| 230 В/400 В     | 230 В           | 6  | 4   | 2.5 | 1.5 |
| 400 В/690 В     | 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.

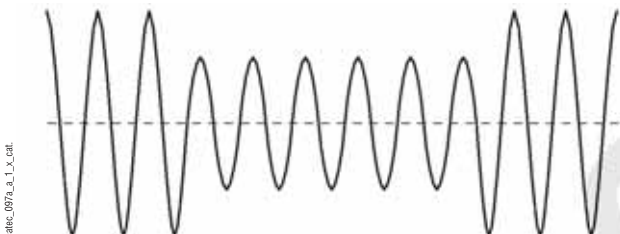


Рис. 1. Провал напряжения.

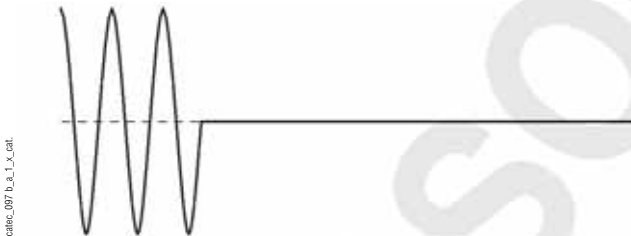


Рис. 2. Прерывание электропитания.

#### 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.

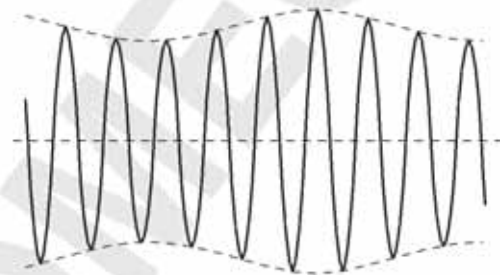


Рис. 3. Фликкер.

#### 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.

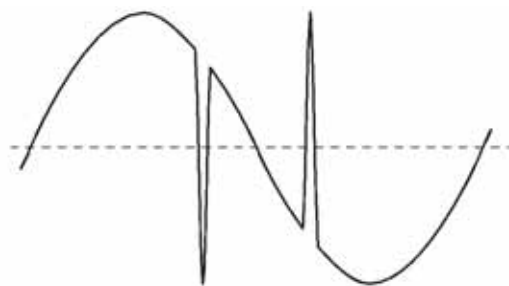


Рис. 4. броски напряжения.

#### 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.

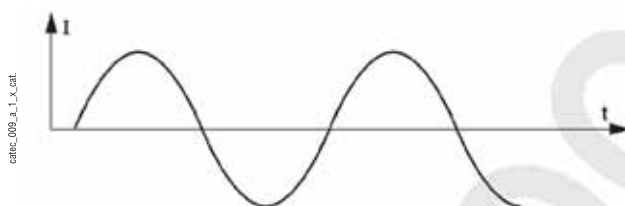


Рис. 1. Чистый синусоидальный ток.



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:

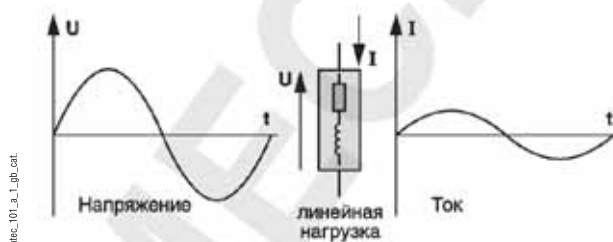


Рис. 4.

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

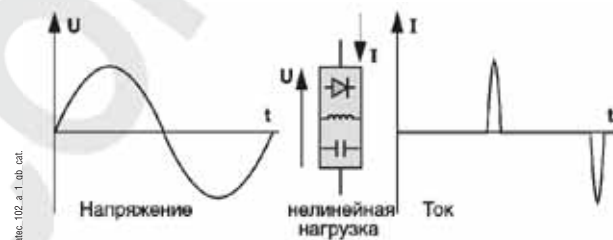


Рис. 5.

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:

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

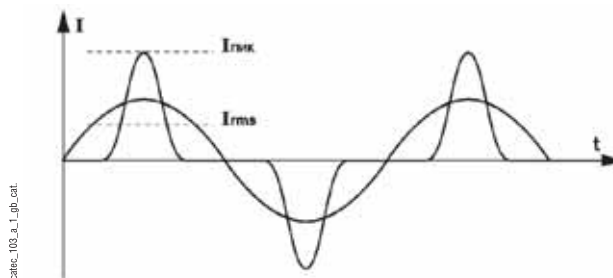


Рис. 6. пик-фактор:  $fp = I_{peak}/I_{rms}$ .

#### 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 5й гармоники имеет частоту  $5 \times 50 \text{ Гц} = 250 \text{ Гц}$ .

Ток 1й 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    |   |   |   | • |   | • |   |   |    | •  |    | •  |    |    | •  |    | •  |    | •  |
|                     | 12 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.

В нейтрали суммируются гармоники с нечетными номерами, кратными 3:

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

$$\begin{aligned} I_{N3} &= 3I_3 \\ I_{N9} &= 3I_9 \\ &\text{и т.д.} \end{aligned}$$

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:

|         |      |        |
|---------|------|--------|
| $I_2 =$ | 182A | 50 Гц  |
| $I_3 =$ | 146A | 150 Гц |
| $I_5 =$ | 96A  | 250 Гц |
| $I_7 =$ | 47A  | 350 Гц |
| $I_9 =$ | 13A  | 450 Гц |

- Высшими гармониками можно пренебречь в силу их незначительности.

Ток в одной фазе:

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

Ток в нейтрали:

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

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

#### Показатели искажения и гармоник

Общий уровень гармонических искажений:

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

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.

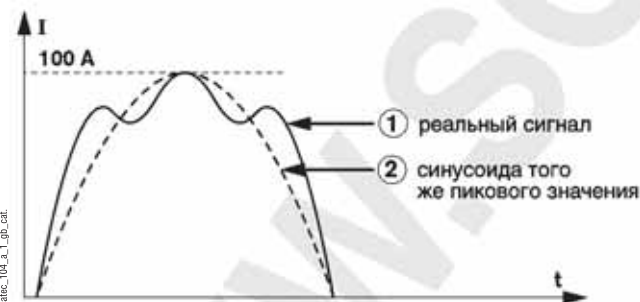


Рис. 1. Искажения при измерении.

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

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:**

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

где  $I_n$  - номинальный ток искажающего устройства;

$I_2$ ,  $I_3$  и т.д. - токи 2-й, 3-й и т.д. гармоник.



# 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 нейтрали   | $120^\circ \pm 3^\circ$ |
| 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"> <li>Отключения <math>&lt; 500</math> мс (в соответствии с маховиком)</li> <li>провалы напряжения</li> <li>изменения частоты</li> </ul> |
| 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.

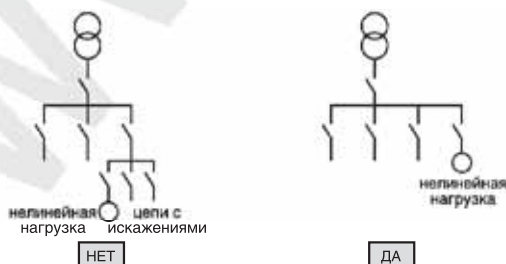


Рис. 1.

#### 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.

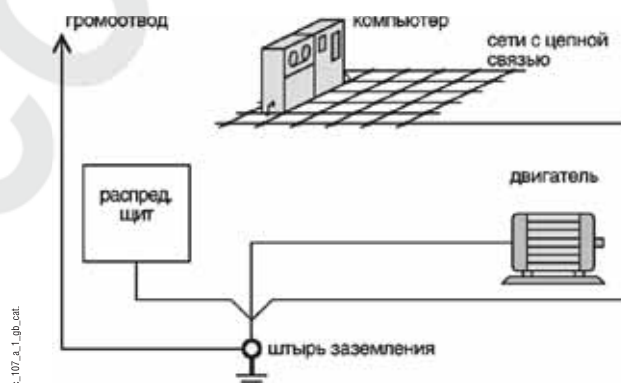


Рис. 2.

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

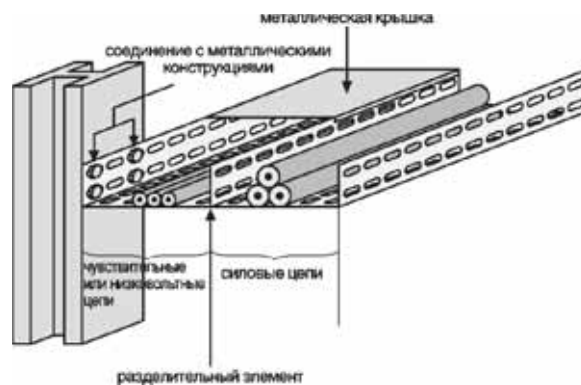


Рис. 3.

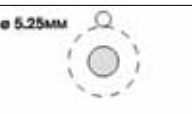
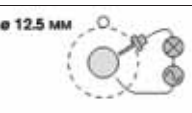
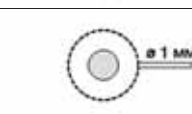
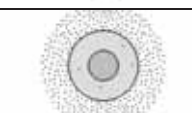
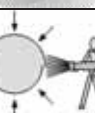
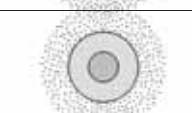
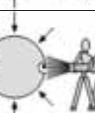
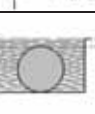
## Влияние внешних факторов

### 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<br>ЗАЩИТА ОТ ПРОНИКНОВЕНИЯ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ                                     |                                                                                     |                                               | 2-Я ЦИФРА<br>ЗАЩИТА ОТ ПРОНИКНОВЕНИЯ ЖИДКОСТИ |                                                                                     |                                                                | ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ БУКВА <sup>(2)</sup> | СТЕПЕНЬ ЗАЩИТЫ<br>КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 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 <sup>(1)</sup>                                                                        |    | 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 2x. 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 микро-процессорную технологию, которая значительно расширяет возможности диалога человека с машиной.

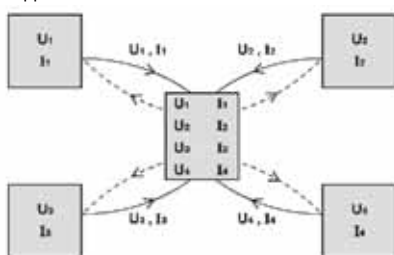


Рис. 1.

### Определения, касающиеся передачи данных

#### Аналоговая передача

Передаваемым сигналом служит ток или напряжение. Пример: соединение 0-10 В 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 отправку и прием в обоих направлениях (2-кабельный полудуплексный интерфейс + заземление);
- совмещенными в одном канале, отправка 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 receivers        |
| Дальность передачи (м) | 3000          | 15             | 1500 <sup>(1)</sup> | 1500 <sup>(1)</sup> |
| 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            |

<sup>(1)</sup> 1500 м при скорости 9600 бод.

### Пример

**Передача информации, полученной посредством измерения:  $U = 230$  В**

• **Вариант 1:** аналоговая передача.

Величина 230 В эквивалентна току 10 мА (например).



• **Вариант 2:** цифровая передача.

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

В данном примере использована 8-битная кодировка: 230 В – 00100110

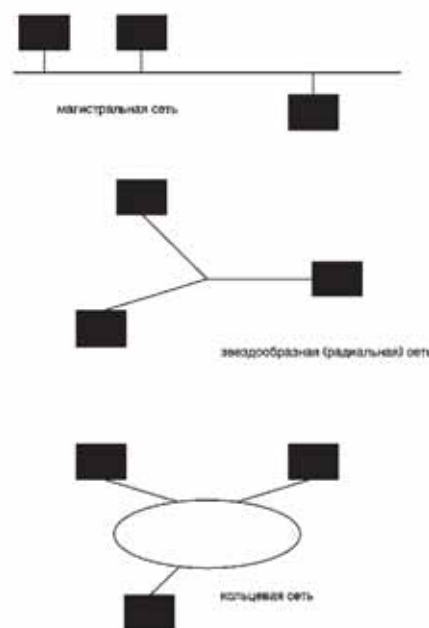
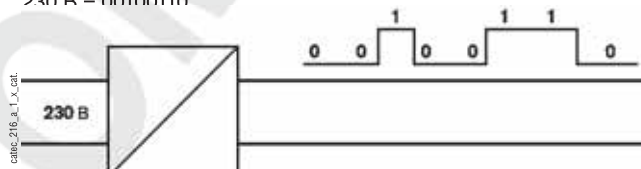


Рис.2. топология сети.

## 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®.

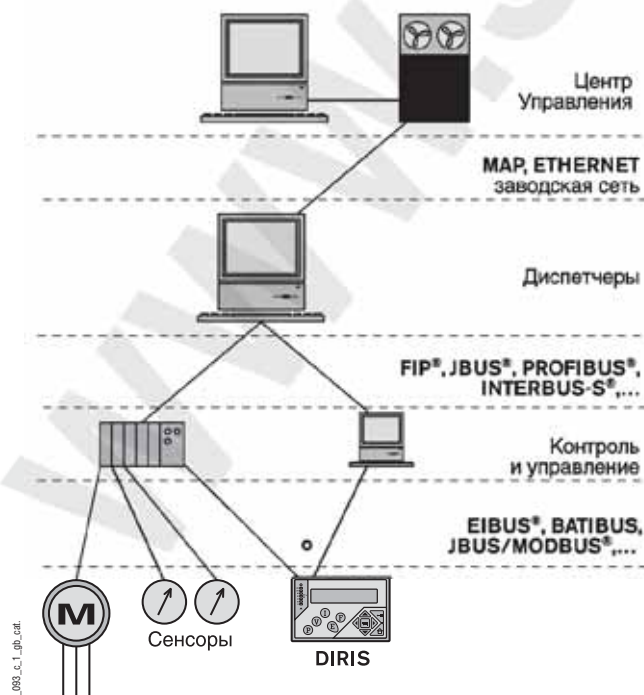


Рис. 1. Пример промышленной сети.

# 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:

$$1: I_b \leq I_n \leq I_z$$

$$2: I_2 \leq 1.45 I_z$$

### Пример

На трехфазную сеть 400 В 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 x 95 мм<sup>2</sup>, 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:

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

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

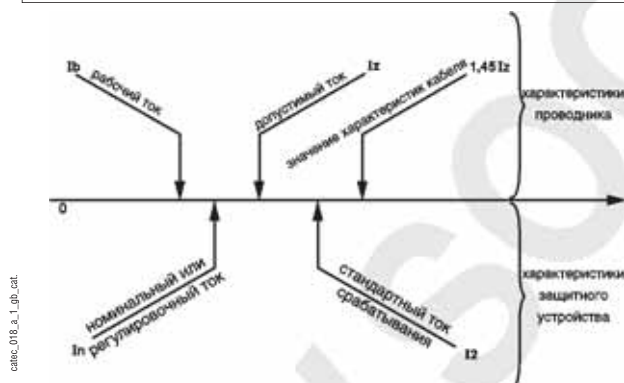


Рис. 1. Согласование кабелей и защитных устройств.

## Определение тока $I_2$

Это ток, обеспечивающий эффективную работу защитного устройства:

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



## Определение токов I<sub>z</sub> (в соответствии со стандартом IEC 364)

### ► Непрерывный ток - допустимая нагрузка для кабелей

В таблице А приводится максимальное значение тока I<sub>z</sub> для медных и алюминиевых кабелей разных сечений. Эти величины нужно брать с поправкой согласно следующим коэффициентам:

- K<sub>m</sub>: коэффициент метода монтажа (стр. D.16);
- K<sub>n</sub>: коэффициент, принимающий во внимание количество проложенных вместе кабелей;
- K<sub>t</sub>: коэффициент, принимающий во внимание температуру окружающего воздуха и тип кабеля.

Коэффициенты K<sub>m</sub>, K<sub>n</sub>, и K<sub>t</sub>, 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 <sub>2</sub> в проводниках (А) |      |      |      |     |      |      |     |      |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------|------|------|------|-----|------|------|-----|------|
|                          | B                                                           | PVC3 | PVC2 | PR3  | PR2 | PR2  | PR2  | PR2 | PR2  |
| C                        |                                                             |      | PVC3 | PVC2 | PR3 | PR2  | PR2  | PR2 | PR2  |
| E                        |                                                             |      | PVC3 | PVC2 | PR3 | PR2  | PR2  | PR2 | PR2  |
| F                        |                                                             |      | PVC3 | PVC2 | PR3 | PR2  | PR2  | PR2 | PR2  |
| <b>S (мм²), медь</b>     |                                                             |      |      |      |     |      |      |     |      |
| 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 |
| <b>S (мм²), алюминий</b> |                                                             |      |      |      |     |      |      |     |      |
| 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 Kt

В соответствии со стандартом IEC 364 (Таблица А):

| КАТЕГОРИЯ | МЕТОД МОНТАЖА                                                                                                                                                                                                                                               | Km   |      |       |           |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|-------|-----------|
|           |                                                                                                                                                                                                                                                             | (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<br>• Кабели с креплением к потолку                                                                                                                                                                                        | -    | -    | -     | 1<br>0.95 |
|           | 3 Кабельные жилы открытого или закрытого монтажа                                                                                                                                                                                                            | -    | 1.21 | -     | -         |
|           | 4 Кабели, проложенные в перфорированных кабельных лотках                                                                                                                                                                                                    | -    | -    | -     | 1         |
| E<br>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.

(b) Изолированная жила не помещена в кабельный канал.

(c) Кабель помещен в кабельный канал.

(d) Кабель не помещен в кабельный канал.

## ► Коэффициент Kp

В соответствии со стандартом IEC 364:

Таблица А

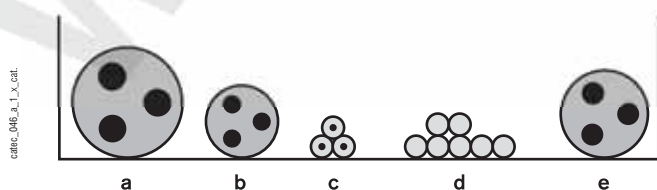
| КАТЕГОРИЯ | ОБЪЕДИНЕННАЯ ПРОКЛАДКА КАБЕЛЕЙ                                              | КОРРЕКТИРУЮЩИЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ Kp              |      |      |      |      |      |      |      |      |                                                                 |      |      |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----------------------------------------------------------------|------|------|
|           |                                                                             | 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 перфорированных 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 Kp нужно умножить на следующий коэффициент:

Таблица В

|              |        |      |       |           |           |
|--------------|--------|------|-------|-----------|-----------|
| 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 трёхполюсный кабель, для которого необходимо определить Kp (1 канал, e).

Итого, число каналов - 6. Способ отношения - способ E (перфорированная стойка). Kp = 0.57.

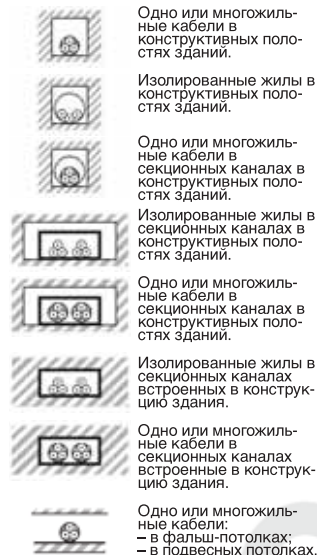
## Определение токов Iz (продолжение)

### Метод монтажа

#### • категория В - 1



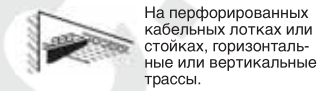
#### • Категория В - 3



#### • Категория В - 5



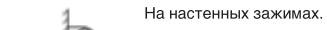
#### • Категории Е - 1<sup>(1)</sup> и F - 1<sup>(2)</sup>



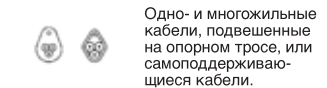
#### • Категории Е - 2<sup>(1)</sup> и F - 2<sup>(2)</sup>



#### • Категории Е - 3<sup>(1)</sup> и F - 3<sup>(2)</sup>



#### • Категории Е - 4<sup>(1)</sup> и F - 4<sup>(2)</sup>



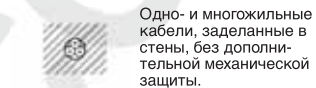
#### • категория В - 2



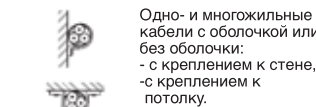
#### • категория В - 4



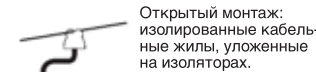
#### • Категория С - 1



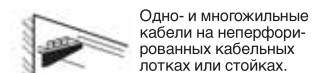
#### • Категория С - 2



#### • Категория С - 3



#### • Категория С - 4



(1) многожильные кабели  
(2) одножильные кабели

### Коэффициент Kt

В соответствии со стандартом IEC 364:

Таблица С

| ТЕМПЕРАТУРА<br>СРЕДЫ (° C) | ИЗОЛЯЦИЯ             |      |            |
|----------------------------|----------------------|------|------------|
|                            | ЭЛАСТОМЕ<br>(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<br>СРЕДЫ (° C) | ИЗОЛЯЦИЯ             |      |            |
|----------------------------|----------------------|------|------------|
|                            | ЭЛАСТОМЕ<br>(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<br>(НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ) | НОВОЕ НАЗВАНИЕ<br>(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           | twisted        |         |           |
| 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 80 А (следовательно,  $I_b = 80$  А). 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).

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

• 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  $I_z = 127$  А, 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,
- $I_b = 450$  А.

• 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).

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

• Определение  $I_z$  и  $I_o$ :

- величина  $I_z$  выше, чем  $I'z$ : 506А,
- 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 мм<sup>2</sup>, смонтированный по категории Е, имеет ограничение по току 127А и защищается

| КАТЕГОРИЯ         | ДОПУСТИМЫЙ ТОК (Iz) И СООТВЕТСТВУЮЩИЙ ЗАЩИТНЫЙ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬ (F) |     |      |     |      |     |      |     |      |     |      |     |      |     |     |     |      |      |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|-----|-----|------|------|
| B                 | PVC3                                                              |     | PVC2 |     |      |     | PR3  |     |      |     | PR2  |     |      |     |     |     |      |      |
| C                 |                                                                   |     | PVC3 |     |      |     | PVC2 |     | PR3  |     |      |     | PR2  |     |     |     |      |      |
| E                 |                                                                   |     |      |     | PVC3 |     |      |     | PVC2 |     | PR3  |     |      |     | PR2 |     |      |      |
| F                 |                                                                   |     |      |     |      |     | PVC3 |     |      |     | PVC2 |     | PR3  |     |     |     | PR2  |      |
| S мм <sup>2</sup> |                                                                   |     |      |     |      |     |      |     |      |     |      |     |      |     |     |     |      |      |
| 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  |

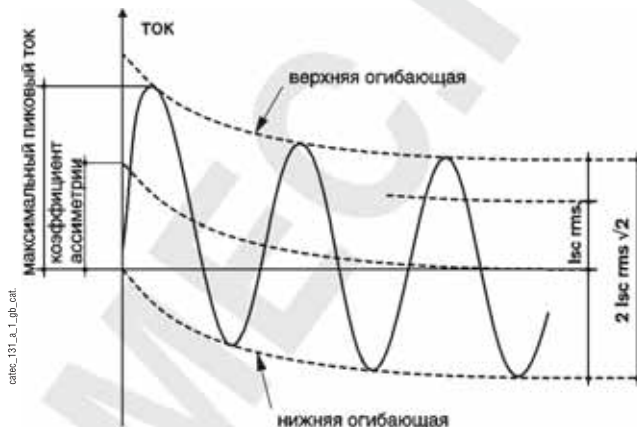
# Ток короткого замыкания

## 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 электродинамические 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     | $I_n$                        | $I_{sc} \text{ rms}$ |
|-------------|------------------------------|----------------------|
| 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

- T1; T2; T3 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:

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

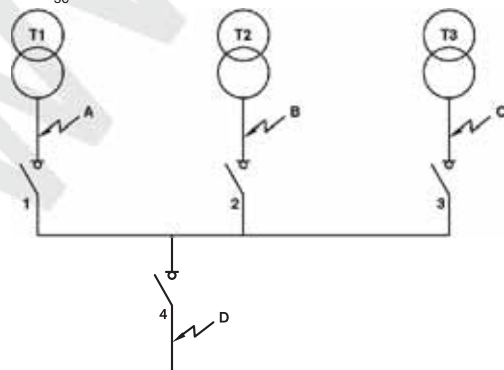


Рис. 1. Короткое замыкание с несколькими трансформаторами, соединенными параллельно.

### 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.

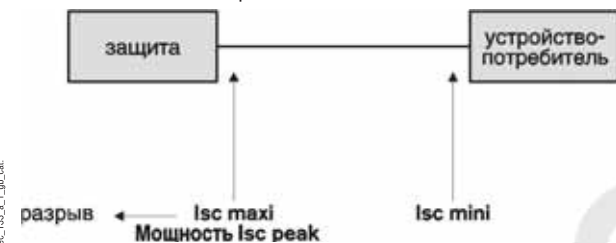


## Расчет тока $I_{sc}$ для низковольтной установки

### 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  $I_{sc}$ .



### 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, мм<sup>2</sup>;

$\rho$  = 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 мм<sup>2</sup> и более в расчет должна приниматься реактивность, это делается путем разделения значения  $I_{sc}$  на:

- 150 мм<sup>2</sup>: 1,15,
- 185 мм<sup>2</sup>: 1,2,
- 240 мм<sup>2</sup>: 1,25,
- 300 мм<sup>2</sup>: 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 (230 В 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.

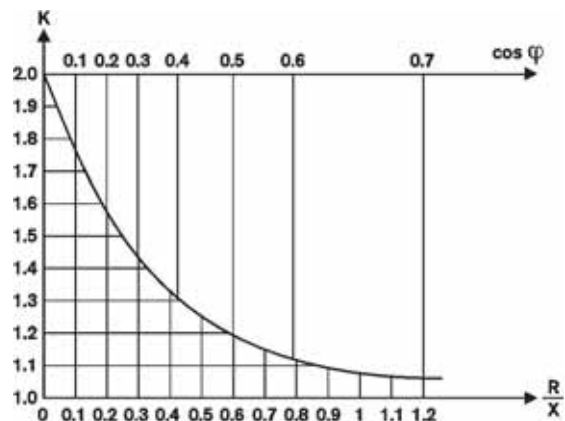


Рис. 1.

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

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

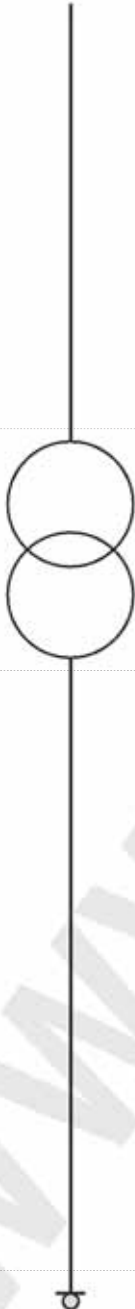
# Ток короткого замыкания

## 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                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                      |                           |        |        |       |                       |                      |       |       |                                      |                |                     |      |                                        |      |      |          |      |      |       |       |       |       |       |       |       |        |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |      |        |     |    |      |      |      |      |      |      |     |     |     |      |
|                                                                                              | <b>В начале сети</b><br>Значения “R” и “X” на входе понижающего трансформатора (400 В) в зависимости от мощности короткого замыкания сети (Psc, МВА).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                      |                           |        |        |       |                       |                      |       |       |                                      |                |                     |      |                                        |      |      |          |      |      |       |       |       |       |       |       |       |        |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |      |        |     |    |      |      |      |      |      |      |     |     |     |      |
|                                                                                                                                                                                | <table><tr><td>МВА</td><td>сеть</td><td>R (м )</td><td>X (м )</td></tr><tr><td>500</td><td>&gt; 63 kV</td><td>0.04</td><td>0.35</td></tr><tr><td>250</td><td>&gt; 24 кВ поблизости от электростанций</td><td>0.07</td><td>0.7</td></tr><tr><td>125</td><td>&gt; 24 кВ на отдалении от электростанций</td><td>0.14</td><td>1.4</td></tr></table>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | МВА                                  | 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 отдалении от электростанций | 0.14 | 1.4  |          |      |      |       |       |       |       |       |       |       |        |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |      |        |     |    |      |      |      |      |      |      |     |     |     |      |
|                                                                                                                                                                                | МВА                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 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 отдалении от электростанций                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 0.14                                 | 1.4                       |        |        |       |                       |                      |       |       |                                      |                |                     |      |                                        |      |      |          |      |      |       |       |       |       |       |       |       |        |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |      |        |     |    |      |      |      |      |      |      |     |     |     |      |
| Если известна мощность короткого замыкания (Psc),напряжение холостого хода Uo (400 В перем. или 230 В перем., 50 Гц), имеем:                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                      |                           |        |        |       |                       |                      |       |       |                                      |                |                     |      |                                        |      |      |          |      |      |       |       |       |       |       |       |       |        |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |      |        |     |    |      |      |      |      |      |      |     |     |     |      |
| <div><math display="block">R_{(m\Omega)} = 0.1 \times X_{(m)}</math></div> <div><math display="block">X_{(m\Omega)} = \frac{3.3 \times U_0^2}{P_{cc} \text{ kVA}}</math></div> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                      |                           |        |        |       |                       |                      |       |       |                                      |                |                     |      |                                        |      |      |          |      |      |       |       |       |       |       |       |       |        |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |      |        |     |    |      |      |      |      |      |      |     |     |     |      |
|                                                                                                                                                                                | <b>Масляные трансформаторы с вторичными обмотками 400 В</b><br>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           |                     |      |                                        |      |      |          |      |      |       |       |       |       |       |       |       |        |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |      |        |     |    |      |      |      |      |      |      |     |     |     |      |
|                                                                                                                                                                                | <b>Проводники</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                      |                           |        |        |       |                       |                      |       |       |                                      |                |                     |      |                                        |      |      |          |      |      |       |       |       |       |       |       |       |        |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |      |        |     |    |      |      |      |      |      |      |     |     |     |      |
|                                                                                                                                                                                | <div><math display="block">R_{(m)} = \frac{\rho \times l_{(m)}}{S_{(mm^2)}}</math></div> <div><math display="block">\rho = \frac{m\Omega \times mm^2}{m}</math></div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                      |                           |        |        |       |                       |                      |       |       |                                      |                |                     |      |                                        |      |      |          |      |      |       |       |       |       |       |       |       |        |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |      |        |     |    |      |      |      |      |      |      |     |     |     |      |
|                                                                                                                                                                                | <table><tr><td></td><td colspan="3">RESISTIVITY ρ [10⁻⁶ mΩ.m]</td></tr><tr><td></td><td>макс. I<sub>sc</sub></td><td colspan="2">мин. I<sub>sc</sub></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 <sub>sc</sub> | мин. I <sub>sc</sub> |       |       |                                      | Предохранители | Защита выключателем | Медь | 18.51                                  | 28   | 23   | Алюминий | 29.4 | 44   | 37    |       |       |       |       |       |       |        |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |      |        |     |    |      |      |      |      |      |      |     |     |     |      |
|                                                                                                                                                                                | RESISTIVITY ρ [10⁻⁶ mΩ.m]                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                      |                           |        |        |       |                       |                      |       |       |                                      |                |                     |      |                                        |      |      |          |      |      |       |       |       |       |       |       |       |        |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |      |        |     |    |      |      |      |      |      |      |     |     |     |      |
|                                                                                                                                                                                | макс. I <sub>sc</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | мин. I <sub>sc</sub>                 |                           |        |        |       |                       |                      |       |       |                                      |                |                     |      |                                        |      |      |          |      |      |       |       |       |       |       |       |       |        |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |      |        |     |    |      |      |      |      |      |      |     |     |     |      |
|                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Предохранители                       | Защита выключателем       |        |        |       |                       |                      |       |       |                                      |                |                     |      |                                        |      |      |          |      |      |       |       |       |       |       |       |       |        |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |      |        |     |    |      |      |      |      |      |      |     |     |     |      |
| Медь                                                                                                                                                                           | 18.51                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 28                                   | 23                        |        |        |       |                       |                      |       |       |                                      |                |                     |      |                                        |      |      |          |      |      |       |       |       |       |       |       |       |        |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |      |        |     |    |      |      |      |      |      |      |     |     |     |      |
| Алюминий                                                                                                                                                                       | 29.4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 44                                   | 37                        |        |        |       |                       |                      |       |       |                                      |                |                     |      |                                        |      |      |          |      |      |       |       |       |       |       |       |       |        |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |      |        |     |    |      |      |      |      |      |      |     |     |     |      |
|                                                                                                                                                                                | <div><math display="block">X_{(m\Omega)} = 0.08 \times l_{(m)} \text{ (трехжильные кабели)}^{(1)}</math></div> <div><math display="block">X_{(m\Omega)} = 0.13 \times l_{(m)} \text{ (одножильные кабели)}^{(1)}</math></div> <div><math display="block">X_{(m\Omega)} = 0.09 \times l_{(m)} \text{ (отдельные кабельные жилы)}^{(1)}</math></div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                      |                           |        |        |       |                       |                      |       |       |                                      |                |                     |      |                                        |      |      |          |      |      |       |       |       |       |       |       |       |        |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |      |        |     |    |      |      |      |      |      |      |     |     |     |      |
|                                                                                                                                                                                | <div><math display="block">X_{(m\Omega)} = 0.15 \times l_{(m)} \text{ (шины)}^{(1)}</math></div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                      |                           |        |        |       |                       |                      |       |       |                                      |                |                     |      |                                        |      |      |          |      |      |       |       |       |       |       |       |       |        |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |      |        |     |    |      |      |      |      |      |      |     |     |     |      |
|                                                                                                                                                                                | (1) медь и алюминий.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                      |                           |        |        |       |                       |                      |       |       |                                      |                |                     |      |                                        |      |      |          |      |      |       |       |       |       |       |       |       |        |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |      |        |     |    |      |      |      |      |      |      |     |     |     |      |
|                                                                                                                                                                                | <b>Защитное устройство в замкнутом положении</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                      |                           |        |        |       |                       |                      |       |       |                                      |                |                     |      |                                        |      |      |          |      |      |       |       |       |       |       |       |       |        |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |      |        |     |    |      |      |      |      |      |      |     |     |     |      |
|                                                                                                                                                                                | <div><math display="block">R = 0 \text{ и } X = 0.15 \text{ m}\Omega</math></div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                      |                           |        |        |       |                       |                      |       |       |                                      |                |                     |      |                                        |      |      |          |      |      |       |       |       |       |       |       |       |        |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |      |        |     |    |      |      |      |      |      |      |     |     |     |      |

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

### Метод полного сопротивления (продолжение)

#### Расчет тока $I_{sc}$ (продолжение)

$\rho$  медь = 18.51

$\rho$  алюминий = 29.4

$U_0 = 230$  В

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

#### На входе TGBT

- Полное сопротивление трехфазного контура:

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

$$I_{sc3 \text{ макс.}} = \frac{1.1 \times 230 \text{ В}}{12.39 \text{ мΩ}} = 20.5 \text{ кА}$$

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

- Полное сопротивление однофазного контура:

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

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

$$I_{c1} = \frac{1.1 \times 230 \text{ В}}{13.2 \text{ мΩ}} = 19.2 \text{ кА}$$

#### На шинном входе

- Полное сопротивление трехфазного контура:

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

$$I'_{sc3 \text{ макс.}} = \frac{1.1 \times 230 \text{ В}}{12.8 \text{ мΩ}} = 19.8 \text{ кА}$$

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

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

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

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

- Полное сопротивление однофазного контура.

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

$$I'_{sc1} = \frac{1.1 \times 230 \text{ В}}{14.1 \text{ мΩ}} = 18 \text{ кА}$$

- Полное сопротивление однофазного контура фаза/защита:

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

$$I_{sc1 \text{ мин.}} = \frac{230 \text{ В}}{14.3 \text{ мΩ}} = 16 \text{ кА} \quad I_{sc1 \text{ мин.}} = \frac{230 \text{ В}}{14.92 \text{ мΩ}} = 15.4 \text{ кА}$$

### Пример вычисления минимального $I_{sc}$

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

$\rho$  медь = 28  $\rho$  алю. = 44

- Полное сопротивление однофазного контура фаза/нейтраль:

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



### ► 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 = 20 кА, система соединений: 3 x 35 мм<sup>2</sup>(медь), длина 17м. В строке со значением 35 мм<sup>2</sup>, длина проводника, меньшая 17м, составляет 15 м. Точка пересечения колонки с 15м и строки с 20 кА дает  $I_{sc}$  = 11 кА.

Длина электропроводки (м)

|         |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |      |      |      |     |     |      |      |     |     |     |     |     |     |
|---------|---------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|------|------|------|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Медь    | 1.5     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     | 1.3  | 1.8  | 2.6  | 3.6 | 5.1 | 7.3  | 10.3 | 15  | 21  |     |     |     |     |
|         | 2.5     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     | 1.1  | 1.5  | 2.1  | 3.0 | 4.3 | 6.1  | 8.6  | 12  | 17  | 24  | 34  |     |     |
|         | 4       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     | 1.7  | 1.9  | 2.6  | 3.7 | 5.3 | 7.4  | 10.5 | 15  | 21  | 30  | 42  |     |     |
|         | 6       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     | 1.4  | 2.0  | 2.8  | 4.0 | 5.6 | 7.9  | 11.2 | 16  | 22  | 32  | 45  | 63  |     |
|         | 10      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     | 2.1  | 3.0  | 4.3  | 6.1 | 8.6 | 12.1 | 17   | 24  | 34  | 48  | 68  | 97  | 137 |
|         | 16      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     | 3.4  | 4.8  | 6.8  | 9.7 | 14  | 19   | 27   | 39  | 55  | 77  | 110 | 155 | 219 |
|         | 25      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     | 5.4  | 7.6  | 10.7 | 15  | 21  | 30   | 43   | 61  | 86  | 121 | 171 | 242 | 342 |
|         | 35      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     | 7.5  | 10.6 | 15   | 21  | 30  | 42   | 60   | 85  | 120 | 170 | 240 | 339 | 479 |
|         | 50      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     | 10.2 | 14   | 20   | 29  | 41  | 58   | 81   | 115 | 163 | 230 | 325 | 460 |     |
|         | 70      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     | 15   | 21   | 30   | 42  | 60  | 85   | 120  | 170 | 240 | 339 |     |     |     |
|         | 95      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     | 20   | 29   | 41   | 58  | 81  | 115  | 163  | 230 | 325 |     |     |     |     |
|         | 120     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     | 26   | 36   | 51   | 73  | 103 | 145  | 205  | 291 | 411 |     |     |     |     |
|         | 150     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     | 36   | 51   | 73   | 103 | 145 | 205  | 291  | 411 |     |     |     |     |     |
|         | 185     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     | 47   | 66   | 93   | 132 | 187 | 264  | 373  | 528 |     |     |     |     |     |
|         | 240     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     | 58   | 82   | 116  | 164 | 232 | 329  | 465  | 658 |     |     |     |     |     |
|         | 300     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     | 70   | 99   | 140  | 198 | 279 | 395  | 559  |     |     |     |     |     |     |
|         | 2 x 120 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     | 73   | 103  | 145  | 205 | 291 | 411  | 581  |     |     |     |     |     |     |
| 2 x 150 |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 79  | 112  | 158  | 223  | 316 | 447 | 632  |      |     |     |     |     |     |     |
| 2 x 185 |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 93  | 132  | 187  | 264  | 373 | 528 | 747  |      |     |     |     |     |     |     |
| 3 x 120 |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 109 | 154  | 218  | 308  | 436 | 616 |      |      |     |     |     |     |     |     |
| 3 x 150 |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 118 | 168  | 237  | 335  | 474 | 670 |      |      |     |     |     |     |     |     |
| 3 x 185 |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 140 | 198  | 280  | 396  | 560 |     |      |      |     |     |     |     |     |     |

**I<sub>sc</sub> в выбранной точке (кА)**

|          |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |
|----------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $I_{SC}$ | 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  | 3.9  | 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  | 2.9   | 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  | 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  | 1.0  | 0.9  | 0.9  | 0.9 | 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,

$I_{\text{sc}}$ : 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:

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

$I_{\text{sc}}$ : 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  $k_{\text{sc}}$  (IEC 60364)

| ВРЕМЯ<br>ОТКЛЮЧЕНИЯ<br>В м/сек | для действующего тока короткого замыкания 1 кА                |                                          |                                                                |                |                                         |                |              |
|--------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------|-----------------------------------------|----------------|--------------|
|                                | МИНИМАЛЬНОЕ ПОПЕРЕЧНОЕ СЕЧ.<br>МЕДНОГО ПРОВОДНИКА ПОД НАПРЯЖ. |                                          | МИНИМАЛЬНОЕ ПОПЕРЕЧНОЕ СЕЧЕНИЕ<br>МЕДНОГО ЗАЩИТНОГО ПРОВОДНИКА |                |                                         |                |              |
|                                | ИЗОЛЯЦИЯ ►<br>ПВХ                                             | ПРОПИЛЕНОВЫЙ<br>ЭТИЛЕНПРОПИЛЕН<br>КАУЧУК | ПРОВОДНИКИ В СОСТАВЕ<br>ЭЛЕКТРОПРОВОДКИ                        |                | ПРОВОДНИКИ В СОСТАВЕ<br>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. <sup>(1)</sup> | 159 <sup>(1)</sup> 138 <sup>(2)</sup> | 105 <sup>(1)</sup> 91 <sup>(2)</sup> |

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.

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

### 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  $70 \text{ мм}^2$ . 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 230/400 В,
- 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 230 В / 400 В с распределенной нейтралью или для однофазных сетей 230 В 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<br>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 | 20/24 |
| 185             |    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 220   | 169   | 127   | 98    | 70    | 56    | 27/34 |
| 240             |    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 205   | 155   | 119   | 85    | 68    | 43/46 |

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

| HP C<br>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 <sup>(1)</sup> |
| 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.

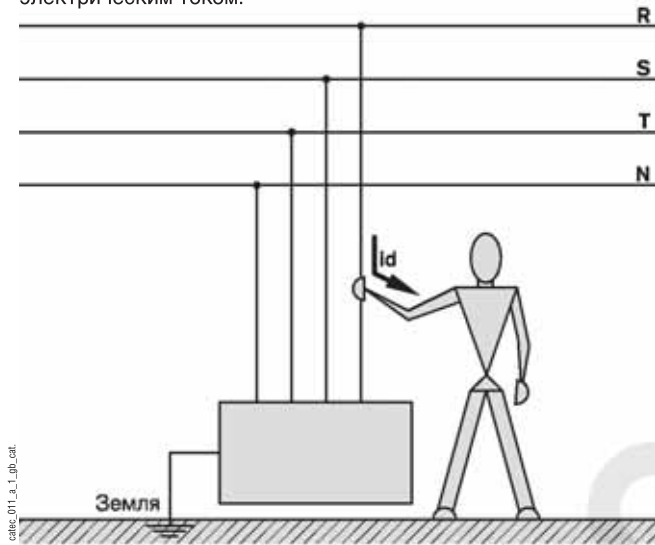


Рис. 1. Прямой контакт с электротоком.

### ► 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 хxB.

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 хxB (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 ( $\leq$  mA).

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

- цепи, питающие 32 штепсельные розетки  $\leq$  A,
- 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 500 В; 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.

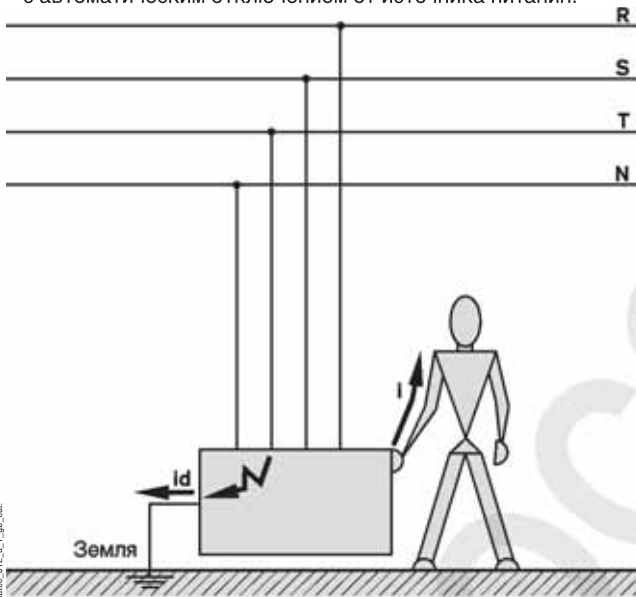


Рис. 1. Непрямой контакт.

### 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 <500 В).

### 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<br>КОНТАКТНОЕ НАПРЯЖ. | МАКСИМАЛЬНОЕ ВРЕМЯ ОТКЛЮЧЕНИЯ<br>ДЛЯ ЗАЩИТНОГО УСТРОЙСТВА (СЕК) |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| (В)                                  | $U_L = 50 \text{ В}$                                            |
| 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 ( $U_L = 50 \text{ В}$ ) и влажных ( $U_L = 25 \text{ В}$ ) условиях,

( $U_L$  – это максимальное напряжение при контакте, которое может выдерживать человек без опасности для здоровья, см. таблица ниже).

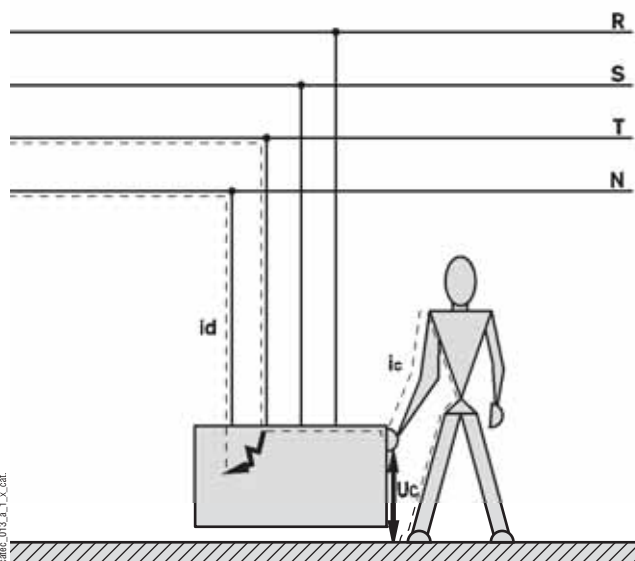


Рис. 2. Предельное значение контактного напряжения  $U_L$ .

## 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  $U_L = 50 \text{ В}$ .

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

Сопротивление заземления не должно превышать:

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

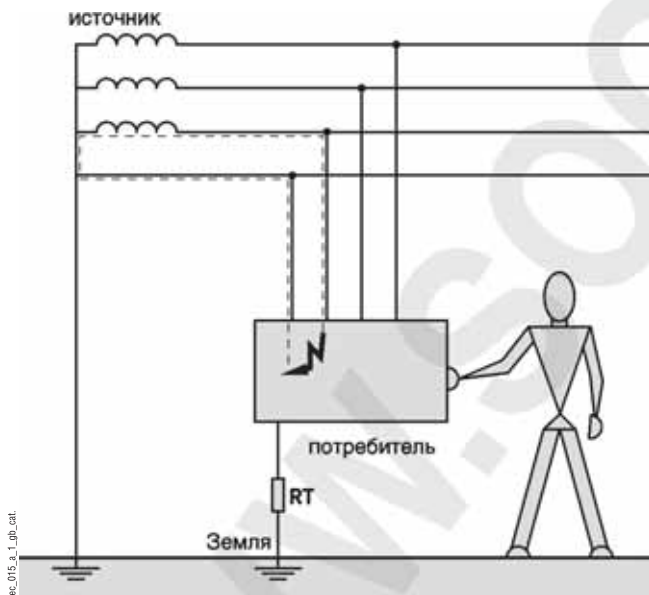


Рис. 1. Ток повреждения для системы ТТ.

#### • 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.

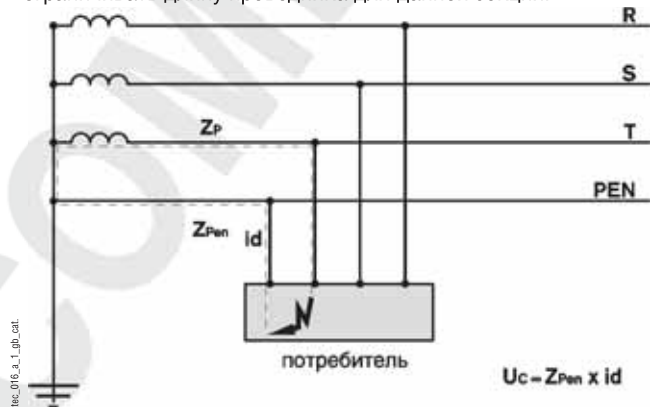


Рис. 2. Ток повреждения для системы TN.

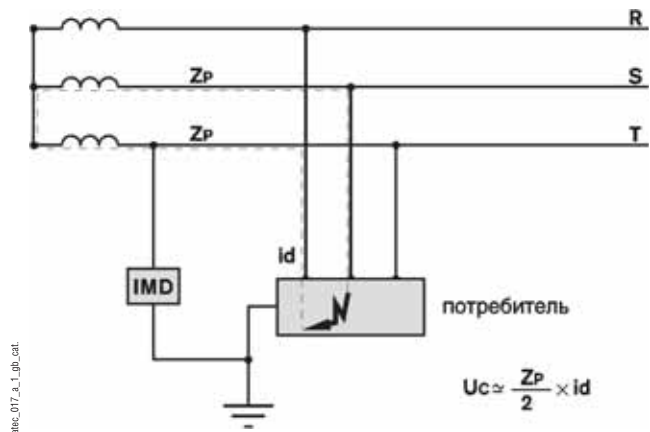


Рис. 3. Ток повреждения для системы IT.

**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:

- 50 В 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 ►<br>$U_L$ | 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:

$$R_{pe} < \frac{50}{U_0} \times (R_{pe} + Z_a)$$

$U_0$ : 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».

$$L (m) = K \frac{U_0 \times S}{(1 + m) I_d}$$

$U_0$ : напряжение между фазой и нейтралью (230 В 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  $K$ .

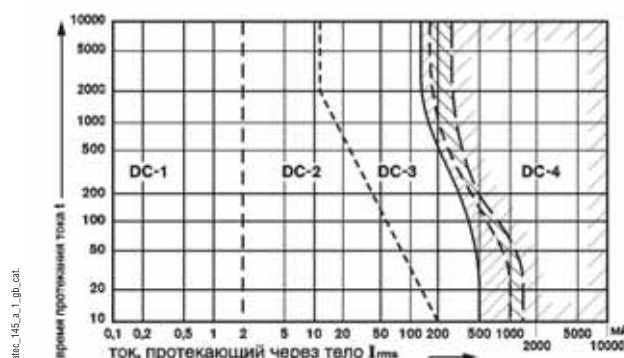
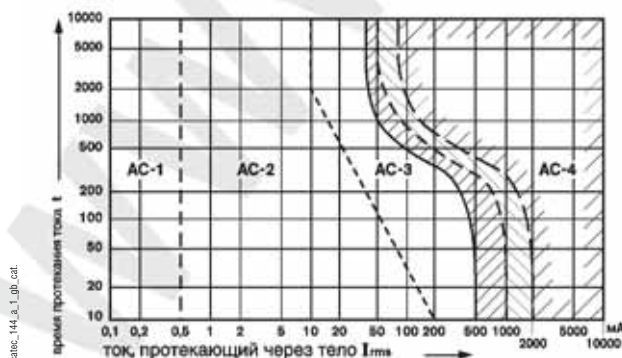
| СХЕМА<br>ПРОВОДНИК ▼ |      | TN           | IT          |
|----------------------|------|--------------|-------------|
|                      |      | БЕЗ НЕЙТРАЛИ | С НЕЙТРАЛЬЮ |
| медный               | 34.7 | 30           | 17.3        |
| алюминиевый          | 21.6 | 18.7         | 11          |

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  $X=0,08$  МОм/м.

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

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 40A gG. Длина не должна быть более 73 м для обеспечения гарантии защиты от непрямого контакта для сети TN 230 В / 400 В.

- 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 50 В ток  $I_{\Delta n}$  должен соответствовать формуле:

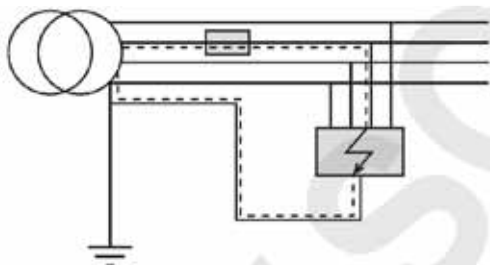
$$I_{\Delta n} \leq \frac{50}{R_p}$$

$R_p$ : сопротивление заземления в  $\Omega$ .

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

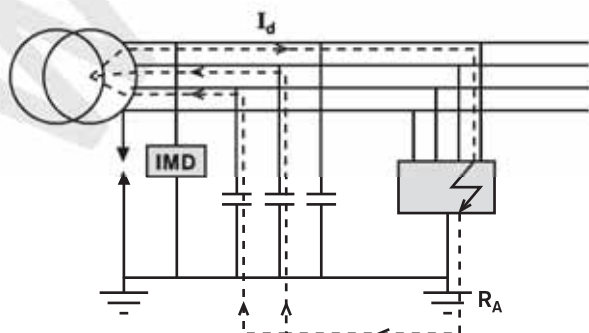


### Режим IT

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).

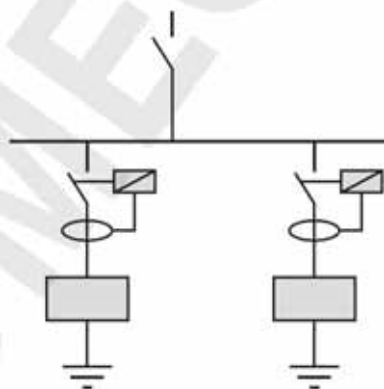
Исходя из этих соображений, для системы IT использование дифференциального устройства является обязательным:

- 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 раздельным заземлениям на выходе одного и того же источника питания, каждая группа корпусов должна быть защищена индивидуальным защитным устройством.



### Высокочувствительная защита и разъемы для подключения компьютерного оборудования

Ток утечки компьютерного оборудования может быть довольно высоким, что представляет опасность для использования высокочувствительного 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 высокочувствительными устройствами.

Руководитель организации самостоятельно принимает решение о целесообразности такой установки. Эти специальные розетки, не оснащенные высокочувствительной 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 400 В. Питание производится с помощью 3 x 150 мм² медных одножильных кабелей длиной 200 м (0,2 км).

- При нормальных рабочих условиях,  
 $\Delta u = 0,18 \times 233 \times 0,2 = 8,4$  В или 2,1% от 400 В.
- При оперативном запуске  
 $I_d = 5 I_n = 5 \times 233 \text{ А} = 1165 \text{ А};$   
 $K_u = 0,13;$   
 $\Delta u = 0,13 \times 1165 \times 0,2 = 20,3$  В или 7,6% от 400 В.

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 напряжения на значение n.