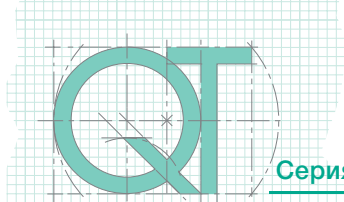


Низковольтное оборудование

Системы распределения электроэнергии, защита при косвенном прикосновении и защита от замыкания на землю

Серия инженера-конструктора



Системы распределения электроэнергии, защита при косвенном прикосновении и защита от замыкания на землю

Содержание

1 Введение	2
2 Основные термины и определения	3
3 Защита от замыкания на землю	
3.1 Общие положения	5
4 Классификация электрических систем распределения электроэнергии	
4.1 Система ТТ	6
4.2 Система TN	6
4.3 Система IT	7
4.4 Заключение	7
5 Защита при косвенном прикосновении	
5.1 Воздействие тока на организм человека ...	8
5.2 Защита при косвенном прикосновении путем автоматического отключения питания	9
5.3 Защита при косвенном прикосновении в системах ТТ	13
5.4 Защита при косвенном прикосновении в системах TN	17
5.5 Защита при косвенном прикосновении в системах IT	20
6 Решения АББ для защиты от замыкания на землю	
6.1 Общие положения	22
6.2 Решения на основе устройств дифференциального тока	23
6.2.1 Модульные автоматические выключатели System Pro M и System Pro M compact с защитой по дифференциальному току	23
6.2.2 Расцепители дифференциального тока для автоматических выключателей Tmax XT и Tmax в литом корпусе	27
6.2.3 Электронные расцепители серии PR... для автоматических выключателей в литом корпусе и воздушных автоматических выключателей со встроенной защитой по дифференциальному току	28
6.2.4 Реле дифференциального тока с внешним трансформатором	30
6.3 Решения с функцией защиты G	31
6.4 Функция защиты G или защита по дифференциальному току?	33
6.4.1 Типичные области применения автоматических выключателей, управляемых дифференциальным током	33
6.4.2 Типичные области применения автоматических выключателей в литом корпусе и воздушных автоматических выключателей с функцией защиты G от замыкания на землю	34
6.5 Усовершенствованные системы защиты от замыкания на землю	34
6.5.1 Общие положения	34
6.5.2 Возврат тока по заземлителю	35
6.5.3 Ограниченная защита от замыкания на землю	35
7 Селективность срабатывания устройств защиты от замыкания на землю	37
Приложение А: Системы питания постоянного тока	39
Приложение В: Защита от прямого прикосновения к токоведущим частям	41
Приложение С: Защита при косвенном прикосновении без автоматического отключения питания	43
Приложение D: Комбинированная защита от прямого и косвенного прикосновений	45
Приложение E: Некоторые замечания в отношении нейтрального и защитного проводников	47
Глоссарий	52

1 Введение

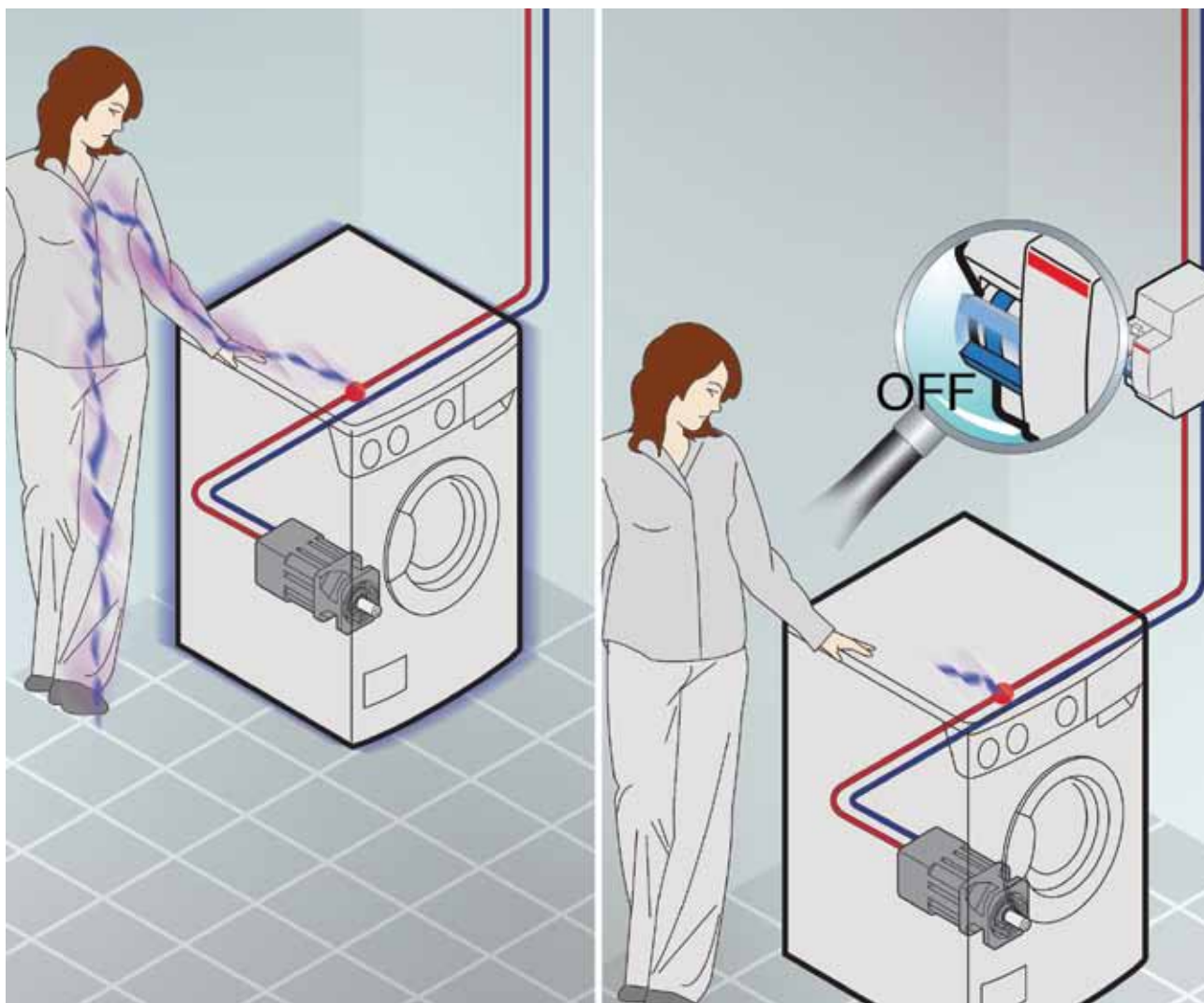
Замыкания на землю, вызванные повреждением изоляции между токоведущим проводником и открытой проводящей частью, представляют определенную проблему при эксплуатации электроустановок, поскольку такие неисправности могут привести к выходу электрооборудования из строя и, кроме того, подвергают людей опасности поражения электрическим током. Это объясняется тем, что человек может прикоснуться к открытой проводящей части, которая в нормальных условиях не находится под напряжением, но из-за повреждения изоляции приобретает опасный потенциал относительно земли.

В рамках данной статьи читателю будет предоставлена вся необходимая информация об основных нормативных аспектах, касающихся обеспечения защиты от замыкания на землю и защиты при косвенном прикосновении, при этом будут подробно рассмотрены существующие проблемы и описаны решения, предлагаемые компанией АББ.

Данная статья состоит из трех основных частей:

- нормативные аспекты (термины и определения, классификация систем распределения электроэнергии, требования, касающиеся защиты и т. д.);
- решения АББ для защиты от замыкания на землю и при косвенном прикосновении;
- описание селективности срабатывания устройств защиты от замыкания на землю.

Кроме того, статья дополнена несколькими приложениями, в которых подробно анализируются дополнительные аспекты защиты от поражения электрическим током, в частности, рассматривается защита при косвенном прикосновении, комбинированная защита от прямого и косвенного прикосновений, приводятся некоторые замечания, касающиеся нейтрального и защитного проводников, а также другая полезная информация.



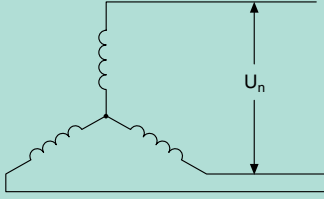
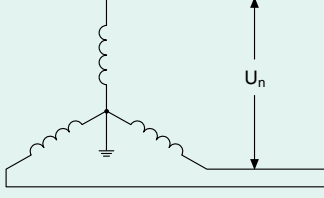
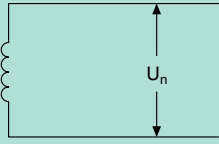
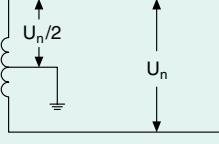
2 Основные термины и определения

Ниже приведены термины и определения, имеющие фундаментальное значение для понимания данной статьи. Приведенная информация взята из стандарта МЭК 60050 (ГОСТ Р МЭК 60050) — Международный электротехнический словарь:

- **Действующее значение напряжения прикосновения:** напряжение между проводящими частями при одновременном прикосновении к ним человека или животного.
- **Ожидаемое напряжение прикосновения:** напряжение между одновременно доступными проводящими частями, когда человек или животное их не касается.
- **Номинальное напряжение системы относительно земли:** номинальное напряжение относительно земли означает (Таблица 1):
 - номинальное напряжение в трехфазной системе с изолированной нейтралью или с нейтралью, заземленной через сопротивление;
 - фазное напряжение (при соединении звездой), соответствующее номинальному напряжению в трехфазной системе с глухозаземленной нейтралью;
 - номинальное напряжение в однофазной системе или

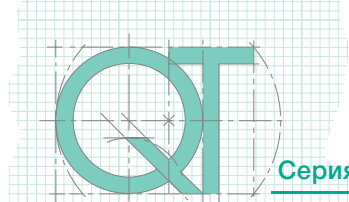
- системе переменного тока, без заземленных точек;
- половина значения номинального напряжения в однофазной системе или системе переменного тока, с заземленной средней точкой;
- **Токоведущая часть:** проводник или проводящая часть, предназначенный(ая) для работы под напряжением в нормальном режиме, включая нейтральный проводник. PEN-проводник, как правило, таковым не является.
- **Опасная токоведущая часть:** токоведущая часть, которая при определенных условиях может вызвать существенное поражение электрическим током.
- **Открытая проводящая часть:** доступная для прикосновения проводящая часть оборудования, которая при нормальных условиях не находится под напряжением, но может оказаться под напряжением при повреждении основной изоляции².
- **Прямое прикосновение:** электрический контакт людей с токоведущими частями.
- **Косвенное прикосновение:** электрический контакт людей с открытыми проводящими частями, которые оказались под напряжением при повреждении изоляции.

Таблица 1

<p>трехфазная система с изолированной нейтралью или система с нейтралью, заземленной через сопротивление</p> $U_{не} = U_n$	
<p>трехфазная система с глухозаземленной нейтралью</p> $U_{не} = \frac{U_n}{\sqrt{3}} = U_0^1$	
<p>однофазная система или система переменного тока, без заземленной точки</p> $U_{не} = U_n$	
<p>однофазная система или система переменного тока, с заземленной средней точкой</p> $U_{не} = \frac{U_n}{2}$	

¹ U_0 обозначает напряжение между фазным и нейтральным проводниками

² Проводящая часть, которая может стать токоведущей только по причине того, что она соприкасается с открытой проводящей частью, не считается открытой проводящей частью.



- **Зона досягаемости рукой:** зона доступного прикосновения, простирающаяся от любой точки поверхности, на которой обычно находятся или передвигаются люди, до границы, которую можно достать рукой в любом направлении без использования дополнительных средств.
- **Части, доступные одновременному прикосновению:** проводники или проводящие части, которых человек или животное могут коснуться одновременно.
- **Ток утечки на землю:** ток, протекающий в землю или на открытые проводящие части в электрически неповрежденной цепи.
- **Дифференциальный ток:** векторная сумма значений электрических токов во всех токоведущих проводниках в один и тот же момент времени в данной точке электрической цепи электроустановки.
- **Защитная оболочка:** оболочка, окружающая находящиеся внутри нее части оборудования и предотвращающая доступ к опасным токоведущим частям с любого направления.
- **Защитное ограждение:** ограждение, обеспечивающее защиту от прямого прикосновения со стороны обычного направления доступа.
- **Защитный барьер:** часть, предотвращающая непреднамеренное прямое прикосновение, но не предотвращающая прямое прикосновение при намеренных действиях.
- **Основная изоляция:** изоляция опасных токоведущих частей, которая обеспечивает защиту от прямого прикосновения.
- **Дополнительная изоляция:** независимая изоляция, применяемая дополнительно к основной изоляции для защиты при повреждении.
- **Двойная изоляция:** изоляция, включающая в себя основную и дополнительную изоляцию.
- **Усиленная изоляция:** изоляция опасных токоведущих частей, обеспечивающая степень защиты от поражения электрическим током, эквивалентную степени защиты, обеспечиваемой двойной изоляцией.
- **Изолирующие полы и стены:** полы и стены помещения, имеющие достаточно большое сопротивление, которое обеспечивает ограничение тока до неопасных значений.
- **Относительная земля:** часть земли, принятая в качестве проводящей, находящаяся вне зоны влияния какого-либо заземляющего устройства, электрический потенциал которой обычно принимают равным нулю.
- **Заземляющий электрод:** проводящая часть, находящаяся в электрическом контакте с землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду, например бетон.
- **Сопротивление заземления:** сопротивление между главным заземляющим коллектором (или узлом) и землей.
- **Независимый заземляющий электрод:** заземлитель (заземляющий электрод), расположенный на таком расстоянии от других заземлителей (заземляющих электродов), что токи растекания этих заземлителей (заземляющих электродов) не оказывают существенного влияния на его электрический потенциал.
- **Защитный проводник (обозначение: PE):** проводник, предназначенный для целей безопасности, например для защиты от поражения электрическим током:
 - открытые проводящие части;
 - сторонние проводящие части;
 - основной заземляющий коллектор (или узел);
 - заземляющий электрод (заземлитель);
 - заземленная точка источника или искусственная нейтраль.
- **PEN-проводник:** проводник, совмещающий функции защитного и нейтрального проводников.¹
- **Заземляющее устройство:** совокупность всех электрических соединений и устройств, используемых для заземления системы, установки или оборудования.
- **Ток повреждения:** ток, который протекает через данную точку повреждения в результате повреждения изоляции.
- **Замыкание на землю:** состояние, характеризующееся возникновением случайной проводящей цепи между проводником, находящимся под напряжением, и землей.
- **Квалифицированный персонал:** специально подготовленные работники, прошедшие проверку знаний в объеме, обязательном для данной работы (должности и имеющие группу по электробезопасности, предусмотренную правилами охраны труда при эксплуатации электроустановок).

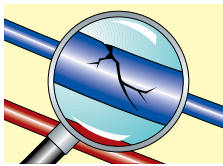
¹ Обозначение PEN получено в результате объединения сокращения PE (для защитного проводника) и сокращения N (для нейтрального проводника).

3 Защита от замыкания на землю

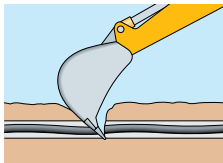
3.1 Общие положения

Повреждение изоляции между проводниками, которые при нормальных условиях находятся под напряжением, и открытыми проводящими частями может приводить к возникновению неисправности, которую обычно называют замыканием на землю.

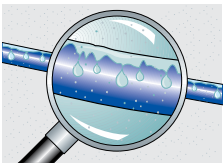
Основные причины повреждения изоляции:



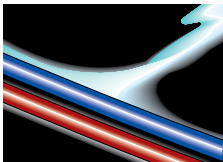
- ухудшение с течением времени диэлектрических свойств (появление трещин в изоляционном материале и др.);



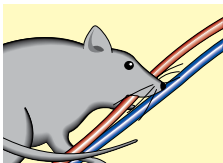
- механическое разрушение (например, повреждение проложенного в земле кабеля экскаватором);



- воздействие агрессивной окружающей среды (наличие пыли, влаги, загрязнений и т. д.);



- грозовые или коммутационные перенапряжения;

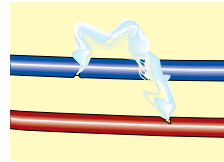


- повреждение грызунами.

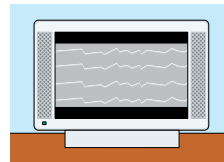
Основные последствия воздействия тока замыкания на землю:



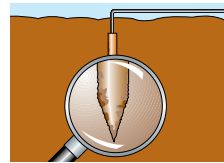
- подача напряжения на открытые проводящие части;



- возникновение локальных электрических дуг и, как следствие этого, перегрев;



- нарушения работы электронных приборов и систем;



- эрозия заземляющих электродов.

Ток замыкания на землю возникает в зоне повреждения изоляции в виде локальной дуги. Эта дуга характеризуется относительно небольшим значением тока порядка десятков миллиампер. Со временем зона повреждения изоляции постепенно увеличивается, и образуется однофазное замыкание на землю. Если ток не будет своевременно отключен устройством защиты, то эта неисправность в итоге может затронуть все фазные проводники и привести к трехфазному короткому замыканию на землю.

Таким образом, ток замыкания на землю может повредить электроустановку. Сначала возникает электрическая дуга с небольшим током, который максимальный расцепитель тока обнаружить не в состоянии, вследствие чего этот ток может протекать длительное время и привести к пожару. Кроме того, может возникнуть короткое замыкание, способное полностью вывести электроустановку из строя.

Другим последствием тока замыкания на землю является опасность косвенного прикосновения, т. е. прикосновения человека к открытым проводящим частям, которые вследствие повреждения изоляции могут оказаться под напряжением.

4 Классификация систем распределения электроэнергии

Размер зоны замыкания на землю и степень серьезности последствий, связанных с прикосновением к открытым проводящим частям, находящимся под напряжением, определяются режимом работы нейтрали системы электропитания и типом заземления системы. Вследствие этого, для правильного выбора устройства защиты от замыкания на землю необходимо знать тип распределительной электрической сети. Международный стандарт МЭК 60364-3 (Серия стандартов ГОСТ Р 50571 «Электроустановки зданий») классифицирует электрические системы двухбуквенным обозначением.

Первая буква характеризует связь системы питания¹ с землей:

- T = непосредственное присоединение к Земле одной точки, как правило, нейтральной, системы переменного тока;
- I = все токоведущие части изолированы от земли или одна точка, как правило, нейтральная, заземлена через сопротивление.

Вторая буква указывает на наличие связи между открытыми проводящими частями электроустановки и землей:

- T = непосредственное электрическое соединение открытых проводящих частей с землей;
- N = непосредственное электрическое соединение открытых проводящих частей с заземленной точкой системы питания.

Следующие буквы, если таковые имеются, указывают на реализацию нейтрального и защитного проводников:

- S = функции нейтрального и защитного проводников реализованы отдельными проводниками;
- C = функции нейтрального и защитного проводников объединены в одном проводнике (PEN-проводник).

В данном документе описаны основные типы систем электропитания с учетом приведенных выше определений.

¹ Заземление точки цепи СВ/НВ трансформатора необходимо для предотвращения передачи опасных напряжений на землю, например напряжений, которые могут возникнуть из-за неисправности между СВ и НВ обмотками. В системах IT настоятельно рекомендуется использование трансформаторов, конструкция которых исключает передачу опасных напряжений на оборудование, а также на части, к которым может прикоснуться человек.

4.1 Система TT

В системах TT нейтральный проводник и открытые проводящие части присоединены к разным заземляющим электродам (рисунок 1), поэтому ток замыкания на землю возвращается к источнику питания через землю (рисунок 2).

Рисунок 1: Система TT

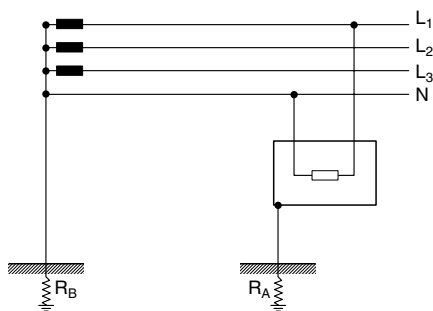
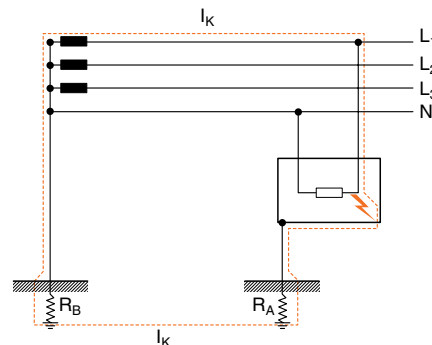


Рисунок 2: Замыкание на землю в системе TT



В электроустановках данного типа используется нейтральный проводник, который совместно с линейными проводниками используется для питания однофазных нагрузок электроустановок жилых и общественных зданий фазным напряжением, (как правило 220 В).

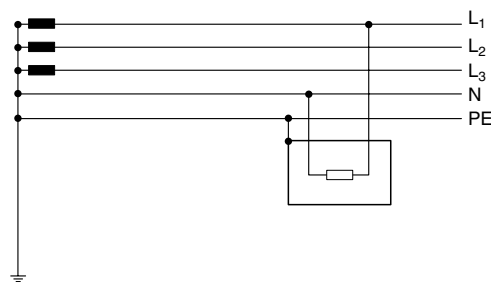
4.2 Система TN

В системах TN нейтраль глухо заземлена, а открытые проводящие части присоединены к тому же заземляющему устройству, к которому присоединен нейтральный проводник.

Электрические системы TN подразделяются на три типа в зависимости от устройства нейтрального и защитного проводников:

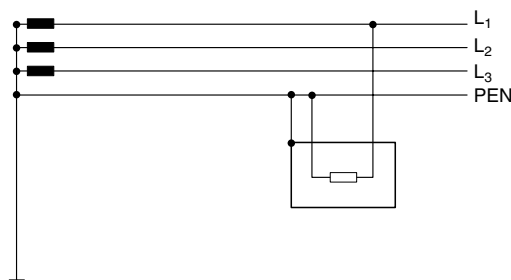
1. TN-S: нейтральный N и защитный PE проводники разделены (рисунок 3).

Рисунок 3: система TN-S



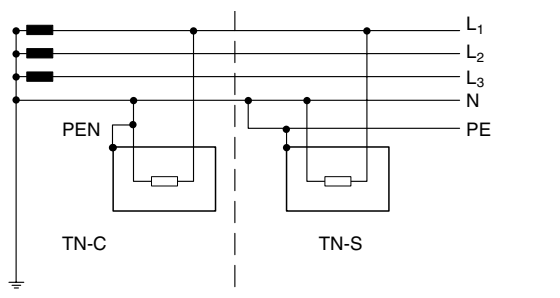
2. TN-C: функции нейтрального и защитного проводников объединены в одном PEN-проводнике (рисунок 4).

Рисунок 4: система TN-C



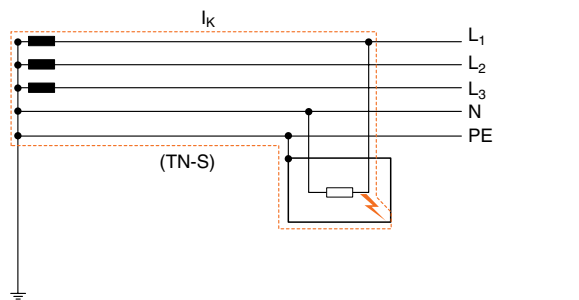
3. TN-C-S: нейтральный и защитный проводники объединены в части системы в одном PEN-проводнике, в другой части существуют в виде отдельных PE и N проводников (рисунок 5).

Рисунок 5: система TN-C-S



В системах TN ток замыкания на землю возвращается в источник питания через PE- или PEN-проводник, практически не протекая по заземляющему электроду (рисунок 6).

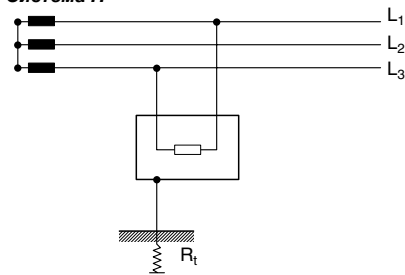
Рисунок 6: замыкание на землю в системе TN



4.3 Система IT

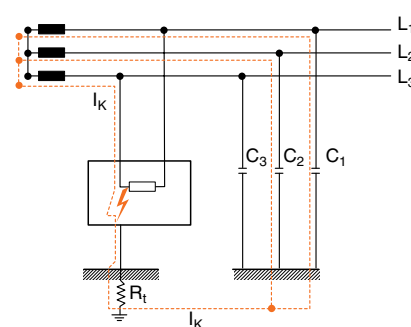
В системах IT источник питания не имеет непосредственного заземления, однако, возможно, соединение с землей токоведущих частей через большое сопротивление (рисунок 7). Все открытые проводящие части индивидуально или в составе группы присоединяются к независимому заземлителю.

Рисунок 7: Система IT



Ток замыкания на землю возвращается в источник питания через заземляющее устройство, к которому подсоединены открытые проводящие части, и емкостное сопротивление линейных проводников относительно земли.

Рисунок 8: замыкание на землю в системе TT



4.4 Заключение

Система распределения электроэнергии	Основная область применения	Типичные значения токов замыкания на землю	Примечания
TT	Электроустановки жилых, общественных и др. зданий; малые промышленные предприятия с низковольтными источниками питания	10-100 А	Системы TT распределения электроэнергии используются в тех случаях, когда прокладка защитного проводника (PE) не возможна и, когда ответственность за обеспечение защиты при косвенном прикосновении целесообразно возложить на самих пользователей.
TN	Промышленные предприятия, большие электроустановки с источниками питания среднего напряжения	Значения, аналогичные однофазным коротким замыканиям	Распределительные системы TN являются системами, через которые питание распределяется потребителям, имеющим свои собственные трансформаторные подстанции. В таких случаях можно легко реализовать защитный проводник.
IT	Химическая и нефтехимическая промышленность, т.е. такие предприятия, для которых существенное значение имеет бесперебойность электроснабжения	От нескольких микроампер до 2 А в зависимости от размера электроустановки, а в случае двойного замыкания на землю ток замыкания принимает значения, характерные для систем TT и TN в зависимости от способа соединения открытых проводящих частей с землей	Системы этого типа находят практическое применение в основном в тех случаях, когда должна быть обеспечена бесперебойность электроснабжения, и первое замыкание на землю не приводит к появлению значительных токов замыкания на землю, представляющих опасность для людей.

5 Защита при косвенном прикосновении

5.1 Воздействие тока на организм человека

Ток, проходящий через тело человека при прикосновении к токоведущей части, представляет опасность для жизни и здоровья. Воздействие тока может привести к следующему:

- **судорожные сокращения мышц:** в результате воздействия электрического тока происходит непроизвольное сокращение мышц и поэтому очень сложно бывает освободить руку, сжавшую проводящую часть. Примечание. Очень большие токи обычно не вызывают судорожные сокращения мышц, поскольку, при воздействии на организм таких токов, мышечное сокращение производится таким образом, что происходит непроизвольное освобождение от проводящей части;
- **затруднение и нарушение дыхания:** если ток проходит через мышцы дыхательной системы, непроизвольное сокращение этих мышц нарушает нормальный дыхательный процесс, что может привести к летальному исходу из-за удушья или получению различного рода травм вследствие асфиксии;

- **фибрилляция сердца:** наиболее опасный эффект связан с наложением внешних токов на физиологические, что путем неконтролируемых сокращений приводит к изменению сердечного цикла. Это явление может стать необратимым, поскольку оно сохраняется даже после того, как перестает действовать раздражитель;
- **ожоги:** происходят вследствие воздействия тепла, выделяющегося при прохождении тока через тело человека.

При определении электрических требований безопасности используется стандарт МЭК 60479-1 «Воздействие тока на людей и животных», в котором приводятся описания действия тока, протекающего через тело человека. В данном стандарте рассматриваются время-токовые характеристики, на которых выделяются четыре зоны (рисунок 1) проявления различных физиологических воздействий переменного тока (частотой 15–100 Гц), проходящего через тело человека. Описание этих зон приведено в таблице 1.

Рисунок 1: время-токовые зоны воздействия переменного тока на организм человека

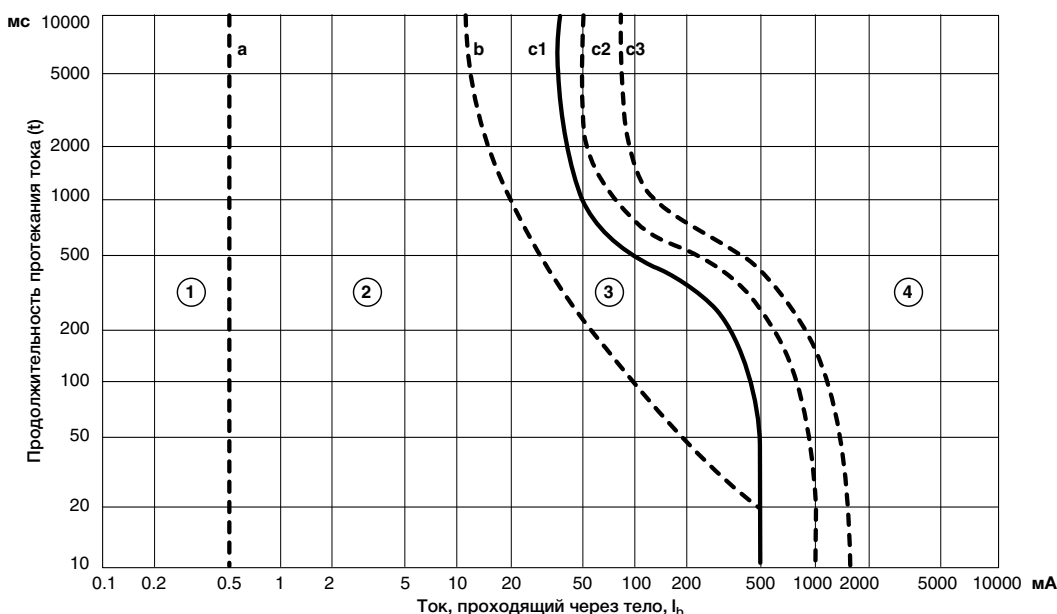


Табл. 1. Воздействие переменного тока на организм человека

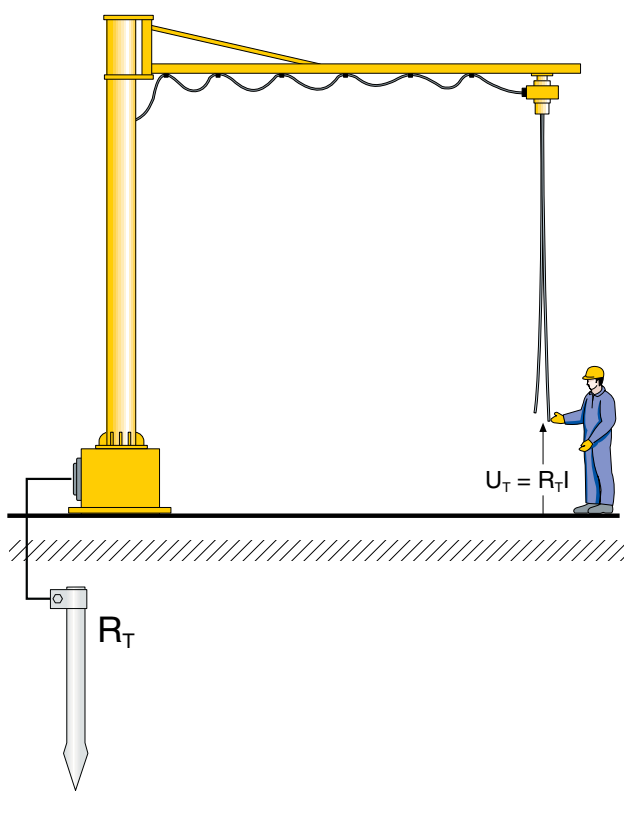
Зона	Описание воздействия
1	Как правило, никакого воздействия не оказывается.
2	Как правило, не оказывается никакого вредного физиологического воздействия.
3	Как правило, никаких поражений внутренних органов не наблюдается. Возможны судорожные сокращения мышц и затруднение дыхания; обратимые нарушения в формировании и осуществлении сердечного ритма, в том числе фибрилляция предсердий и кратковременная остановка сердца без фибрилляции желудочков с усилением эффекта воздействия с ростом величины тока и с течением времени.
4	В дополнение к воздействиям зоны 3 вероятность фибрилляции желудочков увеличивается примерно до 5 % (кривая c2), 50 % (кривая c3) и превышает 50 % за пределами кривой c3. Патологическое воздействие, например, остановка сердца, остановка дыхания и тяжелые ожоги, может усилиться с ростом величины тока и с течением времени.

В стандарте МЭК 60479-1 приводится также аналогичная диаграмма для постоянного тока.

Кривые на рисунке 1 не могут быть непосредственно применены для определения пределов максимально допустимого тока, гарантирующего безопасность людей. Однако, зная полное сопротивление человеческого тела и применяя закон Ома, можно определить безопасные кривые для допустимых напряжений.

Электрическое сопротивление человеческого тела, оказываемое проходящему току, протекающему между двумя точками, может очень сильно изменяться. Стандарт МЭК 60479-1 дает различные значения сопротивления в зависимости от напряжения прикосновения и пути протекания тока.

Принимая во внимание ориентировочные значения полного сопротивления, приводимые на диаграмме в стандарте, можно определить ожидаемый ток по значению ожидаемого напряжения прикосновения.



Ожидаемым напряжением прикосновения U является напряжение, которое присутствует между открытой проводящей частью и достаточно удаленной точкой земли.

5.2 Защита при косвенном прикосновении путем автоматического отключения питания

Для обеспечения защиты при косвенном прикосновении стандартом МЭК 60364 (В России принят прямой аналог этого стандарта — серия стандартов ГОСТ Р 50571 «Электроустановки зданий») предписывается автоматическое отключение питания.

Устройства защиты должны автоматически отключать питание таким образом, чтобы в случае возникновения аварийного тока между токоведущей частью и открытой проводящей частью или защитным проводником ожидаемое напряжение прикосновения, превышающее 50 В переменного тока (25 В в специальных условиях) не поддерживалось в течение времени, достаточного для того, чтобы вызвать опасность вредного физиологического воздействия на человека, прикасающегося одновременно к доступным токоведущим частям. Такая защитная мера требует координации между подключением к заземлению системы и характеристиками защитных проводников и устройств.

Устройствами автоматического отключения питания и способными обнаруживать токи замыкания на землю, являются:

- автоматические выключатели с термомангнитными расцепителями;
- автоматические выключатели с микропроцессорным расцепителем;
- автоматические выключатели с микропроцессорным расцепителем со встроенной защитой от замыкания на землю (функция G);
- термомангнитные или электронные автоматические выключатели со встроенными расцепителями дифференциального тока;
- автоматические выключатели, управляемые дифференциальным током, без встроенной защиты от сверхтока;
- расцепители дифференциального тока.

Ниже приведены описания этих устройств защиты.

Автоматические выключатели с термомангнитными расцепителями

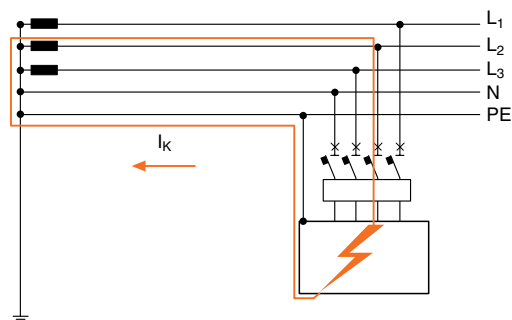
Автоматические выключатели, оснащенные термомангнитными расцепителями, обеспечивают следующие виды защиты:

- защита от перегрузки;
- защита от короткого замыкания;
- защита при косвенном прикосновении.

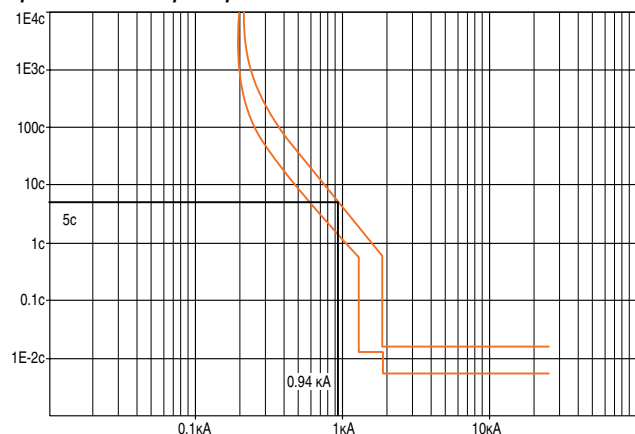
Защита от перегрузки обеспечивается тепловым расцепителем с обратнoзависимой задержкой срабатывания, т. е. чем выше ток перегрузки, тем меньше задержка и следовательно быстрее происходит срабатывание. Защита от короткого замыкания обеспечивается с помощью электромагнитного расцепителя с независимой от времени характеристикой срабатывания, т. е. время отключения не зависит от значения тока короткого замыкания. Защита при косвенном прикосновении может осуществляться как с помощью теплового, так и электромагнитного расцепителя, поскольку ток замыкания на землю протекает, по крайней мере, через одну фазу. Если этот ток достаточно большой, он может вызвать срабатывание автоматического выключателя.

Как объясняется далее в данной статье, необходимо, чтобы характеристики устройств защиты были скоординированы с системой распределения электроэнергии и типом заземления открытых проводящих частей, так чтобы при возникновении аварийного режима выполнялось гарантированное отключение электропитания и ограничивался период присутствия опасного напряжения прикосновения на открытых проводящих частях. На рисунке 2 показан пример цепи замыкания на землю в системе с глухозаземленной нейтралью и присоединением открытых проводящих частей к тому же заземляющему устройству, к которому присоединен нейтральный проводник (система TN), а также время-токовая характеристика автоматического выключателя типа Tmax XT1C160 R160 с термомагнитными расцепителями.

Рисунок 2
Путь протекания тока короткого замыкания.



Время-токовая характеристика Tmax XT1C160 In160



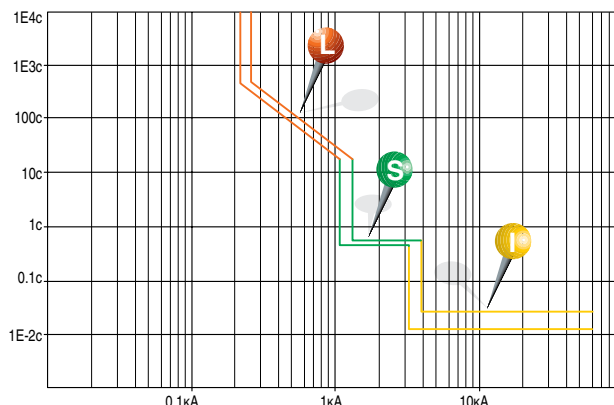
Как показано на диаграмме, если ток замыкания на землю составляет 940 А, автоматический выключатель должен сработать не позднее чем через 5 с (значение определено по кривой максимально допустимого отклонения).

Автоматические выключатели с микропроцессорным расцепителем

Защита, обеспечиваемая автоматическими выключателями с электронным расцепителем полностью аналогична защите, обеспечиваемой автоматическими выключателями с термомагнитными расцепителями. Функции защиты, выполняемые микропроцессорным расце-

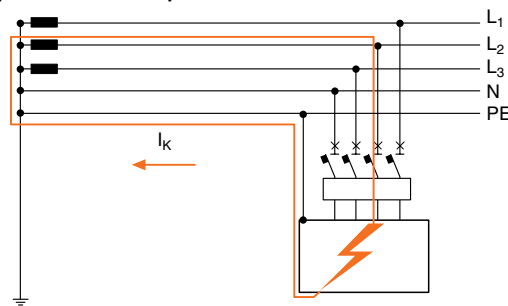
пителем, позволяют реализовать защиту от перегрузки (защита L), короткого замыкания (защита S и I) и защиту при косвенном прикосновении.

Рисунок 3

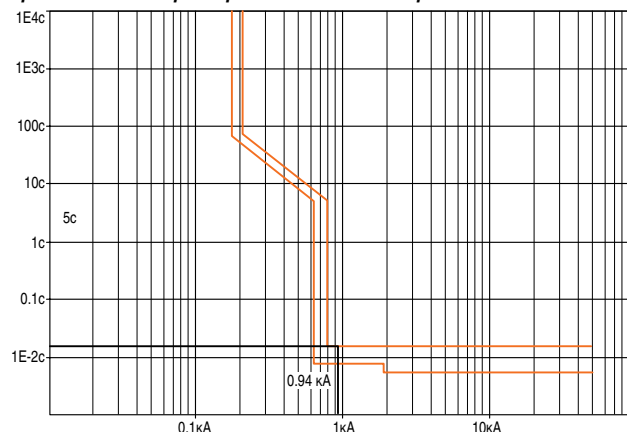


Электронные расцепители позволяют точно настроить время и ток срабатывания автоматического выключателя и таким образом добиться полного соответствия характеристик защиты требованиям конкретной электроустановки. На рисунке 4 показан тот же пример, что и раньше, но для автоматического выключателя типа Tmax XT2S160 Ekip LSI In160 с электронным расцепителем, используемым в качестве устройства защиты.

Рисунок 4
Путь протекания тока короткого замыкания



Время-токовая характеристика XT2S160 Ekip LSI In160



Возможность настройки малых значений тока срабатывания (примерно 750 А) позволяет получить время

срабатывания, соответствующее времени срабатывания электромагнитного расцепителя (несколько десятков миллисекунд), что значительно быстрее, чем при тех же условиях с помощью автоматического выключателя с термомангнитным расцепителем.

Автоматические выключатели с микропроцессорным расцепителем со встроенной защитой от замыкания на землю (функция G)

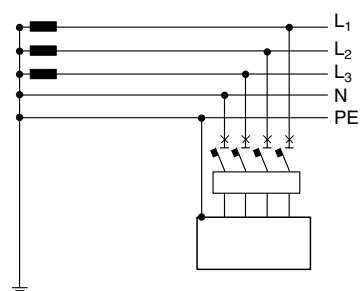
Микропроцессорные расцепители усовершенствованного исполнения в дополнение к функциям защиты от перегрузки (L) и короткого замыкания (S и I) обеспечивают выполнение специальной функции защиты, называемой функцией G (защита от замыкания на землю). Функция защиты G использует в качестве входного параметра векторную сумму токов, протекающих по токоведущим проводникам (по трем фазным и нейтральному). В неповрежденной цепи эта сумма равна нулю, но при наличии замыкания на землю, часть тока (дифференциальный ток) замыкания возвращается в источник питания через защитный проводник и/или заземление, нарушая баланс токов.

Если значение дифференциального тока превышает уставку срабатывания защиты, заданную для функции G, автоматический выключатель должен срабатывать в течение соответствующего времени. Принцип действия показан на рисунке 5.

Рисунок 5: Принцип действия функции G

В случае отсутствия поврежденных векторная сумма токов, протекающих по токоведущим проводникам (фазные + нейтральный проводники) равна нулю:

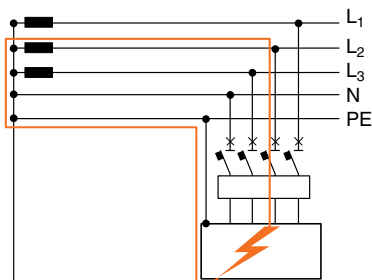
$$I_{\Delta} = I_{L1} + I_{L2} + I_{L3} + I_N = 0$$



При замыкании на землю часть тока замыкания возвращается в источник питания через PE-проводник, не протекая через тороидальный трансформатор, и векторная сумма токов будет отлична от нуля:

$$I_{\Delta} = I_{L1} + I_{L2} + I_{L3} + I_N \neq 0$$

$I_{\Delta} \geq I_{\Delta}$ срабатывания функции G

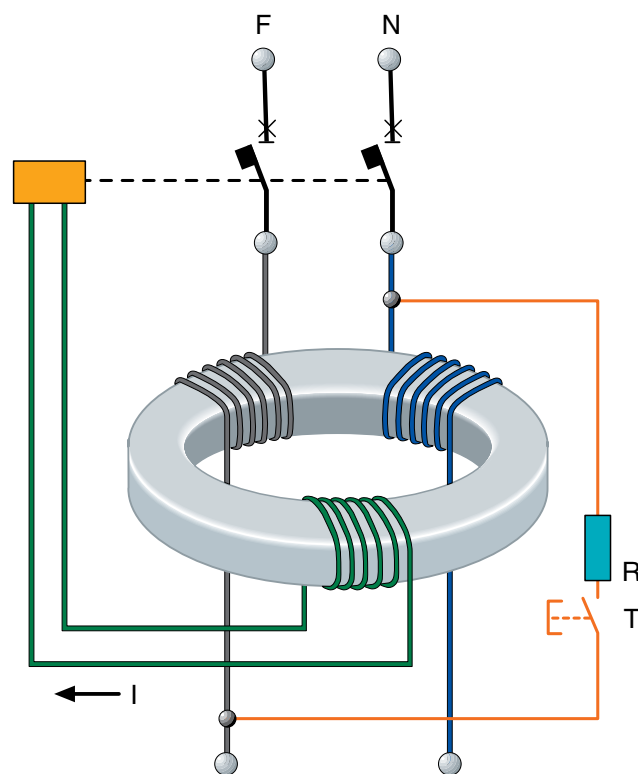


Автоматические выключатели с термомангнитным или электронным расцепителем и с расцепителем дифференциального тока

Автоматические выключатели с расцепителем дифференциального тока объединяют в одном аппарате расцепитель дифференциального тока и термомангнитный расцепитель, благодаря чему такой аппарат защиты срабатывает, как при обнаружении дифференциального тока, так и в случае перегрузки или короткого замыкания.

Принцип действия расцепителя дифференциального тока заключается в обнаружении тока замыкания на землю с помощью тороидального трансформатора, при этом осуществляется контроль всех токоведущих проводников, в том числе и нейтрального, если он используется.

Рисунок 6: Принцип действия расцепителя дифференциального тока


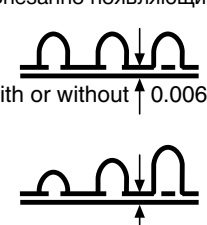



При отсутствии замыкания на землю векторная сумма токов I_{Δ} равна нулю, а в случае замыкания на землю, если значение I_{Δ} превышает номинальный отключающий дифференциальный ток $I_{\Delta n}$, во вторичной обмотке тороидального трансформатора наводится ЭДС, достаточная для включения электромагнита, что вызывает срабатывание автоматического выключателя.

Классификация автоматических выключателей управляемых дифференциальным током определяется условиями функционирования при наличии составляющей постоянного тока:

- тип AC: выключатель срабатывает при появлении синусоидального переменного дифференциального тока;
- тип A: выключатель срабатывает при появлении синусоидального переменного дифференциального тока и дифференциального пульсирующего тока с постоянной составляющей;
- тип B: выключатель срабатывает при появлении постоянного дифференциального тока, а также дифференциального синусоидального тока и дифференциального пульсирующего тока с постоянной составляющей.

Табл. 2: Типы устройств, управляемых дифференциальным током

	Форма дифференциального тока	Подходящий тип устройства дифференциального тока		
		AC	A	B
Синусоидальный переменный ток	 <p>Внезапно появляющийся или медленно нарастающий</p>	+	+	+
Пульсирующий постоянный ток	 <p>Внезапно появляющийся with or without 0.006A или медленно нарастающий</p>		+	+
Плавно изменяющийся постоянный ток				+

Классификация учитывает также наличие задержки по времени срабатывания (в присутствии дифференциального тока):

- без выдержки времени;
- с выдержкой времени, тип S для обеспечения селективности.

Автоматические выключатели, управляемые дифференциальным током, без встроенной защиты от сверхтока

Автоматические выключатели, управляемые дифференциальным током и не имеющие встроенной защиты от сверхтока, оснащаются только расцепителями дифференциального тока и, следовательно, обеспечивают защиту только от замыкания на землю. Выключатели этого типа должны использоваться совместно с автоматическими выключателями с термомангнитными расцепителями или предохранителями для защиты от тепловых и электродинамических воздействий. Принцип их действия такой же, как описано выше.

Расцепители дифференциального тока

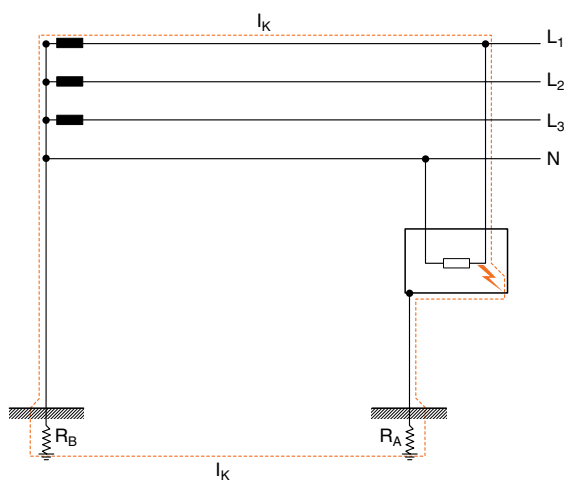
Расцепители дифференциального тока, которые также называют расцепителями дифференциального тока для комплектных устройств, выполняют функции обнаружения тока замыкания на землю с помощью отдельного тороидального трансформатора, устанавливаемого на токоведущих проводниках. Если дифференциальный ток превышает заданное пороговое значение, расцепитель воздействует на контакт, который управляет срабатыванием автоматического выключателя. Данные устройства используются в промышленных электроустановках в устройствах с ограниченным монтажным пространством, например, когда автоматические выключатели уже установлены или недостаточно места в ячейке автоматического выключателя. Принцип их действия такой же, как описано выше.



5.3 Защита при косвенном прикосновении в системах ТТ

Замыкание на землю в системе ТТ образует цепь, представленную на рисунке 7.

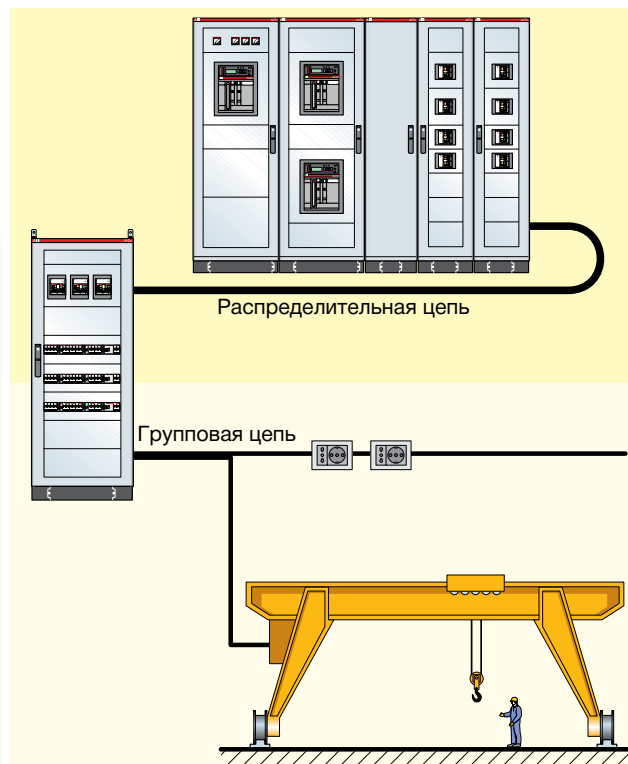
Рисунок 7



Ток короткого замыкания протекает через вторичную обмотку трансформатора, линейный проводник, сопротивление в месте замыкания, проводник защитного заземления, заземляющие электроды (R_A электроустановки и R_B нейтрали вторичной обмотки трансформатора). В соответствии с требованиями МЭК 60364-4 (ГОСТ Р 50571 «Электроустановки зданий») характеристики устройств защиты должны быть скоординированы с заземляющим устройством для того, чтобы обеспечивалось быстрое отключение питания, если напряжение прикосновения достигнет опасного для человеческого организма значения.

Перед рассмотрением этих требований полезно ознакомиться с различными цепями, описанными в упомянутом выше стандарте; в частности, на предприятии, цепи делят:

- на групповые цепи – цепи питания нагрузок (например, вытяжки, мостового крана, и т. д.)
- распределительные цепи – цепи питания распределительных щитов, от которых отходят цепи питания нагрузок.



Чтобы в системе ТТ обеспечить надлежащую защиту при косвенном прикосновении путем автоматического отключения питания необходимо соблюсти одно из следующих условий (в соответствии с МЭК 60364-4 (ГОСТ Р 50571 «Электроустановки зданий»)).

Защита с помощью устройств дифференциального тока

Принимая предельное напряжение равным 50 В (стандартная окружающая среда), для обеспечения защиты при косвенном прикосновении с помощью устройств дифференциального тока необходимо выполнить следующее условие:

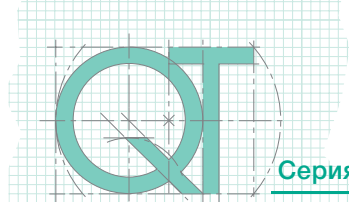
$$R_A \cdot I_{\Delta n} \leq 50V \quad \text{тогда: } R_A \leq \frac{50V}{I_{\Delta n}}$$

где:

R_A – полное сопротивление (в омах) заземляющего электрода и защитного проводника, присоединенного к открытым проводящим частям¹;

$I_{\Delta n}$ – номинальный отключающий дифференциальный ток автоматического выключателя, управляемого дифференциальным током.

¹ Заземляющий электрод последовательно соединен с защитным проводником, сопротивление которого пренебрежимо мало по сравнению с сопротивлением R_A ; по этой причине в формуле можно учитывать только сопротивление заземляющего электрода эксплуатируемой установки.



В том, что касается времени отключения, стандартом рассматриваются две возможности:

- групповая цепь с номинальным током не более 32 А: в этом случае должны выполняться вышеописанные условия и соблюдаться значения времени, указанные в таблице 3 (значения токов замыкания на землю значительно выше номинального отключающего дифференциального тока автоматических выключателей, управляемых дифференциальным током, и обычно составляют $5 \cdot I_{\Delta n}$);
- распределительная цепь или групповая цепь с номинальным током более 32 А: в этом случае должны выполняться вышеописанные условия и время не должно превышать 1 с (типичное значение времени).

Табл. 3: Максимальное время отключения для групповых цепей с номинальным током не более 32 А

Система	50 В < U ₀ ≤ 120 В с		130 В < U ₀ ≤ 230 В с		230 В < U ₀ ≤ 400 В с		U ₀ > 400 В с	
	пер. тока	пост. тока	пер. тока	пост. тока	пер. тока	пост. тока	пер. тока	пост. тока
ТТ	0,3	Примечание 1	0,2	0,4	0,07	0,2	0,04	0,1

U₀ — номинальное напряжение пост. или перемен. тока линейного проводника относительно земли.

Если в системах ТТ отключение обеспечивается с помощью устройства защиты от сверхтока и защитное уравнивание потенциалов выполнено для всех сторонних проводящих частей в пределах электроустановки, то могут использоваться значения максимального времени отключения, применимые к системам TN.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. Отключение может потребоваться также по причине, отличной от обеспечения защиты от поражения электрическим током.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. Если соответствие вышеупомянутым требованиям обеспечивается с помощью АВДТ, значения времени отключения в соответствии с таблицей, приведенной выше, относятся к ожидаемым дифференциальным токам, значения которых значительно выше номинального отключающего дифференциального тока АВДТ (как правило, равны 5 I_{Δn}).

Исходя из вышеизложенного, очевидно, что значение сопротивления R_A заземляющего устройства изменится в том случае, если используется автоматический выключатель, управляемый дифференциальным током, который имеет другую чувствительность, поскольку будет отличаться значение тока, указанное в приведенных выше выражениях. В действительности, при использовании устройства дифференциального тока с чувствительностью 30 мА, значение сопротивления заземляющего устройства составит менее

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

тогда как в случае применения менее чувствительных устройств дифференциального тока (например, с чувствительностью 300 мА) значение сопротивления заземляющего устройства составит менее:

$$R_A \leq \frac{50}{0,3} = 166,6 \text{ Ом}$$

Как показано в примере, на практике, в случае применения более чувствительного устройства дифференциального тока проще реализовать систему заземления, скоординированную с характеристиками устройства дифференциального тока.

В таблице 4 представлены максимальные значения сопротивления заземления, которые могут быть получены при использовании устройств дифференциального тока в нормальных условиях окружающей среды (50 В).

Таблица 4

I _{Δn} [А]	R _A [Ом]
0,01	5000
0,03	1666
0,1	500
0,3	166
0,5	100
3	16
10	5
30	1,6

Принцип действия устройств дифференциального тока

Принцип действия устройств дифференциального тока заключается в обнаружении тока замыкания на землю с помощью тороидального трансформатора, который охватывает все токоведущие проводники, в том числе и нейтральный, если он используется. При отсутствии замыкания на землю векторная сумма токов I_Δ равна нулю. Если при возникновении замыкания на землю значение I_Δ превысит уставку срабатывания, обозначаемую как I_{Δn}, то во вторичной обмотке тороидального трансформатора будет наведена ЭДС, достаточная для включения специального устройства, вызывающего срабатывание автоматического выключателя. При расчете требуемого номинального отключающего дифференциального тока I_{Δn} необходимо не только скоординировать его с характеристикой заземляющего устройства, но и учесть общий ток утечки электроустановки при нормальных условиях эксплуатации. Для предотвращения нежелательного срабатывания, такой ток не должен превышать 0,5 · I_{Δn} (для устройств типа АС).

Защита с помощью устройств защиты от сверхтока

Выбор автоматического устройства для защиты от замыкания линейного проводника на землю и защиты при косвенном прикосновении осуществляется путем согласования времени отключения с полным сопротивлением контура замыкания на землю.

Это означает, что должно соблюдаться следующее условие:

$$Z_s \cdot I_a \leq U_0$$

где:

Z_s – полное сопротивление (в Омах) контура тока замыкания на землю, включающего в себя:

- источник питания;
- линейный проводник до точки аварии;
- защитный проводник, присоединенный к открытым проводящим частям;
- проводник заземления;
- заземляющий электрод установки;
- заземляющий электрод источника питания;

I_a – ток отключения, выполняемого в течение времени, указанного в таблице 3 для групповых цепей с токами не выше 32 А, или в течение 1 секунды для распределительных и групповых цепей с токами выше 32 А;

U_0 – номинальное действующее напряжение переменного тока относительно земли (В).

Выбор устройства автоматического отключения осуществляется путем правильного согласования времени отключения с полным сопротивлением контура тока замыкания на землю.

Выражение $Z_s \cdot I_a \leq U_0$ может быть записано следующим образом:

$$I_a \leq \frac{U_0}{Z_s} = I_{\text{КЛ-отн. земли}}$$

где $I_{\text{КЛ-отн. земли}}$ – ток замыкания линейного проводника на землю. Таким образом, можно утверждать, что защита при косвенном прикосновении осуществляется в том случае, если уставка расцепителя I_a устройства защиты (в пределах времени, указанного в таблице 3, или в течение 1 с) меньше тока замыкания линейного проводника на землю $I_{\text{КЛ-отн. земли}}$ в защищаемой открытой проводящей части.

Следует отметить, что применение в системах распределения электроэнергии ТТ устройств дифференциального тока позволяет использовать заземляющее устройство со значением сопротивления, легко достижимым на практике. А вот применение автоматических выключателей возможно только в том случае, когда заземляющий электрод R_A имеет низкое сопротивление, что на практике реализовать очень трудно. Кроме того, расчет полного сопротивления конту-

ра тока замыкания на землю (Z_s) может оказаться непростой задачей, поскольку сопротивление заземляющего устройства нейтрали не может считаться пренебрежимо малым (в действительности оно может достигать значения сопротивления заземляющего устройства электроустановки).

Защита при косвенном прикосновении с помощью автоматических выключателей с электронными расцепителями

Как указывалось ранее, токи замыкания на землю в системах ТТ имеют низкие значения и, следовательно, срабатывание защиты линейных проводников, реализованной с помощью терромагнитных и/или электронных расцепителей за время, указанное в стандарте, может быть затруднено или даже невозможно. В таком случае можно использовать усовершенствованные электронные расцепители с защитной функцией G, которые срабатывают и при небольших токах замыкания на землю.

Следует помнить, что входным сигналом для этой защиты является векторная сумма токов, протекающих через токоведущие проводники (по трем фазными и одному нейтральному). В неповрежденной цепи эта сумма равна нулю, но при наличии замыкания на землю, часть тока замыкания не возвращается в источник питания через защитный проводник, а стекает в землю, не оказывая при этом влияния на токоведущие проводники. Если векторная сумма токов превышает уставку защиты G, автоматический выключатель сработает в течение времени, заданного в настройках электронного расцепителя.

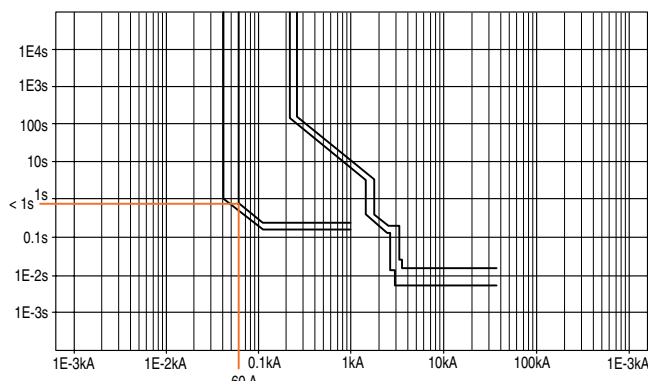
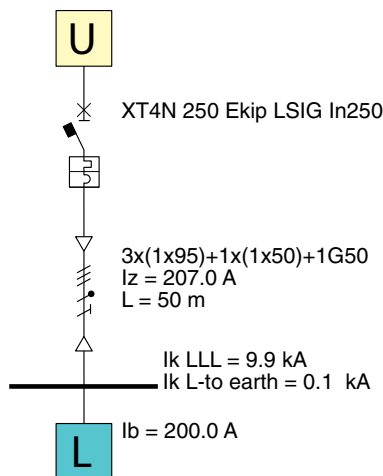
При использовании функции G условие, обеспечивающее выполнение защиты при косвенном прикосновении, приобретает следующий вид:

$$Z_s \cdot I_4 \leq U_0$$

где I_4 — значение в амперах уставки срабатывания защиты от замыкания на землю. Поскольку значение уставки может быть задано в диапазоне $(0,2...1) \times I_n$, то легко понять, как с помощью функции G можно обеспечить защиту при косвенном прикосновении в условиях, когда контур протекания тока при замыкании на землю имеет большое сопротивление, а сам ток замыкания на землю — малое значение.

В следующем примере (рисунок 8) показаны возможные настройки автоматического выключателя Tmax XT4N250 In250A с электронным расцепителем типа Ekip LSIg.

Рисунок 8



XT4N 250 Ekip LSIg In 250 A

L:	$I_1 = 0,80 \times I_n$	$t_1 = 6c$
S: $I^2t = \text{const}$	$I_2 = 6,40 \times I_n$	$t_2 = 0,25c$
I:	$I_3 = 12 \times I_n$	
G: $I^2t = \text{const}$	$I_4 = 0,20 \times I_n$	$t_4 = 0,20c$

Пример. При использовании функции защиты G с уставкой $0,20 \times I_n$ (см. рисунок 8), значение тока, при превышении которого автоматический выключатель срабатывает в течение 1 с, равно 60 А (значение с учетом верхнего отклонения).

Значение тока замыкания фазного проводника на землю (100 А) оказывается выше уставки срабатывания, которое должно произойти в течение 1 секунды, следовательно, защита при косвенном прикосновении обеспечена.

Если функция защиты G не используется, то при токе 100 А защита фазного проводника не сработает, поскольку в рассматриваемом случае уставка срабатывания защиты значительно выше тока замыкания на землю.

Заключение

Таким образом, в системах ТТ стандарт МЭК 60364 (ГОСТ Р 50571 «Электроустановки зданий») позволяет использовать:

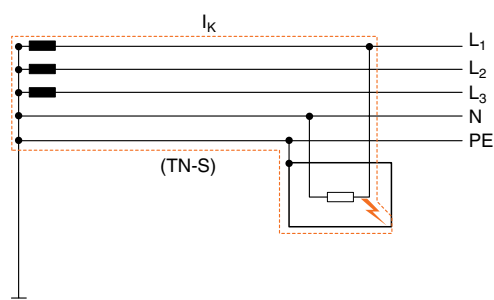
- устройства дифференциального тока, отвечающие условию $R_A \cdot I_{\Delta n} \leq 50 \text{ В}$, срабатывающие в течение времени отключения, указанного в таблице 3 для групповых цепей с током менее 32 А, или в течение 1 с для распределительных цепей или групповых цепей с номинальным током более 32 А;
- автоматические устройства защиты от сверхтока, удовлетворяющие условию $Z_s \cdot I_a \leq U_0$, срабатывающие в течение времени отключения, указанные в таблице 3 для групповых цепей с током менее 32 А, или в течение 1 с для распределительных или групповых цепей с номинальным током более 32 А.

Если автоматическое отключение электропитания не может быть обеспечено в течение указанных в таблице значений времени отключения или в течение типичного значения времени, то должно быть организовано дополнительное уравнивание потенциалов с соединением с землей, однако при этом использование дополнительного защитного уравнивания не исключает необходимости отключать питание по другим причинам, например, для защиты от пожара, тепловых воздействий на оборудование и т. д.

5.4 Защита при косвенном прикосновении в системах TN

Замыкание на землю в системе TN образует представленную на рисунке 9 цепь тока замыкания.

Рисунок 9



Как показано на рисунке, в цепь тока замыкания на землю не входит заземляющее устройство и весь ток течет через защитный проводник (PE).

Для срабатывания защиты при косвенном прикосновении в системе TN с автоматическим отключением электропитания, необходимо, в соответствии со стандартом МЭК 60364-4-41 (ГОСТ Р 50571 «Электроустановки зданий»), выполнить следующее условие:

$$Z_s \cdot I_a \leq U_0$$

где:

Z_s – полное сопротивление цепи тока замыкания на землю, состоящей из источника питания, линейного проводника до точки замыкания и защитного проводника между точкой замыкания и источником питания (в Ом);

I_a – ток отключения (в Амперах) устройства защиты, которое должно произойти в течение времени, указанного в таблице 5 в зависимости от номинального напряжения U_0 в групповых цепях с токами не выше 32 А, или в течение 5 секунд в распределительных и групповых цепях с токами выше 32 А (характеристики типов цепей приведены в описании системы TT).

Табл. 5: Максимальное время отключения в групповых цепях с токами не более 32 А

Система	50В < U_0 ≤ 120В		120В < U_0 ≤ 230В		230В < U_0 ≤ 400В		U_0 > 400В	
	пер. тока	пост. тока	перем. током	пост. тока	перем. током	пост. тока	перем. током	пост. тока
TN	0,8	Примечание 1	0,4	5	0,2	0,4	0,1	0,1

ПРИМЕЧАНИЕ 1. Отключение может потребоваться также по причине, отличной от обеспечения защиты от поражения электрическим током.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. Если соответствие вышеупомянутым требованиям обеспечивается с помощью АВДТ, значения времени отключения в соответствии с таблицей, приведенной выше, относятся к ожидаемым дифференциальным токам, значения которых значительно выше номинального отключающего дифференциального тока АВДТ (как правило, равны $5 \cdot I_{\Delta n}$).

Выбор автоматического устройства защиты от короткого замыкания между фазным и РЕ-проводником и защиты при косвенном прикосновении должен осуществляться путем согласования времени отключения с полным сопротивлением контура тока замыкания. В системах TN при ошибке монтажа на стороне НН фазного и РЕ-проводников, возникает ток, который, как правило, аналогичен току короткого замыкания, и току замыкания на землю. Этот ток протекает через линейный проводник (или проводники) и защитный проводник, не оказывает какого-либо влияния на заземляющее устройство. Выражение $Z_s \cdot I_a \leq U_0$ может быть записано следующим образом:

$$I_a \leq \frac{U_0}{Z_s} = I_{kLPE}$$

где I_{kLPE} – ток замыкания между фазным и РЕ-проводниками. Таким образом, можно утверждать, что защита при косвенном прикосновении срабатывает в том случае, если уставка расцепителя I_a устройства защиты (срабатывающего в течение времени, указанного в таблице 5, или в течение 5 с) меньше тока замыкания между фазным и РЕ-проводниками I_{kLPE} в защищаемой открытой проводящей части. В системах TN для защиты при косвенном прикосновении используются следующие устройства:

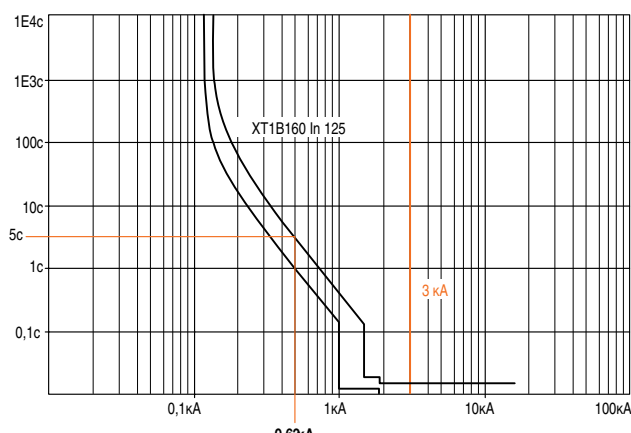
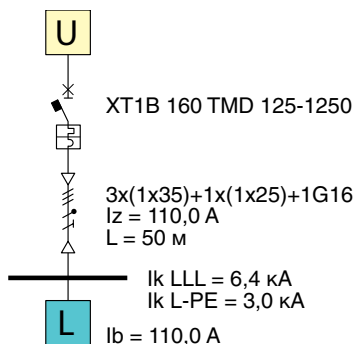
- автоматические выключатели с терромагнитными расцепителями;
- автоматические выключатели с электронными расцепителями;
- устройства дифференциального тока (только для системы TN-S).

Защита при косвенном прикосновении с помощью терромагнитных расцепителей

Как было отмечено ранее, в распределительных системах TN токи замыкания на землю (на открытые проводящие части) имеют более высокие значения из-за низкого сопротивления контура тока замыкания и, как следствие этого, в большинстве случаев защиту при косвенном прикосновении могут гарантировать автоматические выключатели с терромагнитным расцепителем, при условии, что ток, вызывающий отключение в пределах заданного времени, ниже тока замыкания.

В качестве примера (см. рисунок 10) на следующей странице показан способ проверки срабатывания защиты при косвенном прикосновении в групповой цепи с током $I_b > 32$ А в системе TN-S с напряжением 400 В. С этой целью достаточно убедиться в том, что ток замыкания между фазным и РЕ-проводниками, проходящий через доступные проводящие части, больше тока, вызывающего отключение в течение 5 с.

Рисунок 10



В этом примере ток, вызывающий отключение электропитания менее чем за 5 секунд (с учетом верхнего отклонения), ниже тока замыкания между фазным и РЕ-проводниками, который составляет 3 кА; следовательно, соблюдено время отключения, указанное в стандарте. Если к цепи питания подключена конечная нагрузка (например, небольшой вентилятор) с током ниже 32 А, то рекомендуется убедиться в том, что отключение автоматического выключателя в случае замыкания между фазным и РЕ-проводниками произойдет за время, меньшее приведенного в таблице 5.

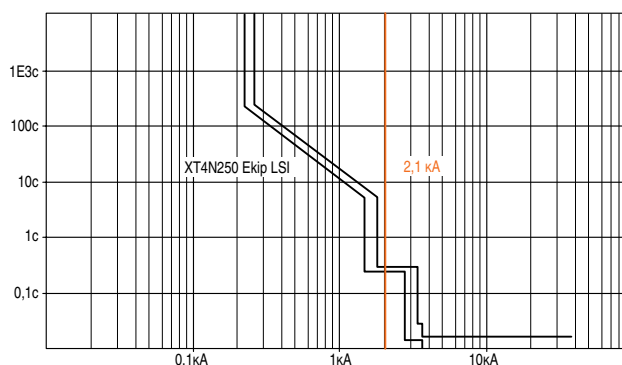
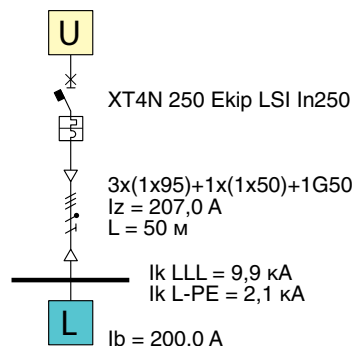
Защита при косвенном прикосновении с помощью электронных расцепителей

Для электронных расцепителей действуют те же предписания, что и в предыдущем случае, касающиеся реализации защитных функций L (от перегрузки), S (от короткого замыкания с задержкой) и I (мгновенная защита от короткого замыкания). Отличительной особенностью электронных расцепителей является то, что они обеспечивают точную настройку, как задержки, так и уставки срабатывания.

Расцепители этого типа находят применение в электроустановках, в которых ток замыкания между фазным и РЕ-проводниками достигает очень высокого значения и влияет на функции защиты фазных проводников (L-S-I). Однако такое использование может приводить к заданию слишком низких уставок, тем самым, ухудшая селективность по сверхтокам (токам перегрузки и короткого замыкания).

На следующем примере (рисунок 11) показаны возможные настройки автоматического выключателя XT4N 250 In 250A с электронным расцепителем типа Ekip LSI.

Рисунок 11



XT4N 250 Ekip LSI In 250 A

L:	$I_1 = 0,8 \times I_n$	$t_1 = 9 \text{ c}$
S: $t = \text{конст.}$	$I_2 = 6,4 \times I_n$	$t_2 = 0,25 \text{ c}$
I:	$I_3 = 12 \times I_n$	

В частности, уставка I_2 функции S задана таким образом, чтобы короткое замыкание устранялось менее чем за 0,25 с. Однако, это значение представляет собой лишь одну из возможных настроек, поскольку для защиты при косвенном прикосновении может также использоваться и функция I.

Если бы требовалось обеспечить защиту групповой цепи с номинальным током менее 32 А, то следовало бы убедиться в том, что время отключения находится в пределах, указанных в таблице 5.

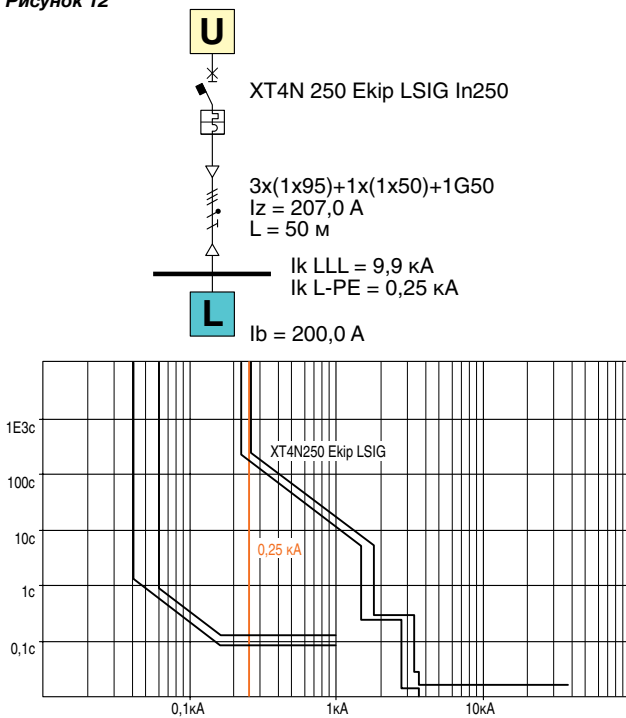
Применение функции G (защита от замыкания на землю) увеличивает безопасность, так как позволяет предотвратить такие ситуации, когда полное сопротивление контура замыкания имеет настолько большое значение, что защита по току фазного проводника не может отключить электропитание за время, определяемое стандартом, или когда для обеспечения селективности срабатывания защиты необходимо задать более высокие уставки для функций S и I. При использовании функции G условие, обеспечивающее выполнение защиты при косвенном прикосновении, приобретает следующий вид:

$$Z_s \cdot I_4 \leq U_0$$

где I_4 – уставка функции защиты от замыкания на землю. Поскольку это значение может быть настроено в пределах от 0,2 до 1 I_n (в зависимости от типа расцепителя), то легко понять, как с помощью функции G можно обеспечить защиту при косвенном прикосновении для более высоких значений полного сопротивления контура замыкания (например, в случае более длинных кабелей) по сравнению с защитой фазного проводника.

На следующем примере (рисунок 12) показаны возможные настройки автоматического выключателя Tmax XT4N250 In 250 A с электронным расцепителем Ekip LSIG.

Рисунок 12



XT4N 250 Ekip LSIG In 250 A

L:	$I_1 = 0,8 \times I_n$	$t_1 = 9 \text{ с}$
S: $t = \text{конст.}$	$I_2 = 6,4 \times I_n$	$t_2 = 0,25 \text{ с}$
I:	$I_3 = 12 \times I_n$	
G:	$I_4 = 0,2 \times I_n$	$t_4 = 0,1 \text{ с}$

В системе TN-S функция G применяется в тех случаях, когда устройство защиты фазных проводников не может обеспечить адекватную защиту. В действительности в таком случае при токе замыкания между фазным и РЕ-проводниками 0,25 кА ни одна из защит фазных проводников (L-S-I) не может обеспечить гарантированное отключение электропитания в течение 5 секунд (так как рассматриваемая цепь является групповой цепью с током $I_b > 32 \text{ A}$).

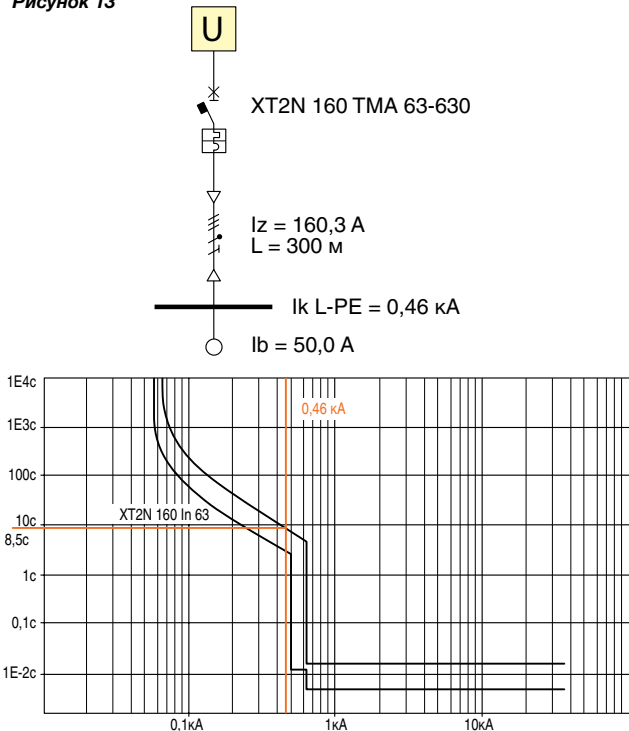
Если бы потребовалось обеспечить защиту цепи питания конечной нагрузки с номинальным током менее 32 А, то следовало бы использовать терромагнитные и/или электронные расцепители и защитить линию при косвенном прикосновении с помощью автоматического выключателя защиты фазных проводников, срабатывающего за время, соответствующее таблице 5. Следует иметь в виду, что в системе TN-C невозможно использовать аппарат с функцией G для защиты трехфазных нагрузок. Это объясняется тем, что микропроцессорный расцепитель не в состоянии обнаружить ток замыкания на землю, так как в этом случае векторная сумма токов в линейных и нейтральном проводниках всегда будет равна нулю, поскольку ток замыкания проходит по PEN-проводнику, который одновременно является и нейтральным и защитным (более подробное изложение см. следующий пункт).

Защита при косвенном прикосновении с помощью устройств дифференциального тока

Применение автоматических выключателей, управляемых дифференциальным током, позволяет улучшить защиту, срабатывающую и при отсутствии ошибки монтажа, а также при возникновении короткого замыкания в конце очень длинной линии, когда большое сопротивление линии существенно уменьшает ток короткого замыкания. Такой ток может сохраняться достаточно длительное время и вызвать повышение температуры, что в свою очередь может привести к возгоранию.

На рисунке 13 приведен пример цепи питания конечной нагрузки с кабелем питания длиной 300 м, защищаемого автоматическим выключателем Tmax T2N 160 с терромагнитным расцепителем, с In 63. Из-за высокого сопротивления кабеля значение тока замыкания между фазным и РЕ-проводником равно 0,46 кА. При этом значении автоматический выключатель отключит электропитание за время, превышающее 5 с (около 8,5 с с учетом допустимых отклонений), что не соответствует требованию стандарта. Автоматический выключатель, управляемый дифференциальным током, обнаружит ток замыкания и отключит электропитание за меньшее время, т.е. с соблюдением требования стандарта.

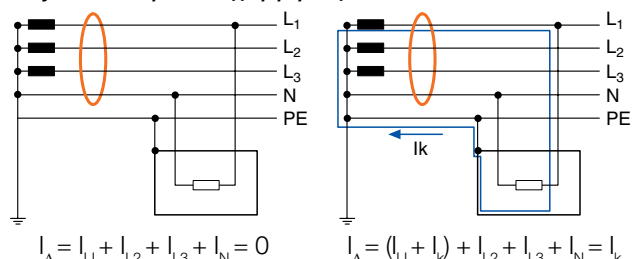
Рисунок 13



Следует иметь в виду, что автоматический выключатель, управляемый дифференциальным током, нельзя использовать для реализации функции G в системе TN-C. Это объясняется тем, что автоматический выключатель, управляемый дифференциальным током, обнаруживает ток замыкания на землю с помощью тороидального трансформатора, который определяет векторную сумму токов, протекающих по всем проводникам, в том числе и по PEN-проводнику, который выполняет функцию как нейтрального, так и защитного проводников. Поэтому при наличии тока замыкания на землю векторная сумма токов все равно будет равна нулю.

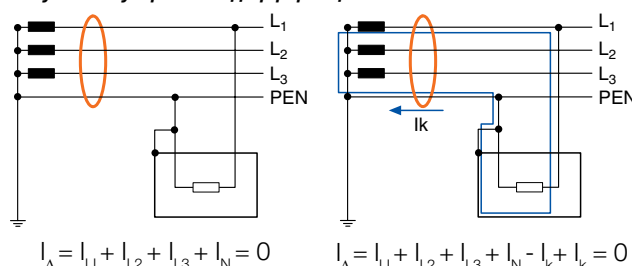
В системе TN-S ток замыкания на землю возвращается через защитный PE-проводник, не оказывая влияния на тороидальный трансформатор (рис. 14). В этом случае векторная сумма токов отлична от нуля и, если она превышает заданную уставку, то сработает устройство дифференциального тока.

Рисунок 14: Устройство дифференциального тока в системе TN-S



В системе TN-C ток замыкания на землю возвращается через защитный PEN-проводник, который проходит через тороидальный трансформатор² (рис. 15). Векторная сумма токов по-прежнему равна нулю и, следовательно, устройство дифференциального тока не отключит электропитание.

Рисунок 15: устройство дифференциального тока в системе TN-C



С другой стороны, если в той же самой системе нейтральный проводник не проходит через тороидальный трансформатор, то какой-либо однофазный электроприемник может создать несимметричную нагрузку трехфазной сети, что приведет к нежелательному срабатыванию устройства дифференциального тока, даже в полностью исправной цепи.

Заключение

Таким образом, в системах TN стандарт МЭК 60364 (ГОСТ Р 50571 «Электроустановки зданий») позволяет использовать:

- устройства дифференциального тока, а также автоматы для защиты от сверхтоков, удовлетворяющие условию $Z_s \cdot I_a \leq U_0$ в пределах промежутков времени, указанных в таблице 5 для групповой цепи с током менее 32 А, или в течение 5 с для распределительной цепи или групповой цепи с номинальным током более 32 А.

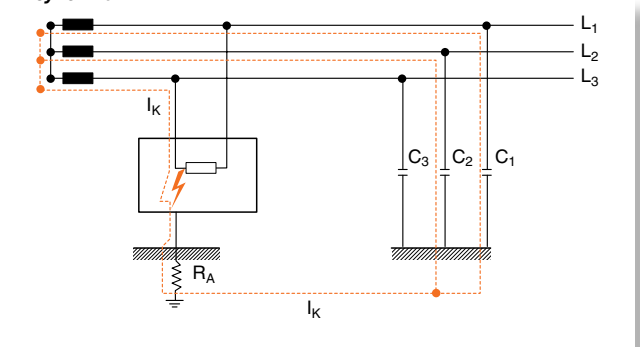
Если автоматическое отключение не может быть обеспечено за время, указанное в таблице 5, или в течение типичного значения времени, то необходимо организовать дополнительное защитное уравнивание потенциалов с соединением с землей; однако при этом использование дополнительного защитного уравнивания не исключает необходимости отключать питание по другим причинам, например, в случае защиты от пожара, резких перепадов температур в оборудовании и т. д. В системе TN-C отключение нейтрального проводника и использование устройств дифференциального тока или устройств с аналогичными принципом работы (функция G для защиты от замыкания на землю) не представляется возможным.

² В действительности тороидальный трансформатор охватывает все токоведущие проводники (фазные и нейтральный).

5.5 Защита при косвенном прикосновении в системах IT

Как показано на рисунке 16, ток замыкания на землю в системе IT возвращается к источнику питания через емкостную связь между линейными проводниками и землей. Поэтому ток замыкания на землю настолько мал, что отключение питания защитным устройством не происходит и напряжение прикосновения имеет очень низкое значение.

Рисунок 16



В соответствии с МЭК 60364-4 (ГОСТ Р 50571 «Электроустановки зданий») автоматическое отключение цепи при однократном замыкании на землю не выполняется, если соблюдено следующее условие:

$$R_A \cdot I_d \leq 50 \text{ В пер. тока}$$

$$R_A \cdot I_d \leq 120 \text{ В пост. тока}$$

где:

R_A – сумма сопротивлений (в Омах) заземляющего электрода и защитного проводника для открытых проводящих частей;

I_d – ток (в Амперах) первого замыкания³, произошедшего из-за пренебрежимо малого сопротивления между линейным проводником и открытой проводящей частью; это значение учитывает токи утечки и полное сопротивление заземления электроустановки.

Если это условие выполнено, то в результате замыкания на землю напряжение прикосновения к открытой проводящей части составит 50 В (для цепи переменного тока), что является допустимым для человека без ограничения времени.

В электроустановках с системой IT должны быть предусмотрены устройства контроля изоляции сети, которые будут указывать на наличие аномального состояния после возникновения замыкания.

В соответствии со стандартом МЭК 61557-8 (ГОСТ Р МЭК 61557) устройство контроля изоляции является устройством, осуществляющим постоянный контроль состояния изоляции электроустановки.

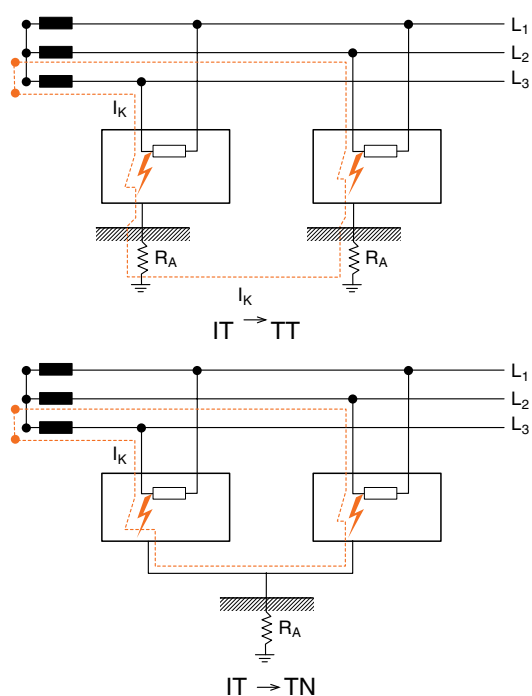
Назначение данного устройства – сигнализировать о любом значительном снижении прочности изоляции электроустановки, что позволяет устранить причину неисправности и предотвратить повторное замыкание с последующим отключением питания.

³ Согласно стандарту называется первым замыканием на землю; возникновение двух одновременных замыканий в двух различных линейных проводниках называется двойным замыканием на землю.

Возникновение замыкания на землю изменяет тип распределительной системы, лишая ее преимуществ, обеспечиваемых изоляцией сети от земли. В частности, при замыкании на землю может возникнуть одна из двух ситуаций (рисунок 17):

1. Если открытые проводящие части оборудования раздельно заземлены, система IT превращается в систему TT;
2. Если открытые проводящие части оборудования соединены между собой совместно заземленными защитными проводниками, система IT превращается в систему TN.

Рисунок 17



При этих условиях в случае замыкания на землю (т. е. при наличии двойного замыкания) стандарт предписывает отключение питания в следующих случаях:

- а) если открытые проводящие части совместно или раздельно заземлены и выполнено следующее условие:

$$R_A \cdot I_a \leq 50 \text{ В}$$

где:

R_A – сумма сопротивлений заземляющего электрода и защитного проводника для открытых проводящих частей;

I_a – ток, вызывающий автоматическое срабатывание устройства защиты в момент времени, предписанный для системы TT;

- б) если открытые проводящие части соединены между собой защитными проводниками, которые присоединены к общей системе заземления, применяются условия для системы TN, в частности должно соблюдаться следующее условие:

$$Z_s \leq \frac{U}{2 \cdot I_a}$$

если в системе используется нейтраль

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

где:

U_0 – номинальное напряжение между линейным и нейтральным проводниками;

U – номинальное напряжение между линейными проводниками;

Z_s – полное сопротивление контура замыкания, включающего в себя линейный и защитный проводники;

Z'_s – полное сопротивление контура замыкания, включающего в себя нейтральный и защитный проводники;

I_a – ток, вызывающий срабатывание устройства защиты в течение времени, предписанного для системы TN.

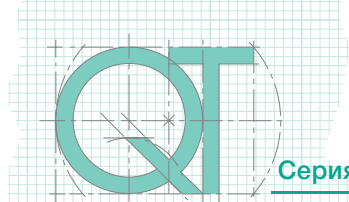
Стандарт предполагает отсутствие нейтрального проводника в системах IT. Одна из причин заключается в наличии больших сложностей при выполнении условий, предписанных для полного сопротивления контура двойного замыкания на землю Z'_s . В действительности при наличии нейтрального проводника полное сопротивление должно быть на 58 % меньше, чем сопротивление Z_s , которое определяется для случая двойного замыкания между фазными проводниками; таким образом, становится очевидным, что существуют еще большие сложности в обеспечении координации с устройством автоматического отключения, которое должно срабатывать для обеспечения защиты при косвенном прикосновении.

Кроме того, в сложных промышленных электроустановках, наличие нейтрального проводника может представлять опасность случайного соединения ее с заземленной точкой, тем самым устраняя преимущества систем IT.

Заключение

Таким образом, в отношении систем IT стандарт:

- не требует автоматического отключения цепи питания при возникновении неисправности;
- предписывает автоматическое отключение питания цепи, если второе замыкание происходит в тот момент, когда еще не устранено первое, при этом должны быть применены такие же предписания, как и для систем TT или TN в зависимости от типа присоединения к земле открытых проводящих частей;
- требует наличия контроля изоляции сети относительно земли и сигнализации в случае обнаружения замыкания.



6 Решения АББ для защиты от замыкания на землю

6.1 Общие положения

Как уже было рассмотрено в предыдущих главах, в большинстве электрических систем надежная и безопасная защита реализуется путем объединения функций защиты от сверхтока и замыкания на землю вместе с эффективным заземляющим устройством.

Такой подход позволяет получить помимо защиты при косвенном прикосновении, также надежную и своевременную защиту от небольших замыканий на землю, что является абсолютно необходимым для предотвращения опасности возникновения пожара. При правильном подборе устройств защиты должна быть также надлежащим образом реализована селективность срабатывания защиты от замыкания на землю и защиты от сверхтоков. Для выполнения требований по обеспечению адекватной защиты от замыкания на землю АББ выпускает продукцию следующих категорий:

- Модульные автоматические выключатели

- АВДТ (автоматические выключатели, управляемые дифференциальным током, со встроенной защитой от сверхтока) DSH941R с номинальным током от 6 до 40 А;
- АВДТ (автоматические выключатели, управляемые дифференциальным током, со встроенной защитой от сверхтока) серии DS200 с номинальным током от 6 до 63 А;
- АВДТ (автоматические выключатели, управляемые дифференциальным током, со встроенной защитой от сверхтока) компактной серии DS201 с номинальным током от 1 до 40 А и DS202C с номинальным током от 6 до 32 А;
- блоки дифференциального тока модели DDA 200, которые объединяются с автоматическими выключателями S200 с терромагнитным расцепителем на номинальный ток от 0,5 до 63 А;
- ВДТ (выключатели дифференциального тока) модели F200 с номинальным током от 16 до 125 А.

- Автоматические выключатели в литом корпусе (таблица 1)

- расцепитель дифференциального тока RCinst для автоматических выключателей Tmax XT с номинальными токами от 16 до 250 А;
- расцепитель дифференциального тока RC222, предназначенный для объединения с автоматическими выключателями Tmax T4, T5 и RCsel для автоматических выключателей Tmax XT1, XT2, XT3, XT4 с номинальными токами от 16 до 500 А;
- расцепитель дифференциального тока RC223 и RC тип В, предназначенные для объединения с автоматическими выключателями Tmax XT3 с номинальным током до 225 А (это максимальная устав-

ка тока, которую можно задать на автоматическом выключателе), а также с автоматическим выключателем Tmax T4 с номинальным током до 250 А;

- электронные расцепители PR222DS/P, PR223DS/P, PR223 EF LSIG и Ekip LSIG, Ekip M-LRIU, Ekip E для автоматических выключателей Tmax T4, T5, T6 и Tmax XT2, XT4 с номинальным током от 10 до 1000 А;
- электронные расцепители PR331, PR332 LSIG для автоматических выключателей Tmax T7 с номинальным длительным током от 800 до 1600 А;
- электронный расцепитель PR332 со встроенной защитой по дифференциальному току для автоматических выключателей Tmax T7 с номинальным длительным током от 800 до 1600 А.

Табл. 1. Автоматические выключатели в литом корпусе серии Tmax с защитой по дифференциальному току и защитой от замыканий на землю

	In [A]	Ekip LSIG Ekip E PR331						
		RC тип В	PR222	PR223	PR332	PR332		
		RCinst	RCsel	RC223	LSIG	LSIG	LSIG	LSIRc
T4	320	-	•	• ¹	•	•	-	-
T5	320 ÷ 630	-	•	-	•	•	-	-
T6	630 ÷ 1000	-	-	-	•	•	-	-
T7	800 ÷ 1600	-	-	-	-	-	•	•
XT1	16 ÷ 160	•	•	-	-	-	-	-
XT2	10 ÷ 160	-	•	-	•	-	-	-
XT3	63 ÷ 250	•	•	•	-	-	-	-
XT4	40 ÷ 250	-	•	-	•	•	-	-

¹ Только для T4 250

- Воздушные автоматические выключатели (таблица 2)

- электронные расцепители PR332, PR333 LSIG для автоматического выключателя Tmax X1 с номинальным длительным током от 630 до 1600 А;
- воздушные автоматические выключатели, оснащенные электронными расцепителями PR121, PR122, PR123 LSIG для автоматических выключателей Tmax E1 – E6 с номинальным длительным током от 400 до 6300 А;
- электронный расцепитель PR332 со встроенной защитой по дифференциальному току для автоматического выключателя Tmax X1 с номинальным длительным током от 630 до 1600 А;
- электронный расцепитель PR122 со встроенной защитой по дифференциальному току для автоматических выключателей Tmax E1 – E6 с номинальным длительным током от 400 до 6300 А.

Табл. 2. Воздушные автоматические выключатели серии Emax с защитой по дифференциальному току и защитой от замыканий на землю

	In, A	PR331	PR121	PR332 LSIRc	PR122 LSIRc
		PR333 LSIG	PR123 LSIG		
X1	630 ÷ 1600	•	-	•	-
E1	400 ÷ 1600	-	•	-	•
E2	400 ÷ 2000	-	•	-	•
E3	400 ÷ 3200	-	•	-	•
E4	1250 ÷ 4000	-	•	-	-
E6	3200 ÷ 6300	-	•	-	-

- Расцепители дифференциального тока с внешним трансформатором:

- RCQ020A и RCQ020P: электронные расцепители дифференциального тока для НКУ;
- RD2: реле дифференциального тока, закрепляемые на DIN-рейке.

6.2 Решения на основе устройств дифференциального тока

6.2.1 Модульные автоматические выключатели System pro M и System pro M compact с защитой по дифференциальному току

АВДТ серий DSH941R, DS201, DS202C

Поставляемые АББ автоматические выключатели с термомангнитным расцепителем, управляемые дифференциальным током (модульные автоматические выключатели), серий DSH941R и DS201 однополюсные с незащищенным нейтральным полюсом и DS202C с защи-

щенным нейтральным полюсом удовлетворяют требованиям, предъявляемым к автоматическим выключателям в отношении обеспечения защиты в различных типах однофазных цепей современного электротехнического оборудования.

Все автоматические выключатели характеризуются наличием одного рычага управления, красно-зеленого индикатора состояния контактов и индикатора состояния расцепителя дифференциального тока на передней панели аппарата.

Аппараты серий DSH941R, DS201 и DS202C удовлетворяют всем требованиям, предъявляемым к аппаратам защиты однофазных цепей. В гамме представлены устройства, для которых предусмотрено три различных отключающих способности, пять уставок для дифференциального тока срабатывания и, кроме того, предусмотрена возможность выбора вида защиты по дифференциальному току типа А или АС. Также имеется исполнение AP-R с защитой от помех.

Защита от перегрузки и короткого замыкания обеспечивается теми же термомангнитными расцепителями, что и в модульных автоматических выключателях; дополнительная информация приведена в техническом каталоге. Доступны следующие значения чувствительности чувствительности, требуемые автоматическими выключателями этого типа: 10 мА – 30 мА – 100 мА – 300 мА – 1000 мА.

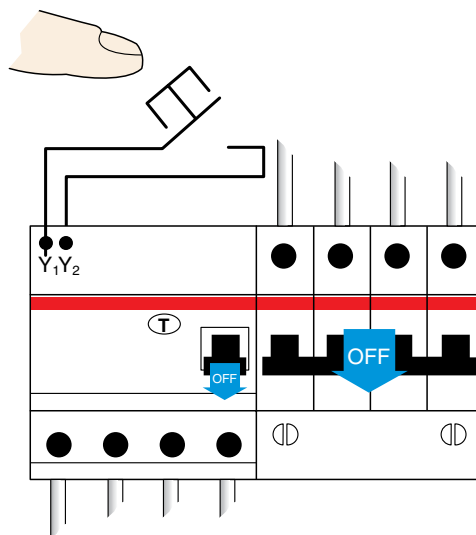
Возможность выбора типа А, АС и А AP-R позволяет обеспечить требуемую защиту при косвенном прикосновении в соответствии с нагрузкой, подключенной к защищаемой линии.

Автоматические выключатели, управляемые дифференциальным током (АВДТ), серий DSH941R, DS201 и DS202C

		DSH941R	DS201		DS202C	
Соответствует стандарту		МЭК/EN 61009, МЭК/EN 60947-2				
Тип (форма обнаруживаемого тока утечки)		АС	АС, А	AP-R	А	AP-R
Характеристики срабатывания		Мгновенная защита				
Номинальный ток In, А		6 ≤ In ≤ 40	1 ≤ In ≤ 40	1 ≤ In ≤ 40	6 ≤ In ≤ 32	6 ≤ In ≤ 32
Число полюсов		1P+N			2P	
Номинальное напряжение Ue, В		230				
Напряжение изоляции Ui, В		500				
Номинальная частота Гц		50...60				
Номинальная отключающая способность по МЭК/EN 61009 Icn, А		4500	4500, 6000, 10000		6000, 10000	
Номинальная отключающая способность МЭК/EN 60947-2, два полюса – 230 В Icu, кА		6	6, 10, 10		10	
Ics, кА		4,5	4,5; 6; 7,5		6; 7,5	
Характеристики термомангнитного расцепителя		B: 3 In ≤ Im ≤ 5 In		•	•	•
		C: 5 In ≤ Im ≤ 10 In		•	•	•
		K: 10 In ≤ Im ≤ 14 In		•		
Номинальная чувствительность I _{Δn} [А]		0,03	0,01-0,03-0,1-0,3-1	0,03-0,1-0,3	0,01-0,03-0,1-0,3	0,03-0,1-0,3

Автоматические выключатели с термагнитным расцепителем, управляемые дифференциальным током, (АВДТ) серии DS200

Автоматические выключатели с термагнитным расцепителем, управляемые дифференциальным током, серии DS200, DS200 М двух-, трех- и четырехполюсные обеспечивают защиту при косвенном прикосновении и функцию термагнитного расцепителя, типичную для автоматических выключателей (отключение электропитания по токам перегрузки или короткого замыкания). Серия ВДТ с термагнитным расцепителем создана на базе соответствующей серии автоматических выключателей S200, с которыми она имеет одинаковые характеристики в отношении отключающей способности, время-токовой характеристики и номинального тока. В частности, в серии DS200 механизм, отвечающий за защиту от сверхтока, реализован с помощью термагнитного расцепителя серии S200, в серии DS200 М использован S200М. Расцепители дифференциального тока серии DS200 и DS200 М относятся к типам АС и А. В исполнении на ток 50 и 63 А имеются два дополнительных зажима Y1 и Y2 для дистанционного приведения в действие расцепителя дифференциального тока с помощью внешней кнопки (см. рисунок).



Автоматические выключатели серии DS200 имеют следующий диапазон рабочего напряжения:

- 110-254 В для двухполюсного исполнения;
- 195-440 В для трех- и четырехполюсного исполнения.

Автоматические выключатели с термагнитным расцепителем, управляемые дифференциальным током, (АВДТ) серии DS200

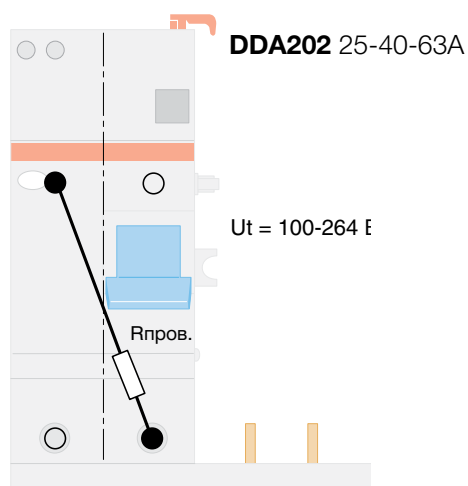
		DS200	DS200 М
Соответствует стандарту		МЭК/EN 61009, МЭК/EN 60947-2	
Тип (форма обнаруживаемого тока утечки)		АС, А	АС, А
Характеристика срабатывания		Мгновенная защита	
Номинальный ток	I_n , А	6...63	6...63
Число полюсов		2P, 3P, 4P	2P, 3P, 4P
Номинальное напряжение	U_e , В	110-254 (2P) / 195-440 (3P, 4P)	
Напряжение изоляции	U_i , В	500	
Номинальная частота	Гц	50...60	
Номинальная отключающая способность согласно МЭК/EN 61009 (ГОСТ Р 51327)	I_{cn} , А	6000	10000
Номинальная отключающая способность* согласно МЭК/EN 60947-2 (ГОСТ Р 50030.2)	I_{cu} , кА	10	15
	I_{cs} , кА	7,5	11,2
Характеристики термагнитного расцепителя	B: $3 I_n \leq I_m \leq 5 I_n$	•	•
	C: $5 I_n \leq I_m \leq 10 I_n$	•	•
Номинальная чувствительность	$I_{\Delta n}$ [А]	0,03	0,03

* 1P + N, при 230 В пер. тока, 2P, 3P, 4P, при 400 В пер. тока

Блоки дифференциального тока серии DDA 200, объединяемые с автоматическими выключателями S200 с терромагнитными расцепителями

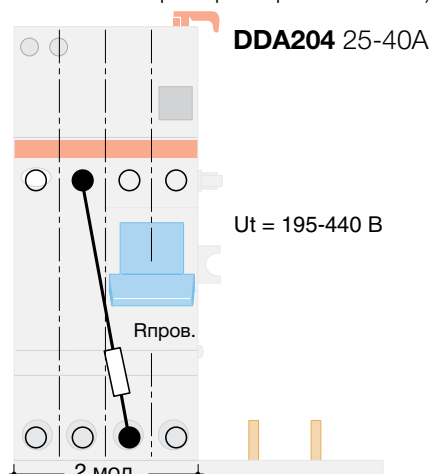
Блоки дифференциального тока объединяются с модульными автоматическими выключателями с таким же или меньшим номинальным током, в результате чего обеспечивается защита как от тока замыкания на землю, так и от тока перегрузки и короткого замыкания. Блоки DDA 200 соединяют с модульными автоматическими выключателями S 200, с помощью специальных крепежных элементов и пластмассовых штырьков. Поставляются блоки следующих типов: AC, A, AP-R (исполнение с защитой от помех), S (с селективной защитой), AE (с функцией аварийного останова). Модельный ряд включает в себя блоки всех типоразмеров до 63 А для всех значений чувствительности и возможных сочетаний полюсов. Кроме того, блоки на 63 А поставляются с зажимами для дистанционного отключения с помощью замыкающего контакта кнопочного выключателя. Конструкция блоков DDA 200 стандартного исполнения на 25-40 А и наличие специально подобранного диапазона напряжений для кнопки проверки срабатывания обеспечивают возможность применения данных блоков в специальных электроустановках, например в электроустановках морских судов, где фазное напряжение составляет 115-125 В.

Фактически в двухполюсных блоках дифференциального тока рабочий диапазон напряжения для кнопки проверки срабатывания, как показано на рисунке, составляет 100-264 В.

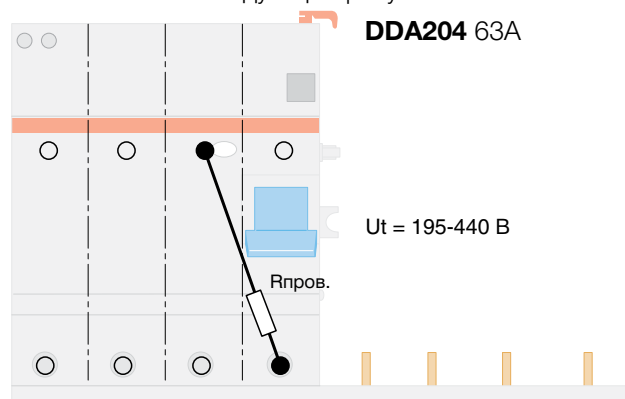


В компактном четырехполюсном блоке с двумя модулями (на токи 25-40 А) кнопку проверки срабатывания присоединяют между двумя, расположенными по центру полюсами с рабочим диапазоном напряжения от 195 до 440 В. В данной конфигурации кнопка подходит как для систем с напряжением 400 В между фазами (как в стандартных ситуациях), так и для электроустановок с напряжением 115-125 В между фазным и нейтральным проводниками (в этом случае напряжение

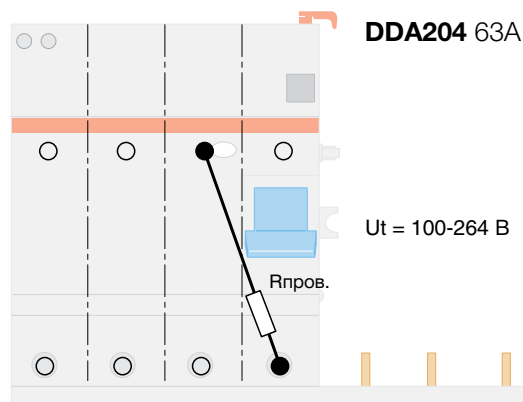
между фазами составит $115 \dots 125 \text{ В} \times 1,73 = 200/215 \text{ В}$, то есть будет находиться в пределах рабочего диапазона на напряжения кнопки проверки срабатывания).

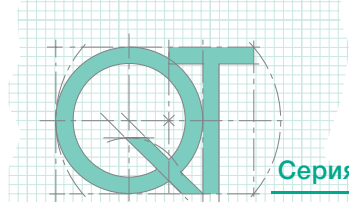


В четырехполюсных блоках на 63 А рабочий диапазон напряжения для кнопки проверки срабатывания составляет 195 – 440 В, а подключение ее производится, как показано на следующем рисунке:



Кроме того, поставляются блоки DDA 200 115V, в которых рабочий диапазон напряжения для кнопки проверки срабатывания составляет 100 – 264 В; таким образом, блоки DDA 200 этого же типоразмера могут использоваться в электроустановках морских судов, в которых напряжение между фазным и нейтральным проводниками составляет 115–125 В.





Блоки дифференциального тока DDA 200

		DDA200 AC	DDA200 A	DDA200 A AE	DDA200 AC AP-R	DDA200 A AP-R	DDA200 AC S	DDA200 A S
Соответствует стандарту		МЭК/EN 61009, приложение G						
Тип (форма обнаруживаемого тока утечки)		AC	A	A	AC	A	AC	A
Характеристика срабатывания		Мгновенная защита					Селективная	
Номинальный ток I_n , A		25, 40, 63	25, 40, 63	63	25, 40, 63	25, 40, 63	63	63
Число полюсов		2P, 3P, 4P						
Номинальное напряжение U_e , В		230/400 – 240/415						
Напряжение изоляции U_i , В		500						
Номинальная частота Γ ц		50...60						
Номинальная отключающая способность согласно МЭК/EN 61009		I_{cn} подключенного авт. выкл.						
Номинальная отключающая способность согласно МЭК/EN 60947-2 2		I_{cu}/I_{cs} подключенного авт. выкл.						
Номинальная чувствительность $I_{\Delta n}$, A		0,01...1	0,01...1	0,03...1	0,03	0,03	0,1...1	0,1...1

Выключатели дифференциального тока (ВДТ) серии F200

В составе нового ряда модульных автоматических выключателей, управляемых дифференциальным током, System pro M compact предлагается большое количество ВДТ F200. ВДТ типа AC и A, как с мгновенной, так и с селективной защитой, имеют несколько конфигураций для специальных применений, например тип AP-R (исполнение с защитой от помех) и исполнение с нейтральным полюсом, расположенным слева. Поставляются все типоразмеры до 63 А со всеми настройками чувствительности до 1 А в двух- и четырехполюсном исполнении. Имеются также ВДТ с номинальным током 80-100-125 А и чувствительностью от 0,03 до 0,5 А, типа А, AC, А с защитой от помех и А с селективной защитой.

Ряд ВДТ F200 включает в себя также аппараты FH200 "домашней" серии – недорогие устройства для применения в жилых домах. Выпускаются 2х и 4х полюсного исполнения, на токи 25, 40 и 63 А, чувствительностью 30 мА. Отличительная особенность – рычаг черного цвета.

Выключатели дифференциального тока (ВДТ) серии F200

		F200 AC	F200 A	F200 AC AP-R	F200 A AP-R	F200 A S	FH200
Соответствует стандарту		МЭК/EN 61008					
Тип (форма обнаруживаемого тока утечки)		AC	A	AC	A	A	AC
Характеристика срабатывания		Мгновенная защита				Селективная	Мгновенная
Номинальный ток I_n , A		16, 25, 40, 63		25, 40, 63		40, 63	25, 40, 63
Число полюсов		2P, 4P					2P, 4P
Номинальное напряжение U_e , В		230/400 - 240/415					
Напряжение изоляции U_i , В		500					
Номинальная частота Γ ц		50...60					
Номинальная чувствительность $I_{\Delta n}$, A		0,01...0,5		0,03		0,1...1	0,03

6.2.2 Расцепители дифференциального тока для автоматических выключателей Tmax и Tmax XT в литом корпусе

Все автоматические выключатели Tmax и Tmax XT разработаны и настроены для объединения с расцепителями дифференциального тока. В частности, автоматические выключатели Tmax четырехполюсные T4 и T5 – с расцепителями RC222, которые устанавливаются под выключателем.

Автоматические выключатели Tmax XT1, XT3 в трёх- и четырёхполюсном исполнении можно объединить с расцепителем токов утечки RCinst. Также выключатели Tmax XT1, XT2, XT3, XT4 и Tmax XT1D, XT3D, XT4D можно объединить с расцепителями токов утечки RCsel. И выключатель Tmax XT3 можно использовать с расцепителем RC тип В.

Помимо защиты от перегрузки и короткого замыкания, которую обеспечивают стандартные автоматические выключатели, созданные на их основе автоматические выключатели, управляемые дифференциальным током, обеспечивают защиту от замыкания на землю, т. е. позволяют реализовать защиту людей при косвенном прикосновении и исключить опасность возникновения пожара. Расцепители дифференциального тока также можно установить на выключатели-разъединители Tmax T4D, T5D и Tmax XT1D, XT3D, XT4D. В этом случае получается выключатель, обеспечивающий только защиту по дифференциальному току и не выполняющий защиту, выполняемую обычными автоматическими выключателями. Автоматические выключатели, управляемые дифференциальным током, без встроенной защиты от сверхтока чувствительны к токам замыкания на землю и, как правило, применяются только в качестве основного выключателя-разъединителя в слаботочных НКУ распределения электроэнергии в цепи питания нагрузки.

Применение автоматических выключателей, управляемых дифференциальным током, как со встроенной защитой от сверхтока, так и без нее обеспечивает непрерывный контроль за состоянием изоляции электроустановки, что гарантирует эффективную защиту при косвенном прикосновении, а также защиту от пожара и взрывов, а в при применении выключателей с уставкой $I_{\Delta n} = 30$ мА дополнительно обеспечивают защиту людей от прямого прикосновения. Расцепители дифференциального тока соответствуют следующим стандартам:

- МЭК 60947-2 (ГОСТ Р 50030.2), приложение В;
- МЭК 61000 (ГОСТ Р 51317) в части защиты от ложного срабатывания;
- МЭК 60755 (RCQ) (ГОСТ Р 50807): в части нечувствительности к токам с постоянной составляющей.

Расцепители дифференциального тока RCinst, RCsel для выключателей Tmax XT1, XT2, XT3 и XT4

Расцепители дифференциального тока RCinst и RCsel можно установить как в автоматические выключатели Tmax XT1, XT2, XT3 и XT4, так и в выключатели-разъединители Tmax XT1D, XT3D и XT4D. Выпускаемые исполнения позволяют использовать их как вместе с трехполюсными, так и с четырехполюсными автоматическими выключателями стационарного, втычного и выкатного исполнения. Расцепители изготовлены с применением электронных технологий, воздействуют непосредственно на выключатель с помощью расцепляющей катушки, поставляемой вместе с расцепителем дифференциального тока и устанавливаемой в специальное гнездо, расположенное слева от полюсов. Расцепители не требуют вспомогательного источника питания, поскольку получают питание непосредственно от сети. Они нормально работают даже если напряжение есть только между каким-либо фазным и нейтральным полюсами или между двумя фазными полюсами. Расцепители сохраняют работоспособность и в присутствии однонаправленных пульсирующих токов с постоянной составляющей (тип А).

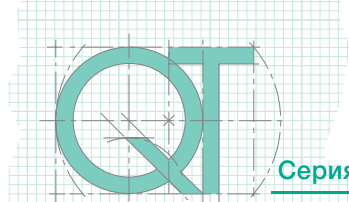
Расцепитель дифференциального тока RCsel допускает дистанционное отключение выключателя с помощью внешней кнопки с размыкающим контактом, что позволяет реализовать цепь принудительного аварийного отключения (АЕ).

Расцепители дифференциального тока RC222 для выключателей T4 и T5

С выключателями T4 и T5 четырехполюсного исполнения можно использовать расцепитель дифференциального тока RC222, который устанавливают под выключателем.

С помощью специального комплекта расцепитель дифференциального тока RC222 стационарного исполнения можно легко преобразовать во втычное устройство. Расцепитель RC222 является электронным устройством, воздействует на механизм выключателя с помощью расцепляющей катушки, которая поставляется в комплекте с расцепителем дифференциального тока и устанавливается в специальное гнездо, слева от полюсов выключателя. Расцепитель не требует вспомогательного источника питания, поскольку питается непосредственно от сети. Он нормально работает даже если напряжение есть только между каким-либо фазным и нейтральным полюсами или между двумя фазными полюсами. Расцепитель сохраняет работоспособность и в присутствии однонаправленных пульсирующих токов с постоянной составляющей.

Питание к расцепителю дифференциального тока RC222 можно подавать как сверху, так и снизу. Предусмотрено также отключение устройства от источника питания на время испытания изоляции. Расцепитель дифференциального тока RC222 допускает дистанционное отключение выключателя с помощью внешней кнопки с размыкающим контактом, что позволяет реализовать цепь принудительного аварийного отключения (АЕ).



Расцепитель дифференциального тока RC223 (тип В) для выключателей Tmax T4 и RC тип В для Tmax XT3

Наряду с описанными выше устройствами компания АББ поставляет также расцепитель дифференциального тока RC223 и RC (тип В), который может быть объединен с четырехполюсным автоматическим выключателем Tmax T4 стационарного или вытчного исполнения и четырехполюсным XT3 стационарного исполнения. Расцепитель этой модели имеет такие же характеристики, как и расцепитель RCsel, но отличается от них дополнительной функцией типа В, которая гарантирует чувствительность к дифференциальным токам с переменными, переменными пульсирующими и постоянными составляющими. Расцепитель дифференциального тока RC223 и RC тип В допускает дистанционное отключение выключателя с помощью внешней кнопки с размыкающим контактом, что позволяет реализовать цепь принудительного аварийного отключения (АЕ). Расцепители соответствуют требованиям следующих стандартов: МЭК 60947-1 (ГОСТ Р 50030.1), МЭК 60947-2 (ГОСТ Р 50030.2), приложение В и EN 60755.

Наряду с поддержкой сигналов и настроек устройства RC223 и RC тип В предоставляют также возможность задания максимальной уставки чувствительности в зависимости от частоты дифференциального тока (три значения: 400 – 700 – 1000 Гц). Благодаря этому расцепитель дифференциального тока можно адаптировать к различным требованиям промышленной электроустановки в соответствии с ожидаемыми частотами токов неисправности, проявляющихся на стороне нагрузки расцепителя. Типичные области применения, в которых может потребоваться поддержка частот, отличных от стандартной (50 – 60 Гц), – это сварочные установки для автомобильной промышленности (1000 Гц), текстильная промышленность (700 Гц), оборудование аэропортов и трехфазные приводы (400 Гц).

6.2.3 Электронные расцепители PR... для автоматических выключателей в литом корпусе и воздушных автоматических выключателей со встроенной защитой по дифференциальному току

В автоматические выключатели Emax и Tmax T7 можно установить (на заднюю панель) тороидальный трансформатор, что дает возможность обнаруживать дифференциальный ток и реализовать защиту от замыкания на землю.

Указанные функции выполняют следующие электронные расцепители:

- PR122/P LSI Rc и PR332 LSI Rc с измерительным модулем;
- PR122/P LSI G и PR332/P LSI G с измерительным модулем и калибратором защиты Rc;
- PR123/P LSI G и PR333/P LSI G с калибратором защиты Rc.

Расцепители PR332 и PR333, обеспечивающие защиту по дифференциальному току, могут поставляться с автоматическими выключателями Tmax T7 (только с PR332), Emax X1 в трех- и четырехполюсном исполнении, а расцепители PR122 и PR123, которые обеспечивают ту же функцию, поставляются с автоматическими выключателями Emax E1 и E2 в трех- и четырехполюсном исполнении и Emax E3 (только в трехполюсном исполнении).

Благодаря широкому диапазону настроек электронные расцепители данного типа подходят для применения в тех случаях, когда требуется координация выключателей с защитой от дифференциального тока, применяемых на разных уровнях распределения электроэнергии – от главного распределительного щита до конечного оборудования.

Таблица 3

Электрические характеристики		РАСЦЕПИТЕЛИ ТОКОВ УТЕЧКИ НА ЗЕМЛЮ				
		RC Sel 200 мм XT1	RC Inst XT1-XT3	RC Sel XT1-XT3	RC Sel XT2-XT4	RC Тип В XT3
Первичное рабочее напряжение	В	85...500	85...500	85...500	85...590	110...500
Рабочая частота	Гц	45...66	45...66	45...66	45...66	45...66
Частота тока повреждения	Гц	50-60	50-60	50-60	50-60	400-700-1000
Работоспособность схемы тестирования	В	85...500	85...500	85...500	85...500	110...500
Номинальный рабочий ток	А	до 160	до 160 XT1 до 250 XT3	до 160 XT1 до 250 XT3	до 160 XT2 ⁽²⁾ до 250 XT4 ⁽²⁾	до 255
Регулируемые пороги срабатывания	А	0,03-0,05-0,1-0,3 0,5-1-3-5-10	0,03-0,1-0,3 0,5-1-3	0,03-0,05-0,1-0,3 0,5-1-3-5-10	0,03-0,05-0,1-0,3 0,5-1-3-5-10	0,03-0,05-0,1 0,3-0,5-1
Селективный тип S		■	-	■	■	■
Регулируемая выдержка времени для НЕСрабатывания при 2хI _{Δn}	С	Мгновенное срабатывание 0,1-0,2-0,3-0,5-1-2-3	Мгновенное срабатывание	Мгновенное срабатывание 0,1-0,2-0,3-0,5-1-2-3	Мгновенное срабатывание 0,1-0,2-0,3-0,5-1-2-3	Мгновенное срабатывание 0-0,1-0,2-0,3-0,5-1-2-3
Потребляемая мощность		< 10 Вт при 500 В перем. тока	< 8 Вт при 500 В перем. тока	< 10 Вт при 500 В перем. тока	< 5 Вт при 500 В перем. тока	< 10 Вт при 500 В перем. тока
Отключающая катушка с переключающим контактом для сигнализации срабатывания		■	■	■	■	■
Вход для дистанционной команды размыкания		■	-	■	■	■
НО контакт для предаварийной сигнализации		■	-	■	■	■
НО контакт для аварийной сигнализации		■	-	■	■	■
Предаварийная индикация при токе от 25 % I _{Δn} . Непрерывное свечение желтого светодиода		■	-	■	■	■
Аварийная индикация временной задержки при токе 75 % I _{Δn} . Мигающий желтый светодиод ⁽¹⁾		■	-	■	■	■
Тип А для импульсного переменного тока, тип АС для переменного тока		■	■	■	■	■
Тип В для импульсного тока и при наличии постоянной составляющей		-	-	-	-	■

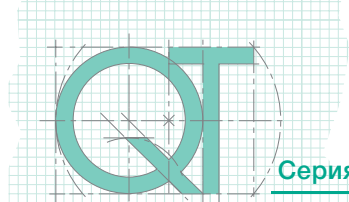
⁽¹⁾ Уровень 90% для I_{Δn} = 30 А.

⁽²⁾ Выкатная версия: для типоразмера 160 А максимальный допустимый ток составляет 135 А; для типоразмера 250 А максимальный допустимый ток составляет 210 А.

Таблица 4

Модель автоматического выключателя		RC223	
		T4 и T5 4p	T4 4p
Тип характеристики		Располагаемый снизу	Располагаемый снизу
Технология		микропроцессорная	микропроцессорная
Управление		с помощью катушки	с помощью катушки
Рабочее напряжение первичной обмотки ⁽¹⁾	В	85...500	110...440
Рабочая частота	Гц	45...66	0-1000
Автономное питание		■	■
Рабочий диапазон напряжения проверки ⁽¹⁾	В	85...500	110...500
Номинальный рабочий ток	А	до 500 А	до 250 А
Номинальный рабочий дифференциальный ток	А	0,03 - 0,05 - 0,1 0,3 - 0,5 - 1 - 3 - 5 - 10	0,03 - 0,05 - 0,1 0,3 - 0,5 - 1
Время задержки срабатывания	С	Мгновенная защита - 0,1 - 0,2 - 0,3 - 0,5 - 1 - 2 - 3	Мгновенная защита - 0 - 0,1 - 0,2 - 0,3 - 0,5 - 1 - 2 - 3
Допустимое отклонение времени срабатывания		±20%	±20%
Локальная сигнализация срабатывания		■	■
Расцепляющая катушка с переключающим контактом для сигнализации срабатывания		■	■
Вход для дистанционного отключения		■	■
Замыкающий контакт для предупредительной сигнализации		■	■
Замыкающий контакт для аварийной сигнализации		■	■
Индикация предупредительного состояния от 25 % I _{Δn} (допустимое отклонение ± 3 %)		■	■
Индикация времени неисправности при 75 % I _{Δn} (допустимое отклонение ± 3 %)		■	■
Автоматический сброс устройства защиты		■	■
Тип "А" для пульсирующего переменного тока, "АС" для переменного тока		■	■
Тип "АЕ" для дистанционного управления расцепителем		■	■
Тип "В" для пульсирующего и постоянного тока		■	■
Тип "S" с селективной защитой		■	■
Кнопка для испытания изоляции		■	■
Подача питания сверху и снизу		■	■
Установка вместе с трехполюсными автоматическими выключателями		■	■
Установка вместе с четырехполюсными автоматическими выключателями		■	■
Комплект для преобразования автоматического выключателя с расцепителем дифференциального тока из стационарного во втычное/выкатное исполнение		■	■

⁽¹⁾ Оперирование при напряжении между фазным и нейтральным проводниками до 50 В (55 В для RC223)



Данные электронные расцепители для защиты по дифференциальному току срабатывают при наличии:
 – переменного тока замыкания на землю (тип АС);
 – переменного и/или пульсирующего тока замыкания на землю с постоянной составляющей (тип А).
 В следующей таблице приведены основные технические характеристики защиты по дифференциальному току:

Таблица 5

Чувствительность $I_{\Delta n}$	А	3 - 5 - 7 - 10 - 20 - 30
Время срабатывания	с	0,06 - 0,1 - 0,2 - 0,3 - 0,4 - 0,5 - 0,8
Тип	АС и А	

6.2.4 Реле дифференциального тока с внешним трансформатором

Автоматические выключатели АББ можно объединить с реле дифференциального тока RCQ020A и RCQ020/P и RD2 с внешним тороидальным трансформатором (для внешней установки на линейные проводники). Такое решение может понадобиться в условиях ограниченного монтажного пространства, например, когда автоматический выключатель уже установлен и недостаточно места в отсеке автоматического выключателя и т. д. Благодаря возможности настройки характеристик дифференциального тока и времени срабатывания, указанные реле дифференциального тока с внешним трансформатором можно легко установить на заключительном этапе оснащения электроустановки. В частности, задание номинального рабочего дифференциального тока $I_{\Delta n} = 0,03 \text{ A}$ с мгновенным срабатыванием позволяет с помощью автоматического выключателя обеспечить защиту при косвенном прикосновении и дополнительно защищать персонал от прямого прикосновения, в том числе и при наличии большого сопротивления цепи заземления (например, в систе-

Таблица 6

Реле дифференциального тока		RCQ020A и RCQ020/P	
Напряжение питания	Перем., В	80...500	
	Пост., В	48...125	
Рабочая частота	Гц	45+66	
Регулируемая уставка срабатывания $I_{\Delta n}$	Первый диапазон настроек/уставок	А	0,03 - 0,05 - 0,1 - 0,3 - 0,5
	Второй диапазон настроек/уставок	А	1 - 3 - 5 - 10 - 30
Регулируемая задержка срабатывания	с	0 - 0,1 - 0,2 - 0,3 - 0,5 - 0,7 - 1 - 2 - 3 - 5	
Регулируемая уставка предупредительного состояния	% x $I_{\Delta n}$	25...75 % x $I_{\Delta n}$	
Рабочий диапазон неразъемного трансформатора	Тороидальный трансформатор $\varnothing 60$, мм	А	0,03...30
	Тороидальный трансформатор $\varnothing 100$, мм	А	0,03...30
	Тороидальный трансформатор $\varnothing 185$, мм	А	0,1...30
Рабочий диапазон разъемного трансформатора	Тороидальный трансформатор $\varnothing 110$, мм	А	0,3...30
	Тороидальный трансформатор $\varnothing 180$, мм	А	0,3...30
	Тороидальный трансформатор $\varnothing 230$, мм	А	1...30
Сигнализация достижения значения предупредительного состояния	Мигает желтый светодиод, срабатывает 1 замыкающий сигнальный контакт, 6 А, 250 В, 50/60 Гц		
Сигнализация срабатывания реле дифференциального тока	Желтый механический индикатор, срабатывает переключающий контакт, 6 А, 250 В, 50/60 Гц		
Дистанционное отключение	Замыкающий контакт. Задержка срабатывания 15 мс		
Подключение к тороидальному трансформатору	С помощью 4 витых проводников. Максимальная длина 5 м		
Размеры Д x В x Г	мм	96 x 96 x 131,5	
Монтажные отверстия на двери	мм	92 x 92	

мах ТТ). Такие реле дифференциального тока являются устройствами косвенного действия: размыкающий контакт реле вызывает срабатывание автоматического выключателя за счет размыкания цепи независимого расцепителя (предоставляется заказчиком).

Электронные реле дифференциального тока RCQ для распределительных устройств

Автоматические выключатели System Pro M compact, автоматические выключатели Tmax и Tmax XT в литом корпусе и воздушные автоматические выключатели Emax можно объединить с электронным реле дифференциального тока RCQ020A и RCQ020/P для распределительных устройств. Данные реле имеют внешний тороидальный трансформатор (для установки на линейных проводниках) и имеют уставки срабатывания до 30 А, а время срабатывания до 5 с. Благодаря широкому диапазону настроек электронные реле дифференциального тока RCQ для распределительных устройств подходят для применения в тех случаях, когда требуется координация системы с защитой по дифференциальному току с аппаратами защиты разных уровней распределения электроэнергии – от главного распределительного щита до конечного оборудования. Применение данных реле особенно рекомендуется для защиты по дифференциальному току с низкой чувствительностью, например, при частичной токовой селективности или при полной временной селективности, а также для систем с повышенной чувствительностью (физиологическая чувствительность) в качестве дополнительной защиты персонала от прямого прикосновения. Реле дифференциального тока RCQ относятся к типу А, т. е. способны обнаруживать дифференциальные токи, как переменные, так и пульсирующие с постоянной составляющей.

Реле дифференциального тока RD2

Как уже было отмечено, модульные автоматические выключатели Pro M compact и небольшие автоматические выключатели Tmax в литом корпусе можно объединить с реле дифференциального тока RD2 с внешним тороидальным трансформатором (для установки на линейных проводниках). Уставка срабатывания до 2 А, время срабатывания до 5 с.

Применение реле дифференциального тока RD2 аналогично применению описанного выше реле RCQ. В частности они рекомендуются для обеспечения защиты по дифференциальному току с низкой чувствительностью, например, при частичной токовой селективности или при полной временной селективности, а в системах с повышенной чувствительностью (физиологическая чувствительность) для дополнительной защиты персонала от прямого прикосновения.

Реле дифференциального тока RD2 являются устройствами типа А, т. е. способны обнаруживать дифференциальные токи, как переменные, так и однонаправленные пульсирующие. С помощью DIP-переключателей можно настроить время срабатывания и чувствительность. Реле RD2 можно крепить непосредственно на DIN-рейку.

Технические характеристики		
Рабочее напряжение	В	230-400 В пер. тока (RD2) 48-150 В пер./пост. тока (RD2-48)
Частота	Гц	50/60
Уставка чувствительности $I_{\Delta n}$	А	0,03; 0,1; 0,3; 0,5; 1; 2
Уставка задержки срабатывания	с	Мгновенное; 0,3; 0,5; 1; 2; 5
Коммутирующая способность контакта	А	10 при 250 В пер. тока (активная нагрузка)
Тип контакта		Переключающий
Рабочая температура	°С	-5...+40 ±5
Модули	кол-во	2
Стандарты		МЭК/EN 62020

6.3 Решения с функцией защиты G

В диапазоне номинальных токов от 10 до 6300 А защита от замыкания на землю осуществляется с помощью автоматических выключателей АББ с электронным расцепителем:

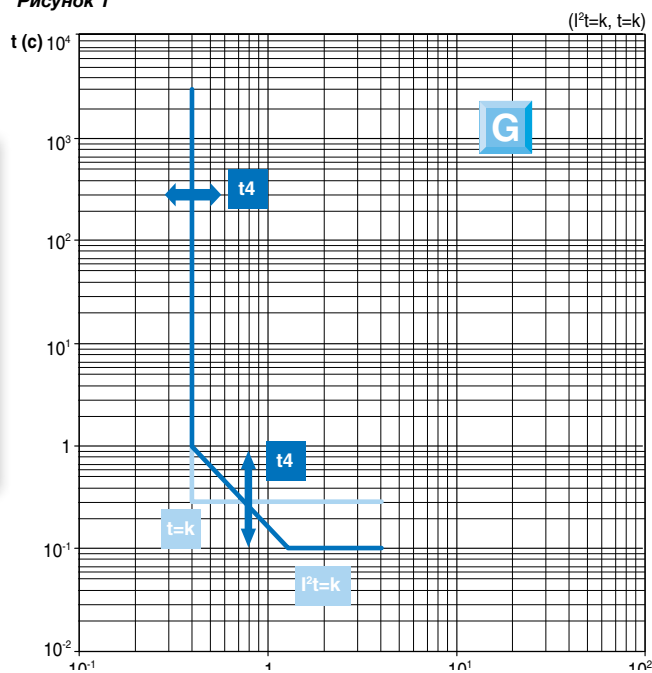
- PR222DS/P (PR222DS/PD), PR223DS и PR223EF для автоматических выключателей Tmax T4, T5 и T6 в литом корпусе с номинальным длительным током от 100 до 1000 А и Ekip LSIg, Ekip M-LRIU и Ekip E для новой серии автоматических выключателей в литом корпусе Tmax XT с номинальными токами от 10 до 250А;
- PR331 и PR332 для автоматических выключателей Tmax T7 в литом корпусе с номинальным током от 800 до 1600 А;
- PR331, PR332 и PR333 для воздушных автоматических выключателей Emax X1 с номинальным током от 630 до 1600 А;
- PR121/P, PR122/P и PR123/P для воздушных автоматических выключателей Emax с номинальным током от 400 до 6300 А.

Указанные расцепители могут быть снабжены функцией G для защиты от замыкания на землю с обратной зависимой или с независимой задержкой срабатывания. Все технические характеристики подробно описаны в технических каталогах. Возможные настройки представлены в следующей таблице:

Таблица 7

		I_4	t_4
PR222 Ekip	$I^2t=k$	0,2 – 0,25 – 0,45 – 0,55 – 0,75 – 0,8 – 1 × I_n ручная настройка	0,1 с, 0,2 с, 0,4 с, 0,8 с ручная настройка
		0,2...М (шаг 0,1 × I_n) электронная настройка	0,1...0,8 с (шаг 0,01 с) электронная настройка
PR223	$I^2t=k$	0,2...1 × I_n (шаг 0,1 × I_n)	0,1...0,8 с (шаг 0,01 с) электронная настройка
PR331	$I^2t=k - t=k$	0,2 – 0,3 – 0,4 – 0,6 – 0,8 – 0,9 – 1 × I_n	0,1 с, 0,2 с, 0,4 с, 0,8 с
PR332 – PR333	$I^2t=k - t=k$	0,2...1 × I_n (шаг 0,02 × I_n)	0,1...1 с (шаг 0,05 с)
PR121	$I^2t=k - t=k$	0,2 – 0,3 – 0,4 – 0,6 – 0,8 – 0,9 – 1 × I_n	0,1 с, 0,2 с, 0,4 с, 0,8 с
PR122 – PR123	$I^2t=k - t=k$	0,2...1 × I_n (шаг 0,02 × I_n)	0,1...1 с (шаг 0,05 с)

Рисунок 1



Расцепители АББ являются микропроцессорными, что позволяет обеспечить высокую надежность, точность срабатывания и невосприимчивость к внешней среде. Микропроцессорные расцепители имеют автономное питание и гарантируют надлежащую работу функций защиты даже в том случае, если ток проходит хотя бы по одному линейному полюсу. В состав расцепителя PR... и Ekip входят трансформаторы тока (три или четыре в зависимости от количества полюсов автоматического выключателя) и катушка отключения, воздействует непосредственно на механизм автоматического выключателя. Электропитание всех устройств защиты и сигнализации выполняется от трансформаторов тока.

Преимущества применения электронных расцепителей для защиты при косвенном прикосновении

В качестве примера рассмотрена защита при косвенном прикосновении к открытой проводящей части групповой нагрузки сети в системе TN-S.

Характеристики электроустановки:

- трехфазная система без нейтрали
- распределительная система TN-S
- напряжение 400 В
- частота 50 Гц
- ток короткого замыкания $I_k = 30$ кА
- длина линии $L = 200$ м
- ток нагрузки $I_b = 187$ А
- одножильные медные кабели с ПВХ изоляцией
- сечение фазного кабеля $S = 95$ мм²
- сечение защитного кабеля $S_{PE} = 50$ мм²
- допустимый длительный ток кабеля $I_z = 207$ А

Сначала выбираются автоматические выключатели ХТЗН250 $I_n = 200$ А с термомангнитным расцепителем и ХТ4Н250 $I_n = 250$ А с электронным расцепителем Екiр LSIГ т. к. они подходят по номинальному току, отключающей способности и обеспечивают защиту кабеля от короткого замыкания и перегрузки. После этого необходимо определить максимально допустимую длину кабеля при которой выполняется защита при косвенном прикосновении¹. Для этого выполняется анализ характеристик автоматического выключателя с термомангнитным расцепителем и выключателя с электронным расцепителем. В процессе проверки необходимо найти такую допустимую длину кабеля, при которой с одной стороны устройство защиты от короткого замыкания срабатывало своевременно, а с другой стороны выполнялась защита при косвенном прикосновении. Максимальная допустимая длина кабеля при которой обеспечивается защита при косвенном прикосновении, может быть рассчитана по следующей формуле (выведена на основе закона Ома, примененного к неисправной цепи):

$$L_{max} = \frac{0,8 \cdot U_0}{1,5 \cdot \rho \cdot (1+m) \cdot \frac{I_a}{S}}$$

где

U_0 – фазное напряжение в вольтах (230 В);

0,8 – коэффициент, учитывающий 80 %-ное снижение

¹ Проверка максимальной защищенной длины осуществляется на основе выражения, описывающего параметры защиты при косвенном прикосновении в TN системе $Z_e \cdot I_a \leq U_0$ и зависящего от длины кабеля. Используя в формуле минимальное значение тока, который вызывает мгновенное срабатывание автоматического выключателя, можно получить максимальную длину, соответствующую минимальному току короткого замыкания между фазным проводником и землей, который может быть устранен автоматическим выключателем за короткое время, что обеспечивает защиту при косвенном прикосновении.

напряжения питания из-за влияния токов короткого замыкания;

1,5 – коэффициент, учитывающий увеличение сопротивления во время короткого замыкания;

ρ – удельное сопротивление материала проводника при 20 °С (0,018 Ом мм²/м для меди);

m – отношение сечения фазного к сечению защитной жилы;

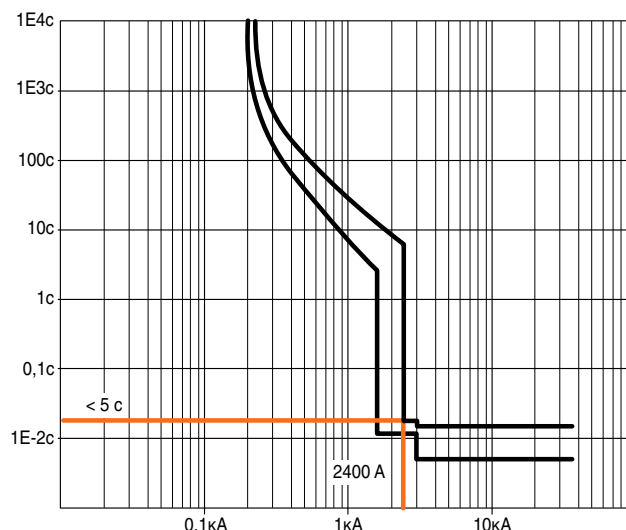
I_a – ток, вызывающий срабатывание автоматического выключателя в пределах промежутка времени, заданного стандартом плюс допустимое отклонение (обычно 20 %);

S – сечение фазной жилы.

Автоматический выключатель ХТЗН250 In 200 А с термомангнитным расцепителем

- Номинальный ток $I_n = 200$ А
- Диапазон уставок теплового расцепителя $I_1 = 140 - 200$ А
- Ток срабатывания в течение 5 сек $I_a = 2400$ А
- Допустимое отклонение для тока срабатывания ± 20 %

Рисунок 2



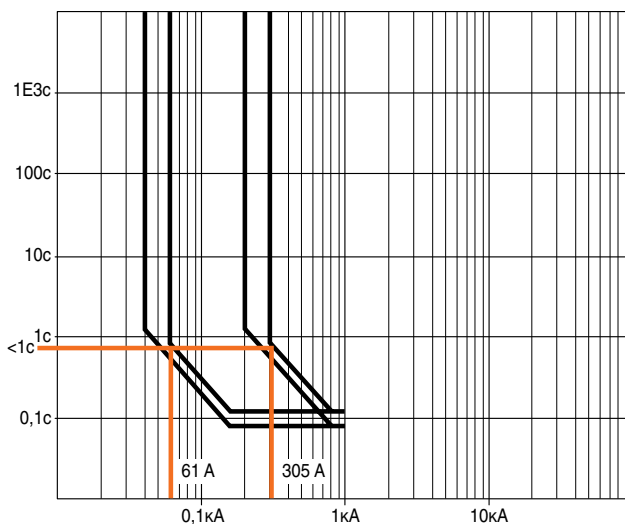
На основании формулы получается следующий результат:

$$L_{max} = (0,8 \cdot 230 \cdot 95) / [1,5 \cdot 0,018 \cdot (1 + 95/50) \cdot 2400] = 93 \text{ м}$$

Длина кабеля составляет 200 м и, следовательно, защита обеспечивается не полностью.

Автоматический выключатель XT4N250 с электронным расцепителем Ekip LSIG

Номинальный ток	$I_n = 250 \text{ A}$
Диапазон настройки функции G	$I_4 = 50 - 250 \text{ A}$
Ток срабатывания в течение 5 с при минимальной настройке	$I_a = 61 \text{ A}$ при $I_4 = 50 \text{ A}$
Ток срабатывания в течение 5 с при максимальной настройке	$I_a = 305 \text{ A}$ при $I_4 = 250 \text{ A}$
Допустимое отклонение для тока срабатывания	$\pm 10\%$

Рисунок 3

В соответствии с формулой получается следующий результат:

$$L_{\max} = (0,8 \cdot 230 \cdot 95) / [1,5 \cdot 0,018 \cdot (1 + 95/50) \cdot 61] = 3659 \text{ м}$$

при $I_4 = 50 \text{ A}$

и

$$L_{\max} = (0,8 \cdot 230 \cdot 95) / [1,5 \cdot 0,018 \cdot (1 + 95/50) \cdot 305] = 731 \text{ м}$$

при $I_4 = 250 \text{ A}$

Таким образом, можно сделать вывод, что, благодаря использованию электронного расцепителя, обеспечивается защита цепи при полной длине кабеля, составляющей 200 м.

Защита реализуется путем регулирования настройки функции G в диапазоне от 50 до 250 А. Такой широкий спектр возможностей и довольно низкие значения настройки токов позволяют упростить координацию устройств защиты, раскрывая весь потенциал преимуществ использования средств защиты от замыкания на землю с целью обеспечения безопасности персонала и увеличения надежности оборудования.

6.4 Функция защиты G или защита по дифференциальному току?

Как описано в предыдущих главах, АББ предлагает два способа защиты от замыкания на землю:

- с помощью устройств дифференциального тока, объединяемых с автоматическими выключателями;
- с помощью функции защиты от замыкания на землю (функция G), интегрированной в электронный расцепитель автоматического выключателя.

В устройствах защиты по дифференциальному току используется тороидальный трансформатор, установленный на токоведущие проводники цепи. При наличии замыкания на землю векторная сумма токов, протекающих по проводникам, проходящим сквозь тороидальный трансформатор, не равна нулю. Как только указанная сумма превысит заданное предельное значение, устройство защиты сработает. Расцепители, управляемые дифференциальным током АББ позволяют задавать уставку тока срабатывания в пределах от 30 мА до 30 А с задержкой от 0 (мгновенное расцепление) до 5 с (более подробная информация приведена в техническом каталоге).

Принцип действия функции G аналогичен принципу действия устройства защиты по дифференциальному току с той лишь разницей, что векторная сумма токов контролируется микропроцессором и отсутствует тороидальный трансформатор. Функция G расцепителей АББ позволяет задать уставку тока срабатывания в пределах от 0,2 до 1 от номинального тока используемого совместно расцепителя, а время задержки в пределах от 0,1 до 1 с (более подробная информация приведена в техническом каталоге).

Решение о выборе устройства защиты должно быть основано на тщательном анализе не только распределительной системы, но также и значениях тока короткого замыкания. Основное требование стандарта состоит в том, что автоматический выключатель должен обнаруживать и отключать ток неисправности за время, позволяющее избежать вредное воздействие тока.

6.4.1 Типичные области применения автоматических выключателей, управляемых дифференциальным током

Автоматические выключатели, управляемые дифференциальным током, применяются для защиты людей при косвенном прикосновении и обеспечивают дополнительную защиту от прямого прикосновения. Использование автоматических выключателей, управляемых

дифференциальным током, для защиты при косвенном прикосновении должно быть обязательным, например, в следующих случаях:

- в распределительной системе ТТ: как уже было отмечено, аварийный ток возвращается к источнику питания через землю и имеет очень малое значение относительно значения тока мгновенного срабатывания выключателя с термомангнитным расцепителем;
- заземление открытых проводящих частей является неудовлетворительным.

Однако реализация этих защитных функций может быть необходимой или полезной также и в других случаях, например, в системах с одним заземляющим устройством (система TN-S), если выполняется одно из следующих условий:

- используемых устройств защиты не достаточно для обеспечения уровня защиты в соответствии с требованиями стандартов;
- наличие опасных условий окружающей среды (например, повышенной влажности);
- значения аварийных токов и полного сопротивления контура замыкания не являются пренебрежимо малыми.

Ниже перечислены некоторые из объектов, на которых рекомендуется использовать автоматические выключатели указанного типа:

- все виды строительных площадок (здания, морские сооружения и т. д.);
- передвижное оборудование или электроустановки;
- больницы, в том числе операционные залы;
- карьеры и шахты;
- электроустановки кемпингов;
- бассейны, сауны, предприятия общественного питания и другие помещения с высоким уровнем влажности;
- осветительные системы аквариумов и фонтанов;
- сельскохозяйственные помещения;
- специализированные лаборатории;
- школьные лаборатории.

Кроме того, автоматические выключатели, управляемые дифференциальным током, используются для защиты электроустановок от опасности возникновения пожара или взрыва, а также в тех случаях, когда ток утечки может привести к материальному ущербу, например, на следующих объектах:

- химические заводы;
- помещения с запыленной средой или горючими материалами;
- нефтеперерабатывающие заводы;
- установки для подготовки газа;
- электроустановки аккумуляторнозарядных станций.

6.4.2 Типичные области применения автоматических выключателей в литом корпусе и воздушных автоматических выключателей с функцией защиты G от замыкания на землю

Воздушные автоматические выключатели и автоматические выключатели в литом корпусе, с функцией G, в настоящее время используются для защиты трансформаторов СН/НН трансформаторной подстанции и линий распределительной сети.

Функция G, как правило, выполняется с небольшой задержкой, что обеспечивает селективность срабатывания относительно устройств дифференциального тока, защищающих цепи нагрузки. Помимо областей применения, для которых требуется обязательное наличие расцепителя дифференциального тока, функция G может быть использована для защиты при косвенном прикосновении, если это разрешено условиями эксплуатации, а также для улучшения качества защиты от замыкания на землю, реализуемой устройствами защиты от токов короткого замыкания и перегрузки.

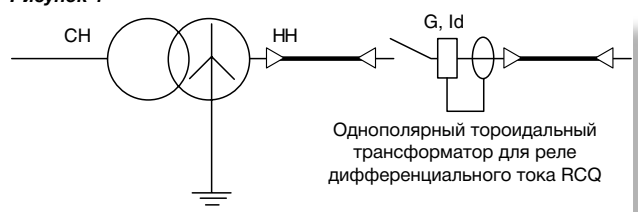
6.5 Усовершенствованные системы защиты от замыкания на землю

6.5.1 Общие положения

В типичной линии, состоящей из трансформатора, кабеля и вводного автоматического выключателя, можно выделить три зоны, отличающиеся местом возникновения неисправности. В рассматриваемой линии может применяться защита трех типов:

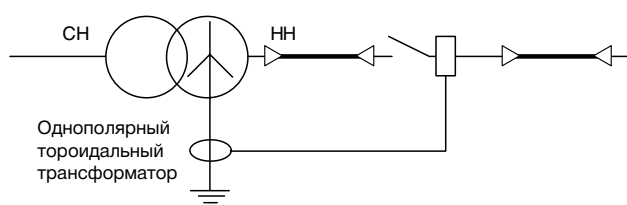
1. Неограниченная защита от замыкания на землю (UEFP) представляет собой защиту от замыкания на землю, которое может произойти на вторичной обмотке трансформатора, после автоматического выключателя. Защита этого типа (рис. 4), уже рассматривалась в предыдущих главах. Она реализуется с помощью автоматического выключателя с функцией G, автоматического выключателя с расцепителем, управляемым дифференциальным током (RC...), или автоматическим выключателем защиты фазных проводников от сверхтока, который сработает от большого тока замыкания на землю.

Рисунок 4



2. Возврат тока замыкания на землю через заземлитель – тип защиты, который также называют «резервной защитой от замыкания на землю» (SEFP), является защитой от замыкания на землю, которое может произойти на стороне вторичной обмотки трансформатора, как до, так и после автоматического выключателя. Такая защита реализуется с помощью однополярного тороидального трансформатора, установленного на проводнике заземления нейтрали трансформатора (см. рисунок ниже).

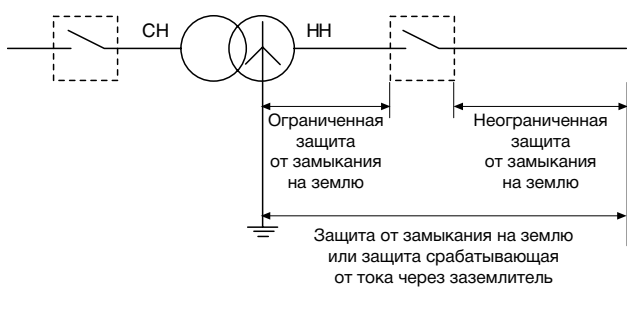
Рисунок 5



3. Ограниченная защита от замыкания на землю (REFP) представляет собой защиту от замыкания на землю в цепи вторичной обмотки трансформатора, до автоматического выключателя.

Ниже на рисунке показаны все три возможные области замыкания на землю.

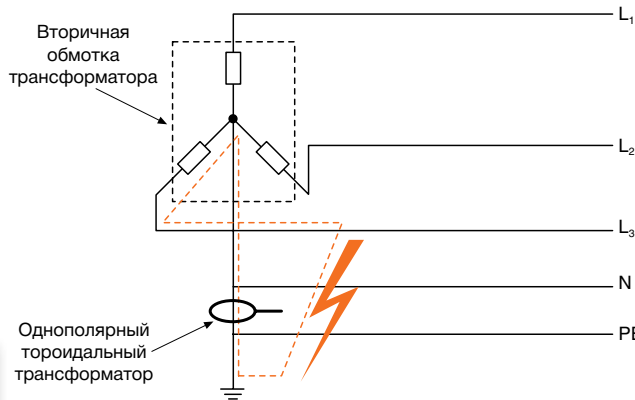
Рисунок 6



6.5.2 Возврат тока через заземлитель

Защита типа «Возврат тока через заземлитель» представляет собой защиту от замыкания на землю, которое происходит в цепи нагрузки вторичной обмотки трансформатора СВ/НВ как до, так и после автоматического выключателя. Такая защита реализуется с помощью однополярного тороидального трансформатора, установленного на проводник заземления нейтрали вторичной обмотки трансформатора.

Рисунок 7



Таким образом, тороидальный трансформатор в состоянии обнаружить:

- ток замыкания между фазным и PE-проводниками;
- ток замыкания между фазным и заземляющим проводниками;
- ошибку электромонтажа (например, если однофазная нагрузка подключена между фазным и PE-проводником);
- присоединение к земле нейтрального проводника в точках, отличных от нейтрали вторичной обмотки трансформатора.

Электронные расцепители АББ моделей PR122, PR123, PR332 и PR333 для воздушных автоматических выключателей Emax и Emax X1 можно применять с внешним тороидальным трансформатором, установленным на проводнике заземления нейтрали вторичной обмотки трансформатора. Номинальный ток тороидального трансформатора может составлять 100, 250, 400 и 800 А, благодаря чему уставка защиты от замыкания на землю (функция G) не зависит от размера первичной обмотки трансформаторов тока, установленных на линейных полюсах автоматического выключателя.

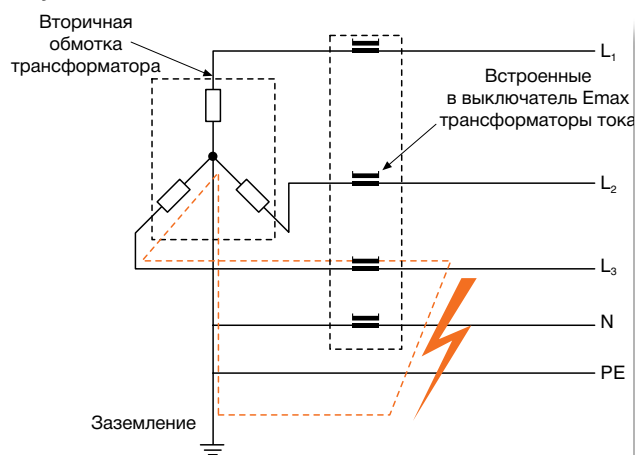
6.5.3 Ограниченная защита от замыкания на землю

Ограниченная защита от замыкания на землю (REFP) представляет собой защиту от замыкания на землю, произошедшего в цепи нагрузки вторичной обмотки трансформатора до автоматического выключателя¹. Автоматические выключатели серии Emax с электронным расцепителем PR123 или PR333 (Emax X1), обеспечивают две независимые характеристики защиты G: одна для внутренней защиты (функция G без применения внешнего тороидального трансформатора), другая для внешней защиты (функция G с внешним тороидальным трансформатором, как описано в предыдущем пункте). Две функции G одновременно

обеспечивает защиту электроустановки от замыкания на землю в цепи вторичной обмотки трансформатора до автоматического выключателя (ограниченная защита от замыкания на землю) и защиту от замыкания на землю после автоматического выключателя (вне зоны действия ограниченной защиты от замыкания на землю).

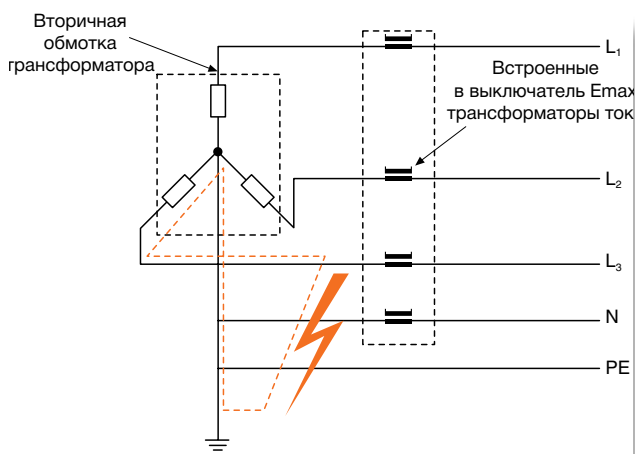
На следующем рисунке показан пример замыкания на землю на стороне нагрузки автоматического выключателя Emax: ток замыкания проходит только по одному фазному проводнику, и, если векторная сумма токов, контролируемая четырьмя трансформаторами тока, превышает уставку, электронный расцепитель выполняет функцию G (срабатывает автоматический выключатель).

Рисунок 8



При той же конфигурации замыкание на стороне питания автоматического выключателя (рис. 9) не вызывает активации функции G, так как ток замыкания не влияет на трансформаторы тока ни фазного, ни нейтрального проводника.

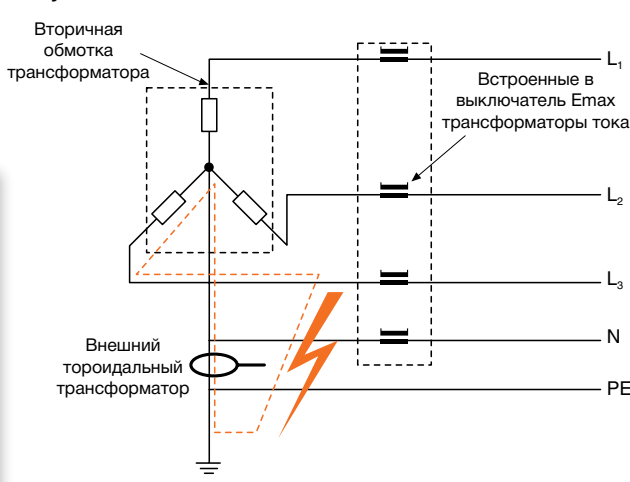
Рисунок 9



¹ Возможны затруднения при реализации защиты цепей среднего напряжения от замыкания этого типа, особенно, если используется трансформатор с обмотками, соединенными по схеме треугольник - звезда, так как ток замыкания между фазным проводником и землей или фазным проводником и нейтралью вторичной обмотки уменьшается в $\sqrt{3}$ раз.

Использование двух функций G позволяет установить внешний тороидальный трансформатор так, как показано на следующем рисунке. В результате можно обнаружить также замыкание до автоматического выключателя Emax. В этом случае контакт аварийной сигнализации второй функции G используется для обеспечения срабатывания автоматического выключателя, и отключения неисправной цепи.

Рисунок 10



Если в схеме, показанной на рисунке, произойдет замыкание после автоматического выключателя Emax, то ток замыкания будет воздействовать как на внешний тороидальный трансформатор, так и на трансформаторы тока, установленные на фазных проводниках. Чтобы определить, какой автоматический выключатель должен сработать (СН или НН), требуется соответствующая координация времени срабатывания: в частности, необходимо выбрать задержки таким образом, чтобы отключение автоматического выключателя на стороне НН от воздействия внутренней функции G происходило раньше поступления аварийного сигнала от внешнего тороидального трансформатора.

Таким образом, благодаря координации время-токовых характеристик двух защитных функций G, до того как автоматический выключатель цепи СН (т. е. первичной обмотки трансформатора) получит команду на срабатывание, автоматический выключатель в цепи НН срабатывает от возникновении замыкания на землю. Очевидно, что если произойдет замыкание на стороне НН до автоматического выключателя, то сработает только автоматический выключатель на стороне СН.

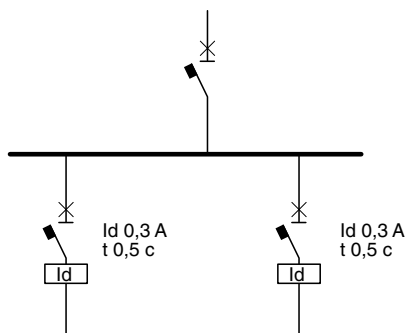
7 Селективность срабатывания устройств защиты от замыкания на землю

Стандарт МЭК 60364-5-53 (Серия стандартов ГОСТ Р 50571 "Электроустановки зданий") рекомендует обеспечивать селективность срабатывания последовательно соединенных устройств защиты управляемых дифференциальным током. Это позволяет обеспечить бесперебойность электропитания частей электроустановки, не затронутых возникшей неисправностью. Такая селективность может быть достигнута путем координации характеристик устройств дифференциального тока, при которой электропитание будет отключено только от устройств, расположенных вблизи места возникновения неисправности.

Данный метод, называемый координацией устройств дифференциального тока, можно разделить на два типа:

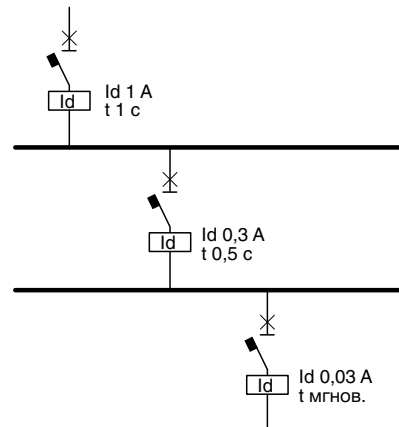
1. Горизонтальная координация устройств дифференциального тока (рисунок 1). Заключается в защите каждой отдельной линии собственным автоматическим выключателем, управляемым дифференциальным током. В этом случае отключается питание только той отходящей линии, в которой произошло замыкание на землю, поскольку дифференциальный ток данной линии не оказывает воздействия на остальные, управляемые дифференциальным током автоматические выключатели данного горизонтального уровня. При этом необходимо также обеспечить защиту в случае косвенного прикосновения к открытым частям распределительного устройства и электроустановки при возникновении замыкания на землю выше данного устройства дифференциального тока.

Рисунок 1. Горизонтальная координация устройств дифференциального тока



2. Вертикальная координация устройств дифференциального тока (рисунок 2). Обеспечивается при последовательном подключении автоматических выключателей, управляемых дифференциальным током.

Рисунок 2. Вертикальная координация устройств дифференциального тока



В соответствии с МЭК 60364-5-53 (Серия стандартов ГОСТ Р 50571 «Электроустановки зданий») для обеспечения селективности срабатывания двух последовательно включенных устройств дифференциального тока необходимо выполнить два условия:

- время-токовая характеристика устройства защиты управляемого дифференциальным током, расположенного на стороне источника питания, должна в зоне несрабатывания располагаться выше время-токовой характеристики устройства защиты управляемого дифференциальным током, расположенного на стороне нагрузки;
- номинальный отключающий дифференциальный ток устройства, расположенного на стороне источника питания, должен быть выше аналогичного параметра устройства защиты управляемого дифференциальным током, расположенного на стороне нагрузки.

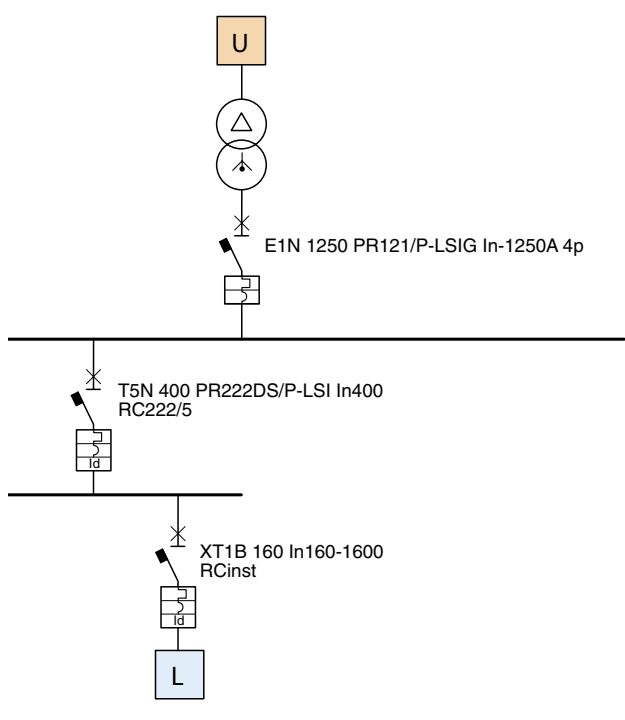
Время-токовая характеристика в зоне несрабатывания является кривой, отображающей максимальную задержку, в течение которой дифференциальный ток, значение которого выше номинального неотключающего дифференциального тока (равного $0,5 I_{\Delta n}$) протекает через автоматический выключатель дифференциального тока, не вызывая его срабатывания.

Таким образом, для обеспечения координации двух последовательно соединенных устройств дифференциального тока, должны быть выполнены следующие условия:

- Если на стороне питания установлен автоматический выключатель управляемый дифференциальным током с задержкой срабатывания (тип S), то в соответствии с требованием стандартов МЭК 61008-1 (ГОСТ Р 51326.1-99 «Выключатели автоматические, управляемые дифференциальным током, бытового и аналогичного назначения без встроенной защиты от сверхтоков. Часть 1. Общие требования и методы испытаний.») и МЭК 61009 (ГОСТ Р 51327.1-2010 «Выключатели автоматические, управляемые дифференциальным током, бытового и аналогичного назначения со встроенной защитой от сверхтоков. Часть 1. Общие требования и методы испытаний.») на стороне нагрузки необходимо установить неселективный автоматический выключатель, у которого чувствительность $I_{\Delta n}$ в три раза меньше;
- Если применяются электронные расцепители дифференциального тока (RCinst, RCsel, RC223 и RC тип B, RCQ и RD2), то время срабатывания и токи, проходящие через устройство, на стороне питания должно быть выше, чем у устройств на стороне нагрузки с учетом допустимых отклонений.

На следующем примере (рисунок 3) показана часть электроустановки с тремя последовательно соединенными автоматическими выключателями с расцепителями дифференциального тока и электронными

Рисунок 3



расцепителями с функцией G для защиты от замыкания на землю. Установлены следующие автоматические выключатели:

- E1N 1250 PR121/P-LSIG $I_n=1250$ A 4p
- T5N 400 PR222DS/P-LSI $I_n = 400$ A с устройством дифференциального тока RC222
- XT1B 160 TMD $I_n = 160$ A с устройством дифференциального тока RCinst

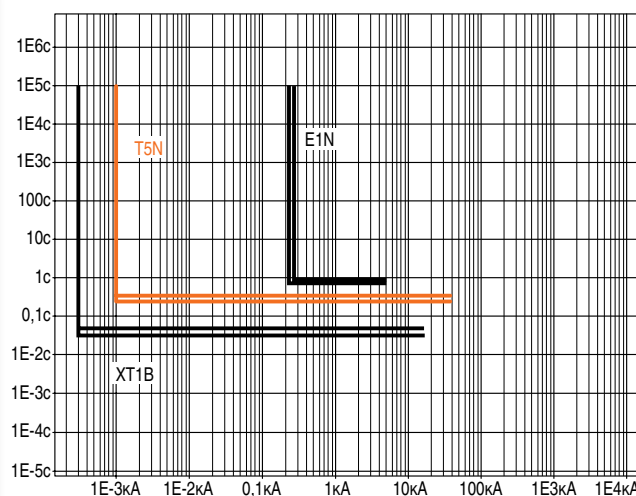
Для обеспечения координации с автоматическими выключателями, управляемыми дифференциальным током, необходимо при настройке тока срабатывания и задержки срабатывания учесть допустимые отклонения. Выполнение требования стандартов, касающихся срабатывания защиты при косвенном прикосновении должно быть проверено для каждого автоматического выключателя.

Возможные настройки для обеспечения селективности срабатывания:

- E1N 1250
G (замыкание на землю): $t = \text{пост.} - \text{ток} - 250$ А – время 0,8 с
- T5N 400
RC: Ток 1 А – время 0,3 с
- XT1B 160
RC: Ток 0,3 А – время – без задержки

Время-токовые характеристики, относящиеся к указанным настройкам, представлены на рисунке 4:

Рисунок 4

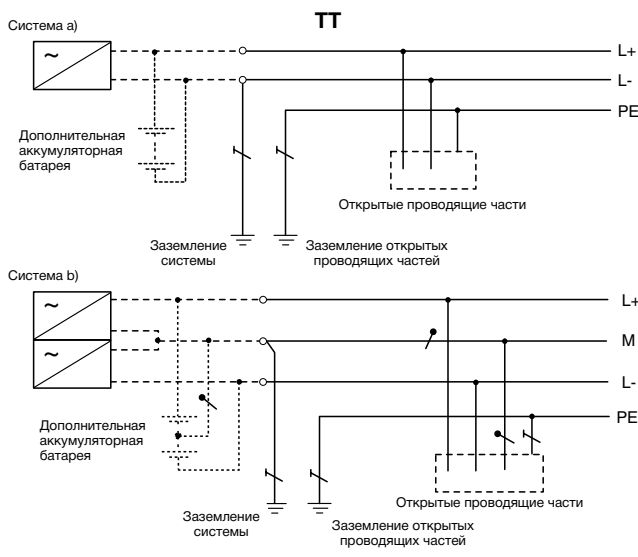


Приложение А

Системы питания постоянного тока

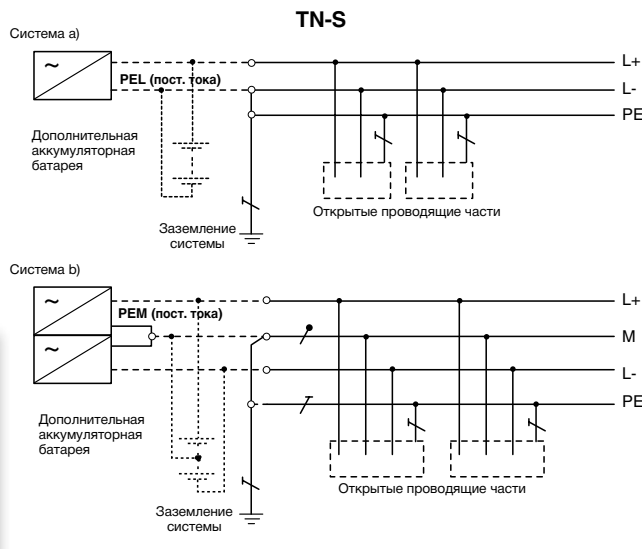
Типы заземления систем постоянного тока определены стандартом МЭК 60364-1 (ГОСТ Р 50571.1-2009 «Электроустановки низковольтные. Часть 1. Основные положения, оценка общих характеристик, термины и определения.») аналогично типам заземления систем переменного тока:

Система TT. Полюсы сети и открытые проводящие части присоединены к двум электрически независимым¹ устройствам заземления. При необходимости средняя точка источника питания может быть заземлена.

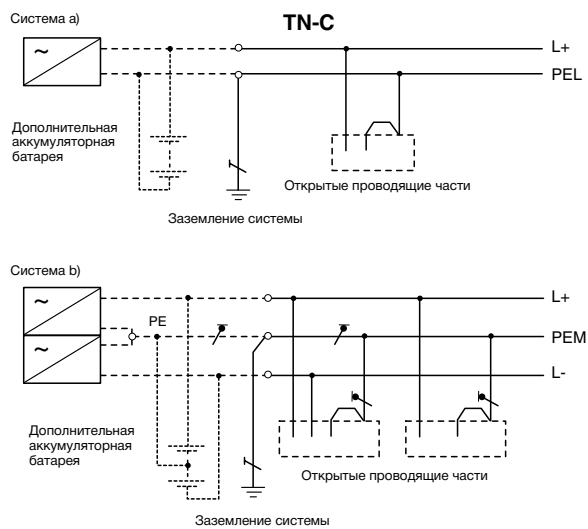


Система TN. Один из полюсов сети или средняя точка источника питания заземлена непосредственно. Открытые проводящие части присоединены к этому же заземляющему устройству. Различают три типа систем TN в зависимости от того, разделены или объединены проводник заземленного полюса сети и защитный проводники:

1. **TN-S** – проводник заземленного полюса сети и защитный PE проводник работают раздельно по всей системе;

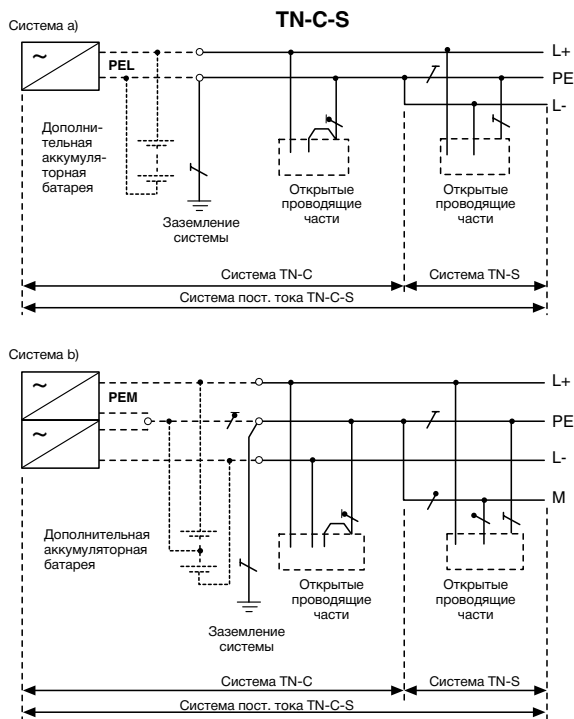


1. **TN-C** – Функции проводника заземленного полюса сети и защитного проводника объединены в одном (PEN) проводнике по всей сети



¹ В данном приложении не рассматриваются вопросы выбора полюса, подлежащего заземлению (положительного или отрицательного).

3. **TN-C-S.** Функции проводника заземленной средней точки источника питания и защитного проводника объединены в одном (PEN) проводнике в части сети.

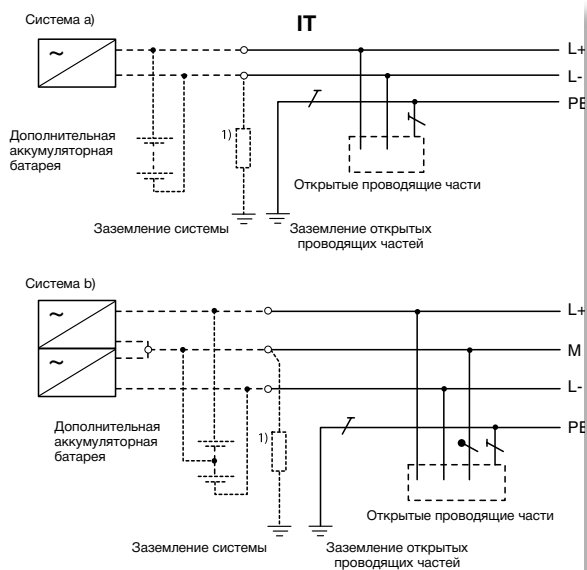


В соответствии со стандартом МЭК 60364-4 (серия стандартов ГОСТ Р 50571 «Электроустановки зданий») для защиты при косвенном прикосновении устройство защиты должно автоматически отключить питание в случае возникновения контакта между токоведущей частью и открытой проводящей частью или защитным проводником. Напряжение прикосновения более 120 В пост. тока (без пульсаций) не должно быть приложено к открытым проводящим частям в течение промежутка времени, превышающего время вредного физиологического воздействия на организма человека. Для специальных электроустановок или помещений могут потребоваться значения времени отключения и напряжения меньше указанных выше.

Дополнительные требования безопасности к системам питания постоянного тока изучаются.

В системах питания постоянного тока должно приниматься во внимание явление электромеханической коррозии, возникающее из-за постоянных токов утечки.

Система IT. Все токоведущие части источника питания изолированы от земли, а открытые проводящие части заземлены



1) Система может быть соединена с землей через достаточно большое сопротивление

2 В системе IT автоматическое отключение при возникновении первого замыкания на землю не является обязательным.

Приложение В

Защита от прямого прикосновения к токоведущим частям

Защита людей и животных от прямого прикосновения предназначена для исключения опасности поражения электрическим током в результате прикосновения к токоведущим частям электроустановки

Такая защита может быть организована с помощью одного из следующих методов:

- предотвращение прохождения тока через тело человека;
- ограничение тока, который может проходить через тело человека, ниже значения, оказывающего опасное физиологическое воздействие.

Необходимо помнить, что защитные меры должны быть надлежащим образом согласованы между собой в соответствии с типом электроустановки и условиями окружающей среды.

Исходя из этих соображений, меры обеспечения без-

опасности могут быть разделены на:

- меры полной защиты;
- меры частичной защиты.







Полная защита предотвращает как случайное, так и преднамеренное прикосновение человека к токоведущим частям и обычно предусматривает меры, предпринимаемые в отношении электроустановки, доступной для лиц, которые не имеют достаточных технических знаний (неквалифицированный персонал).









Меры, применяемые в помещениях, доступных только квалифицированному персоналу, определяют частичную защиту, так как они обеспечивают защиту только от случайного прикосновения.

Основные меры защиты от прямого прикосновения:

- полное закрытие токоведущих частей изоляцией, которая может быть удалена только путем ее разрушения (в данном случае защита является полной);

В следующей таблице описаны степени защиты оболочки в соответствии со стандартом МЭК/СЕI EN 60529 (ГОСТ 14254)

ПЕРВАЯ ЦИФРА: защита от проникновения твердых посторонних предметов			
IP			Полное описание
0		Защита отсутствует.	Специальная защита не предусмотрена.
1		Защита от проникновения твердых посторонних предметов диаметром 50 мм и более (непреднамеренное прикосновение руками).	Защита от прикосновения большой поверхностью человеческого тела, например рукой (защита от преднамеренного прикосновения не предусмотрена) или полного проникновения твердых инородных предметов диаметром 50 мм и более.
2		Защита от проникновения твердых посторонних предметов диаметром 12,5 мм и более (пальцы рук).	Защита от полного проникновения пальцев или предметов аналогичной формы длиной 80 мм и более или твердых посторонних предметов диаметром 12 мм и более.
3		Защита от проникновения твердых посторонних предметов диаметром 2,5 мм и более (инструмент, проволока).	Защита от проникновения инструмента, проволоки и других предметов диаметром или толщиной 2,5 мм и более или твердых посторонних предметов диаметром 2,5 мм и более.
4		Защита от проникновения твердых посторонних предметов диаметром 1,0 мм и более.	Защита от проникновения проволоки или стяжки толщиной 1,0 мм и более или твердых посторонних предметов диаметром 1,0 мм и более.
5		Пылезащитенность	Проникновение пыли предотвращается не полностью, однако пыль не должна проникать в количестве, которое может повлиять на нормальное функционирование аппарата.
6		Пыленепроницаемость	Пыль не проникает внутрь.

ВТОРАЯ ЦИФРА: защита от вредного воздействия, оказываемого проникновением воды			
IP			Полное описание
0		Защита отсутствует.	Специальная защита не предусмотрена.
1		Защита от вертикально падающих капель воды (конденсата).	Вертикально падающие капли не оказывают вредного воздействия.
2		Защита от вертикально падающих капель воды, если корпус наклонен под углом до 15°.	Вертикально падающие капли не оказывают вредного воздействия, если корпус наклонен под углом до 15° относительно вертикали.
3		Защита от воды, падающей в виде дождя под углом до 60° относительно вертикали.	Брызги воды, падающие с обеих сторон под углом до 60° от вертикали, не оказывают вредного воздействия.
4		Защита от брызг воды, падающих с любого направления (сплошное обрызгивание).	Брызги воды, падающие на корпус с любого направления, не оказывают вредного воздействия.
5		Защита от водяных струй с любого направления (водоструйные насосы).	Струи воды, падающие на корпус, не оказывают вредного воздействия.
6		Защита от сильных струй воды (например, морских волн).	В случае больших волн или сильных струй воды проникновение воды в количестве, которое может вызвать вредное воздействие, не возможно.
7		Защита от кратковременного погружения в воду.	Проникновение воды в количестве, которое может вызвать вредное воздействие, не возможно, если корпус временно погружен в воду при нормальных значениях давления и времени.
8		Защита от воздействия при продолжительном погружении в воду.	Корпус допускает продолжительное погружение в воду, при этом никакого вредного воздействия не оказывается при соблюдении условий, указанных заводом-изготовителем.

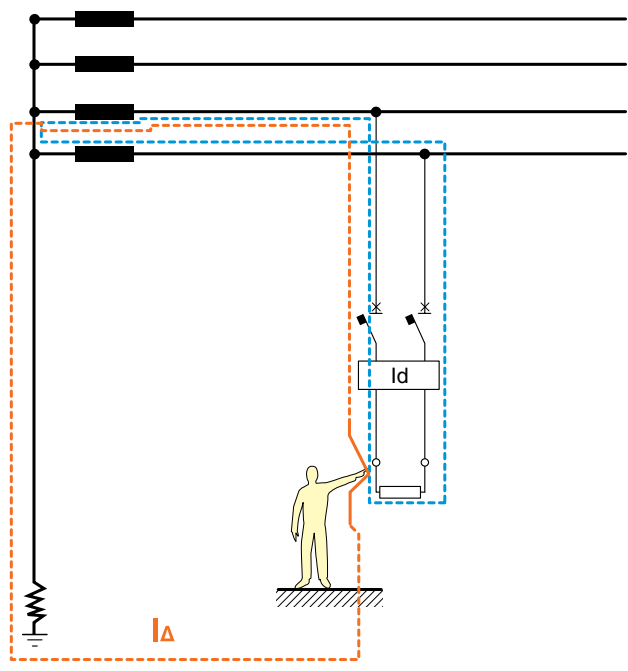
Дополнительная буква: защита от доступа к опасным частям			
IP			Полное описание
A		Защита от соприкосновения с опасными частями тыльной стороной руки.	Сферическое тело диаметром 50 мм должно находиться на достаточном расстоянии от опасных частей.
B		Защита от соприкосновения с опасными частями пальцем руки.	Шарнирный испытательный шупл диаметром 12 мм и длиной 80 мм должен находиться на достаточном расстоянии от опасных частей.
C		Защита от соприкосновения с опасными частями инструментом.	Испытательный шупл диаметром 2,5 мм и длиной 100 мм должен находиться на достаточном расстоянии от опасных частей.
D		Защита от соприкосновения с опасными частями проволокой.	Испытательный шупл диаметром 1,0 мм и длиной 100 мм должен находиться на достаточном расстоянии от опасных частей.

- размещение токоведущих частей внутри корпуса или за ограждениями, обеспечивающих степень защиты не менее IP2X или IPXXB; в случае наличия горизонтальных поверхностей, расположенных в пределах досягаемости и выходящих за пределы ограждений или корпусов, необходима степень защиты не менее IPXXD или IP4X (полная защита);
- использование барьеров, предназначенных для предотвращения непреднамеренного прикосновения к токоведущим частям (защита предотвращает только непреднамеренное прикосновение, но не препятствует преднамеренному и поэтому является лишь частичной);
- размещение токоведущих частей вне досягаемости с целью предотвращения непреднамеренного прикосновения к этим частям (частичная защита);
- использование автоматических выключателей, управляемых дифференциальным током, с номинальным рабочим дифференциальным током не более 30 мА.

Защита с помощью автоматических выключателей, управляемых дифференциальным током, определяется стандартом в качестве дополнительного средства защиты, предназначенного только для объединения описанных ранее мер защиты, но не заменяющего их. Для пояснения этого на рисунке 1 показан случай, когда происходит прямое прикосновение только к одной токоведущей части.

Синей пунктирной линией показана цепь, по которой ток проходит при нормальных условиях, а красной линией – цепь, по которой ток может проходить через

Рисунок 1



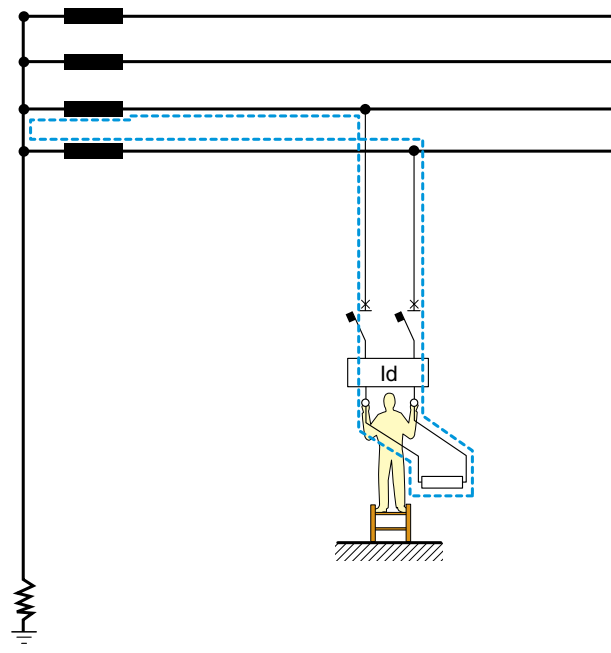
тело человека при выполнении указанных выше условий. Так как замыкание на землю отсутствует, состояние соединения открытых проводящих частей с землей не оказывает никакого влияния.

Как известно, срабатывание устройств защитного отключения, управляемых дифференциальным током, происходит при условии $I_{\Delta} \geq I_{\Delta n}$ (где $I_{\Delta n}$ – номинальный отключающий дифференциальный ток).

Согласно кривой, отображающей зоны опасности (см. главу 5), на человека не будет оказано вредное воздействия, если ток, протекающий через его тело, будет меньше или равен 30 мА ($I_{\Delta n} \leq 30\text{mA}$).

Для сравнения на рисунке 2 показан случай прямого двухполюсного прикосновения.

Рисунок 2



Опасность может возникнуть, если человек изолирован от земли (например, стоит на деревянной лестнице или носит обувь с резиновой подошвой и т. д.) или, если его тело имеет высокое сопротивление, значение которого прибавляется к сопротивлению заземления; в действительности при этих условиях ток утечки I_{Δ} будет иметь настолько низкое значение, что устройство дифференциального тока может не сработать, но при этом через тело человека может протекать опасный ток. По этой причине для таких случаев (несмотря на то, что они встречаются достаточно редко) стандарт предписывает защиту по дифференциальному току в качестве дополнительной защиты, работающей совместно с защитами, указанными выше.

Приложение С

Защита при косвенном прикосновении без автоматического отключения питания

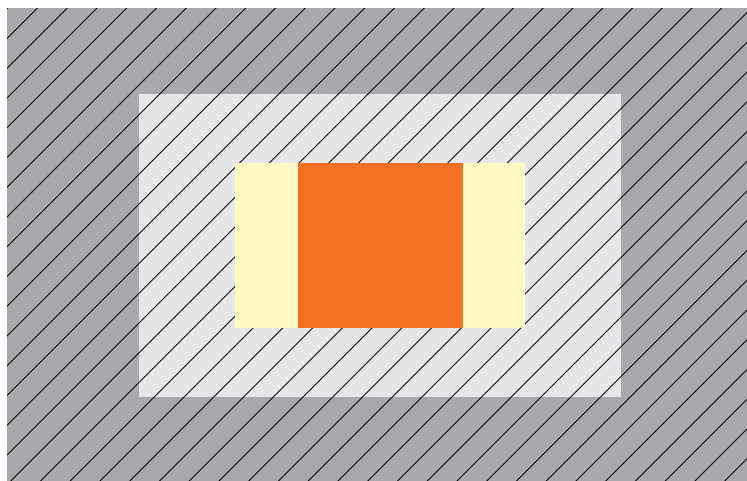
В дополнение к защите при косвенном прикосновении, выполняемой путем автоматического отключения питания, стандарты на электроустановки позволяют реализовать защиту без автоматического отключения питания, что дает очевидные преимущества с точки зрения непрерывности электропитания. Такие меры защиты рассматриваются в качестве превентивной меры, так как они используются для предотвращения возникновения опасных условий.





К основным мерам относятся следующие:

- защита с помощью двойной или усиленной изоляции;
- защита путем создания непроводящей окружающей среды*;
- защита путем организации незаземленного локального уравнивания потенциалов*;
- защита путем гальванической развязки от системы питания одного используемого в данный момент агрегата или устройства;
- защита путем гальванической развязки от системы питания двух и более используемых в данный момент агрегатов или устройств

*Данные меры защиты рассчитаны на применение только в том случае, если за установкой обеспечивается контроль квалифицированного или проинструктированного персонала.

Рисунок 1



	=	CE	ø	æ																
	=	CE	т	°	т	°	т	т	°	т	æ	т,т	øт	т	β	т	°β,			
	=	æ	т	°	т	т	°	т	т	CE	øт	æ	ø,CE	β	°	β	æ°	т	т	
	=	°	т	°	т	°	т	т	æ	т	т	°	т	т	°	т	°	CE	æ	ø

Защита с помощью двойной или усиленной изоляции

Такая защита обеспечивается благодаря использованию электрического оборудования, которое предотвращает появление опасного напряжения вследствие повреждения основной изоляции.

Для обеспечения этой защитной меры необходимо применять электрооборудование, характеризующееся следующими особенностями:

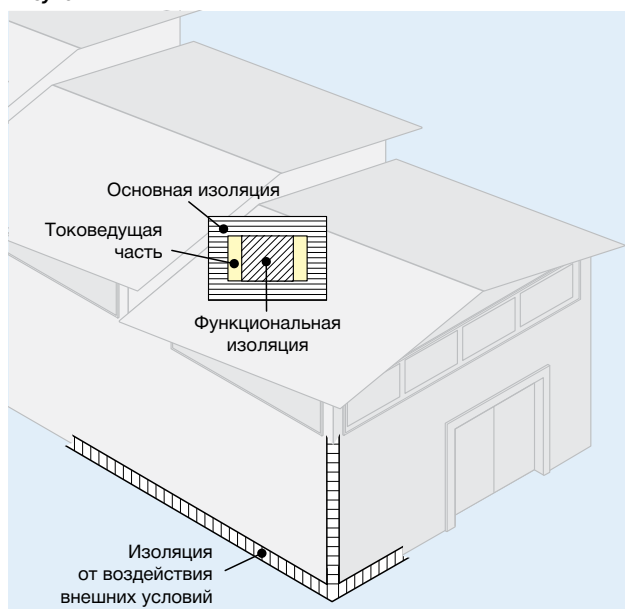
- наличие двойной или усиленной изоляции (оборудование класса защиты II);
- компоненты имеют изоляцию, эквивалентную классу защиты оборудования II (например, платы с полной изоляцией);
- электрическое оборудование, имеющее основную изоляцию в процессе сооружения электроустановки, оснащается дополнительной изоляцией;
- в процессе монтажа электроустановки неизолированные токоведущие части оснащены усиленной изоляцией.

В дополнение к описанному выше оборудованию стандарт предписывает использование оболочек (корпусов) и проводников, имеющих особые характеристики; требования, относящиеся к вышеупомянутым компонентам, также приводятся в стандарте.

Защита путем создания непроводящей окружающей среды

Защита путем создания непроводящей окружающей среды заключается в особой организации окружающей среды (создание изолирующих промежутков, барьеров и прокладок изоляции), которая позволяет предотвратить одновременное прикосновение к частям, имеющим разные потенциалы (например, вследствие повреждения основной изоляции токоведущих частей). Из-за своих особенностей этот метод защиты никогда не применяется в общественных и аналогичных зданиях.

Рисунок 2



Защита путем организации незаземленного локального уравнивания потенциалов

Данный вид защиты заключается в соединении всех одновременно доступных открытых проводящих частей. При использовании этого метода проблемы могут возникнуть в случае отсоединения проводника уравнивания потенциалов, что может подвергнуть персонал воздействию опасного напряжения.

Данная мера защиты никогда не применяется в общественных и аналогичных зданиях и, в связи со сложностью выполнения необходимых условий, имеется лишь немного мест, предоставляющих соответствующие возможности.

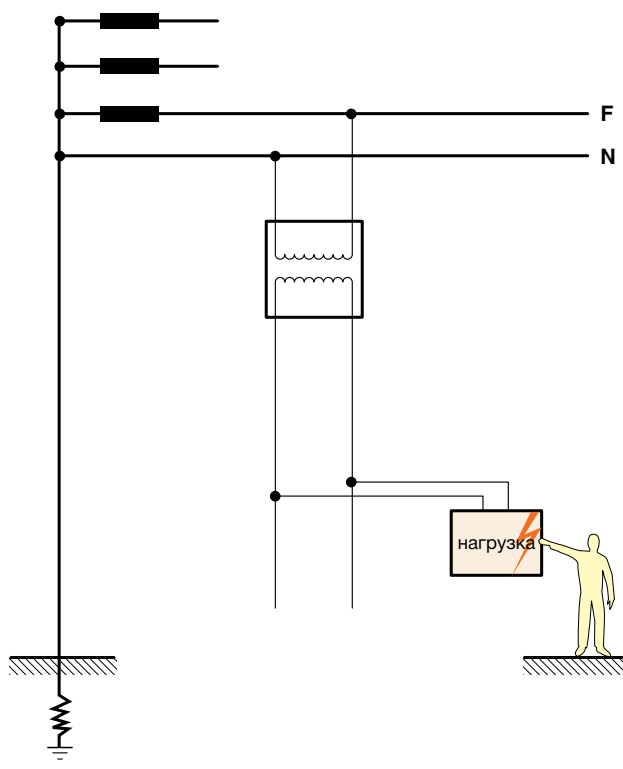
Защита с помощью гальванической развязки

Гальваническая развязка представляет собой меру защиты против косвенного прикосновения, и позволяет ограничить напряжение прикосновения, благодаря высокому сопротивлению изоляции системы заземления. Чтобы эта мера защиты была эффективной, необходимо обеспечить надежную изоляцию разделенных цепей.

Источник питания, используемый в соответствии с требованиями стандарта, должен иметь, по крайней мере, одну гальваническую развязку с максимальным напряжением не более 500 В.

Необходимо обратить особое внимание на количество электроприемников, к которым подводится гальванически развязанное питание. Данная защитная мера применяется для питания более одного электроприемника только в том случае, если за электроустановкой обеспечивается контроль квалифицированного или проинструктированного персонала. Такой контроль не требуется в случае питания только одного электроприемника из группы используемого в данный момент оборудования.

Рисунок 3



¹ Без учета емкостных токов кабелей малой длины.

Приложение D

Комбинированная защита от прямого и косвенного прикосновений

Стандарты позволяют использовать комбинированную защиту от прямого и косвенного прикосновений. С этой целью необходимо создать системы с четко определенными характеристиками.

Главная особенность таких систем – наличие цепей с номинальным напряжением 50 В переменного или 120 В постоянного тока (системы сверхнизкого напряжения).

Этот вид защиты может быть обеспечен путем принятия соответствующих мер по недопущению возрастания номинального напряжения, которое может произойти в случае замыкания между вторичной обмоткой трансформатора и первичной, находящейся под напряжением $U_1 > 50$ В, из-за повреждения изоляции между двумя обмотками или из-за контакта с другими цепями, имеющими более высокое напряжение.

Таким образом, сверхнизкое напряжение может быть обеспечено с использованием следующих источников:

- безопасный разделительный трансформатор, соответствующий стандарту МЭК 61558-2-6 (в серии ГОСТ Р аналогичного стандарта нет);
- источник тока, обеспечивающий уровень безопасности, эквивалентный уровню безопасного разделительного трансформатора;
- электрохимический источник тока с соответствующими характеристиками;
- небольшие генераторы;
- некоторые электронные устройства, соответствующие требованиям применимых стандартов (в тех случаях, когда принимаются меры по обеспечению того, чтобы даже в случае внутреннего замыкания напряжение на зажимах отходящей линии не превышало указанных выше значений).

Данные системы определяются типом напряжения:

- БСНН (безопасное сверхнизкое напряжение);
- ЗСНН (защитное сверхнизкое напряжение);
- ФСНН (функциональное сверхнизкое напряжение).

Безопасное сверхнизкое напряжение (БСНН)

Система БСНН имеет следующие характеристики:

1. Питание подается либо от одного независимого источника, либо от одного безопасного источника, о котором упоминалось выше.
2. Система отделена от других электрических систем защитой, т. е. двойной или усиленной изоляцией или заземленным металлическим экраном.
3. Отсутствуют точки, соединенные с землей.

Такие характеристики обеспечивают предотвращение повышения напряжения в системе выше номинально-

го значения.

Защитное сверхнизкое напряжение (ЗСНН)

Система ЗСНН имеет такие же характеристики, как описано выше в пунктах 1 и 2, а также должна обладать заземленной точкой, необходимой для выполнения своих функций или для безопасности цепей управления. Система ЗСНН считается менее безопасной, чем система БСНН, поскольку из-за присоединения к земле цепи могут приобрести напряжение, превышающее вторичное номинальное напряжение (сверхнизкое напряжение).

Это одна из причин, по которой применение системы ЗСНН не допускается, если требуются более строгие защитные меры (например, в случае ограниченно проводящей окружающей среды).

Некоторые замечания о прямом и косвенном прикосновении (системы БСНН и ЗСНН)

При использовании системы БСНН или ЗСНН опасность косвенного прикосновения исключена, поскольку напряжение питания имеет настолько низкое значение, что оно не может быть опасным для человека. Что касается прямого прикосновения к токоведущим частям, находящимся под номинальным напряжением, не превышающим 25 В переменного или 60 В постоянного тока, то защита уже обеспечивается для обоих типов системы и поэтому дополнительные меры не требуются (тем не менее, в системе ЗСНН необходимо, чтобы открытые проводящие части и/или токоведущие части были присоединены к главному заземляющему зажиму с помощью защитного проводника).

При более высоких напряжениях (но не более 50 В переменного или 120 В постоянного тока) защита от прямого прикосновения должна обеспечиваться одним из следующих способов:

- использованием ограждений или оболочек со степенью защиты не ниже IPXXB или IP2X (для горизонтальной поверхности степень не ниже IPXXD или IP4X);
- полным закрытием открытых проводящих частей изоляцией, которая может быть снята только путем ее разрушения.

Функциональное сверхнизкое напряжение (ФСНН)

Если система сверхнизкого напряжения не удовлетворяет описанным выше требованиям к цепям БСНН и ЗСНН, она называется системой функционального сверхнизкого напряжения (ФСНН).

Некоторые замечания о прямом и косвенном прикосновении (системы ФСНН)

Питание к системе ФСНН может подаваться от обычного, не отвечающего специальным требованиям безопасности трансформатора, поэтому не исключено, что из-за повреждения изоляции, напряжение первичной обмотки может поступить во вторичную обмотку. Поэтому необходимо предпринять меры безопасности по предотвращению, как прямого, так и косвенного прикосновения.

Косвенное прикосновение

Для защиты при косвенном прикосновении необходимо:

- присоединить открытые проводящие части цепи ФСНН к защитному проводнику первичной системы. При этом обеспечивается защита путем автоматического отключения электропитания. Та-

ким образом, как показано на рисунке 1, в случае двойного замыкания устройство дифференциального тока первичной системы сработает при $I_{\Delta} \geq I_{\Delta n}$.

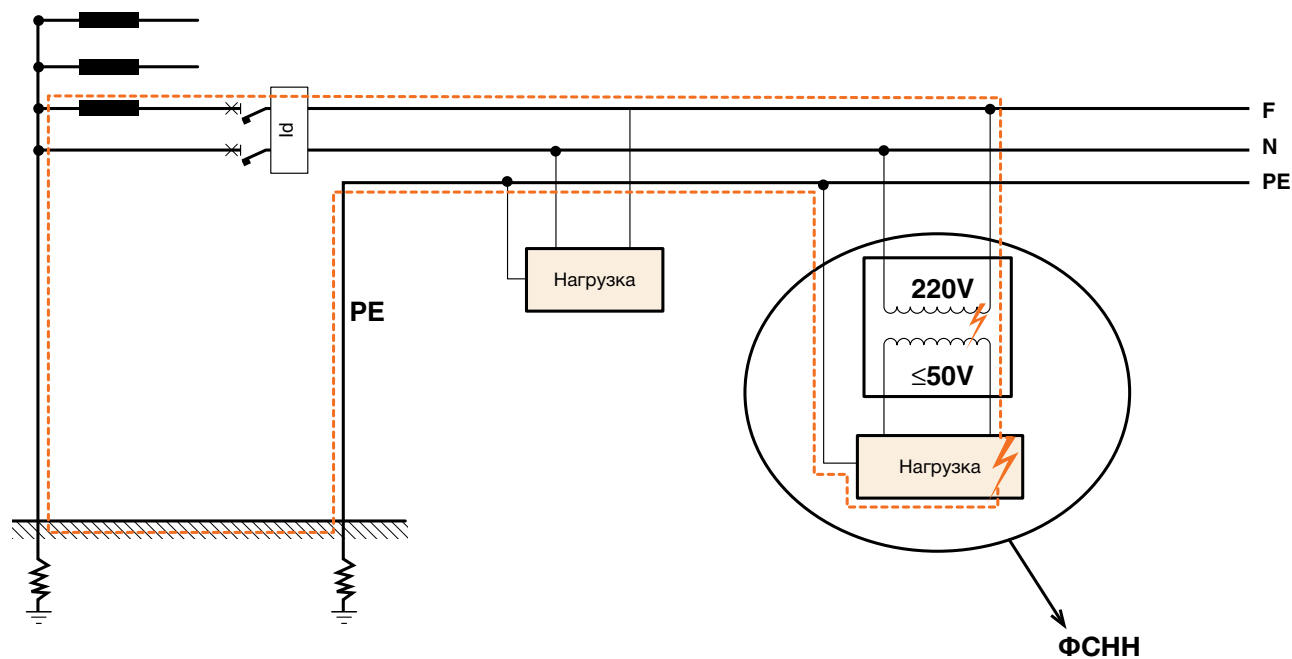
- присоединить открытые проводящие части цепи ФСНН к изолированному проводнику незаземленной системы уравнивания потенциалов (в системе, для которой предусмотрена защита путем гальванической развязки).

Прямое прикосновение

Для защиты от прямого прикосновения необходимо:

- разместить токоведущие части внутри оболочек или за ограждениями, обеспечивающими степень защиты не менее IP2X или IPXXB;
- обеспечить изоляцию, соответствующую минимальному испытательному напряжению первичной цепи.

Рисунок 1



Приложение E

Некоторые замечания в отношении нейтрального и защитного проводников

Нейтральный проводник

Общие положения

Нейтральный проводник представляет собой токоведущий проводник, который присоединен к нейтральной точке системы¹ и способствующий передаче электроэнергии. Другие функции проводника:

- получение фазного напряжения U_o , отличающегося от линейного напряжения U (см. рисунок 1);
- обеспечение функциональной независимости однофазных нагрузок друг от друга (см. рисунок 2);
- ограничение смещения нейтрали при несимметричной нагрузке трехфазной системы (см. рисунок 3);
- при определенных условиях (см. рис. 4) выполнение функций защитного проводника (PEN).

Рисунок 1

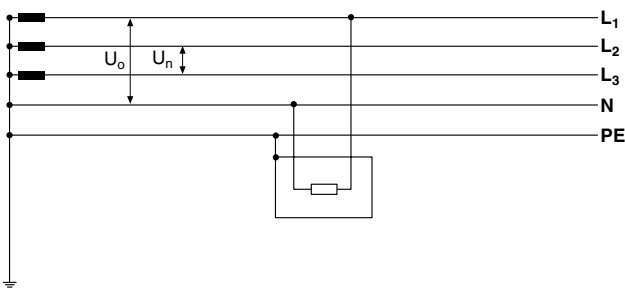
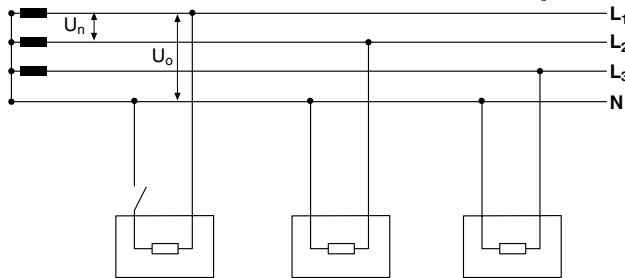


Рисунок 2

При наличии в системе нейтрального проводника однофазные нагрузки всегда питаются одинаковым напряжением U_o .



При отсутствии нейтрального проводника отключение одной нагрузки приводит к тому, что на остальные нагрузки будет подаваться напряжением, равное $U_n/2$.

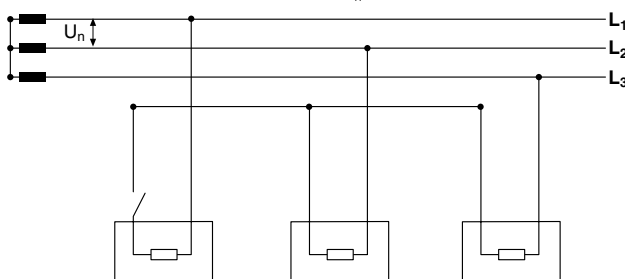
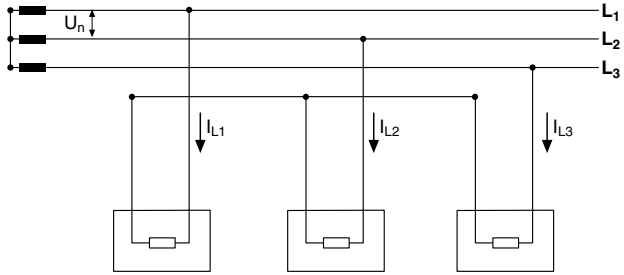


Рисунок 3

Без нейтрали сумма токов должна быть равна нулю, что приводит к значительной несимметрии фазных напряжений.



Наличие нейтрального проводника делает реальную нейтраль идеальной.

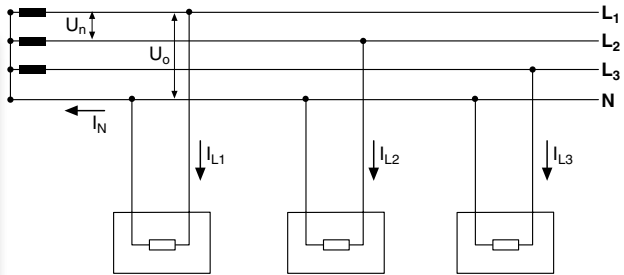
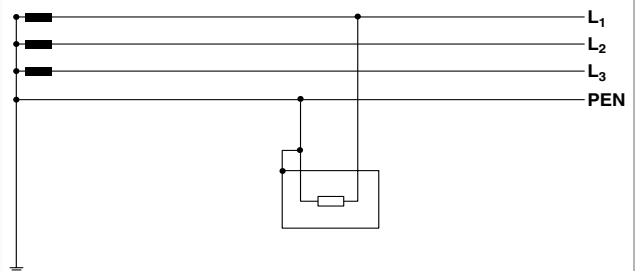
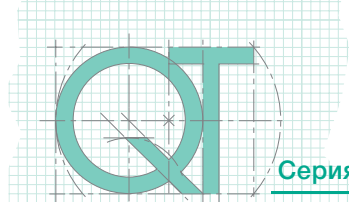


Рисунок 4

В системе TN-C нейтральный проводник также выполняет функцию защитного проводника.



¹ Нейтральная точка, как правило, но не обязательно, соединена с трансформатором или генератором в нейтральной точке звезды. На практике в электроустановках нейтральная точка системы имеет нулевой потенциал. В действительности, если система является сбалансированной, векторная диаграмма линейных и фазных напряжений (при соединении звездой) приводит к тому, что нейтральная точка совпадает с центром треугольника. С физической точки зрения нейтральная точка становится доступной в случае соединения фазных проводников звездой. В противном случае, если соединение выполнено треугольником, нейтральная точка может быть сделана доступной путем подключения к фазным проводникам трех подсоединенных по схеме звезды сопротивлений эквивалентного номинала.



Защита и отсоединение нейтрального проводника

При аномальных условиях нейтральный проводник может иметь отличное от нуля напряжение относительно земли, что может быть обусловлено, например, отключением однополюсных устройств защиты (предохранителей или однополюсных автоматических выключателей) из-за возникновения неисправности или в результате преднамеренного оперирования. Следует обратить внимание на то, что данные аномальные состояния могут иметь тяжелые последствия, если нейтральный проводник используется и в качестве защитного проводника, как это имеет место в системе TN-C. Поэтому в системе TN-C стандарты запрещают применять любые устройства защиты (как однополюсные, так и многополюсные), которые могут отсоединить PEN-проводник, и определяют минимальное сечение этого проводника (см. следующий пункт), что позволяет свести к минимуму его обрыв в аварийной ситуации. Как было рассмотрено выше, в четырехпроводной цепи отключение нейтрального проводника может привести к изменению напряжения питания однофазного электроприемника, которое будет отличаться от фазного. Вот почему отключение нейтрального проводника однополюсным устройством защиты не допускается. Методы защиты и отключения нейтрального проводника определяются типом заземления системы электропитания:

- ТТ или TN;
- IT.

Система ТТ или TN

- а) если сечение нейтрального проводника больше или равно сечению фазных проводников, то обнаруживать сверхток и отключать нейтральный проводник при возникновении сверхтока не нужно (нейтральный проводник не защищают и не отключают)¹;
- б) обнаруживать сверхток в нейтральном проводнике не требуется, если одновременно выполняются следующие два условия:
 - нейтральный проводник защищен от короткого замыкания устройством защиты фазных проводников цепи,

- максимальный ток, который может протекать по нейтральному проводнику при нормальных условиях значительно ниже допустимого длительного тока для этого проводника;

с) если сечение нейтрального проводника меньше сечения фазного проводника, то необходимо обнаруживать сверхток в нейтральном проводнике и при его обнаружении отключать фазные проводники. Отключать нейтральный проводник не обязательно (нейтральный проводник защищают, но не отключают).

В системах TN-C нейтральный проводник служит также в качестве защитного проводника и поэтому его отключение запрещено. Следует понимать, что в случае отключения нейтрального проводника при замыкании на землю, на открытых проводящих частях может присутствовать номинальное напряжение системы относительно земли.

Системы IT

Если в системе IT для распределения электроэнергии используется нейтральный проводник², то, как правило, в нейтральном проводнике каждой цепи необходимо иметь средства обнаружения сверхтока, которые будут отключать все токоведущие проводники соответствующей цепи, в том числе и нейтральный.

Обнаружение перегрузки нейтрального проводника не требуется, если:

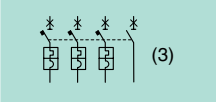
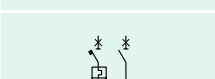
- нейтральный проводник эффективно защищен от коротких замыканий с помощью устройства защиты на стороне питания (т. е. находящегося в начале электроустановки);
- цепь защищена устройством дифференциального тока с номинальным дифференциальным током, не превышающим 0,15 от предельно допустимого тока соответствующего нейтрального проводника. Это устройство должно отключать все токоведущие проводники, в том числе и нейтральный.

¹ В системах ТТ требуется, чтобы нейтральный проводник был всегда подсоединен. В трехфазной сети с нейтральным проводником с типом заземления систем TN-S отсоединять нейтральный проводник не требуется.

² Согласно стандарту в системах IT не рекомендуется применять нейтральный проводник для распределения электроэнергии, см. главу 5.

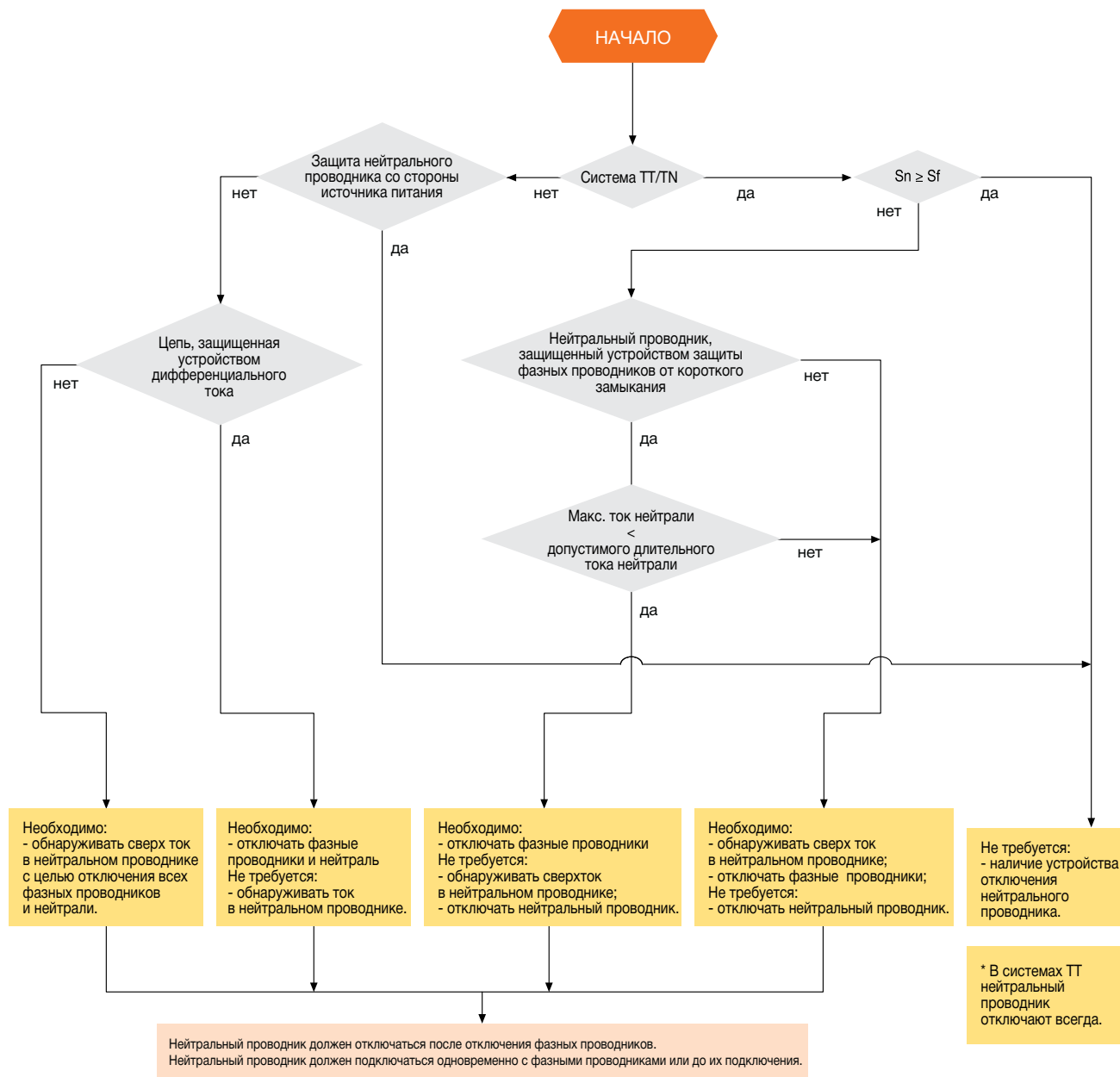
Описанные выше условия схематично представлены в таблице 1.

Таблица 1

	Система TT или TN-S		Система TN-C		Система IT
	$S_N = S$	$S_N < S$	$S_{PEN} = S$	$S_{PEN} < S$	
Три фазы + нейтраль	 (1)	 (1)	-	-	
	 (2)	 (2)			
	 (3)	 (3)			
Одна фаза + нейтраль	 (1)	-	-		
	 (2)				
					
Три фазы + PEN-проводник	-	-		 (3)	-
	-	-			
Одна фаза + PEN-проводник	-	-		-	-

(1) Минимальные требования, предписываемые стандартами, относящимися к электроустановкам, только для систем TN-S, в свою очередь в системах TT всегда требуется отключение нейтрального проводника.
 (2) Конфигурация, рекомендуемая компанией АББ.
 (3) Возможная конфигурация, если выполнен пункт b).

Рисунок 5: Блок-схема «защита нейтрального проводника»



Определение минимального сечения нейтрального проводника

Сечение нейтрального проводника, если таковой имеется, должно быть таким же, как и линейного проводника в следующих случаях:

- в одно- или двухфазных цепях независимо от сечения линейного проводника;
- в трехфазных цепях, если сечение линейного проводника меньше или равно 16 мм² для меди или 25 мм² для алюминия.

Сечение нейтрального проводника может быть меньше сечения фазного проводника, если сечение фазного проводника больше 16 мм² для меди или 25 мм² для алюминия, и если выполнены оба следующих условия:

- сечение нейтрального проводника не менее 16 мм² для меди и 25 мм² для алюминия;
- отсутствуют значительные гармонические искажения тока нагрузки. В противном случае, например, в цепях газоразрядных ламп, сечение нейтрального проводника не должно быть меньше сечения фазных проводников.

Итоги

Таблица 2

	Сечение фазного проводника S , мм ²	Мин. сечение нейтрального проводника S_N , мм ²
Однофазная или двухфазная цепь (медь/алюминий)	любое	S'
Трехфазные цепи (медь)	$S \leq 16$	S'
	$S > 16$	16
Трехфазные цепи (алюминий)	$S \leq 25$	S'
	$S > 25$	25

¹В распределительных системах TN-C согласно требованиям стандартов PEN-проводник должен иметь сечение не менее 10 мм² для меди и 16 мм² для алюминия.

Защитный проводник

Определение минимального сечения

Минимальное сечение защитного РЕ-проводника можно определить по таблице 3:

Таблица 3

Сечение фазного проводника S , мм ²	Сечение защитного проводника S_{PE} , мм ²
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 25$	16
$S > 25$	$S/2$

Принимая во внимание то, что защитный проводник подвергается адиабатическому нагреву от начальной известной до конечной заданной температуры (поэтому время гашения дуги составляет не более 5 с), минимальное сечение защитного проводника S_{PE} более точно можно рассчитать по следующей формуле:

$$S_{PE} = \frac{\sqrt{I^2 t}}{K}$$

где:

- S_{PE} – сечение защитного проводника в мм²;
- I – действующее значение тока, протекающего по защитному проводнику при неисправности с низким сопротивлением, в амперах;
- K – постоянная, которая зависит от материала защитного проводника, от типа изоляции, начальной и конечной температур и которая может быть взята из табличных данных стандартов или рассчитана по следующей формуле:

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

где:

- Q_c – объемная теплоемкость материала проводника, в Дж/°С мм³;
- B – величина, обратная температурному коэффициенту удельного сопротивления проводника при 0 °С;
- ρ_{20} – удельное сопротивление материала проводника при 20 °С, в Ом м;
- θ_i – начальная температура проводника, в °С;
- θ_f – конечная температура проводника, в °С;
- θ_i и θ_f зависят как от свойств изоляционного материала, так и от типа используемого кабеля; более подробная информация приведена в стандарте.

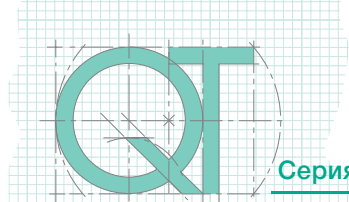
В таблице 4 представлены наиболее распространенные значения перечисленных выше параметров:

Таблица 4

Материал	B °С	Q_c Дж/°С·мм ³	ρ_{20} Ом мм	$\sqrt{\frac{Q_c (B + 20)}{\rho_{20}}}$
Медь	234,5	$3,45 \cdot 10^{-3}$	$17,241 \cdot 10^{-6}$	226
Алюминий	228	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$28,264 \cdot 10^{-6}$	148
Свинец	230	$1,45 \cdot 10^{-3}$	$214 \cdot 10^{-6}$	42
Сталь	202	$3,8 \cdot 10^{-3}$	$138 \cdot 10^{-6}$	78

Если в табличных данных стандартов отсутствует требуемое стандартное сечение или вычисленное по формуле сечение не совпадает со стандартным значением, то, необходимо выбирать защитный проводник, стандартное сечение которого превышает найденное. Независимо от того, используется для расчетов таблица или формулы, сечение защитного проводника, не являющегося частью питающего кабеля, должно быть не менее:

- 2,5 мм², если механическая защита обеспечивается
- 4 мм², если механическая защита не обеспечивается.



Глоссарий

PE	Защитный проводник
PEN	Совмещенный проводник (защитный + нейтральный)
I_{Δ}	Дифференциальный ток
$I_{\Delta n}$	Номинальный отключающий дифференциальный ток
I_n	Номинальный ток
I_3	Уставка мгновенного срабатывания
RCD	Устройство дифференциального тока
U_0	Фазное напряжение (между фазным и нейтральным проводниками)
U_n	Номинальное напряжение (между фазными проводниками)
Z	Полное сопротивление
I_a	Ток срабатывания устройства защиты
R	Сопротивление
R_t	Сопротивление заземляющего устройства
N	Нейтральный проводник
S	Сечение фазного проводника
S_N	Сечение нейтрального проводника
S_{PE}	Сечение защитного проводника
S_{PEN}	Сечение PEN-проводника