

# Глава Е

## Распределение в системах низкого напряжения

### Содержание

<b>1</b>	<b>Системы заземления</b>	<b>E2</b>
	1.1 Соединения с землей	E2
	1.2 Определение стандартных систем заземления	E3
	1.3 Характеристики систем TT, TN и IT	E6
	1.4 Критерии выбора систем TT, TN и IT	E8
	1.5 Выбор метода заземления и его реализация	E10
	1.6 Монтаж заземляющих устройств и замеры	E11
<b>2</b>	<b>Система установки</b>	<b>E15</b>
	2.1 Распределительные устройства	E15
	2.2 Кабели и шинопроводы	E18
<b>3</b>	<b>Внешние воздействия (МЭК 60364-5-51)</b>	<b>E25</b>
	3.1 Определения и стандарты	E25
	3.2 Классификация	E25
	3.3 Перечень внешних воздействий	E25
	3.4 Защита закрытого оборудования: коды IP и IK	E28

E1

Соединение всех металлических частей здания и всех открытых проводящих частей оборудования с заземляющим электродом предотвращает возникновение опасно высоких напряжений между любыми двумя одновременно доступными металлическими частями.

## 1.1 Соединения с землей

### Определения

Национальные и международные нормы (МЭК 60364) четко определяют различные элементы соединений с землей. Следующие термины общеприняты в промышленности и специальной литературе. Номера в скобках относятся к рис. Е1:

- Заземляющий электрод (1): проводник или группа проводников, находящийся в непосредственном контакте и обеспечивающих электрическое соединение с землей (см. п. 1.6 в главе Е).
- Земля: проводящая масса Земли, электрический потенциал которой в любой точке условно принимается равным нулю.
- Электрически независимые заземляющие электроды: заземляющие электроды, расположенные на таком расстоянии друг от друга, что максимальный ток, который может протекать через один из них, не оказывает значительного влияния на потенциал других проводников.
- Сопротивление заземляющего электрода: сопротивление контакта электрода с землей.
- Заземляющий проводник (2): защитный проводник, соединяющий главную заземляющую шину (ГЗШ) (6) установки с заземляющим электродом (1) или другим средством заземления (например, системы TN).
- Открытая проводящая часть: проводящая часть оборудования, до которой можно дотронуться, и которая в нормальном режиме не находится под напряжением, но может быть под напряжением при режиме замыкания на корпус (повреждении).
- Защитный проводник (3): проводник, который используется для защиты от поражения электрическим током и служит для соединения любых из следующих частей:
  - открытые проводящие части;
  - сторонние проводящие части;
  - основной заземляющий зажим;
  - заземляющие электроды;
  - заземленная точка источника или искусственной нейтрали.
- Сторонняя проводящая часть: проводящая часть, вводящая потенциал (как правило, потенциал Земли) и не входящая в состав электроустановки (4).  
Например:
  - неизолированные полы или стены, металлоконструкции зданий;
  - металлические каналы и трубопроводы (не в составе электроустановки) для воды, газа, отопления, сжатого воздуха и т.д. и металлические материалы, связанные с ними.
- Шинка металлизации (5): защитный проводник, обеспечивающий эквипотенциальное соединение.
- Главная заземляющая шина (ГЗШ) (6): зажим или вывод, служащий для присоединения защитных проводников, включая проводники уравнивания потенциала и проводники для функционального заземления (при наличии), в целях заземления.

### Соединения

#### Основная система уравнивания потенциала

Проводники системы уравнивания потенциалов применяются с целью обеспечения того, что в случае возникновения потенциала во входящем стороннем проводнике (например, газопровод и т.д.) из-за повреждения вне здания не возникнет разности потенциалов между сторонними проводящими частями внутри установки. Проводники уравнивания потенциалов должны располагаться как можно ближе к точкам входа в здание и присоединяться к ГЗШ (6). Однако соединение с землей металлических оболочек кабелей связи требует разрешения владельцев кабелей.

#### Дополнительная система уравнивания потенциала

Эти соединения служат для присоединения открытых проводящих частей и всех сторонних проводящих частей, доступных одновременно, когда не обеспечены условия надлежащей защиты, например, проводники основной системы уравнивания потенциала имеют недопустимо высокое сопротивление.

#### Соединение открытых проводящих частей с заземляющими электродами

Соединение выполняется с помощью защитных проводников с целью обеспечения низкоомной линии для токов повреждения на землю.

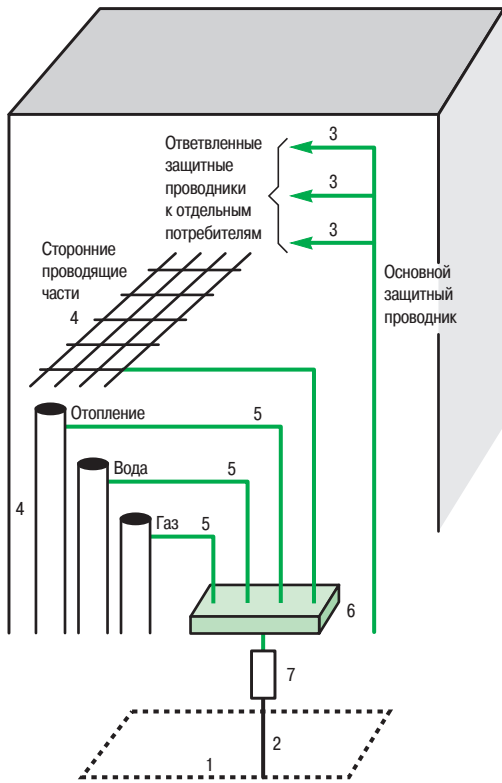


Рис. Е1 : Пример жилого здания, в котором ГЗШ (6) обеспечивает основное эквипотенциальное соединение; съемная перемычка (7) обеспечивает проверку сопротивления заземляющего электрода

## Компоненты (см. рис. E2)

Эффективное соединение всей доступной металлической арматуры и всех открытых проводящих частей электрических приборов и оборудования необходимо для надежной защиты от поражения электрическим током.

Компоненты:	
открытые проводящие части	сторонние проводящие части
Кабелепроводы <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Каналы</li> <li>■ Изолированный пропитанной бумагой оцинкованный кабель, армированный или нет</li> <li>■ Кабель с неорганической изоляцией в металлической оболочке (руготепах и т.д.)</li> </ul>	Элементы конструкции здания <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Железобетон (ж/б):                             <ul style="list-style-type: none"> <li>□ рамная стальная конструкция</li> <li>□ стержневая арматура</li> <li>□ сборные ж/б панели</li> </ul> </li> <li>■ Отделка поверхностей:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>□ ж/б полы и стены без обработки поверхности</li> <li>□ поверхности, облицованные плиткой</li> </ul> </li> <li>■ Металлическое покрытие:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>□ металлическое покрытие стен</li> </ul> </li> </ul>
Распределительное устройство (РУ) <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Опора съемного РУ</li> </ul>	
Приборы <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Открытые металлические части приборов с изоляцией класса 1</li> </ul>	Элементы инженерных сетей здания (кроме энергоснабжения) <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Металлические трубы, каналы, соединительные линии и т.д. для систем газо- и водоснабжения, отопления и т.д.</li> <li>■ Сопутствующие металлические элементы (печи, баки, емкости, радиаторы)</li> <li>■ Металлическая арматура в ванных комнатах, санузлах и т.д.</li> <li>■ Металлизированная бумага</li> </ul>
Неэлектрические элементы <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Металлическая арматура кабелепроводов (лотки, лестницы и т.д.)</li> <li>■ Металлические объекты:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>□ вблизи воздушных линий или шин</li> <li>□ в контакте с электрооборудованием</li> </ul> </li> </ul>	

Компоненты:	
открытые непроводящие части	сторонние непроводящие части
Различные служебные каналы и т.д. <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Каналы из изолирующих материалов</li> <li>■ Профилированные погонажные изделия из дерева или другого изолирующего материала</li> <li>■ Проводники и кабели без металлических оболочек</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Полы из паркетных досок</li> <li>■ Полы с резиновым покрытием или линолеумом</li> <li>■ Перегородки из гипсовых плит</li> <li>■ Кирпичные стены</li> <li>■ Ковры и ковровый настил на всю ширину</li> </ul>
Распределительное устройство <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Корпуса из изолирующего материала</li> </ul>	
Приборы <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Все приборы с классом изоляции II, независимо от типа корпуса</li> </ul>	

Рис. E2 : Перечень открытых и сторонних проводящих и непроводящих частей

Системы заземления характеризуют метод заземления установки за вторичной обмоткой трансформатора высокого/низкого напряжения и средства, используемые для заземления открытых проводящих частей питаемого низковольтного электроприемника (ЭП).

## 1.2 Определение стандартных систем заземления

Выбор этих методов определяет меры, необходимые для защиты от опасности косвенного прикосновения.

Разработка системы заземления требует от проектировщика электрической распределительной системы или установки определения с выбором трех независимых исходных параметров:

- Тип соединения электросистемы (как правило, нейтраль) и открытых частей с заземляющими устройствами.

- Использование отдельного защитного проводника или защитного проводника, совмещенного с нейтралью.

- Использование защиты максимального тока для отключения больших токов замыкания на землю или использование дополнительных реле, способных обнаруживать и отключать небольшие токи замыкания на землю.

На практике эти решения сгруппированы и стандартизированы, как разъясняется ниже. Каждое из них обеспечивает стандартные системы заземления с тремя преимуществами и недостатками:

- Присоединение открытых проводящих частей оборудования и нейтрали к РЕ-проводнику приводит к выравниванию потенциалов и снижению перенапряжений, но при этом - к повышению токов замыкания на землю.

- Отдельный защитный проводник стоит довольно дорого даже при малой площади поперечного сечения, но намного менее подвержен воздействию перепадам напряжений, гармоникам и т.д., чем нейтраль. Кроме того, предотвращаются токи утечки в сторонних проводящих частях.

- Реле токовой защиты нулевой последовательности или устройства контроля изоляции намного более чувствительны и позволяют во многих случаях отключать замыкания на землю до возникновения более серьезных повреждений (двигатели, пожары, поражение электрическим током). Кроме того, эта защита не зависит от изменений (расширений) существующей установки.

**Система TT (заземленная нейтраль)** (см. рис. E3)

Одна точка источника питания соединяется непосредственно с землей. Все открытые и сторонние проводящие части соединяются с отдельным заземляющим устройством установки. Электрод может быть как электрически независимым от заземляющего устройства источника, так и нет. Две зоны растекания электродов могут перекрываться без влияния на работу устройств защиты.

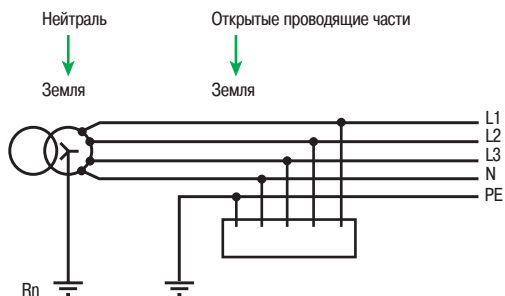


Рис. E3 : Система TT

**Системы TN (открытые проводящие части, соединенные с нейтралью)**

Источник заземляется аналогично системе TT (выше). На установке все открытые и сторонние проводящие части соединяются с нейтралью (зануляются). Несколько вариантов системы TN показаны ниже.

**Система TN-C (см. рис. E4)**

Нейтраль служит также в качестве защитного проводника и обозначается PEN (защитный заземляющий нейтральный проводник). Эта система не допускается для проводников сечением менее 10 мм<sup>2</sup> или передвижного оборудования.

Система TN-C требует эффективной эквипотенциальной среды в пределах установки с рассредоточением заземляющих электродов как можно более равномерно, поскольку PEN-проводник является нейтралью и проводит токи несимметрии фаз, а также токи третьей гармоники (и кратные им).

Поэтому PEN-проводник должен присоединяться к нескольким заземляющим электродам на установке.

**Предупреждение:** в системе TN-C функция защитного проводника имеет более высокий приоритет, чем «функция нейтрали». В частности, PEN-проводник должен всегда подсоединяться к заземляющему зажиму нагрузки с использованием перемычки для подсоединения этого зажима к нейтральному выводу.

**Система TN-S (см. рис. E5)**

Система TN-S (5-проводная) обязательна для цепей с площадью поперечного сечения менее 10 мм<sup>2</sup> и для передвижного оборудования.

Защитный проводник и нейтраль разделены. В подземных кабельных системах, в которых используются оцинкованные кабели, защитным проводником является, как правило, свинцовая оболочка.

**Система TN-C-S (см. рис. E6 ниже и рис. E7 на следующей странице)**

Системы TN-C и TN-S могут использоваться в одной установке. В системе TN-C-S система TN-C (4-проводная) не должна использоваться ниже системы TN-S (5-проводная), поскольку любой случайный обрыв нейтрали перед ней приведет к обрыву в защитном проводнике после нее, что опасно.

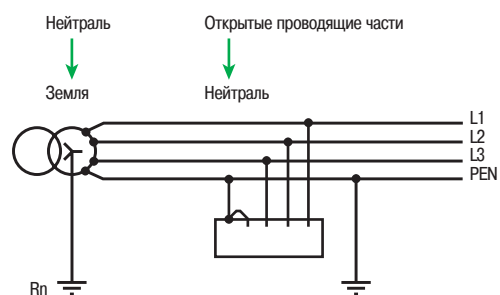


Рис. E4 : Система TN-C

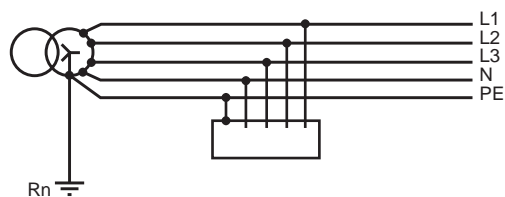


Рис. E5 : Система TN-S

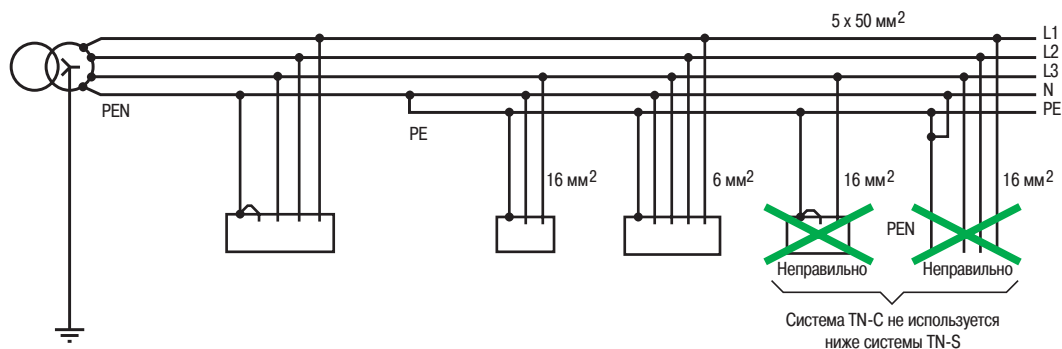


Рис. E6 : Система TN-C-S

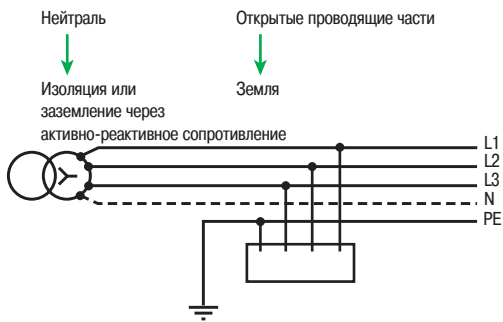


Рис. E8 : Система IT (изолированная нейтраль)

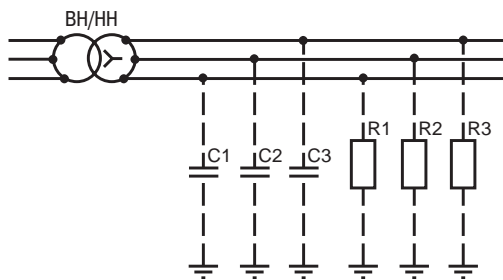


Рис. E9 : Система IT (изолированная нейтраль)

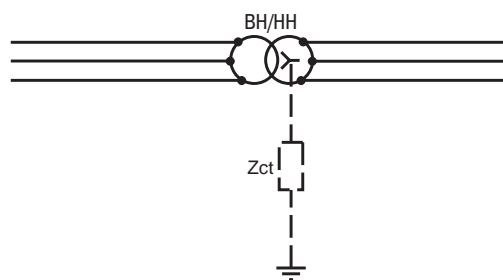


Рис. E10 : Полное сопротивление, эквивалентное сопротивлениям утечки в системе IT

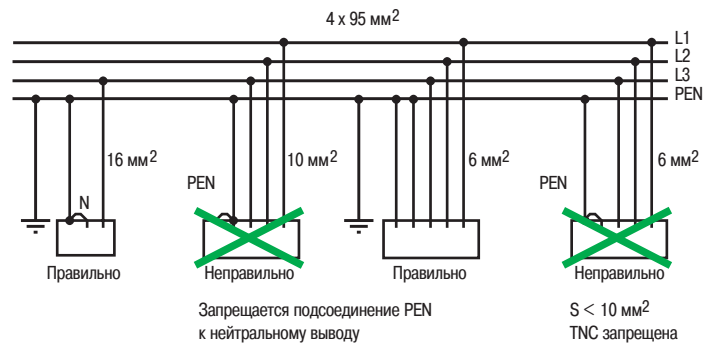


Рис. E7 : Присоединение проводника PEN в системе TN-C

## Система IT (изолированная нейтраль или нейтраль, заземленная через активно-реактивное сопротивление)

### Система IT (изолированная нейтраль)

Не выполняется специальное соединение между нейтральной точкой источника питания и землей (см. рис. E8).

Открытые и сторонние проводящие части установки соединяются с заземляющим электродом.

На практике все цепи имеют сопротивление утечки на землю, поскольку не существует идеальной изоляции. Наряду с этим распределенным путем резистивной утечки, существует распределенный путь емкостного тока. Вместе два пути составляют нормальное сопротивление утечки на землю (см. рис. E9).

### Пример (см. рис. E10)

В низковольтной 3-фазной 3-проводной системе 1 км кабеля имеет сопротивление утечки в силу конденсаторов C1, C2, C3 и резисторов R1, R2 и R3, эквивалентное полному сопротивлению заземления нейтрали ( $Z_{ct}$ ) 3000 - 4000 Ом без учета фильтрующих емкостей электронных устройств.

### Система IT (нейтраль, заземленная через активно-реактивное сопротивление)

Полное сопротивление  $Z_s$  (порядка 1000 - 2000 Ом) постоянно подсоединено между нейтральной точкой низковольтной обмотки трансформатора и землей (см. рис. E11). Все открытые и внешние проводящие части подсоединены к заземляющему электроду. Такой способ заземления источника питания служит для фиксации потенциала сети относительно земли ( $Z_s$  мало в сравнении с сопротивлением утечки) и снижения уровня перенапряжений (например, импульсы напряжения, передаваемые с обмоток среднего напряжения, статические заряды и т.д.) относительно земли. Однако, при этом возникает незначительное повышение уровня тока первого замыкания.

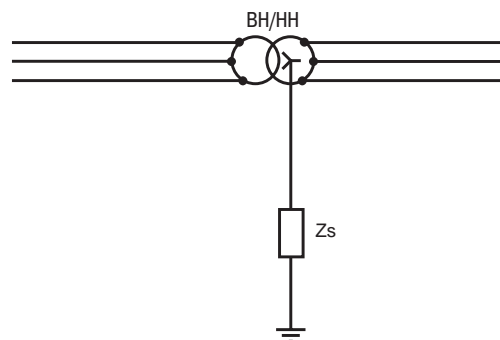


Рис. E11 : Система IT (нейтраль, заземленная через активно-реактивное сопротивление)

### 1.3 Характеристики систем TT, TN и IT

#### Система TT:

- Метод защиты людей: открытые проводящие части заземляются, используется устройство защиты от токов утечки (УЗО).
- Принцип работы: отключение при первом замыкании на землю.

#### Система TT (см. рис. E12)

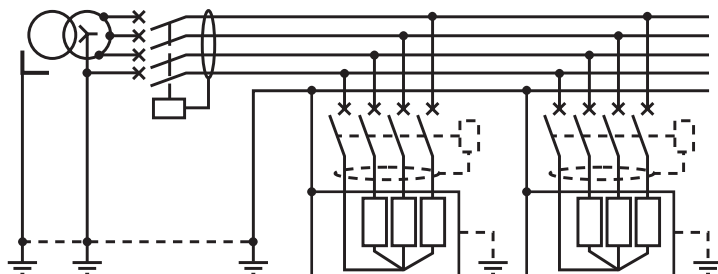


Рис. E12 : Система TT

**Примечание:** если открытые проводящие части заземляются в нескольких точках, УЗО должно устанавливаться для каждой группы ЭП, подсоединенных к одному заземляющему электроду.

#### Основные характеристики

- Простейшее решение с точки зрения проектирования и монтажа используется на установках с питанием непосредственно через низковольтную распределительную сеть общего пользования.
- Не требует постоянного контроля в процессе работы (могут требоваться только периодические проверки УЗО).
- Защита обеспечивается с помощью УЗО (устройство защитного отключения, реагирующее на ток утечки на землю), что предотвращает риск пожара при уставке до 500 мА.
- Каждое повреждение приводит к отключению питания только поврежденной цепи благодаря применению селективных УЗО на последовательных ступенях распределения.
- ЭП или части установки, которые при нормальном режиме работы вызывают высокие токи утечки, требуют специальных мер для предотвращения излишних отключений, например, питание нагрузок через разделительный трансформатор или использование специальных УЗО (см. п.5.1 в главе F).

#### Система TN (см. рис. E13 и рис. E14)

#### Система TN:

- Метод защиты людей:
  - соединение и заземление открытых проводящих частей и нейтрали является обязательным;
  - при первом замыкании на землю цепь отключается устройствами защиты от сверхтока (автоматическими выключателями или предохранителями).
- Принцип работы: отключение при первом замыкании на землю.

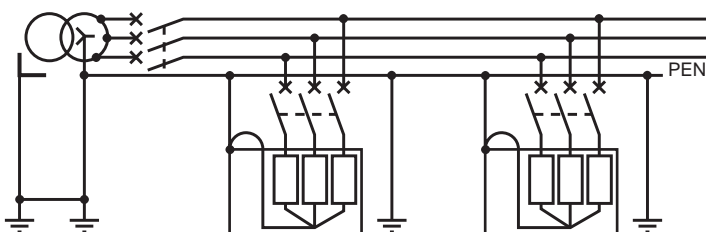


Рис. E13 : Система TN-C

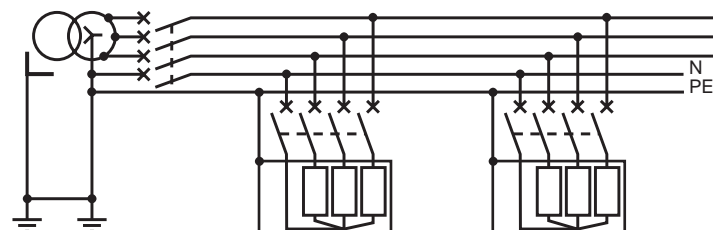


Рис. E14 : Система TN-S

## Система IT:

### ■ Метод защиты:

- соединение и заземление открытых проводящих частей;
- индикация первого замыкания на землю посредством устройства контроля изоляции (ИМД);
- отключение при втором замыкании (КЗ) с помощью защиты максимального тока (выключатели или плавкие предохранители).

### ■ Принцип работы:

- сигнализация первого замыкания на землю;
- обязательная локализация и устранение первого замыкания;
- отключение при двойном замыкании на землю.

## Основные характеристики

### ■ В целом, система TN:

- требует установки заземляющих электродов с равными интервалами в пределах установки;
- требует проверки эффективности отключения при первом однофазном КЗ посредством расчетов на этапе проектирования с последующими обязательными замерами для подтверждения эффективности отключения на этапе пуско-наладки;
- требует, чтобы любое изменение или расширение проектировалось и выполнялось квалифицированным специалистом;
- характеризуется тем, что КЗ на корпус может приводить к большому повреждению обмоток вращающихся машин;
- имеет высокую опасность возникновения пожара из-за повышенного тока однофазного КЗ (70 – 80% всех замыканий).

### ■ Система TN-C:

- с первого взгляда может показаться менее дорогостоящей (экономия одного проводника и одного полюса выключателей);
- требует использования неподвижных и жестких проводников;
- запрещена к использованию в определенных случаях:
  - помещения с риском пожара;
  - компьютерное оборудование (гармонические токи в нейтрали).

### ■ Система TN-S:

- может использоваться даже с гибкими проводниками;
- в силу разделения нейтрали и защитного проводника обеспечивает чистое защитное заземление (компьютеры и помещения с особыми рисками).

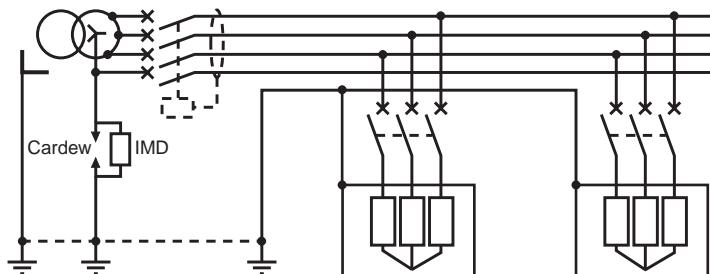


Рис. E15 : Система IT

## Система IT (см. рис. E15)

## Основные характеристики

- Решение, обеспечивающее максимальную бесперебойность питания.
- Сигнализация первого замыкания с последующей обязательной локализацией и устранением повреждения обеспечивает систематическое предотвращение перерывов в электроснабжении.
- Как правило, используется на установках с питанием через частный трансформатор высокого/низкого или низкого/низкого напряжения.
- Требуется обслуживающего персонала для контроля и работы.
- Требуется высокого уровня изоляции в сети (что означает разделение крупной сети и использование разделительного трансформатора для питания нагрузок с высокими токами утечки).
- Проверка эффективности отключения при двойном замыкании (КЗ) должна проводиться посредством расчетов на этапе проектирования с последующими обязательными замерами на этапе пуско-наладки для каждой группы взаимосвязанных проводником РЕ открытых проводящих частей.
- Защита нейтрали должна обеспечиваться, как указывается в п.7.2 главы G.

Выбор не зависит от критериев безопасности. Три системы эквивалентны по защите людей при условии соблюдения всех правил монтажа и эксплуатации. Критерии выбора оптимальной системы зависят от нормативных требований, необходимой бесперебойности питания, рабочих условий и типов сети и нагрузок.

## 1.4 Критерии выбора систем ТТ, TN и IT

По защите людей три системы заземления сети (СЗС) эквивалентны при условии соблюдения всех правил монтажа и эксплуатации. Поэтому выбор не зависит от критериев безопасности.

Определить оптимальные системы можно путем объединения всех требований (нормы, бесперебойность питания, рабочие условия и типы сети и нагрузок) (см. рис. E16). Выбор определяется следующими факторами:



















- Во-первых, действующие нормы, которые в некоторых случаях вводят обязательное использование определенных типов СЗС.
- Во-вторых, решение владельца в отношении электропитания – питание через частный трансформатор высокого/низкого напряжения (абонент высокого напряжения) или владелец имеет частный источник энергии (или разделительный трансформатор).

Если владелец сделал выбор, решение по СЗС принимается после обсуждения с разработчиком сети (КБ, подрядчик). Обсуждения должны включать в себя следующее:

- Во-первых, эксплуатационные требования (требуемый уровень бесперебойности питания) и рабочие условия (техобслуживание проводится электротехническим персоналом или нет, собственный или внешний персонал и т.д.).
- Во-вторых, конкретные характеристики сети и нагрузок (см. рис. E17 на следующей странице).

	ТТ	TN-S	TN-C	IT1	IT2	Примечания
<b>Электрические характеристики</b>						
Ток повреждения (КЗ)	-	--	--	+	--	Только система IT обеспечивает пренебрежимо малые токи первого замыкания на землю
Напряжение косвенного прикосновения	-	-	-	+	-	В системе IT напряжение косвенного прикосновения крайне мало при первом замыкании, но значительно при двойном
Напряжение косвенного прикосновения	+/-	-	-	+	-	В системе ТТ напряжение косвенного прикосновения крайне мало при эквипотенциальной системе, в ином случае – высокое
<b>Защита</b>						
Защита людей от косвенного прикосновения	+	+	+	+	+	Все схемы СЗС эквивалентны при соблюдении правил
Защита людей при помощи аварийных энергоблоков	+	-	-	+	-	Системы, где защита обеспечивается с помощью УЗО, не чувствительны к изменению внутреннего сопротивления источника
Противопожарная защита (с УЗО)	+	+	Не существ.	+	+	Все схемы СЗС, в которых могут использоваться устройства УЗО, эквивалентны. Система TN-C запрещена в помещениях с опасностью пожара
<b>Перенапряжения</b>						
Непрерывное перенапряжение	+	+	+	-	+	При первом замыкании в системе IT напряжение на исправных фазах увеличивается до линейного
Переходное перенапряжение	+	-	-	+	-	Системы с высокими токами повреждения (КЗ) могут вызывать переходные перенапряж.
Перенапряжение при отказе трансформатора (первичная/вторичная обмотка)	-	+	+	+	+	В системе ТТ имеется асимметрия напряжений между разными заземляющими электродами. Другие системы соединяются с одним заземляющим электродом
<b>Электромагнитная совместимость</b>						
Устойчивость к близким разрядам молнии	-	+	+	+	+	В системе ТТ возможны асимметрии напряжений между заземляющими электродами. В системе ТТ имеется значительное сопротивление между двумя отдельными заземляющими электродами
Устойчивость к разрядам молнии на линиях среднего напряжения	-	-	-	-	-	Все системы заземления эквивалентны, когда линия высокого напряжения попадает под прямой разряд молнии
Непрерывное излучение электромагнитного поля	+	+	-	+	+	Подсоединение PEN к металлоконструкциям здания ведет к непрерывной генерации электромагнитных полей
Переходная неэквипотенциальность PE	+	-	-	+	-	PE не эквипотенциален при высоком токе повреждения (КЗ)
<b>Бесперебойность питания</b>						
Отключение при первом замыкании на землю	-	-	-	+	+	Только система IT продолжает работать при первом замыкании на землю
Понижение напряжения при однофазном замыкании	+	-	-	+	-	Системы TN-S, TNC и IT (двойное замыкание) вызывают высокие токи повреждения (КЗ), которые могут привести к понижению фазного напряжения
<b>Монтаж</b>						
Специальные устройства	-	+	+	-	-	Система ТТ требует использования УЗО. Система IT требует использования устройств контроля изоляции
Число заземляющих устройств	-	+	+	-/+	-/+	Система ТТ требует два отдельных заземляющих устройства. Система IT обеспечивает выбор между одним или двумя заземляющими устройствами.
Число проводников	-	-	+	-	-	Только система TN-C обеспечивает (в определенных случаях) сокращение числа проводников
<b>Техобслуживание</b>						
Стоимость ремонтных работ	-	--	--	-	--	Стоимость ремонтных работ зависит от степени повреждения, вызванного токами повреждения
Повреждение установок	+	-	-	++	-	Системы, вызывающие высокие токи повреждения (КЗ), требуют проверки после устранения повреждения

Рис. E16 : Сравнение систем заземления электрических сетей

Тип сети		Рекомендуется	Используется	Не рекомендуется
Крупная сеть с высококачественными заземляющими электродами для открытых проводящих частей ( $\leq 10$ Ом)			TT, TN, IT <sup>(1)</sup> или комбинацию	
Крупная сеть с низкокачественными заземляющими электродами для открытых проводящих частей ( $> 30$ Ом)		TN	TN-S	IT <sup>(1)</sup> TN-C
Зона возмущения (например, теле- или радиопередатчик)		TN	TT	IT <sup>(2)</sup>
Сеть с высокими токами утечки ( $> 500$ мА)		TN <sup>(4)</sup>	IT <sup>(4)</sup> TT <sup>(3) (4)</sup>	
Сеть с наружными воздушными линиями		TT <sup>(5)</sup>	TN <sup>(5) (6)</sup>	IT <sup>(6)</sup>
Аварийный резервный энергоблок		IT	TT	TN <sup>(7)</sup>
<b>Тип нагрузок</b>				
Нагрузки, чувствительные к высоким токам повреждения (КЗ) (двигатели и т.д.)		IT	TT	TN <sup>(8)</sup>
Нагрузки с низким уровнем изоляции (электродвигатели, сварочные аппараты, нагревательные элементы, погружные нагреватели, кухонное оборудование)		TN <sup>(9)</sup>	TT <sup>(9)</sup>	IT
Многочисленные 1-фазные нагрузки «фаза-нейтраль» (подвижные, полустационарные, передвижные)		TT <sup>(10)</sup> TN-S		IT <sup>(10)</sup> TN-C <sup>(10)</sup>
Нагрузки со значительными рисками (подъемники, конвейеры и т.д.)		TN <sup>(11)</sup>	TT <sup>(11)</sup>	IT <sup>(11)</sup>
Многочисленные вспомогательные устройства (станки)		TN-S	TN-C IT <sup>(12 bis)</sup>	TT <sup>(12)</sup>
<b>Прочее</b>				
Питание через силовой трансформатор с соединением «звезда-звезда» <sup>(13)</sup>		TT	IT Без нейтрали	IT <sup>(13)</sup> С нейтралью
Помещения с риском пожара		IT <sup>(15)</sup>	TN-S <sup>(15)</sup> TT <sup>(15)</sup>	TN-C <sup>(14)</sup>
Увеличение уровня мощности абонента низковольтной сети общего пользования, требуется частная подстанция		TT <sup>(16)</sup>		
Установка с частыми изменениями		TT <sup>(17)</sup>		TN <sup>(18)</sup> IT <sup>(18)</sup>
Установка с неопределенной непрерывностью цепей заземления (рабочие участки, старые установки)		TT <sup>(19)</sup>	TN-S	TN-C IT <sup>(19)</sup>
Электронное оборудование (компьютеры, ПЛК)		TN-S	TT	TN-C
Сеть контроля и управления машинами, датчики ПЛК и приводы		IT <sup>(20)</sup>	TN-S, TT	

- (1) Когда СЗС не предписывается нормами, она выбирается по уровню рабочих характеристик (бесперебойность питания, которая требуется по соображениям безопасности или необходима для обеспечения производительности, и т.д.). Независимо от СЗС, вероятность повреждения изоляции повышается при увеличении протяженности сети. Может потребоваться разделить сеть, чтобы облегчить локализацию повреждений и позволить реализовать систему, рекомендованную выше, для каждого типа установки.
- (2) Риск дугового разряда на ограничителе перенапряжений превращает изолированную нейтраль в заземленную нейтраль. Эти риски повышены для районов с частыми грозами или для установок с питанием через воздушную сеть. Если система IT выбирается для обеспечения повышенного уровня бесперебойности питания, разработчик системы должен точно рассчитать режим отключения при втором повреждении (КЗ).
- (3) Риск излишних отключений УЗО.
- (4) Независимо от СЗС, идеальное решение состоит в изоляции проблемной секции, если ее можно легко определить.
- (5) Риск однофазных КЗ на землю, нарушающих эквипотенциальность.
- (6) Фактор неопределенности, связанный с изоляцией, из-за влажности и проводящей пыли.
- (7) Система TN не рекомендуется из-за риска повреждения генератора в случае внутреннего отказа (КЗ). Более того, если генераторы питают защитное оборудование, система не должна срабатывать при первом замыкании.
- (8) Ток между фазой и землей может в несколько раз превышать  $I_n$  с риском повреждения обмоток двигателей или повреждения магнитопровода.
- (9) Чтобы обеспечить бесперебойное питание и безопасность, необходимо (и настоятельно рекомендуется) отделить эти нагрузки от остальных нагрузок установки (трансформаторы с местным соединением нейтрали), независимо от СЗС.
- (10) Если обеспечение качества оборудования не является приоритетной задачей при проектировании, существует риск быстрого снижения сопротивления изоляции. Система TT с УЗО представляет оптимальное решение этих проблем.
- (11) Необходимо учитывать, что подвижность нагрузки этого типа приводит к частым повреждениям. Независимо от системы СЗС, рекомендуется запитывать эти цепи через трансформаторы с местным соединением нейтрали.
- (12) Требуется использование трансформаторов с местной системой TN для предотвращения эксплуатационных рисков и излишних отключений при первом повреждении (КЗ) (TT) или двойном повреждении (КЗ) (IT).
- (12 bis) С двойным разрывом в цепи управления.
- (13) Чрезмерное ограничение тока однофазного КЗ из-за высокого значения сопротивления нулевой последовательности (в 4-15 раз больше сопротивления прямой последовательности). Эта система должна заменяться схемой «звезда-треугольник».
- (14) Высокие токи повреждения делают опасной систему TN. Система TN-C запрещена.
- (15) Независимо от системы, УЗО должно устанавливаться на  $I_n < 500$  мА.
- (16) На установке с низковольтным питанием должна использоваться система TT. Использование этой системы допускает только минимальное количество изменений существующей сети (не должны прокладываться дополнительные кабели, не должны изменяться устройства защиты).
- (17) Для использования не требуется высококвалифицированный обслуживающий персонал.
- (18) Установка этого типа требует особого внимания к обеспечению безопасности при техобслуживании. Необходимо профилактическое обслуживание системы TN, в ином случае со временем требуется высококвалифицированный персонал для обеспечения безопасности.
- (19) Риски разрыва проводников (питание, защита) могут привести к потере эквипотенциальности открытых проводящих частей. Рекомендуется и часто обязательна система TT или TN-S с УЗО на 30 мА. Система IT может использоваться только в специальных случаях.
- (20) Это решение позволяет избежать излишних отключений при случайных утечках на землю.

Рис. E17: Влияние сети и нагрузок на выбор системы заземления

## 1.5 Выбор метода заземления и его реализация

После ознакомления с действующими нормами рис. E16 и E17 могут использоваться при принятии решения относительно разделения и гальванической развязки соответствующих секций предлагаемой установки.

### Разделение источника

Это метод использования нескольких трансформаторов вместо одного большой мощности. В этом случае нагрузка, являющаяся источником сетевых нарушений (мощные двигатели, печи и т.д.), может запитываться через отдельный трансформатор.

Тем самым повышается качество и бесперебойность питания всей установки.

Стоимость распределительного устройства снижается (уровень тока КЗ ниже).

Экономические аспекты использования отдельных трансформаторов должны определяться в каждом конкретном случае.

### Секционирование сети

Создание гальванически разделенных секций посредством трансформаторов высокого/низкого напряжения позволяет оптимизировать выбор методов заземления с учетом конкретных требований (см. рис. E18 и рис. E19).

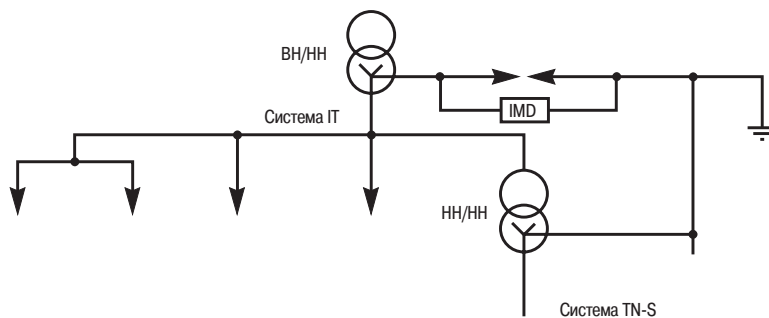


Рис. E18 : Секция TN-S в системе IT

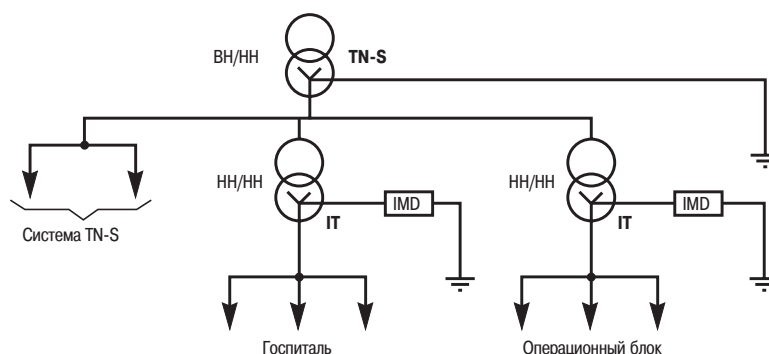


Рис. E19 : Секция IT в системе TN-S

### Заключение

Оптимизация характеристик всей установки определяет выбор системы заземления.

Необходимо учитывать:

- Начальные капиталовложения.
- Будущие эксплуатационные расходы, которые трудно оценить, связанные с недостаточной надежностью, качеством оборудования, безопасностью, бесперебойностью питания и т.д.

Идеальная система должна включать в себя основные источники питания, местные резервные источники питания (см. п. 1.4 в главе E) и соответствующие устройства заземления.

Эффективный метод обеспечения малого сопротивления заземления состоит в заглублении замкнутого контура в грунт дна котлована под фундамент здания.

Сопротивление  $R$  такого контура (в однородном грунте) составляет (приблизительно),  $R = \frac{2 \rho}{L}$ , где:  
 $L$  = длина заглубленного проводника;  
 $\rho$  = удельное сопротивление грунта, Ом·м.

Для  $n$  стержней:  $R = \frac{1 \rho}{n L}$ .

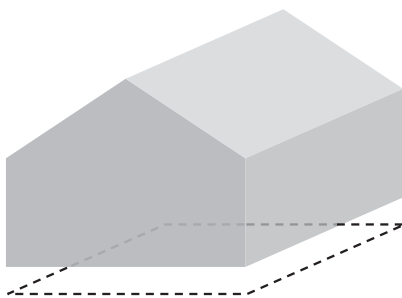


Рис. E20 : Проводник, заглубленный ниже уровня фундамента (не в бетоне)

## 1.6 Монтаж заземляющих устройств и замеры

Качество заземляющего устройства (как можно меньшее сопротивление) зависит в основном от двух факторов:

- Метод монтажа
- Тип грунта

### Методы монтажа

Ниже описаны три общепринятых метода монтажа:

#### Заглубленная кольцевая цепь (см. рис. E20)

Это решение настоятельно рекомендуется, особенно в случае нового здания. Электроды должны заглубляться по периметру выемки под фундаменты. Необходимо, чтобы неизолированный проводник находился в непосредственном контакте с грунтом (и не находился в гравии или заполнителе, часто образующем основание для укладки бетона). Для монтажа соединений необходимо обеспечить как минимум четыре проводника от электрода, которые широко разнесены по вертикали. При возможности, каждый арматурный стержень в бетоне должен подсоединяться к электроду. Проводник, образующий заземляющий контур, особенно если он расположен в котловане под фундамент, должен заглубляться не менее чем на 50 см под заполнитель для бетонного основания. Заземляющий контур и вертикальные проводники к нижнему этажу не должны находиться в контакте с бетоном фундамента.

Для существующих зданий заземляющий контур должен заглубляться около наружной стены помещений на глубину не менее 1 м. Как правило, все вертикальные выводы от него к поверхности должны быть изолированы на номинальное напряжение (600-1000 В).

Возможные типы проводников:

- Медь: неизолированный (> 25 мм<sup>2</sup>) или многожильный (> 25 мм<sup>2</sup>, толщина > 2 мм) кабель.
- Алюминий, со свинцовой оболочкой: кабель (> 35 мм<sup>2</sup>).
- Оцинкованная сталь: неизолированный (> 95 мм<sup>2</sup>) или многожильный (> 100 мм<sup>2</sup>, толщина > 3 мм) кабель.

Приблизительное сопротивление растекания электрода  $R$ , Ом:

$$R = \frac{2 \rho}{L},$$

где:

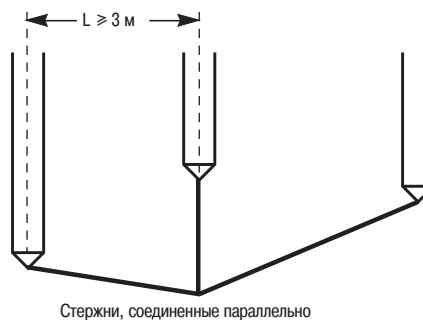
$L$  = длина проводника,  $\rho$  = удельное сопротивление грунта, Ом·м (см. "Влияние типа грунта" на следующей странице).

#### Заземляющие стержневые электроды (см. рис. E21)

Вертикально расположенные заземляющие стержни часто используются для существующих зданий и для улучшения существующих заземляющих контуров (т.е. снижения сопротивления).

Возможные типы стержней:

- Медь или (чаще) сталь с медным покрытием. Стержни из последнего материала имеют, как правило, длину 1 или 2 метра и обеспечиваются резьбой на концах и втулками для размещения на значительной глубине (например, уровень грунтовых вод в зонах с высоким удельным сопротивлением грунта).
- Трубка из оцинкованной стали (см. примечание (1) на следующей странице) диаметром > 25 мм или стержень диаметром > 15 мм, длиной > 2 м в каждом случае.



Стержни, соединенные параллельно

Рис. E21 : Заземляющие стержневые электроды

**E12**

Для вертикального пластинчатого электрода:

$$R = \frac{0.8 \rho}{L}$$

Замеры на заземляющих электродах в аналогичных грунтах полезны для определения удельного сопротивления, используемого при расчете системы заземляющих электродов.

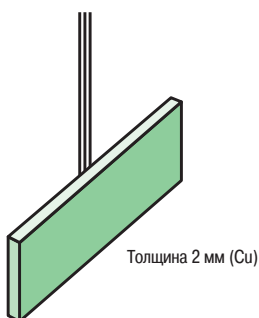


Рис. E22 : Вертикальная пластина

Часто необходимо использовать несколько стержней. В этом случае интервал между ними должен в 2-3 раза превышать их длину.

Общее сопротивление (в гомогенном грунте) равно сопротивлению одного стержня, разделенному на число стержней. Приблизительное сопротивление R:

$$R = \frac{1 \rho}{n L}, \text{ если интервал между стержнями } > 4L,$$

где:

L = длина стержня, м

$\rho$  = удельное сопротивление грунта, Ом·м (см. «Влияние типа грунта» ниже)

n = число стержней

**Вертикальные пластины** (см. рис. E22)

Прямоугольные пластины, каждая сторона которых должна быть > 0,5 м, обычно используются в качестве заземляющих электродов, заглубляемых в вертикальной плоскости таким образом, что центр пластины находится минимум на 1 м ниже поверхности грунта.

Возможные типы пластин:

- Медь, толщина 2 мм
- Оцинкованная <sup>(1)</sup> сталь, толщина 3 мм

Сопротивление R, Ом, равно (приблизительно):

$$R = \frac{0.8 \rho}{L}, \text{ где:}$$

L = периметр пластины, м

$\rho$  = удельное сопротивление грунта, Ом·м (см. «Влияние типа грунта» ниже)

## Влияние типа грунта

Тип грунта	Среднее значение удельного сопротивления, Ом
Заболоченная почва	1 - 30
Илистый наносной слой	20 - 100
Дерновая земля, гнилая листва	10 - 150
Торф	5 - 100
Мягкая глина	50
Глинистый известняк и уплотненная глина	100 - 200
Юрский известняк с содержанием глины	30 - 40
Глинистый песок	50 - 500
Кремнистый песок	200 - 300
Каменистый грунт	1500 - 3000
Задернованный каменистый грунт	300 - 500
Известняковый грунт	100 - 300
Известняк	1000 - 5000
Трещиноватый известняк	500 - 1000
Аспидный сланец	50 - 300
Слюдистый сланец	800
Гранит и песчаник	1500 - 10000
Измененный гранит и песчаник	100 - 600

Рис. E23 : Удельное сопротивление (Ом·м) разных типов грунта

Тип грунта	Среднее значение удельного сопротивления, Ом
Плодородная почва, уплотненный насыпной грунт	50
Засушливая почва, гравий, неуплотненный неоднородный грунт	500
Каменистый грунт, открытый сухой песок, трещиноватые породы	3000

Рис. E24 : Среднее удельное сопротивление (Ом·м) для разных грунтов

(1) Если используются заземляющие электроды из оцинкованных проводящих материалов, могут потребоваться протекторные аноды катодной защиты для предотвращения быстрой коррозии электродов в агрессивном грунте. Можно использовать специальные магниевые аноды (в пористом пакете, заполненном соответствующим грунтом) для прямого подсоединения к электродам. В этом случае следует проконсультироваться у специалиста.

## Измерение сопротивления растекания заземляющего контура

### Сопротивление заземляющего устройства редко остается постоянным

Некоторые основные факторы, влияющие на такое сопротивление:

#### ■ Влажность грунта

Сезонные изменения содержания влаги в грунте могут быть значительными на глубине до 2 метров. На глубине 1 метра удельное сопротивление (и, следовательно, сопротивление) может изменяться в 1-3 раза между влажной зимой и сухим летом в регионах с умеренным климатом.

#### ■ Замерзание

Мерзлая земля может повышать удельное сопротивление грунта на несколько порядков. Это одна из причин, по которой рекомендуется монтировать электроды на большой глубине, особенно в районах с холодным климатом.

#### ■ Старение

Характеристики материалов, используемых для изготовления электродов, ухудшаются в той или иной мере по разным причинам, например:

□ Химические реакции (в кислых или щелочных грунтах).

□ Гальванический эффект: из-за блуждающих постоянных токов в земле, например, от электрических железных дорог и т.д., или из-за разнородности металлов, составляющих первичные элементы. Разные грунты, действующие на участки одного проводника, могут также образовывать катодные и анодные зоны с последующей потерей поверхностного слоя металла. К сожалению, наиболее благоприятные условия для низкого сопротивления между землей и электродом (например, низкое удельное сопротивление грунта) также благоприятствуют образованию гальванических токов.

#### ■ Окисление

Паяные и сварные швы и соединения являются местами, наиболее чувствительными к окислению. Для предупреждения окисления обычно используется тщательная очистка выполненного шва или соединения и обмотка промасленной лентой.

### Измерение сопротивления между электродом и землей

Необходимо обеспечить съемные перемычки, которые позволяют изолировать заземляющий контур от электроустановки для периодической проверки сопротивления заземления. Для проведения таких проверок требуются два вспомогательных электрода.

■ Измерение с помощью амперметра (см. рис. E25):

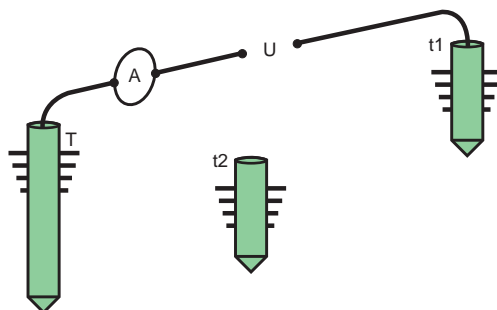


Рис. E25 : Измерение сопротивления заземляющего устройства с помощью амперметра

$$A = R_T + R_{t1} = \frac{U_{Tt1}}{i_1}$$

$$B = R_{t1} + R_{t2} = \frac{U_{t1t2}}{i_2}$$

$$C = R_{t2} + R_T = \frac{U_{t2T}}{i_3}$$

При постоянном напряжении источника U (с одинаковой поправкой для каждой проверки):

$$R_T = \frac{U}{2} \left( \frac{1}{i_1} + \frac{1}{i_3} - \frac{1}{i_2} \right)$$

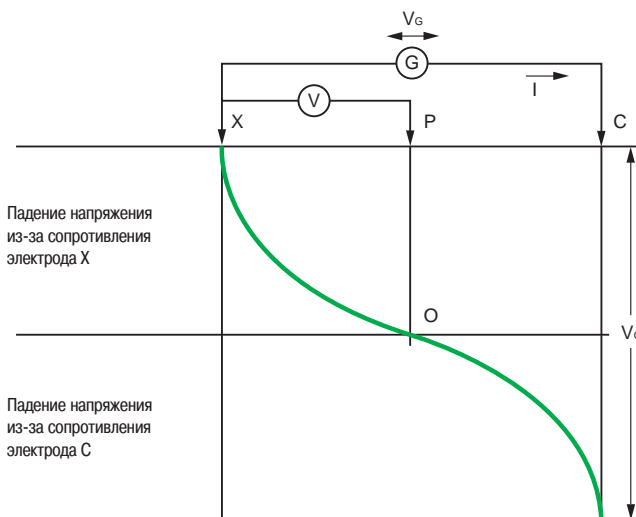
Чтобы устранить погрешности из-за блуждающих токов земли (гальванические постоянные токи или токи утечки от силовых сетей, сетей связи и т.д.), испытательный ток должен быть переменным с частотой, отличной от частоты энергосистемы или ее гармоник. Приборы, использующие генераторы с ручным приводом для выполнения этих измерений, обычно генерируют напряжение переменного тока при частоте 85-135 Гц.

Расстояния между электродами при данном способе измерения не имеют большого значения и могут измеряться в разных направлениях от проверяемого электрода в зависимости от местных условий. Как правило, выполняется ряд проверок при разных интервалах и направлениях для сверки результатов проверок.

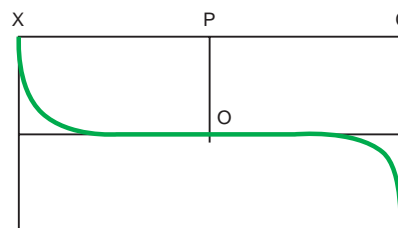
■ Использование омметра с прямым считыванием для измерения сопротивления заземления.

Этот прибор использует генератор с ручным приводом или электронный генератор переменного тока и два вспомогательных электрода, интервал между которыми должен быть таким, что зона влияния проверяемого электрода не перекрывает зону влияния контрольного электрода. Контрольный электрод С, самый дальний от проверяемого электрода Х, проводит ток через землю и проверяемый электрод Р, а второй контрольный электрод Р принимает напряжение. Это напряжение, измеренное между Х и Р, вызвано испытательным током и является мерой сопротивления (проверяемого электрода) в контакте с землей. Необходимо тщательно выбрать расстояние между Х и Р для обеспечения точных результатов. При увеличении расстояния между Х и С зоны растекания электродов Х и С удаляются друг от друга, и кривая потенциала (напряжения) становится все более горизонтальной около точки О.

Поэтому, при проверках расстояние между Х и С увеличивается до получения аналогичных показаний, снимаемых с помощью электрода Р в трех различных точках, например, в точке Р и на расстоянии около 5 метров от точки Р. Как правило, расстояние между Х и Р составляет около 0,68 расстояния между Х и С.



а) Принцип измерения основан на предположении об однородности грунта. В случае перекрывания зон влияния электродов С и Х трудно определить положение контрольного электрода Р для получения удовлетворительных результатов.



б) Показывает эффект широкого разнеса Х и С на градиент потенциала. Положение контрольного электрода Р не имеет большого значения и может быть легко определено.

Рис. E26 : Измерение сопротивления растекания с помощью омметра

## 2 Система установки

Распределительные устройства, включая главное РУ низкого напряжения (ГРЩ), играют решающую роль в обеспечении надежности электроустановки. Они должны соответствовать четко определенным нормам, регулирующим проектирование и изготовление распределительных устройств низкого напряжения.

Нагрузочные требования определяют тип распределительного устройства.

### 2.1 Распределительные устройства

Распределительное устройство (РУ) – это электроустановка, в которой входящая электроэнергия распределяется по отдельным цепям, каждая из которых контролируется и защищается плавкими предохранителями или автоматическими выключателями. Распределительное устройство разделяется на ряд функциональных блоков, каждый из которых включает в себя все электрические и механические элементы, которые необходимы для выполнения заданной функции. Оно представляет собой ключевое звено в цепи обеспечения надежности.

Поэтому тип РУ должен идеально подходить для области применения. Проектирование и изготовление распределительного устройства должны осуществляться в соответствии с действующими нормами и стандартами и учитывать опыт эксплуатации.

Корпус РУ обеспечивает двойную защиту:

- Защита измерительных приборов, реле, плавких предохранителей от механических ударов, вибраций и других внешних воздействий, которые могут нарушать их работу (электромагнитные помехи, пыль, влажность, насекомые и т.д.).
- Защита людей от прямых прикосновений (см. степень защиты IP и показатель IK в п.3.3, глава E).

#### Типы распределительных устройств

Распределительные устройства могут различаться по назначению и конструкции (особенно по компоновке шин).

#### Типы распределительных устройств по назначению

Основные типы распределительных устройств:

- Главный распределительный щит низкого напряжения (см. [рис. E27a](#))
- Шкаф управления двигателями (см. [рис. E27b](#))
- Промежуточные (вторичные) РУ (см. [рис. E28](#))
- Конечные РУ (см. [рис. E29](#))

Распределительные устройства специального назначения (например, для систем отопления, лифтов, производственных процессов) могут располагаться:

- рядом с главным ГРЩ НН;
- около соответствующего оборудования.

Как правило, вторичные и конечные распределительные устройства распределяются по объекту.



Рис. E28 : Промежуточное РУ (Prisma Plus G)



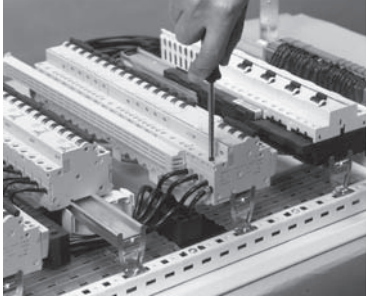
Рис. E27 : а ГРЩ (Prisma Plus P) с шинпроводами, б Шкаф управления двигателями низкого напряжения (Okken)



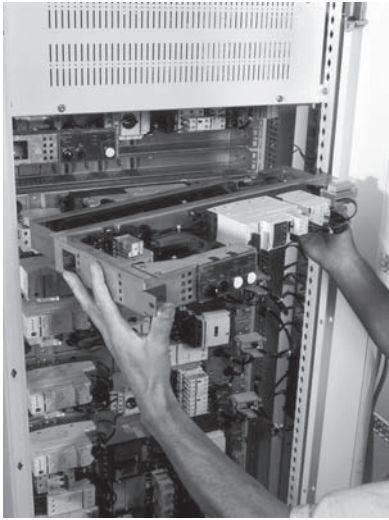
Рис. E29 : Конечное РУ: а Prisma Plus G Pack, б Kaedra, с Mini Pragma

Различаются:

- Традиционные распределительные устройства, в которых выключатели, плавкие предохранители и т.д. установлены на монтажной плате в шкафу.
- Функциональные РУ специального назначения, модульной стандартной конструкции.



**Рис. E30** : Конечное РУ со стационарными функциональными блоками (Prisma Plus G)



**Рис. E31** : РУ с втычными функциональными блоками



**Рис. E32** : РУ с выдвжными функциональными блоками

## Два типа распределительных устройств

### Традиционные распределительные устройства

Коммутационные аппараты, плавкие предохранители и т.д. расположены на монтажной плате внутри корпуса. Индикаторы и контрольные устройства (приборы, лампы, кнопки и т.д.) установлены на передней стороне РУ.

Размещение компонентов в корпусе требует тщательного анализа с учетом размеров каждого элемента и его соединений, а также зазоров, необходимых для обеспечения безопасной и безотказной работы.

### Функциональные распределительные устройства

Как правило, это устройства специального назначения. Они состоят из функциональных блоков, которые включают в себя коммутационные аппараты и стандартные приспособления для монтажа и соединений, что обеспечивает высокий уровень надежности и большие возможности для изменений.

#### ■ Преимущества

Функциональные распределительные устройства используются на всех уровнях низковольтного распределения (от главного РУ низкого напряжения (ГРЩ) до конечного распределения) в силу ряда их преимуществ:

- Модульность системы, которая позволяет объединить многие функции в одном распределительном устройстве, включая защиту, контроль и управление электроустановками. Кроме того, модульная конструкция обеспечивает повышение уровня техобслуживания, эксплуатации и возможности модернизации.
- Ускорение разработки распределительных устройств, поскольку нужно просто добавить дополнительные функциональные блоки.
- Простота установки сборных компонентов.
- Распределительные устройства проходят типовые испытания, которые обеспечивают высокий уровень надежности.

Новые распределительные устройства Prisma Plus G и P компании Schneider Electric рассчитаны на ток до 3200 А и обеспечивают следующие преимущества:

- Гибкость и простота монтажа.
- Сертификация по стандарту МЭК 60439 и гарантия надежной работы при безопасных условиях.
- Экономия времени на всех этапах – от разработки до монтажа, эксплуатации и модификации или модернизации.
- Простота в адаптации, например, к привычным стилям работы и нормам в разных странах мира. Рис. E27а, E28 и E29 показывают примеры функциональных распределительных устройств, рассчитанных на все номинальные мощности, а рис. E27б – высокоэффективное функциональное распределительное устройство для промышленных цепей.

#### ■ Основные типы функциональных блоков

В распределительных устройствах применяются три основных типа функциональных блоков:

- Стационарные функциональные блоки (см. **рис. E30**)

Эти блоки не могут изолироваться от питания, так что любое вмешательство для техобслуживания, внесения изменений и т.д. требует отключения всего распределительного устройства. Однако, могут использоваться втычные или выдвжные устройства для минимизации времени простоя и повышения уровня готовности остального оборудования установки.

- Втычные функциональные блоки (см. **рис. E31**)

Каждый функциональный блок смонтирован на съемной монтажной панели и обеспечен средствами изоляции от входной стороны (шины) и средствами разъединения на выходной стороне (выходящая цепь). Поэтому блок может сниматься для техобслуживания без отключения всего устройства.

- Выдвжные функциональные блоки (см. **рис. E32**)

Коммутационные аппараты и сопутствующие приспособления для обеспечения выполнения функций смонтированы на шасси. Как правило, выполняемая функция является комплексной и часто связана с управлением двигателями.

Разъединение возможно на входной и выходной сторонах путем полного выдвжения секции, что позволяет быстро заменять поврежденный блок без отключения остальной части распределительного устройства.

Соблюдение действующих норм необходимо для обеспечения соответствующей степени надежности.

Три элемента стандарта МЭК 60439-1 вносят значительный вклад в обеспечение надежности:

- Четкое определение функциональных блоков.
- Формы разделения между соседними функциональными блоками в соответствии с требованиями пользователя.
- Четкий перечень регулярных проверок и типовых испытаний.

### Нормы

#### Различные стандарты

Определенные типы распределительных устройств (в частности, функциональные распределительные устройства) должны соответствовать специальным нормам согласно области применения или условиям окружающей среды.

Справочным международным стандартом для устройств, подлежащим полному и частичным типовым испытаниям, является стандарт МЭК 60439-1.

#### Стандарт МЭК 60439-1

##### ■ Классы устройств

Стандарт МЭК 60439-1 определяет два класса устройств:

- Комплектные распределительные устройства низкого напряжения, прошедшие типовые испытания, без значительных отклонений от установленного типа системы (ТТА), соответствие которой обеспечивается типовыми испытаниями, предусматриваемыми в стандарте.
- Комплектные распределительные устройства низкого напряжения, прошедшие частичные типовые испытания (РТТА), которые могут включать в себя узлы, не прошедшие типовые испытания, при условии, что они входят в состав оборудования, прошедшего типовые испытания.

При монтаже квалифицированным персоналом в соответствии с нормами профессионального производства работ и инструкциями изготовителя, такие устройства обеспечивают аналогичный уровень безопасности и качества.

##### ■ Функциональные блоки

Тот же стандарт определяет функциональные блоки:

- Часть устройства, включающая в себя все электрические и механические элементы, необходимые для выполнения заданной функции.
- Распределительное устройство включает в себя вводный функциональный блок и один или несколько функциональных блоков для отходящих линий, в зависимости от эксплуатационных требований к установке.

Функциональные блоки могут быть стационарными, втычными или выдвжными (см. п.3.1, глава E).

##### ■ Секционирование (см. рис. E33)

Разделение функциональных блоков внутри устройства обеспечивается с помощью форм секционирования, указываемых для различных режимов работы.

Формы пронумерованы (от 1 до 4 с указанием вариантов "а" или "b"). Нумерация имеет интегральный характер, т.е. форма секционирования с более высоким номером объединяет характеристики предыдущих форм. Стандарт определяет следующие формы:

- Форма 1: без разделения.
- Форма 2: отделение шин от функциональных блоков.
- Форма 3: отделение шин от функциональных блоков и отделение всех функциональных блоков друг от друга, кроме их выходных зажимов.
- Форма 4: как для формы 3, но с отделением выходных зажимов всех функциональных блоков друг от друга.

Решение по применению той или иной формы секционирования основывается на соглашении между изготовителем и пользователем.

В распределительных устройствах серии Prima Plus применяется секционирования по формам 1, 2b, 3b, 4a, 4b.

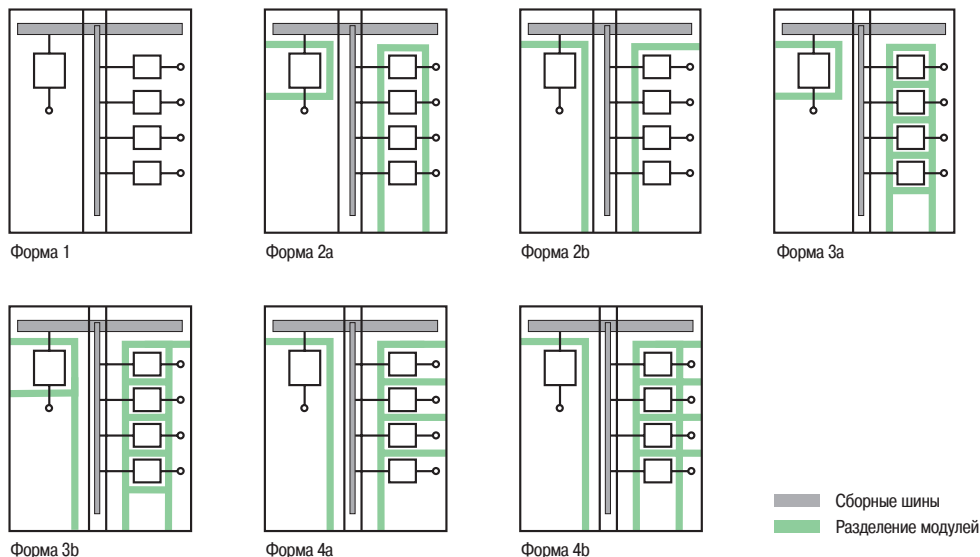


Рис. E33 : Формы секционирования для функциональных РУ низкого напряжения

Общедоступность электротехнической информации и «умные» распределительные устройства – это уже реальность.

E18

■ Типовые испытания

Обеспечивают соответствие каждого распределительного устройства стандарту. Протоколы испытаний, заверенные независимой организацией, являются гарантией для пользователей.

## Телеуправление и контроль электроустановки

Сегодня телеуправление и контроль не ограничивается крупными установками. Применение этих функций расширяется и обеспечивает значительное снижение затрат. Основные преимущества:

- Снижение платежей за электроэнергию.
- Снижение затрат на поддержание установки в рабочем состоянии.
- Оптимальное использование капиталовложений, особенно, оптимизация жизненного цикла установки.
- Повышение уровня удовлетворенности потребителей электроэнергии (в строительстве и обрабатывающей промышленности) благодаря повышению эксплуатационной готовности и/или качества электроэнергии.

Протокол Modbus становится открытым стандартом для обмена данными в распределительном устройстве и между распределительным устройством и потребителями по контролю и регулированию потребляемой мощности. Связь Modbus осуществляется в двумя способами: по витой паре (RS 485) и с помощью Ethernet TCP/IP (IEEE 802.3).

Сайт [www.modbus.org](http://www.modbus.org) представляет все технические характеристики протокола и постоянно обновляет перечень продуктов и компаний, использующих открытый промышленный стандарт. Использование web-технологий позволило значительно расширить применение этого стандарта за счет снижения стоимости доступа к этим функциям посредством использования интерфейса, который стал универсальным, а также повышения уровня открытости и возможностей модернизации, которых просто не существовало всего несколько лет тому назад.

## 2.2 Кабели и шинопроводы

### Распределение по изолированным проводам и кабелям

#### Определения

- Провод



Провод состоит из металлической проводящей жилы с изолирующей оболочкой или без нее.

- Кабель



Кабель состоит из ряда проводников, электрически разделенных, но соединенных механически и, как правило, заключенных в гибкую защитную оболочку.

- Шинопровод



Шинопровод состоит из нескольких жестких проводников, закрепленных с помощью изоляторов в корпусе.

#### Маркировка проводов

Расцветка жил и маркировка должна выполняться в соответствии со следующими правилами:

- Правило 1:
  - Комбинация зеленого и желтого цвета используется только для маркировки защитных проводников PE и PEN.
- Правило 2:
  - Если цепь включает в себя нейтраль, она должна быть светло-голубого цвета или с маркировкой «1» для кабелей, имеющих более пяти проводников.
  - Если цепь не включает в себя нейтраль, светло-голубой проводник может использоваться в качестве фазного провода, если он входит в состав кабеля с несколькими проводниками.
- Правило 3:

Фазные проводники могут быть любого цвета, кроме:

  - Зеленый + желтый
  - Зеленый
  - Желтый
  - Светло-голубой (см. правило 2)

Два возможных типа распределения:

- по изолированным проводам и кабелям;
- по шинопроводам.

## 2 Система установки

Маркировка проводников в кабеле выполняется с помощью цвета или цифр (см. рис. E34).

Количество проводников в цепи	Цепь	Неподвижно закрепленные шинопроводы									
		Изолированные проводники					Жесткие и гибкие многожильные кабели				
		Ph	Ph	Pn	N	PE	Ph	Ph	Ph	N	PE
1	Защита или заземление					G/Y					
2	1-фазная между фазами	■	■				BL	LB			
	1-фазная между фазой и нейтралью	■			LB		BL			LB	
	1-фазная между фазой и нейтралью + защитный проводник	■			G/Y		BL			G/Y	
3	3-фазная без нейтрали	■	■	■			BL	B	LB		
	2 фазы + нейтраль	■	■		LB		BL	B		LB	
	2 фазы + защитный проводник	■	■			G/Y	BL	LB			G/Y
4	1-фазная между фазой и нейтралью + защитный проводник	■			LB	G/Y	BL			LB	G/Y
	3-фазная с нейтралью	■	■	■	LB		BL	B	BL	LB	
	3-фазная с нейтралью + защитный проводник	■	■	■		G/Y	BL	B	LB		G/Y
5	2 фазы + нейтраль + защитный проводник	■	■		LB	G/Y	BL	B		LB	G/Y
	3-фазная с проводником PEN	■	■	■	G/Y		BL	B	LB	G/Y	
> 5	3 фазы + нейтраль + защитный проводник	■	■	■	LB	G/Y	BL	B	BL	LB	G/Y
		Защитный проводник: G/Y. Другие проводники: BL. Нейтраль: 1.									

G/Y: зеленый/желтый      BL: черный      ■ : См. правило 3      LB: светло-голубой      B: коричневый

Рис. E34 : Цвет и маркировка проводников по типу цепи

**Примечание:** если цепь включает в себя защитный проводник, и кабель не имеет зелено-желтого проводника, защитный проводник может быть:

- зеленого и желтого цвета;
- голубого цвета, если цепь не имеет нейтрали;
- черного цвета, если цепь имеет нейтраль.

В последних двух случаях проводник должен иметь зеленые и желтые полосы или маркировку на концах и по всей видимой длине проводника.

Маркировка сетевых шнуров оборудования аналогична маркировке многожильных кабелей (см. рис. E35).

**Методы распределения и монтажа** (см. рис. E36)

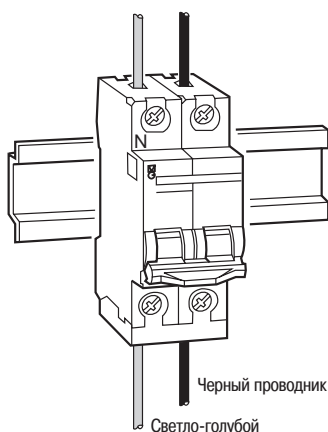


Рис. E35 : Расцветка проводников на выключателе с фазой и нейтралью

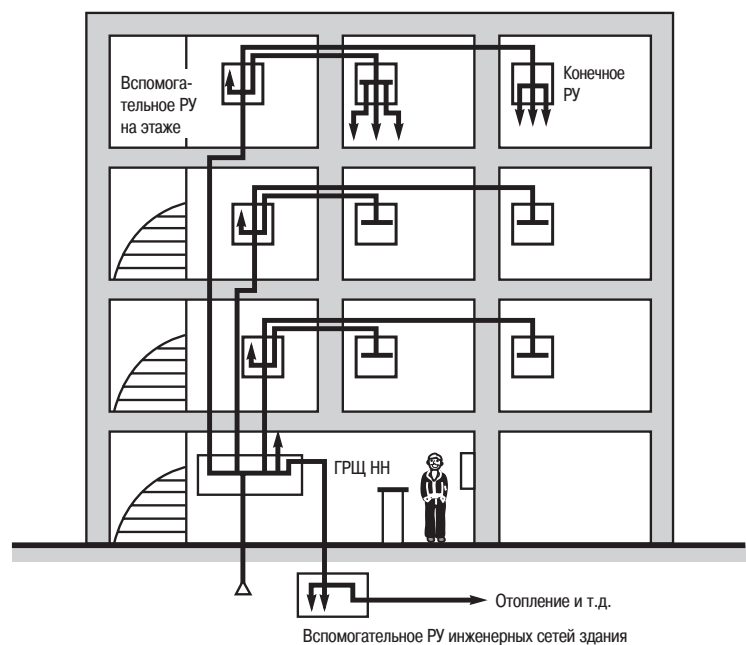


Рис. E36 : Радиальное распределение кабелями в гостинице

Шинопроводы отличаются простотой монтажа, гибкостью и возможностью реализации любых точек ответвления.

## Шинопроводы

Шинопроводы применяются для распределения электроэнергии (20-5000 А) и в цепях освещения (в этом случае шинопроводы могут использоваться для электропитания и монтажа приборов освещения).

### Компоненты шинопроводов

Шинопровод состоит из ряда проводников, защищенных оболочкой (см. рис. Е37). Шинопроводы, используемые для передачи и распределения электроэнергии, включают в себя соединители, прямые секции, угловые секции, крепежные детали и т.д. Точки ответвления, расположенные с равным интервалом, обеспечивают подвод питания к любой точке установки.

Е20

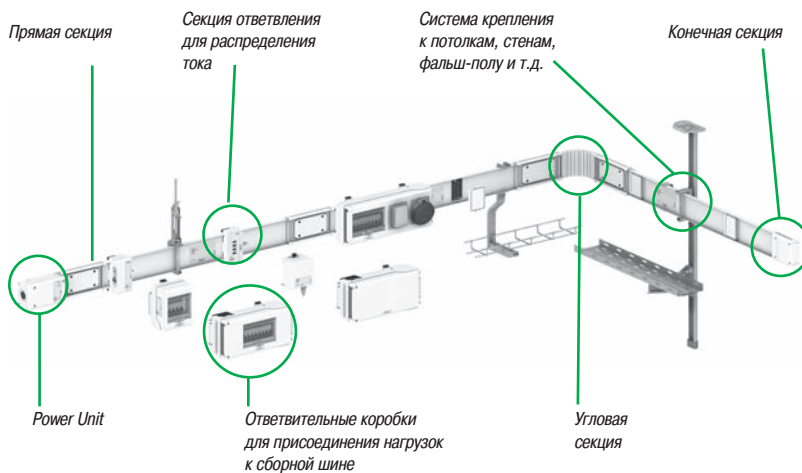


Рис. Е37 : Конструкция шинопровода для распределения тока 25-4000 А.

### Типы шинопроводов

Шинопроводы представлены на всех уровнях распределения электроэнергии: от перемычки между трансформатором и ГРЩ до распределения к штатсельным розеткам и осветительному оборудованию офисов или распределения мощности для цехов.

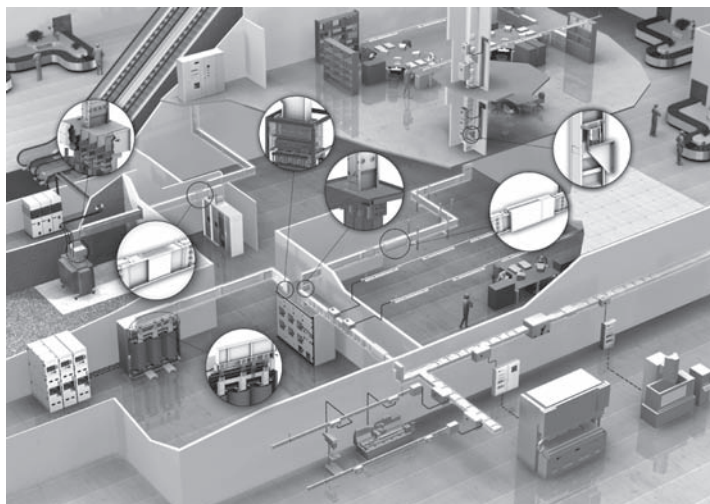


Рис. Е38 : Распределение при помощи шинопроводов

Существуют три основных типа шинопроводов:

- Магистральные шинопроводы между трансформатором и ГРЩ

Эти шинопроводы устанавливаются на постоянной основе и редко изменяются. Не имеют ответвлений.

Часто используются для коротких участков на номинальные токи 1600/2000 А, например, когда невозможна прокладка параллельных кабелей. Шинопроводы также используются между ГРЩ и распределительными устройствами за ним.

Характеристики магистральных шинопроводов позволяют использовать их при рабочих токах 1000-5000 А и токах КЗ до 150 кА.

- Шинопроводы для распределительных сетей с малой или высокой плотностью ответвлений

Расположены за магистральными шинопроводами и запитывают два типа нагрузок:

- Помещения среднего размера (производственные цеха с литейными машинами и металлообрабатывающими станками или супермаркеты с большими нагрузками). Уровни номинального тока и тока КЗ могут быть довольно высоки (100-1000 А и 20-70 кА соответственно).
- Небольшие объекты (цеха со станками, текстильные фабрики с небольшими станками, магазины с небольшими нагрузками). Пониженные уровни токов (40-400 А и 10-40 кА соответственно).

Использование этих шинопроводов отвечает следующим требованиям заказчика:

- Возможность изменения и модернизации со значительным расширением ответвлений.
- Надежность и бесперебойность питания, поскольку ответвительные коробки могут безопасно присоединяться под напряжением.

Шинопроводы применяются также при вертикальном распределении в виде стояков 100-500 А в высотных зданиях.

- Шинопроводы для цепей освещения

В цепях освещения могут устанавливаться два типа шинопроводов:

- Шинопроводы, рассчитанные на подвешивание светильников

Эти шинопроводы служат для питания и крепления осветительных приборов (промышленные отражатели, разрядные лампы и т.д.). Они используются в производственных зданиях, супермаркетах, универсамах и складских помещениях. Шинопроводы характеризуются высокой жесткостью и рассчитаны на одну или две цепи 25 или 40 А. Они имеют ответвления с интервалом 0,5 - 1 м.

- Шинопроводы, не рассчитанные на подвешивание светильников

Эти шинопроводы служат для питания осветительных приборов всех типов, закрепляемых на конструкциях здания. Они используются в коммерческих зданиях (офисы, магазины, рестораны, гостиницы и т.д.), особенно в фальш-потолках. Это гибкий шинопровод, рассчитанный на одну цепь 20 А. Он имеет ответвления с интервалом 1,2 - 3 м.

Шинопроводы удовлетворяют требованиям многих зданий:

- Производственные здания: гаражи, цеха, фермы, центры МТО и т.д.
- Коммерческие объекты: склады, торговые пассажи, супермаркеты, гостиницы и т.д.
- Здания сферы услуг: офисы, школы, больницы, спортзалы и т.д.

### Нормы

Шинопроводы должны удовлетворять всем требованиям, указанным в стандарте МЭК 439-2.

Этот стандарт определяет производственные условия, которые необходимо учитывать при проектировании шинопроводов (например: повышение температуры, стойкость к короткому замыканию, механическая прочность и т.д.), а также методы испытаний для их проверки.

Стандарт МЭК 439-2 определяет 13 обязательных типовых испытаний конфигураций или компонентов системы.

Сборка компонентов системы на объекте в соответствии со сборочными инструкциями обеспечивает подрядчику соответствие стандарту.

### Преимущества шинопроводов

#### Гибкость

- Легкость изменения конфигурации (изменение на объекте для изменения конфигурации производственной линии или расширение производственных участков).
- Повторное использование компонентов (без повреждений): при изменении установки можно легко разобрать шинопровод и использовать его повторно.
- Эксплуатационная готовность установки (возможность использовать ответвления с интервалом 1 м).
- Широкий выбор ответвительных коробок.

#### Простота

- Проектирование может осуществляться независимо от распределения и расположения ЭП.
- Характеристики не зависят от условий реализации: использование кабелей требует учета ряда коэффициентов снижения номинальных параметров.
- Четкая схема распределения.
- Сокращение времени монтажа: шинопроводы обеспечивают сокращение времени монтажа на 50% в сравнении с традиционными кабельными системами.
- Гарантия изготовителя.
- Контролируемые сроки монтажа: использование шинопроводов гарантирует отсутствие «сюрпризов» при монтаже. Сроки монтажа известны заранее. С помощью такого приспособляемого и расширяемого оборудования можно быстро решить любые проблемы.
- Легкость установки модульных компонентов – их можно легко, просто и быстро подсоединить.

#### Надежность

- Надежность гарантируется заводской сборкой.
- Безопасные в обращении блоки.
- Последовательная сборка компонентов и ответвительных коробок делает невозможным совершение каких-либо ошибок.

#### Бесперебойность питания

- Большое количество ответвлений позволяет легко запитывать новые ЭП. Быстрое и полностью безопасное присоединение и отсоединение даже под напряжением. Возможность расширения или изменения без остановки работы.
- Быстрое и простое обнаружение повреждений, поскольку ЭЛ расположены около линии.
- Техобслуживание не требуется или сведено к минимуму.

#### Основной вклад в устойчивое развитие

- Шинопроводы позволяют объединять цепи. В сравнении с традиционной кабельной распределительной системой расход проводниковых материалов и изоляторов сокращается в 3 раза (см. рис. E39).
- Повторно используемое устройство с полной утилизацией всех его компонентов.
- Не содержит ПВХ и не генерирует токсичные газы или отходы.
- Снижение рисков воздействия электромагнитных полей.

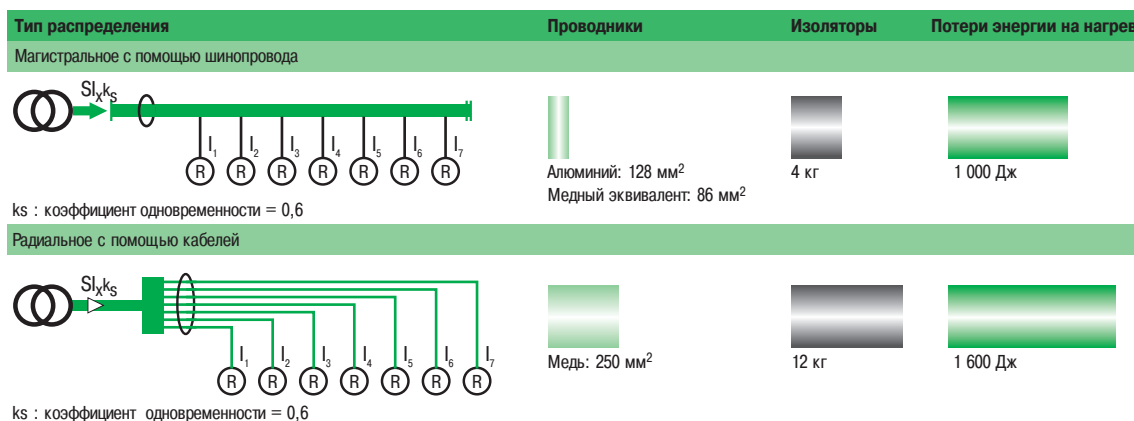


Рис. E39 : Сравнение Canalis KS 250 A (30 м) с 4-жильными кабелями 25 А

#### Новые функциональные характеристики Canalis

Шинопроводы становятся еще лучше. Некоторые новые характеристики:

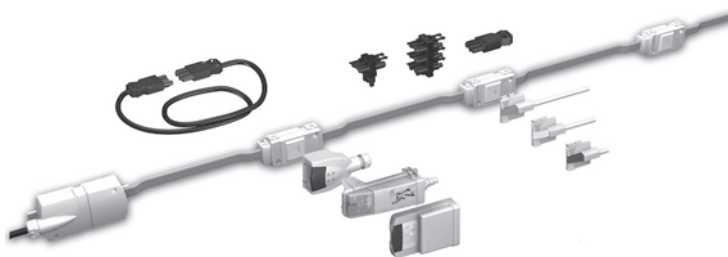
- Улучшенные параметры – степень защиты IP55 и номинальный ток 160-1000 А (KS).
- Новые лампы в сборе с кабелями и новые осветительные каналы.
- Новые крепежные приспособления: системы быстрого крепления, кабелепроводы, общая прокладка с цепями VDI.

## 2 Система установки

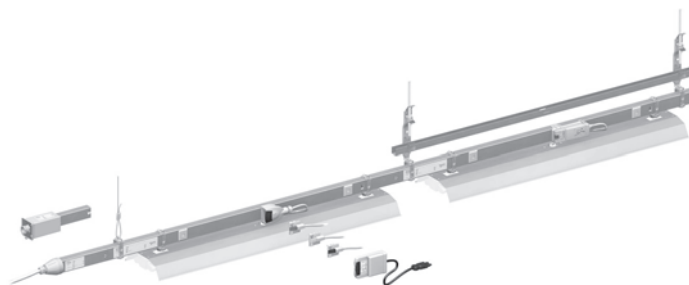
### Шинопроводы идеально вписываются в окружающую обстановку:

- Белый цвет для улучшения рабочей среды и сочетания с другими устройствами распределительной сети.
- Соответствие европейским нормам по снижению содержания опасных материалов (RoHS).

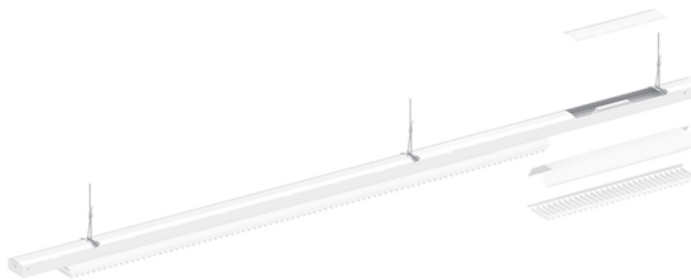
### Примеры шинопроводов Canalis



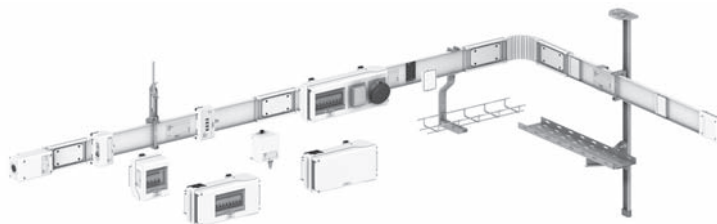
**Рис. E40** : Гибкий шинопровод, не рассчитанный на крепление осветительной арматуры: Canalis KDP (20 A)



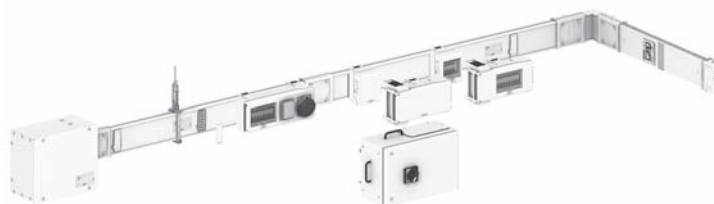
**Рис. E41** : Жесткий шинопровод, рассчитанный на крепление осветительной арматуры: Canalis KVA или KVB (25 и 40 A)



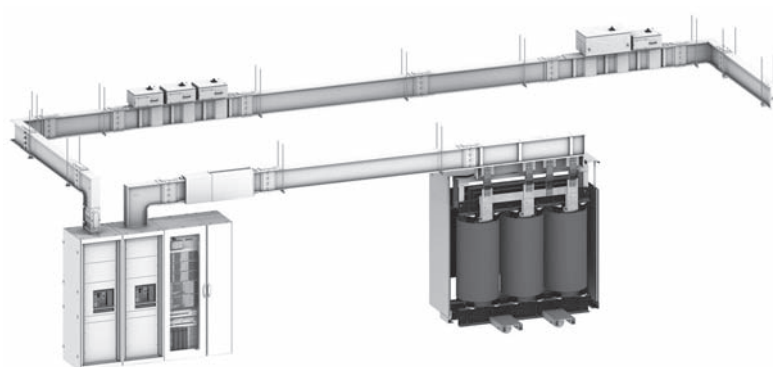
**Рис. E42** : Шинопровод для цепей освещения: Canalis KBX (25 A)



**Рис. E43** : Шинопровод для распределения мощности: Canalis KN (50 - 160 A)



*Рис. E44* : Шинопровод для распределения мощности: Canalis KS (100 - 1000 A)



*Рис. E45* : Шинопровод для распределения высокой мощности: Canalis KT (1000 - 5000 A)

# 3 Внешние воздействия (МЭК 60364-5-51)

Внешние воздействия должны учитываться при выборе:

- соответствующих мер обеспечения безопасности персонала (в частности, на специальных объектах или электроустановках);
- характеристик электрооборудования, таких как степень защиты (IP), стойкость к механическим воздействиям (IK) и т.д.

При нескольких одновременно действующих внешних факторах они могут оказывать независимое или взаимосвязанное воздействие, и защита должна выбираться с учетом этого.

## 3.1 Определения и стандарты

Внешняя среда в каждой установке представляет различную степень риска:

- для людей;
- для оборудования электроустановки.

Поэтому внешние условия влияют на определение и выбор соответствующего оборудования и средств защиты людей.

Внешние условия называются внешними воздействиями. Многие национальные стандарты, касающиеся внешних воздействий, включают в себя схему классификации, основанную на международном стандарте МЭК 60364-5-51.

## 3.2 Классификация

Каждый фактор внешнего воздействия обозначается кодом, состоящим из двух прописных букв и цифры:

### Первая буква (А, В или С)

- А = внешняя среда;
- В = эксплуатация;
- С = конструкция сооружения.

### Вторая буква

Вторая буква описывает характер внешнего воздействия.

### Цифра

Цифра обозначает класс каждого внешнего воздействия.

### Дополнительные символы (факультативные)

Используются только в случае, если эффективная защита персонала превышает уровень, указываемый первым разрядом IP.

Если должна указываться только защита людей, два разряда кода IP заменяются символами «ХХ». Например: IP ХХВ.

### Пример:

Например, код АС2 означает:  
 А = окружающая среда;  
 АС = отметка высоты;  
 АС2 = отметка высоты > 2000 м.

## 3.3 Перечень внешних воздействий

**Рис. Е46** ниже взят из стандарта МЭК 60364-5-51, служащего в качестве справочного документа при необходимости получения подробной информации.

Код	Внешние воздействия		Требуемые характеристики оборудования
<b>А – внешняя среда</b>			
<b>АА</b>	<b>Окружающая температура (°C)</b>		
	Низкая	Высокая	
АА1	- 60 °C	+ 5 °C	Использование специально разработанного оборудования или принятие необходимых мер
АА2	- 40 °C	+ 5 °C	
АА3	- 25 °C	+ 5 °C	
АА4	- 5 °C	+ 40 °C	Нормальные (особые меры предосторожности в определенных случаях)
АА5	+ 5 °C	+ 40 °C	Нормальные
АА6	+ 5 °C	+ 60 °C	Использование специально разработанного оборудования или принятие необходимых мер
АА7	- 25 °C	+ 55 °C	
АА8	- 50 °C	+ 40 °C	

Рис. Е46: Перечень внешних воздействий (из приложения А к стандарту МЭК 60364-5-51) (продолжение на следующей странице)

Код	Внешние воздействия				Требуемые характеристики оборудования	
<b>А – внешняя среда</b>						
<b>АВ</b>	<b>Влажность воздуха</b>					
	Температура воздуха (°C)		Относительная влажность (%)		Абсолютная влажность (г/м³)	
	Низкая	Высокая	Низкая	Высокая	Низкая	Высокая
АВ1	- 60 °C	+ 5 °C	3	100	0,003	7
АВ2	- 40 °C	+ 5 °C	10	100	0,1	7
АВ3	- 25 °C	+ 5 °C	10	100	0,5	7
АВ4	- 5 °C	+ 40 °C	5	95	1	29
АВ5	+ 5 °C	+ 40 °C	5	85	1	25
АВ6	+ 5 °C	+ 60 °C	10	100	1	35
АВ7	- 25 °C	+ 55 °C	10	100	0,5	29
АВ8	- 50 °C	+ 40 °C	15	100	0,04	36
<b>АС</b>	<b>Высота</b>					
АС1	≤ 2000 м				Нормальные	
АС2	> 2000 м				Могут требоваться меры предосторожности (коэффициент понижения номинальных значений)	
<b>АD</b>	<b>Присутствие воды</b>					
AD1	Пренебрежимо малый уровень		Открытое или незащищенное от атмосфер. воздействий оборуд-е			IPX0
AD2	Свободно падающие капли					IPX1 или IPX2
AD3	Распыленная жидкость					IPX3
AD4	Брызги					IPX4
AD5	Струи		Объекты, где регулярно используются водяные шланги			IPX5
AD6	Волны		Береговые объекты (дамбы, береговые валы, пристани)			IPX6
AD7	Погружение		Вода на уровне 150 мм выше наивысшей точки оборудования, но не более 1 м ниже поверхности			IPX7
AD8	Полное погружение		Оборудование постоянно и полностью под водой			IPX8
<b>АЕ</b>	<b>Посторонние твердые частицы</b>					
			Минимальный размер	Пример		
AE1	Пренебрежимо малый уровень					IP0X
AE2	Небольшие частицы		2,5 мм	Инструменты		IP3X
AE3	Малые частицы		1 мм	Провода		IP4X
AE4	Низкая концентрация пыли					IP5X, если наличие пыли не нарушает работу
AE5	Умеренная концентрация пыли					IP6X, если пыль не должна проникать внутрь
AE6	Высокая концентрация пыли					IP6X
<b>АF</b>	<b>Коррозионно-активные или загрязняющие вещества</b>					
AF1	Пренебрежимо малый уровень					Нормальные
AF2	Атмосфера					Согласно характеру вещества
AF3	Периодич., случ. воздействие					Защита от коррозии
AF4	Непрерывное воздействие					Использование оборудования специальной конструкции
<b>АG</b>	<b>Механические воздействия</b>					
AG1	Низкие					Нормальные
AG2	Средние					Согласно применимому стандарту или использ. усилив. материалов
AG3	Высокие					Усиленная защита
<b>АН</b>	<b>Вибрации</b>					
AN1	Низкие		Бытовые или аналогичные приборы			Нормальные
AN2	Средние		Обычные производственные условия			Использование оборудования специальной конструкции
AN3	Сильные		Тяжелые производственные условия			или принятие необходимых мер
<b>АJ</b>	<b>Другие факторы механического воздействия</b>					
<b>АK</b>	<b>Флора и/или образование плесени</b>					
AK1	Неопасно					Нормальные
AK2	Опасно					
<b>АL</b>	<b>Присутствие представителей фауны</b>					
AL1	Неопасно					Нормальные
AL2	Опасно					
<b>АM</b>	<b>Электромагнитные, электростатические или ионизирующие воздействия/низкочастотные электромагнитные явления/гармоники</b>					
AM1	Гармоники, гармонические составляющие				См. применяемые стандарты МЭК	
AM2	Напряжение сигнализации					
AM3	Изменения амплитуды напряжения					
AM4	Несимметрия напряжений					
AM5	Изменение частоты сети					
AM6	Индукцированные напряжения низкой частоты					
AM7	Постоянный ток в сетях переменного тока					
AM8	Излучаемые электромагнитные поля					
AM9	Электростатическое поле					
AM21	Индукцированные колебательные напряжения или токи					

Рис. Е46: Перечень внешних воздействий (из приложения А к стандарту МЭК 60364-5-51) (продолжение на следующей странице)

## 3 Внешние воздействия (МЭК 60364-5-51)

Код	Внешние воздействия	Требуемые характеристики оборудования
<b>A – Внешняя среда</b>		
AM22	Передаваемые однонаправленные переходные процессы продолжит. порядка, наносекунды	См. применяемые стандарты МЭК
AM23	Передаваемые однонаправленные переходные процессы продолжительностью порядка, миллисекунды	
AM24	Переходные колебательные процессы	
AM25	Высокочастотные излучения	
AM31	Электростатические разряды	
AM41	Ионизация	
<b>AN – Солнечная радиация</b>		
AN1	Низкая	Нормальные
AN2	Средняя	
AN3	Высокая	
<b>AP – Сейсмическое воздействие</b>		
AP1	Пренебрежимо мало	Нормальные
AP2	Низкий уровень	
AP3	Средний уровень	
AP4	Высокий уровень	
<b>AQ – Грозовые разряды</b>		
AQ1	Пренебрежимо малы	Нормальные
AQ2	Непрямое воздействие	
AQ3	Прямое воздействие	
<b>AR – Движение воздуха</b>		
AQ1	Слабое	Нормальные
AQ2	Среднее	
AQ3	Сильное	
<b>AS – Ветровая нагрузка</b>		
AQ1	Низкая	Нормальные
AQ2	Средняя	
AQ3	Высокая	
<b>B – Эксплуатация</b>		
<b>BA – Характеристики персонала</b>		
BA1	Стандартный	Нормальные
BA2	Дети	
BA3	Инвалиды	
BA4	С подготовкой	
BA5	С квалификацией	
<b>BB – Электрическое сопротивление человеческого тела</b>		
<b>BC – Воздействие электрического потенциала грунта при контакте</b>		
BC1	Нет	Класс оборудования по МЭК 61140
BC2	Редко	
BC3	Часто	
BC4	Постоянно	
<b>BD – Условия эвакуации при аварии</b>		
BD1	Низкая плотность размещения/легкий выход	Нормальные
BD2	Низкая плотность размещения/осложненный выход	
BD3	Высокая плотность размещения/легкий выход	
BD4	Высокая плотность размещения/осложненный выход	
<b>BE – Характер обрабатываемых или хранимых материалов</b>		
BE1	Не представляют значительной опасности	Нормальные
BE2	Риск пожара	
BE3	Риск взрыва	
BE4	Риск загрязнения	
<b>C – Конструкция здания</b>		
<b>CA – Строительные материалы</b>		
CA1	Негорючие	Нормальные
CA2	Горючие	
<b>CB – Конструкция сооружения</b>		
CB1	Пренебрежимо малые риски	Нормальные
CB2	Распространение пожара	
CB3	Подвижность	
CB4	Гибкая или неустойчивая	

Рис. E46: Перечень внешних воздействий (из приложения А к стандарту МЭК 60364-5-51) (продолжение)

### 3.4 Защита закрытого оборудования: коды IP и IK

#### Определение кодов IP (см. рис. E47)

Степень защиты, обеспечиваемой корпусом, указывается кодом IP, рекомендованным в стандарте МЭК 60529.

Защита обеспечивается от следующих внешних воздействий:

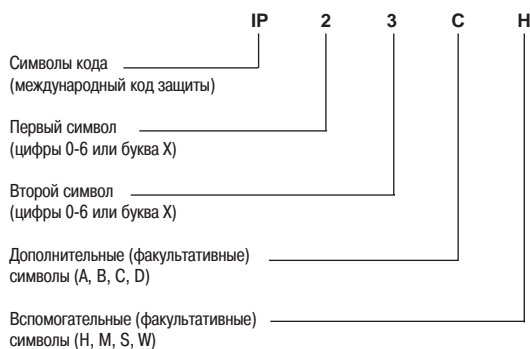
- проникновение твердых частиц;
- защита от несанкционированного доступа к частям под напряжением;
- защита от проникновения пыли;
- защита от проникновения жидкостей.

**Примечание:** код IP применяется к электрооборудованию, рассчитанному на напряжения до 72,5 кВ включительно.

#### Элементы кода IP и их значение

Краткое описание элементов кода IP приводится в нижеследующей таблице (см. рис. E48).

Элемент	Цифры или буквы	Значение для защиты оборудования	Значение для защиты персонала
Символы кода	IP		
Первая цифра	0	Защита от посторонних твердых частиц (без защиты)	Защита от доступа к опасным частям с помощью (без защиты)
	1	Диаметр $\geq 50$ мм	Руки
	2	Диаметр $\geq 12,5$ мм	Пальцы
	3	Диаметр $\geq 2,5$ мм	Инструменты
	4	Диаметр $\geq 1,0$ мм	Проволока
	5	Пылезащита	Проволока
	6	Пыленепроницаемость	Проволока
Вторая цифра	0	Защита от проникновения воды с вредными последствиями (без защиты)	
	1	Вертикально падающие капли	
	2	Капли, падающие под углом $15^\circ$	
	3	Брызги	
	4	Всплески воды	
	5	Струи воды	
	6	Струи воды под большим напором	
	7	Временное погружение	
	8	Постоянное погружение	
Дополнительная (факультативная) буква	A		Защита от прикосновения к опасным частям
	B		Тыльной стороной ладони
	C		Пальцами
	D		Инструментом Проволокой
Вспомогательная (факультативная) буква	H	Вспомогательная информация:	
	M	Высоковольтная аппаратура	
	S	Перемещение при гидравлических испытаниях	
	W	Неподвижное положение при гидравлических испытаниях Метеорологические условия	



Если не требуется указывать кодový символ, он заменяется буквой X (XX при опускании обеих цифр). Дополнительные и/или вспомогательные буквы могут опускаться без такой замены.

Рис. E47: Компоновка кода IP

Рис. E48: Элементы кода IP

# 3 Внешние воздействия (МЭК 60364-5-51)

## Определение кода IK

Стандарт МЭК 62262 определяет код IK, характеризующий стойкость оборудования к механическим воздействиям (см. [рис. E49](#)).

Код IK	Энергия удара (Дж)	Код AG
00	0	
01	≤ 0,14	
02	≤ 0,20	AG1
03	≤ 0,35	
04	≤ 0,50	
05	≤ 0,70	
06	≤ 1	
07	≤ 2	AG2
08	≤ 5	AG3
09	≤ 10	
10	≤ 20	AG4

*Рис. E49: Элементы кода IK*

## Коды IP и IK для распределительных щитов

Степень защиты IP и код IK, обеспечиваемые корпусом, должны указываться в зависимости от различных внешних воздействий, определенных в стандарте МЭК 60364-5-51, в частности:

- наличие твердых тел (код AE);
- наличие воды (код AD);
- механические напряжения (без кода);
- характеристика обслуживающего персонала (код BA).

Распределительные щиты Prisma Plus рассчитаны на установку внутри помещений.

Если иное не указывается в правилах, нормах и стандартах конкретной страны, компания Schneider Electric рекомендует следующие значения IP и IK (см. [рис. E50](#) и [рис. E51](#)):

### Рекомендуемые значения IP

Коды IP согласно условиям		
Нормальные условия без риска вертикально падающей воды	Технические помещения	30
Нормальные условия с риском вертикально падающей воды	Проходы	31
Крайне тяжелые условия с риском разбрызгивания воды во всех направлениях	Цеха	54/55

*Рис. E50: Рекомендуемые значения IP*

### Рекомендуемые значения IK

Коды IK согласно условиям		
Без риска значительных ударных нагрузок	Технические помещения	07
Большой риск значительных ударных нагрузок, которые могут привести к повреждению устройств	Проходы	08 (корпус с дверцей)
Максимальный риск ударных нагрузок, которые могут повредить корпус	Цеха	10

*Рис. E51: Рекомендуемые значения IK*

