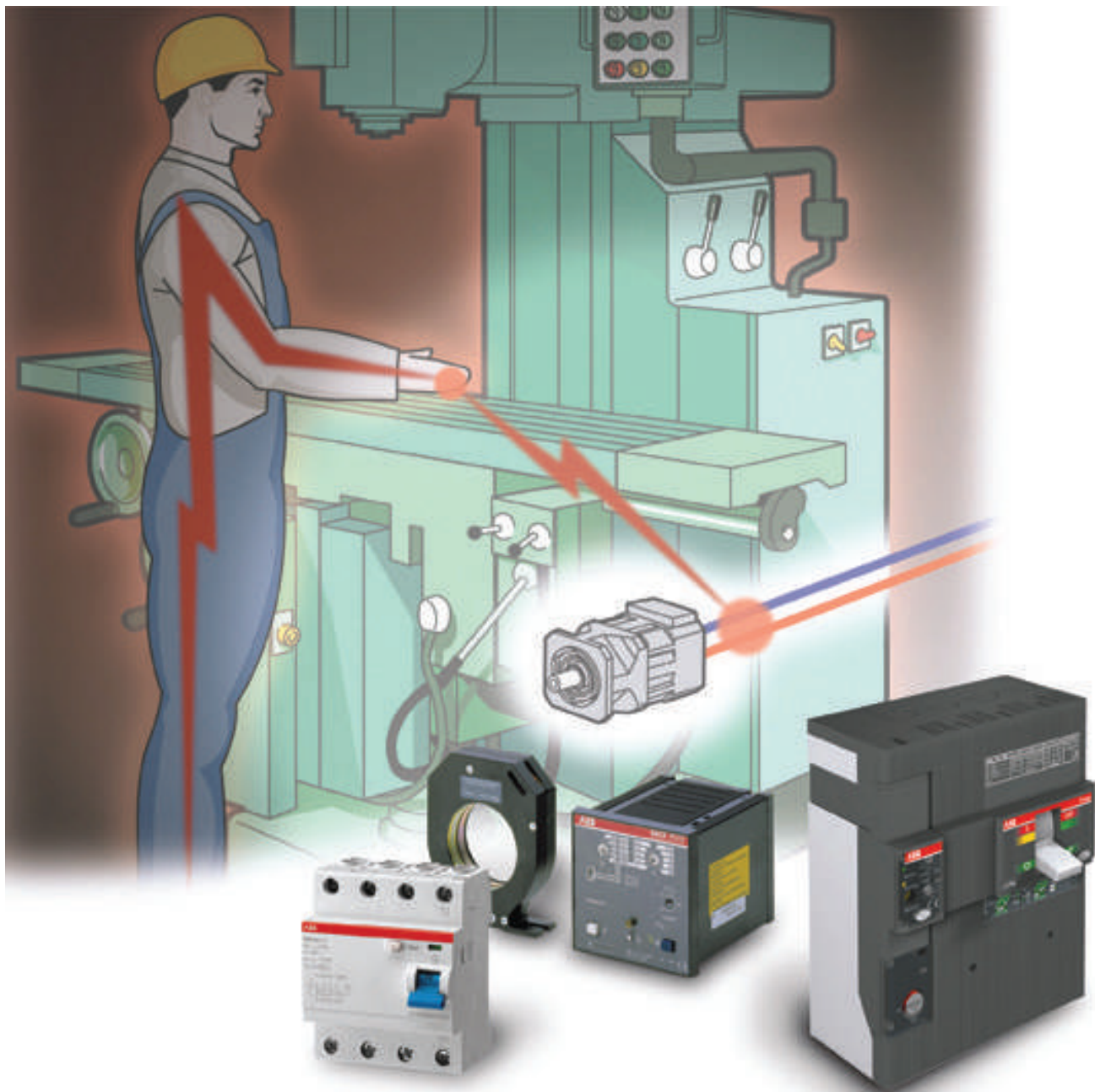


Апрель 2007

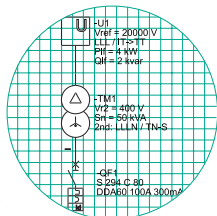
Серия проектировщика

Системы распределения электроэнергии. Защита от косвенного прикосновения и замыкания на землю.

1SDC007102G0201



ABB



Системы распределения электроэнергии. Защита от косвенного прикосновения и замыкания на землю.

Содержание

1 Введение	2	6.2.3 Электронные расцепители PR... для автоматических выключателей в литом корпусе с встроенной функцией защиты от дифференциального тока	29
2 Основные определения	3	6.2.4 Реле дифференциального тока с внешним трансформатором	30
3 Защита от замыканий на землю		6.3 Решение на основе функции G	31
3.1 Общие сведения	5	6.4 Защита при помощи функции G или устройств дифференциального тока (УДТ)?	33
4 Классификация систем распределения электроэнергии		6.4.1 Типичные примеры применения автоматических выключателей дифференциального тока	33
4.1 Система TT	6	6.4.2 Примеры применения выключателей в литом корпусе и воздушных, оснащенных функцией защиты от замыкания на землю G	34
4.2 Система TN	6	6.5 Современные системы защиты от замыканий на землю	34
4.3 Система IT	7	6.5.1 Основные аспекты	34
4.4 Выводы	7	6.5.2 Возврат тока по заземлителю источника питания	35
5 Защита от косвенного прикосновения		6.5.3 Ограниченная защита от замыкания на землю	35
5.1 Действие электрического тока на тело человека	8	7 Селективность устройств защиты от замыкания на землю	37
5.2 Защита от косвенного прикосновения путем автоматического отключения питания	10	Приложение А: Системы распределения постоянного тока	39
5.3 Защита от косвенного прикосновения в системах TT	13	Приложение Б: Защита от прямого прикосновения	40
5.4 Защита от косвенного прикосновения в системах TN	16	Приложение В: Защита от косвенного прикосновения без применения автоматического отключения питания	42
5.5 Защита от косвенного прикосновения в системах IT	20	Приложение Г: Комбинированная защита от прямого и косвенного прикосновения	44
6 Решения АББ для защиты от замыканий на землю		Приложение Д: Принципы выбора нейтрального и защитного проводников	46
6.1 Общие сведения	22	Глоссарий	51
6.2 Решения с применением устройств дифференциального тока	23		
6.2.1 Модульные автоматические выключатели System pro M compact с функцией защиты от дифференциального тока	23		
6.2.2 Расцепители дифференциального тока для выключателей в литом корпусе Tmax	28		

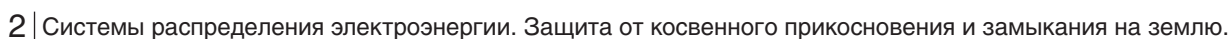


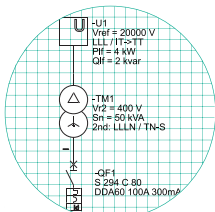
1 Введение

Целью данного издания является предоставить читателю необходимую информацию о нормативных аспектах относящихся к защите от замыкания на землю и от косвенного прикосновения, а также дать классификацию соответствующих проблем и решений, предлагаемых АББ.

- нормативные аспекты (определения, классификация распределительных систем, предписания относительно устройств защиты и т.д.)
- решения АББ для защиты от замыкания на землю и косвенного прикосновения
- селективность устройств защиты от замыкания на землю.

Вдобавок к этому в данном документе представлен ряд приложений, в которых досконально анализируются аспекты защиты от поражения электрическим током. В частности, рассматриваются защита только от косвенного прикосновения, комбинированная защита, как от прямого, так и от косвенного прикосновения, а также дается информация относительно нейтрального и защитного проводников.





Серия проектировщика

2. Основные определения

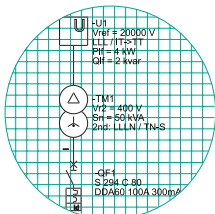
- **(Эффективное) напряжение прикосновения:** напряжение между двумя открытыми проводящими частями, к которым одновременно прикасается человек или животное.
- **Расчетное напряжение прикосновения:** напряжение между одновременно доступными проводящими частями, к которым в данный момент не прикасается человек.
- **Номинальное напряжение системы относительно земли:** номинальным напряжением относительно земли могут быть:
 - номинальное напряжение трехфазной системы с изолированной нейтралью или заземленной через сопротивление;
 - напряжение звезды относительно номинального напряжения в трехфазной системе с нейтралью, соединенной непосредственно с землей;
 - номинальное напряжение в однофазных системах или в системах переменного тока без заземления;
 - половина номинального напряжения однофазной системы с заземленной средней точкой.
- **Токоведущая часть:** Проводник или проводящая часть, находящиеся под напряжением в нормальных условиях эксплуатации, в том числе нулевой рабочий проводник, но не проводник PEN (защитный нулевой провод);
- **Опасная токоведущая часть:** токоведущая часть, которая при определенных условиях может вызвать опасное поражение электрическим током;
- **Открытая проводящая часть:** проводящая часть оборудования, доступная к прикосновению, которая в обычных условиях не находится под напряжением, но может оказаться под напряжением при повреждении основной изоляции.
- **Прямое прикосновение:** прикосновение человека или животного к токоведущим частям, находящимся под напряжением.
- **Косвенное прикосновение:** прикосновение человека к открытым проводящим частям, оказавшимся под напряжением в результате повреждения основной изоляции токоведущих частей.
- **Зона досягаемости:** Зона, заключенная между любой точкой поверхности, на которой обычно стоят или передвигаются люди, и поверхностью, до которой люди могут достать рукой в любом направлении без вспомогательных средств.
- **Одновременно доступные части:** проводники или проводящие части, к которым одновременно может прикоснуться человек.

Таблица 1

<p>трехфазные системы с изолированной или заземленной через сопротивление нейтралью</p> $U_{ne} = U_n$	
<p>трехфазные системы с глухо заземленной нейтральной точкой</p> $U_{ne} = \frac{U_n}{\sqrt{3}} = U_0^1$	
<p>однофазные системы или системы переменного тока без заземления</p> $U_{ne} = U_n$	
<p>однофазные системы или системы переменного тока с заземленной средней точкой</p> $U_{ne} = \frac{U_n}{2}$	

¹ U_0 есть напряжение между фазой и нейтралью

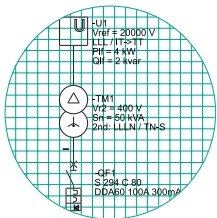
² А - проводящая часть, которая может оказаться под напряжением только благодаря контакту с открытой проводящей частью, не будет рассматриваться, как открытая проводящая часть.



Серия проектировщика

- **Ток утечки на землю:** ток, который в отсутствии какого-либо повреждения утекает на землю или открытую проводящую часть.
- **Дифференциальный ток:** алгебраическая сумма значений токов во всех токоведущих проводниках в определенный момент времени в точке цепи электроустановки.
- **Защитная оболочка:** электрическая оболочка, окружающая внутренние части оборудования, с целью предотвратить доступ к опасным токоведущим частям с любой стороны.
- **Защитный барьер:** часть, обеспечивающая защиту от прямого прикосновения с любого направления (обычного доступа).
- **Защитное ограждение:** часть, предотвращающая непреднамеренное прямое прикосновение, но не предотвращающее умышленное.
- **Основная изоляция:** изоляция опасных токоведущих частей, предназначенная для обеспечения основной защиты.
- **Дополнительная изоляция:** независимая изоляция, применяемая совместно с основной изоляцией и предназначенная для обеспечения защиты при повреждении.
- **Двойная изоляция:** изоляция, состоящая из основной и дополнительной изоляции.
- **Усиленная изоляция:** изоляция опасных токоведущих частей, обеспечивающая такую же степень защиты от поражения электрическим током, как двойная изоляция.
- **Изолирующие полы и стены:** полы и стены помещений с настолько высоким электрическим сопротивлением, что ток ограничивается до неопасных значений.
- **Эталонная земля:** проводящая электрический ток и находящаяся вне зоны влияния какого-либо заземляющего устройства часть Земли, электрический потенциал которой условно принят равным нулю.
- **Заземлитель:** проводящая часть, которая может быть встроена в некоторую проводящую конструкцию, например, из бетона или графита, находящуюся в электрическом контакте с Землей.
- **Сопротивление заземлителя:** сопротивление между общей или нейтральной точкой источника и Землей.
- **Электрически независимый заземлитель:** заземлитель, расположенный на таком расстоянии от других заземлителей, что электрические токи, протекающие между ними и Землей, не оказывают существенного влияния на электрический потенциал независимого заземлителя.
- **Защитный проводник (обозначается PE):** проводник, применяемый в целях безопасности, например, для защиты людей и животных от поражения электрическим током и предназначенный для соединения следующих элементов:
 - открытые проводящие части;
 - сторонние проводящие части;
 - главный заземляющий коллектор (или узел);
 - заземленная точка источника или искусственная нейтраль.
- **PEN-проводник:** проводник, выполняющий функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников.
- **Устройство заземления:** все электрические соединения и устройства, входящие в систему заземления, сети установки и оборудования.
- **Ток повреждения:** ток, протекающий через точку повреждения, благодаря повреждению основной изоляции токоведущих частей.
- **Замыкание на землю:** случайный электрический контакт между токоведущими частями и землей, открытыми, сторонними проводящими частями и защитными проводниками.
- **Обученное лицо:** лицо, достаточно осведомленное или контролируемое квалифицированными лицами, что позволяет ему осознавать риски и избегать опасностей, создаваемых электричеством.
- **Квалифицированное лицо:** лицо, достаточно осведомленное или имеющее соответствующее образование и опыт, которые позволяют ему осознавать риски и избегать опасностей, создаваемых электричеством в соответствии с определенными действиями, производимых при определенных условиях. Поэтому термин «квалифицированное» указывается вместе с:
 - видом операции;
 - типом установки, на которой или около которой выполняются действия;
 - окружающими условиями и условиями контроля более квалифицированным персоналом.
- **Обычное лицо:** лицо, которое не является ни квалифицированным лицом, ни обученным лицом.

¹ Символ PEN образуется комбинацией символов PE (для защитного проводника) и N (для нейтрального проводника).



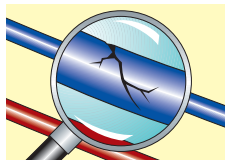
Серия проектировщика

3. Защита от замыканий на землю

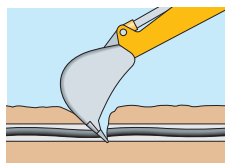
3.1 Общие сведения

Потеря изоляции между токоведущими и открытыми проводящими частями может стать причиной повреждения, которое обычно называют замыканием на землю.

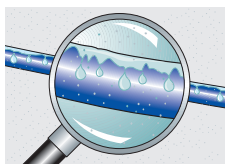
Основными причинами потери изоляции являются:



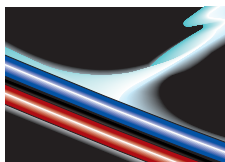
- Старение изоляции и, следовательно, ухудшение диэлектрических свойств (трещины и т.д.);



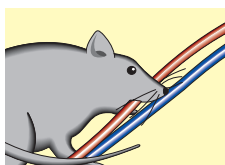
- Механические повреждения (например, разрушение кабеля экскаватором в земле);



- Особо агрессивные окружающие условия (наличие пыли, влажности, загрязнений и т.д.);



- Перенапряжения, связанные с атмосферными явлениями или коммутациями;

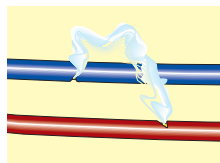


- Повреждения, нанесенные грызунами.

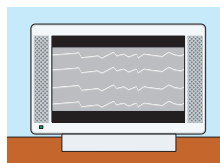
Основными эффектами в результате замыканий на землю являются:



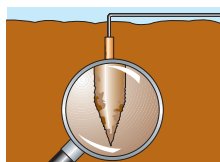
- Открытые проводящие части оказываются под электрическим потенциалом;



- Сосредоточенная электрическая дуга и последующий перегрев;



- Сбои в работе телекоммуникационной аппаратуры;

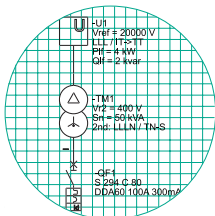


- Эффекты эрозии заземлителей и металлических коммуникаций.

Замыкание на землю начинается с локализованной дуги в месте потери изоляции. Эта дуга характеризуется относительно небольшим уровнем тока порядка нескольких десятков миллиампер. Затем повреждение с той или иной скоростью увеличивается и становится полноценным замыканием на землю. Если данный процесс не будет прерван защитными устройствами, то это повреждение может охватить все три фазы, что вызовет трехфазное короткое замыкание с контактом на землю.

Поэтому, первым последствием замыкания на землю является вред, причиненный электроустановке либо начальными ограниченными токами, которые благодаря тому, что их сложно идентифицировать термомангнитными расцепителями, могут существовать довольно длительное время и вызывать пожары, либо токами короткого замыкания, которое развивается после того, как вся установка оказывается в опасности.

Еще одним важным последствием замыкания на землю является опасность для человека, заключающаяся в косвенном прикосновении, т.е. прикосновении к открытым проводящим частям, которые внезапно оказались под напряжением в результате повреждения изоляции.



Серия проектировщика

4. Классификация систем распределения электроэнергии

Продолжительность замыкания на землю и последствия от прикосновения к открытым проводящим частям особенно зависят от вида нейтрали силовой системы и типа системы заземления.

В результате, чтобы правильно выбрать устройство защиты от замыкания на землю, необходимо знать распределительную систему электроустановки. В международном Стандарте МЭК 60364-3 (ГОСТ Р 50571.2-94) приводится классификация электрических систем с комбинацией из двух букв.

Первая буква отражает характер соединения источника с землей:

- Т – глухое присоединение одной точки токоведущих частей источника питания к земле;
- I – все токоведущие части изолированы от земли или одна точка заземлена через сопротивление.

Вторая буква отражает характер заземления открытых проводящих частей электроустановки:

- Т – непосредственная связь открытых проводящих частей с землей, независимо от характера связи источника питания с землей;
- N – непосредственная связь открытых проводящих частей с точкой заземления источника питания (в системах переменного тока обычно заземляется нейтраль).

Последующие буквы (если таковые имеются) обозначают устройство нулевого рабочего и нулевого защитного проводников:

- S – функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников обеспечиваются отдельными проводниками.
- C – функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников объединены в одном проводнике (PEN-проводник).

В соответствии с рассмотренными определениями ниже описаны основные типы распределительных систем.

¹ГОСТ Р 50571.2-94. Электроустановки зданий. Часть 3. Основные характеристики. Наличие заземленной нейтральной точки трансформатора СН/НН является мерой, необходимой для предотвращения передачи напряжений опасного уровня, например, напряжения в результате повреждения обмоток СН и НН. В системах IT настоятельно рекомендуется применять трансформаторы, построенные таким образом, чтобы не передавать опасные напряжения на человека или оборудование.

4.1 Система TT

В системах TT нейтральный проводник и открытые проводящие части соединены с электрически независимыми заземлителями (Рисунок 1); поэтому ток замыкания на землю возвращается к источнику через землю (Рисунок 2).

Рисунок 1: система TT

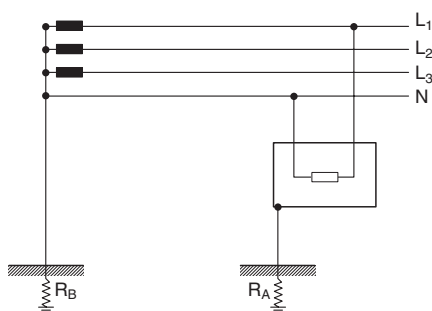
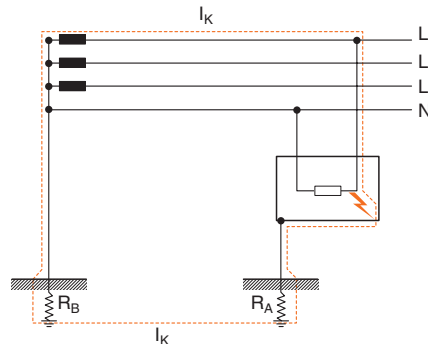


Рисунок 2: замыкание на землю в системе TT



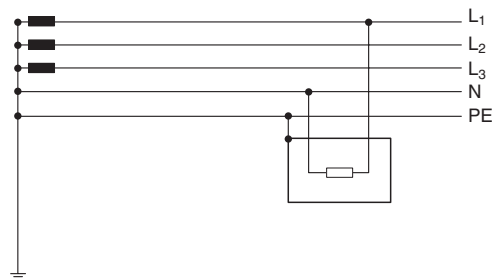
В электроустановках такого типа нейтраль обычно распределена, и ее наличие обеспечивает возможность получения фазного напряжения (т.е. 230В), пригодного для питания однофазных нагрузок бытового применения.

4.2 Система TN

В системах TN нейтральный проводник соединяется непосредственно с землей, в то время как открытые проводящие части соединяются с тем же заземлителем, что и нейтраль. Системы TN можно разделить на три типа в зависимости от того, объединены ли нейтральный и защитный проводники или нет:

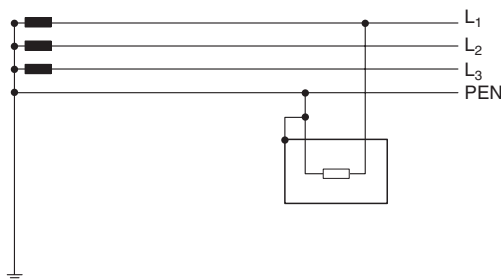
1. TN-S: нейтральный проводник N и защитный проводник PE разделены (Рисунок 3)

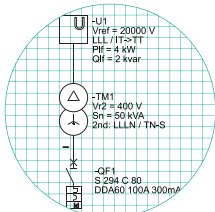
Рисунок 3: система TN-S



2. TN-C: функции нейтрального и защитного проводников объединены одним проводником, называемым PEN (Рисунок 4)

Рисунок 4: система TN-C

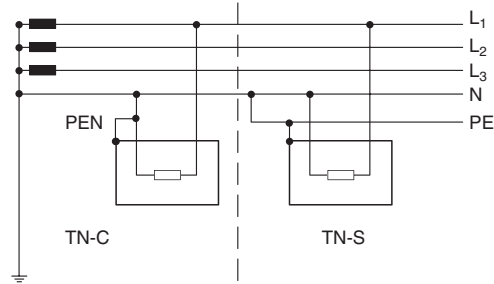




Серия проектировщика

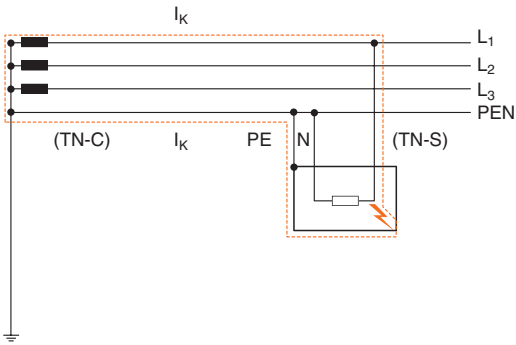
3. TN-C-S: функции нейтрального и защитного проводников частично объединяются одним проводником PEN и частично разделяются на PE + N (Рисунок 5).

Рисунок 5: система TN-C-S



В системах TN ток замыкания на землю возвращается к источнику через прямое металлическое соединение (PE или PEN проводник), не проходя через заземлитель.

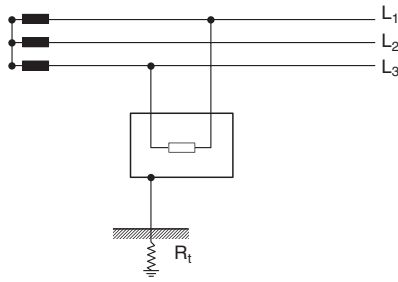
Рисунок 6: ток замыкания на землю в системе TN



4.3 Система IT

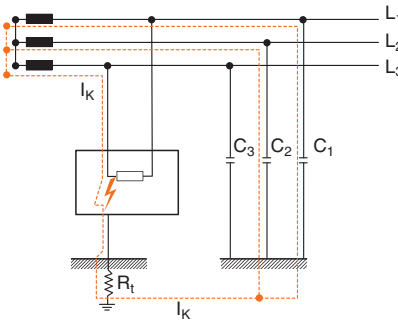
Системы IT не содержат заземленных активных частей, но они могут содержать токоведущие части, соединенные с землей через большое сопротивление (Рисунок 7). Все открытые проводящие части отдельно или в группе подсоединяются к независимым заземлителям.

Рисунок 7: система IT



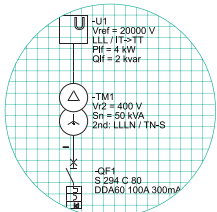
Ток замыкания на землю возвращается к источнику питания через систему заземления открытых проводящих частей и емкостные сопротивления проводников токоведущей линии на землю.

Рисунок 8: ток замыкания на землю в системе TT



4.4 Выводы

Распределительная система	Основные виды применения	Типичные значения токов замыкания на землю	Примечания
ТТ	Бытовые и аналогичные установки Небольшие предприятия с источниками питания ННН	10÷100 А	Системы ТТ применяются, когда невозможно использование защитного проводника (РЕ) и когда желательно ответственность за защиту от косвенного прикосновения возложить на потребителя.
ТН	Предприятия и большие установки с источниками питания СН	Значения, равные значениям токов однофазного короткого замыкания	Системы ТН являются системами, в которых питание потребителей осуществляется через свои собственные подстанции; в таких случаях защитный проводник легко обеспечить.
IT	Химическая и нефтехимическая промышленности, т.е. установки, где бесперебойность электроснабжения является необходимой мерой	$\mu\text{A} \div 2 \text{ A}$ в зависимости от размера установки; в случае двойного замыкания на землю ток повреждения принимает значения токов повреждения систем ТТ или ТН в зависимости от соединения открытых проводящих частей с землей	Данный тип распределительных систем особенно подходит для случаев, когда должна обеспечиваться непрерывность работы, т.к. наличие первого замыкания не вызывает больших токов и/или токов, опасных для людей.



Серия проектировщика

5 Защита от косвенного прикосновения

5.1 Действие электрического тока на тело человека

Опасности, в результате прикосновения человека к частям электроустановки, находящимся под напряжением, вызваны током, протекающим через человеческое тело. Такими эффектами являются:

- **неотпускание:** на мышцы воздействует протекающий ток вследствие нежелательного прикосновения, в результате чего становится трудным отпустить ухваченную проводящую часть. Однако, большие значения токов обычно не вызывают эффекта неотпускания, т.к. при воздействии таких токов на тело человека мускульные сокращения настолько энергичны, что обычно вызывают, таким образом, отбрасывание проводящей части;
- **затруднение дыхания:** если протекающий ток воздействует на мышцы дыхательной системы, то невольное сокращение этих мышц отличается от обычного дыхательного процесса, что может привести к гибели человека благодаря удушью или травмам, вызванным асфиксией;

- **фибрилляция желудочков сердца:** наиболее опасным эффектом, в результате которого внешние токи накладываются на физиологические, которые, вызывая невольные сокращения, инициируют отклонения в сердечном цикле. Данное явление может привести к необратимым последствиям, т.к. этот процесс может продолжаться даже после снятия напряжения;
- **ожоги:** они являются в результате воздействия тепла (эффект Джоуля), выделяющегося в процессе прохождения тока через человеческое тело.

Стандарт МЭК 60479-1 «Воздействие тока на людей и домашних животных» является руководством по эффектам протекания электрического тока через человеческое тело, в котором определены основные требования по электрической безопасности. В данном Стандарте представлена время-токовая диаграмма, показывающая четыре зоны (Рисунок 1), к которым относятся физиологические эффекты в результате протекания через тело человека переменного тока (15 – 100 Гц). Эти зоны описаны в Таблице 1.

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

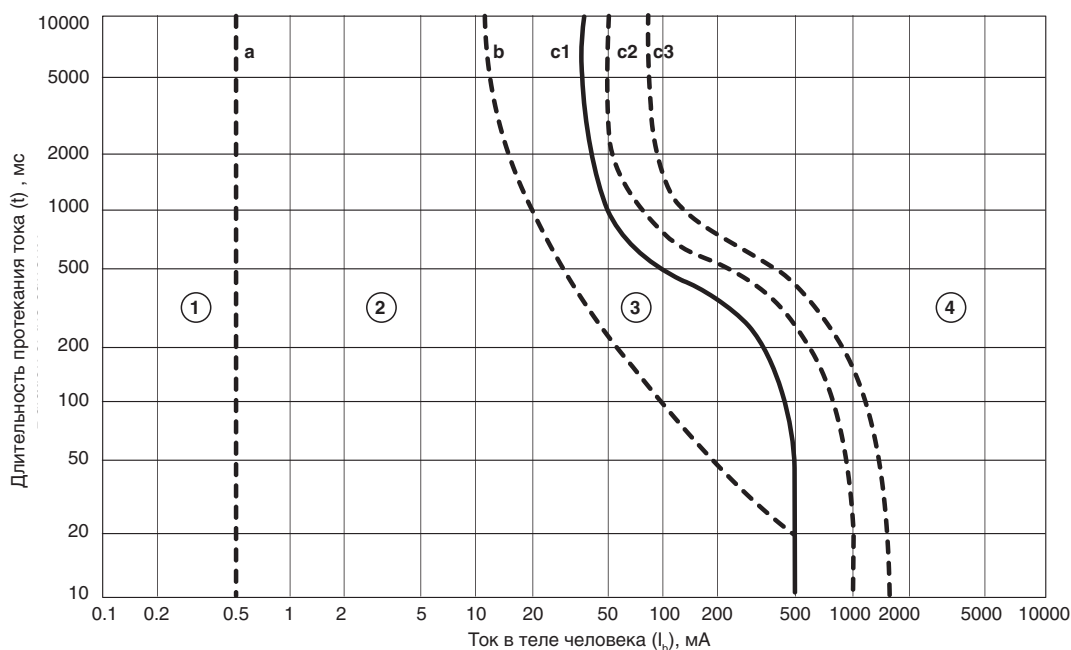
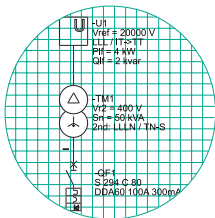


Таблица 1: эффекты воздействия переменного тока на тело человека

Зона	Эффекты
1	обычно никакой реакции
2	эффекты, обычно не вызывающие никаких физиологических нарушений
3	обычно никаких органических повреждений. Вероятность мускульных сокращений, подобных судороге, и затруднение дыхания; обратимые перебои сердечного ритма, включая фибрилляцию предсердия без фибрилляции желудочков могут иметь место при увеличении значения тока и времени
4	помимо эффектов зоны 3 вероятность возникновения фибрилляции возрастает до примерно 5% (кривая c2), 50% (кривая c3) и выше 50% за кривой c3. Патофизиологические эффекты, такие как остановка сердца, остановка дыхания и серьезные ожоги могут иметь место при увеличении значения тока и времени.



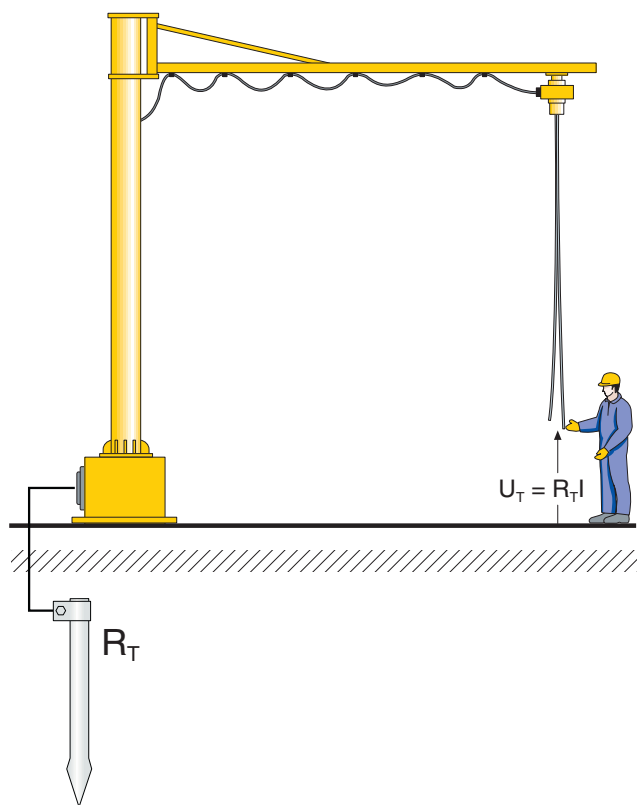
Серия проектировщика

В Стандарте МЭК 60479-1 представлены также аналогичные диаграммы для постоянного тока.

Кривые на Рисунке 1 не могут быть легко применимы практически для определения максимально допустимого тока, безопасного для человека. Поэтому опасность тока оценивается через приложенное напряжение. Зная сопротивление человеческого тела, можно определить кривые электробезопасности относительно напряжения с помощью закона Ома.

Значение сопротивления электрического тела человека может сильно меняться в зависимости от мест приложения к нему электродов. В Стандарте МЭК 60479-2 представлены различные значения сопротивления, как функции напряжения прикосновения и пути тока.

Учитывая наиболее экстремальные значения сопротивления, представленные в диаграмме Стандарта, можно получить зависимость безопасного напряжения от времени, по которой



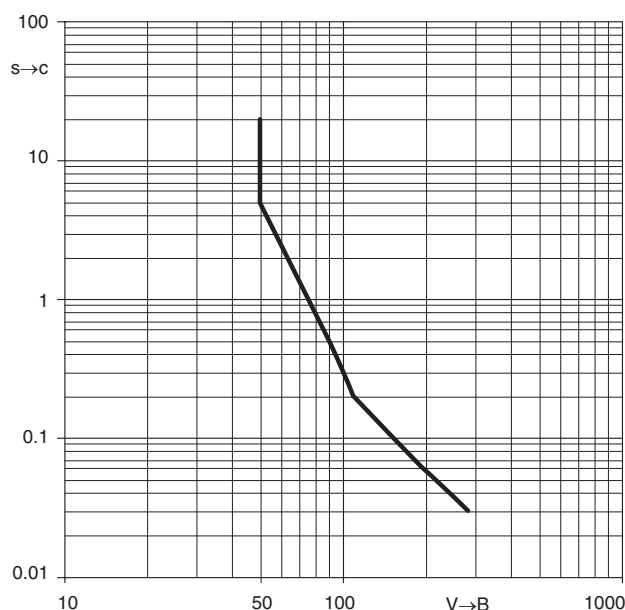
Ожидаемое напряжение прикосновения U_T есть напряжение между открытой проводящей частью и удаленной точкой земли.

можно получить относительное время, в течение которого человеческое тело может выдержать ток замыкания, как функцию напряжения прикосновения U_T (Рисунок 2).

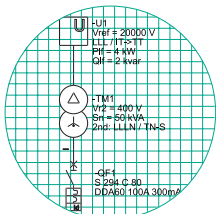
Расчетное напряжение прикосновения есть напряжения, которое в результате повреждения изоляции появляется между проводящей частью и достаточно удаленной точкой земли с нулевым потенциалом. Оно отражает значение максимального эффективного напряжения прикосновения; таким образом, рассматривается наиболее неблагоприятный случай из соображений безопасности.

По кривой безопасности Рисунка 2 видно, что для значений напряжения, ниже 50 В допустимое время неограничено; при напряжении 50 В допустимое время равно 5 секунд.

Рисунок 2: Кривая электробезопасности (напряжение от времени)



Кривая на рисунке относится к обычному сухому помещению; в других условиях сопротивление человеческого тела относительно земли может снижаться и, следовательно, значения допустимых напряжений в течение неограниченного времени лежат ниже 25 В. Поэтому, если защита от косвенных прикосновений обеспечивается путем автоматического отключения питания, необходимо убедиться, что такое отключение осуществляется в соответствии с кривой безопасности для соответствующей распределительной системы. На практике заблаговременное определение напряжения прикосновения является непростой задачей, т.к. оно сильно зависит от конфигурации установки; но даже после реализации электроустановки, задача оценки такого напряжения остается довольно сложной. По этим причинам были разработаны некоторые стандартные методы, которые позволяют определить время срабатывания устройств защиты не в зависимости от функции эффективного напряжения прикосновения, а в зависимости от номинального напряжения электроустановки для систем TN и ожидаемого напряжения прикосновения в системах TT.



Серия проектировщика

5.2 Защита от косвенного прикосновения путем автоматического отключения питания

В Стандарте МЭК 60364¹ (ГОСТ Р 50571) сказано, что для защиты от косвенного прикосновения должно применяться автоматическое отключение питания.

Защитное устройство должно автоматически отключать питание таким образом, чтобы в случае возникновения повреждения между токоведущей частью и открытой проводящей частью (или защитным проводником) ожидаемое напряжение прикосновения, превышающее 50 В ~ (25 В для особых условий) не существовало бы в течение времени, достаточного для появления риска опасного физиологического воздействия на человека, оказавшегося в контакте с одновременно доступными проводящими частями.

Такая защитная мера требует координации между способом соединения системы с землей и характеристиками защитных проводников и устройств.

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

- автоматические выключатели с термагнитными расцепителями;
- автоматические выключатели с электронным расцепителем на микропроцессорной основе;
- автоматические выключатели с электронным расцепителем на микропроцессорной основе с встроенной функцией защиты от замыкания на землю (функция G);
- автоматические выключатели с термагнитным или электронным расцепителем и с встроенным расцепителем дифференциального тока;
- выключатели дифференциального тока (ВДТ);
- расцепители дифференциального тока.

Далее приводится описание подобных устройств защиты.

Автоматические выключатели с термагнитным расцепителем

Функциями защиты автоматического выключателя, оборудованного термагнитным расцепителем являются:

- защита от перегрузок;
- защита от коротких замыканий;
- защита от косвенных прикосновений.

Защита от перегрузки обеспечивается тепловым расцепителем с обратозависимой времятоковой кривой, т.е. чем больше ток перегрузки, тем быстрее сработает выключатель.

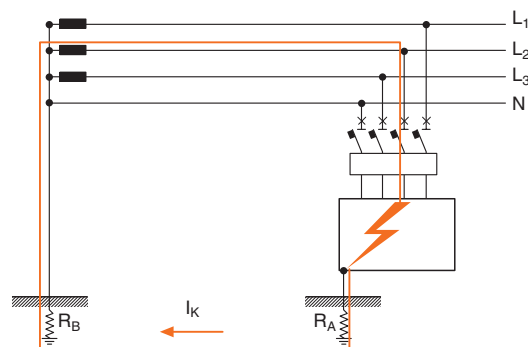
Защита от короткого замыкания обеспечивается с помощью электромагнитного расцепителя с независимой кривой времени срабатывания, т.е. со временем отключения, независимым от тока короткого замыкания.

Защита от косвенного прикосновения может выполняться как тепловым, так и электромагнитным расцепителями, т.к. ток замыкания на землю протекает, по крайней мере, по одной фазе. Если этот ток достаточно высок, то он может вызвать срабатывание автоматического выключателя. Как объяснено далее, необходимо, чтобы защитное устройство было скоординировано с распределительной системой и способом заземления открытых проводящих частей. Эта координация гарантирует его срабатывание в течение такого времени, которое ограничивает время существования опасного напряжения прикосновения на открытых проводящих частях вследствие замыкания на землю.

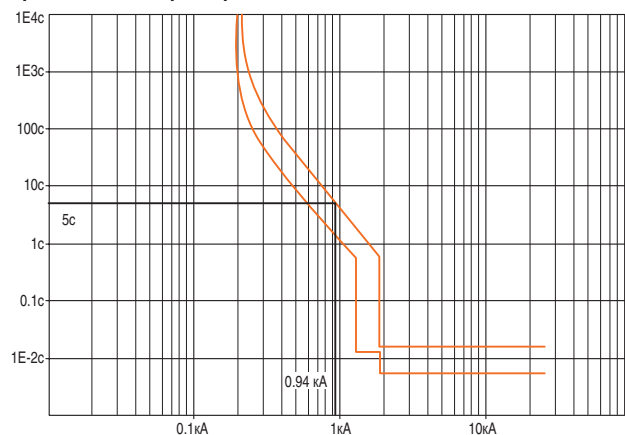
На Рисунке 3 показаны пример пути тока замыкания на землю в системе, где нейтральный проводник и открытые проводящие части подсоединены к двум независимым заземлителям (система TT), и времятоковая характеристика термагнитного автоматического выключателя Tmax T1B160 R125.

Рисунок 3

Путь тока замыкания на землю



Времятоковая характеристика выключателя T1C160 R125

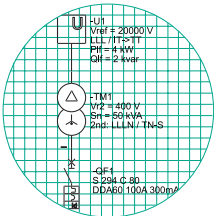


Как видно из диаграммы, если принять ток замыкания на землю равным 940 А, выключатель должен сработать за время, не превышающее 5 секунд (берется значение времени по верхней кривой, как наихудший случай).

Автоматический выключатель с электронным расцепителем на микропроцессорной основе

Функции защит, обеспечиваемые автоматическим выключателем с электронным расцепителем или термагнитным, полностью аналогичны. Защитные функции, выполняемые электронным расцепителем на микропроцессорной основе,

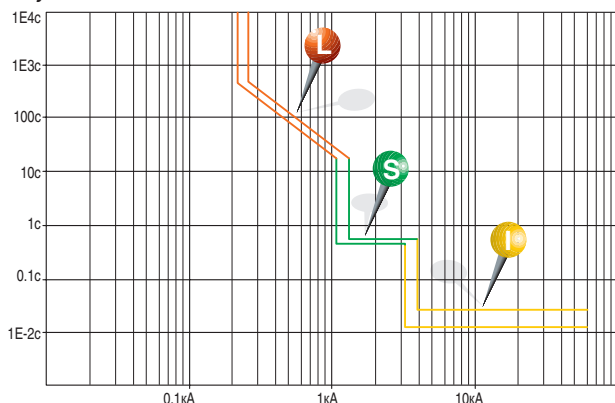
¹ Аналогичное предписание содержится и в ПУЭ 7 изд. пункт 1.7.51



Серия проектировщика

позволяют реализовать защиту от перегрузки (функция L), от короткого замыкания (функции S и I) и от косвенного прикосновения.

Рисунок 4

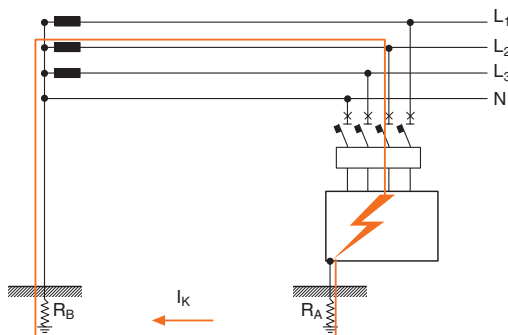


Электронные расцепители позволяют получить точные настройки относительно не только времени срабатывания, но и токовых уставок, с целью удовлетворения всех требований электроустановки.

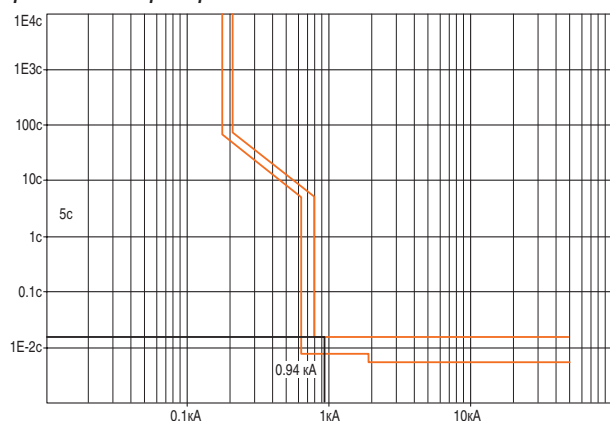
На рисунке 5 показан такой же пример, что и в предыдущем случае, но теперь используется автоматический выключатель с электронным расцепителем Tmax T2S160 PR221DS-LS/I In160.

Рисунок 5

Путь тока замыкания на землю



Времятоковая характеристика выключателя T2S160 PR221DS-LS/I In160



Возможность получения низкой магнитной уставки (примерно 750 A) позволяет добиться времени срабатывания, соответствующего срабатыванию функции I (несколько десятков миллисекунд), что значительно быстрее, чем время, получаемое при тех же условиях, с применением выключателя того же размера с термоманитным расцепителем.

Автоматические выключатели с электронными расцепителями на микропроцессорной основе с встроенной функцией защиты от замыкания на землю (функция G)

Более современная версия электронных расцепителей на микропроцессорной основе помимо основных функций защиты от перегрузки (L) и короткого замыкания (S и I) оснащается специальной функцией защиты от замыкания на землю, называемой функцией G.

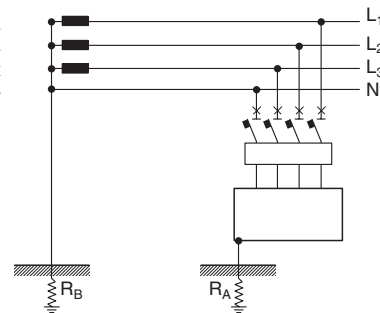
С помощью защитной функции G можно рассчитывать векторную сумму токов в токоведущих проводниках (три фазы и нейтраль). В электрически неповрежденной цепи эта сумма равна нулю, но при наличии замыканий на землю часть тока возвращается к источнику через защитный проводник и/или землю, не затрагивая токоведущие проводники.

Если этот ток выше уставки функции G, то выключатель должен сработать за соответствующее время. На Рисунке 6 показан принцип действия функции G.

Рисунок 6: Принцип действия функции G

В электрически исправной цепи векторная сумма токов токоведущих проводников (фазные + нейтральный проводники) равна нулю:

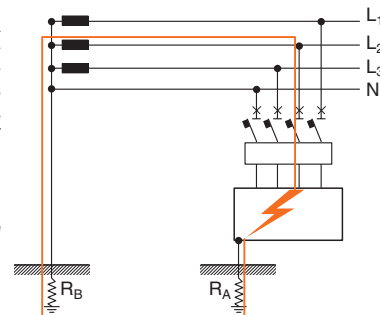
$$I_A = I_{L1} + I_{L2} + I_{L3} + I_N = 0$$

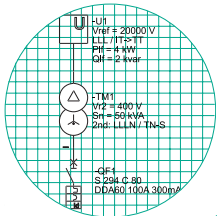


В случае замыкания на землю, часть тока замыкания на землю возвращается к источнику через землю, и векторная сумма токов будет отлична от нуля:

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

При $I_A \geq I_G$ срабатывание функции G.



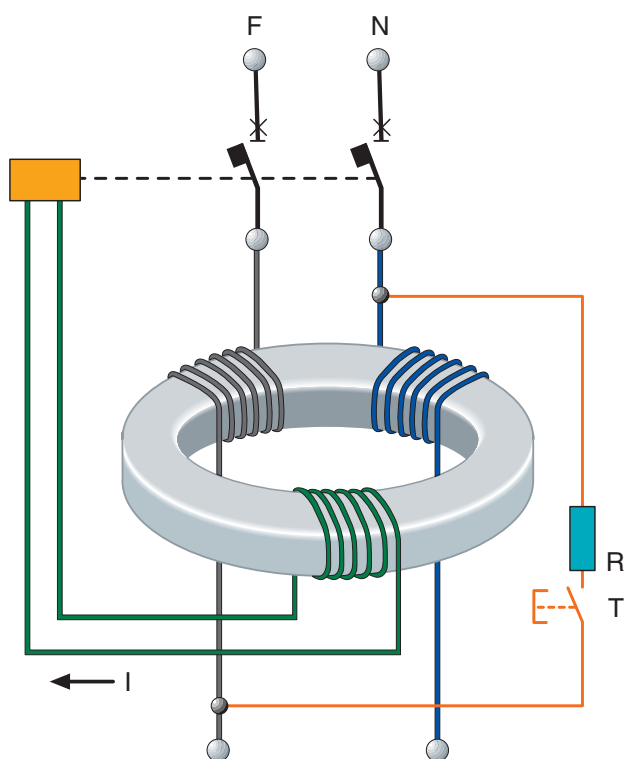


Серия проектировщика

Термагнитные или электронные автоматические выключатели с встроенным расцепителем дифференциального тока. Автоматические выключатели с встроенным расцепителем дифференциального тока объединяют расцепитель дифференциального тока и защитный расцепитель от сверхтока в одном аппарате и срабатывают как от токов замыкания, так и от сверхтоков.

Принцип действия расцепителя дифференциального тока заключается в обнаружении тока замыкания на землю с помощью тороидального трансформатора, охватывающего все токоведущие проводники, включая нейтраль, если она распределена.

Рисунок 7: Принцип действия расцепителя дифференциального тока



В отсутствии тока замыкания на землю векторная сумма токов I_A равна нулю; в случае замыкания на землю, если значение I_A превосходит номинальный отключающий дифференциальный ток $I_{\Delta n}$, вторичная цепь тороидального трансформатора посылает сигнал на специальный электромагнит, вызывающий срабатывание выключателя.

Выключатели дифференциального тока классифицируют в соответствии с их чувствительностью к типам токов повреждения:

- тип AC: срабатывание гарантировано в случае протекания дифференциального синусоидального переменного тока;

- тип A: срабатывание гарантировано в случае протекания дифференциального переменного тока и дифференциального пульсирующего однонаправленного тока;
- тип B: срабатывание гарантировано в случае протекания дифференциального непрерывного (постоянного) тока, а также переменного тока и дифференциального пульсирующего однонаправленного тока.

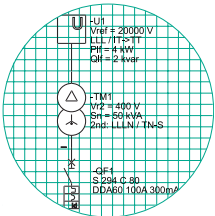
Таблица 2: Типы устройств дифференциального тока

	Форма дифференциального тока	Точное функционирование УДТ		
		Тип		
		AC	DC	DC
Синусоидальный	внезапно появившийся	+	+	+
	медленно возрастающий			
Пульсирующий	внезапно появившийся			
	без или с пост. сост-ий 0.006 A		+	+
Сглаженный	медленно возрастающий			
				+

Также эти устройства классифицируют в соответствии с задержкой срабатывания:

- мгновенного действия;
- с временной задержкой типа S;





Серия проектировщика

Выключатели дифференциального тока

Выключатели дифференциального тока оснащаются только расцепителями дифференциального тока и поэтому обеспечивают защиту только от замыкания на землю. Наряду с ними должны устанавливаться и термомангнитные автоматические выключатели или предохранители для защиты от тепловых и динамических воздействий.

Принцип действия этих устройств аналогичен принципу, описанному в предыдущем пункте.

Расцепители дифференциального тока

Расцепители дифференциального тока, так называемые расцепители дифференциального тока для распределительных щитов, выполняют функцию обнаружения тока замыкания на землю с помощью отдельного тороида, установленного внешне на токоведущих проводниках цепи. Если дифференциальный ток превышает уставку, расцепитель активирует контакт, который используется для подачи команды на размыкающий механизм автоматического выключателя.

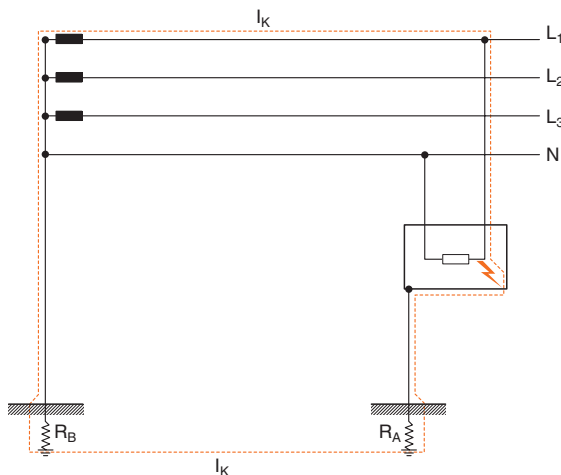
Рассматриваемые устройства применяются в промышленных установках со сложными условиями для монтажа, например, если автоматические выключатели уже установлены или пространство в ячейке автоматического выключателя ограничено.

Принцип действия этих устройств аналогичен принципу, описанному в предыдущем пункте.

5.3 Защита от косвенного прикосновения в системах ТТ

На рисунке 8 представлена схема, в которой показано замыкание на землю в системе ТТ.

Рисунок 8



Ток замыкания на землю протекает по вторичной обмотке трансформатора, фазный проводник, сопротивление замыкания, защитный проводник и сопротивления заземлителей (R_A заземлитель пользователя, R_B заземлитель нейтральной точки трансформатора). В соответствии с предписаниями Стандарта МЭК 60364-4 (ГОСТ Р 50571.3-94, защитные устройства должны быть скоординированы с системой заземления для того, чтобы отключить источник питания в случае, если напряжение прикосновения достигает опасных для человеческого тела значений.

При условии, что 50 В (25 В для особых условий) является верхним пределом безопасного напряжения прикосновения на открытых проводящих частях, необходимо выполнение следующего условия:

$$R_A \leq \frac{50}{I_a} \quad \text{или} \quad R_A \leq \frac{50}{I_{\Delta n}}$$

где:

R_A сопротивление заземлителя [Ом]¹;

I_a ток, вызывающий автоматическое срабатывание защитного устройства в пределах 5 секунд, который можно получить из времятоковой характеристики самого устройства [А]; если защитное устройство является устройством защиты от сверхтока, в Стандарте CEI 64-8 в параграфе 413.1.4.2 предписывается:

- если характеристика этого устройства с обратозависимой выдержкой по времени, то ток должен вызывать срабатывание в пределах 5 секунд;
- если устройство имеет мгновенную по времени характеристику срабатывания для значения I_a , то минимальный ток должен вызвать срабатывание автоматического выключателя.

$I_{\Delta n}$ номинальный отключающий дифференциальный ток выключателя дифференциального тока в пределах 1 секунды [А].

Из рассмотренного выше видно, что значение сопротивления R_A , которое должна иметь система заземления, сильно отличается в случае применения автоматического выключателя, а не устройств дифференциального тока. Это связано с тем, что порядок тока в знаменателях вышеупомянутых соотношений отличен. В следующем параграфе более подробно рассматривается как значения R_A могут соотноситься с используемыми защитными устройствами.

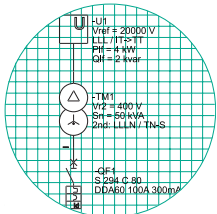
Выбор автоматического устройства для защиты от замыкания на землю и косвенного прикосновения должен быть выполнен путем правильной координации времени срабатывания и значения R_A . В системах ТТ для защиты от косвенного прикосновения могут использоваться следующие устройства:

- автоматические выключатели с термомангнитными расцепителями;
- автоматические выключатели с электронными расцепителями;
- выключатели дифференциального тока.

Защита от косвенного прикосновения с помощью автоматических выключателей с термомангнитными расцепителями

Применение автоматического выключателя, оборудованного термомангнитным расцепителем, для защиты от косвенного прикосновения в системах ТТ довольно сложно соотнести с системой заземления.

¹ сопротивление заземлителя R_A включено последовательно с сопротивлением защитного проводника, которое пренебрежимо мало по сравнению с сопротивлением R_A ; поэтому, в формуле можно учитывать только сопротивление заземлителя пользователя.



Серия проектировщика

Фактически для этих автоматических выключателей ток, вызывающий срабатывание в пределах 5 секунд или мгновенное срабатывание, в несколько раз больше номинального тока. Следовательно, чтобы выполнить предписания Стандарта необходимо использовать заземлитель, с настолько малыми значениями сопротивления, что их получение на практике является сложной задачей.

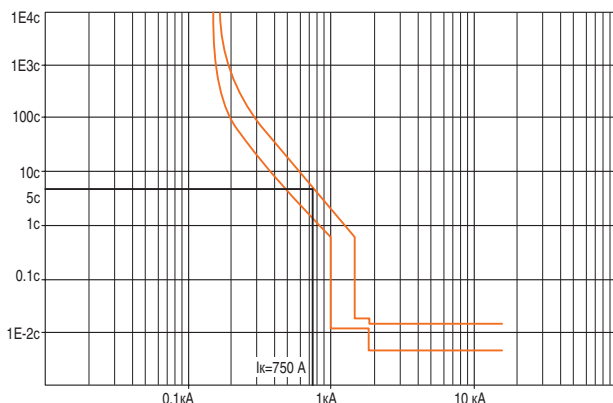
В качестве примера рассмотрим, как обеспечивает защиту автоматический выключатель компании АББ серии Tmax T1B160 In125.

Из холодного состояния, что является наихудшим случаем для тепловых расцепителей, из времятоковой характеристики можно получить ток срабатывания автоматического выключателя в течение 5 секунд, равный 750 А (Рисунок 9). Таким образом:

$$R_A \leq \frac{50}{750} = 0.06 \text{ Ом}$$

Для того, чтобы гарантировать необходимую защиту, нужно реализовать систему заземления с сопротивлением $R_A \leq 0.06 \text{ Ом}$, чего на практике добиться довольно сложно.

Рисунок 9



С другой стороны при применении того же аппарата, но уже оборудованного расцепителем дифференциального тока АББ RC221 с номинальным отключающим дифференциальным током $I_{\Delta n} = 30 \text{ мА}$, нужно будет обеспечить сопротивление:

$$R_A \leq \frac{50}{0.03} = 1666.6 \text{ Ом}$$

Другими словами применение устройства дифференциального тока позволяет реализовать систему заземления с сопротивлением, которое легко получить, тогда, как автоматический выключатель можно применять для защиты от косвенного прикосновения при условии, что значения сопротивления R_A достаточно низкие.

Защита от косвенного прикосновения с помощью автоматических выключателей с электронными расцепителями

Для электронных расцепителей справедливы характеристики, представленные в предыдущих случаях, и они соответственно относятся к функциям L (защита от перегрузки), S (защита от короткого замыкания с настраиваемым порогом срабатывания) и I (защита от короткого замыкания с мгновенным срабатыванием). Электронные расцепители позволяют добиться точной настройки, как по времени, так и по токовым уставкам, но, как и в предыдущем случае, они могут быть использованы, только если сопротивление системы заземления имеет низкие значения, часто меньшие единицы.

Особое внимание следует уделить защитной функции G (защита от замыкания на землю с настраиваемой задержкой), устанавливаемой на наиболее современных расцепителях. Необходимо помнить, что данная функция защиты позволяет вычислять векторную сумму токов в токоведущих проводниках (три фазы и нейтральный проводник). В цепи без повреждения данная сумма равна нулю, но в случае появления замыкания на землю часть тока повреждения будет возвращаться к источнику через защитный проводник и заземлитель, не протекая по токоведущим проводникам. Если данный ток выше уровня уставки функции G, автоматический выключатель должен сработать за время, установленное на электронном расцепителе.

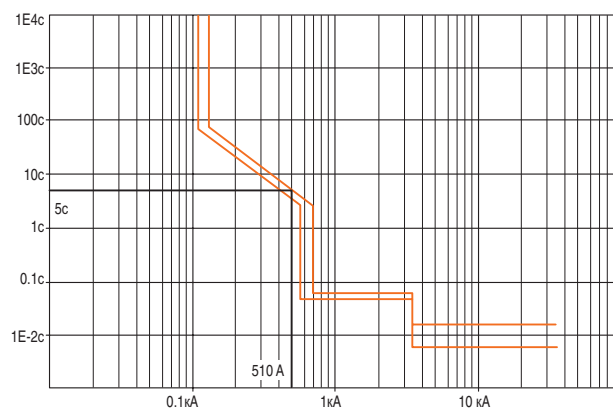
При использовании функции G получим следующее соотношение для обеспечения защиты от косвенного прикосновения:

$$R_A \leq \frac{50}{I_4}$$

где I_4 есть значение порога срабатывания функции защиты от замыкания на землю [А]. А так как данная величина может лежать в пределах от 0.2 до $1 I_n$ (в зависимости от типа расцепителя), то становится очевидным, почему при использовании функции G, величина R_A становится выше, чем в случае применения только функций защиты от сверхтоков (L, S и I).

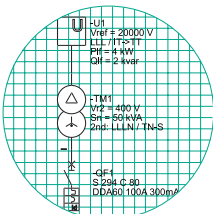
Например, для защиты от косвенного прикосновения используется автоматический выключатель серии Tmax T4N250 In 100 А, оборудованный электронным расцепителем типа PR222DS/P LSIG (Рисунок 10). В результате получим, что защита от сверхтоков не может гарантировать достаточную и рациональную координацию с системой заземления, так как ток срабатывания в течение 5 секунд при уставках, представленных на Рисунок 9, равен 510А и, соответственно, требуется сопротивление заземления, равное 0.1 Ом.

Рисунок 10



T4N 250 PR222DS/P-LSIG In100

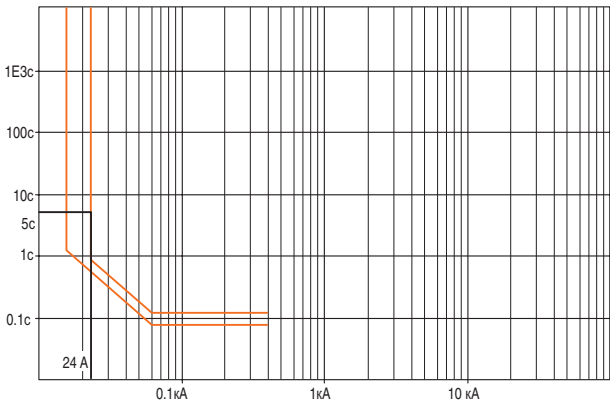
L:	$I_1 = 1xI_n$	$t_1 = 3c$
S:	$t = \text{const}$	$I_2 = 6.4xI_n$
I:	OFF	$t_2 = 0.05c$



Серия проектировщика

При использовании функции G, установленной на $0.2 \times I_n$, ток срабатывания, выше которого выключатель срабатывает в пределах 5 секунд, равен 24 А (значение с учетом максимального разброса). Таким образом, получим максимальное сопротивление заземления, равное 2.1 Ом.

Рисунок 11



T4N 250 PR222DS/P-LSIG In100

G: $I^2t = \text{const}$ $I_{\Delta} = 0.2 \times I_n$ $t_d = 0.1 \text{ c}$

Что касается применений, для которых невозможно обеспечить систему заземления с низким значением R_A , необходимо принять иные меры для защиты от косвенного прикосновения (см. Приложение В). В подобных случаях даже если применение функции G не гарантирует защиту от косвенного прикосновения, то защита от замыкания на землю частично гарантирована, что обеспечивает предотвращение образования сосредоточенной дуги, которая может вызвать перегрев и явиться причиной пожара.

Защита от косвенного прикосновения с помощью устройств дифференциального тока

Принцип действия устройств дифференциального тока заключается в обнаружении тока замыкания на землю с помощью тороидального трансформатора, который охватывает все токоведущие проводники, включая нейтральный проводник, если он используется. При отсутствии токов повреждений векторная сумма токов I_{Δ} равна нулю. В случае повреждения, если значение I_{Δ} превосходит значение уставки срабатывания, называемую $I_{\Delta n}$, вторичная цепь тороидального трансформатора посылает сигнал на специальный отключающий механизм, вызывающий срабатывание выключателя.

Помимо координации с системой заземления, выбор номинального отключающего дифференциального тока нужно производить, согласовав его с суммарным током утечки электроустановки при нормальных условиях, чтобы избежать нежелательных срабатываний. Таким образом, ток утечки не должен превышать $0.5 \times I_{\Delta n}$.

Для согласования с условием защиты от косвенного прикосновения использование выключателя дифференциального тока позволяет получить значение R_A , значительно большее, чем при использовании автоматического выключателя.

В Таблице 3 показаны максимальные значения сопротивлений заземлителей, которые могут быть получены в зависимости от номинального отключающего дифференциального тока защитной аппаратуры при обычных условиях эксплуатации (50 В).

Таблица 3

$I_{\Delta n}$ [A]	R_A [Ω]
0.01	5000
0.03	1666
0.1	500
0.3	166
0.5	100
3	16
10	5
30	1.6

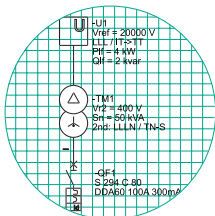
В электроустановке с общей системой заземления и с нагрузками, защищаемыми устройствами с различными токами срабатывания, наихудшим случаем будет являться устройство с максимальным током срабатывания, применение которого необходимо рассматривать для координации всех нагрузок с системой заземления. Это означает, что в случае, когда некоторые отдельные цепи защищены устройствами дифференциального тока, а некоторые устройства защиты от перегрузки, сопротивление системы заземления R_A должно рассчитываться для тока срабатывания устройства защиты от перегрузки, который гарантировал бы срабатывание в пределах 5 секунд. А так как именно этот ток является наибольшим из номинальных токов срабатывания двух типов устройств, все преимущества в использовании устройств дифференциального тока сводятся к нулю.

Из выше упомянутого получается, что в системах ТТ желательно защищать все нагрузки с помощью выключателей дифференциального тока, выбор которых согласован с системой заземления, с тем чтобы иметь преимущества в правильном срабатывании при появлении повреждения и в простой реализации заземления.

Выводы

Подводя итог, в системах ТТ Стандартами допускается использовать:

- автоматические устройства защиты от перегрузки, обеспечивающие:
 - для устройств с обратозависимой времятоковой характеристикой, для тока I_{Δ} должно быть обеспечено срабатывание в пределах 5 секунд;
 - для устройств с мгновенным срабатыванием, ток срабатывания I_{Δ} должен быть не меньше минимальной уставки мгновенного срабатывания;
- для устройств дифференциального тока ток срабатывания $I_{\Delta n}$ является номинальным отключающим дифференциальным током, а с максимально допустимой задержкой срабатывания – 1 сек.

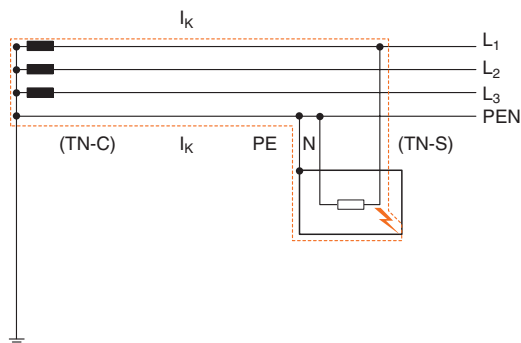


Серия проектировщика

5.4 Защита от косвенного прикосновения в системах TN

Замыкание на землю в системе TN происходит в системе, представленной на Рисунке 12.

Рисунок 12



Как показано на рисунке, контур повреждения не включает в себя сопротивления заземлителя, а определяется последовательно соединенными сопротивлениями фазного и защитного (PE или PEN) проводников.

Для того, чтобы обеспечить защиту путем автоматического отключения питания в соответствии с требованиями Стандарта МЭК 60364-4 (ГОСТ Р 50571.3-94), должно выполняться следующее условие:

$$Z_s \cdot I_a \leq U_0$$

где:

Z_s полное сопротивление цепи «фаза-нуль» (сопротивление контура повреждения, включающее источник, токоведущий проводник до точки повреждения и защитный проводник от точки повреждения до источника) [Ом];

U_0 номинальное напряжение (действующее значение) между фазой и землей [В];

I_a ток вызывающий срабатывание устройства защиты за время согласно Таблицы 4, являющееся функцией номинального напряжения U_0 , или для распределительных цепей (при других условиях, установленных Стандартом), за время, не превышающее 5 с; если защита обеспечивается выключателем дифференциального тока, то I_a является номинальным отключающим дифференциальным током $I_{\Delta n}$.

Таблица 4

U_0 [В]	Время отключения [с]
120	0.8
230	0.4
400	0.2
>400	0.1

На практике выделяют два вида цепей:

- конечные цепи: цепи, обычно питающие оборудование;
- распределительные цепи: цепи, питающие распределительные щиты, к которым подсоединяются другие конечные цепи.

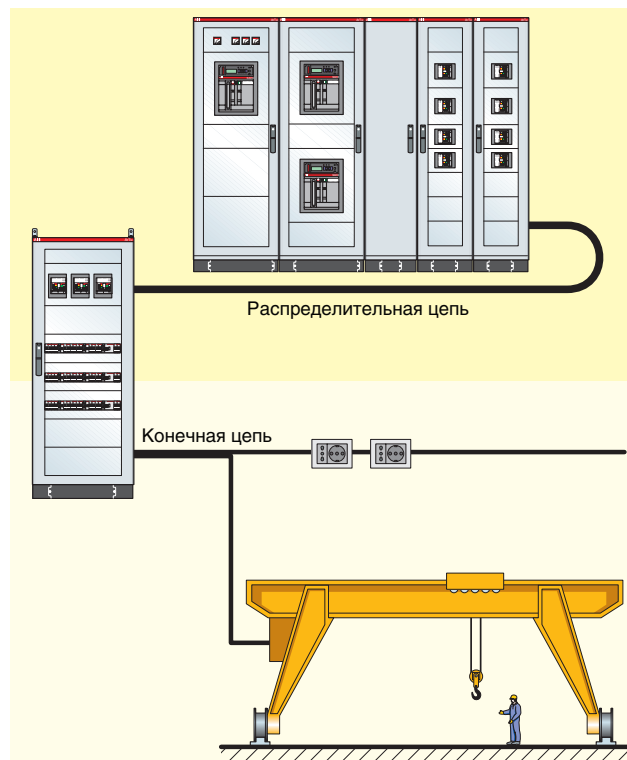
Конечные цепи могут питать различные нагрузки, такие как:

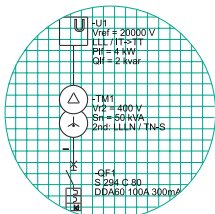
- стационарное оборудование (например, вентилятор);
- переносное или передвижное оборудование;
- штепсельные розетки.

В Стандарте считается, что вероятность возникновения замыкания на землю в конечных цепях, питающих передвижное оборудование или штепсельные розетки, выше, так как механические воздействия на них выше. Поэтому прикосновение человека к открытым проводящим частям переносного или передвижного оборудования является более вероятным, чем к открытым проводящим частям распределительных цепей (например, металлический каркас распределительного щита). По этой причине вытекает требование Стандарта: чем выше фазное напряжение системы относительно земли в конечной цепи, тем меньше время отключения.

Исходя из рассмотренного анализа Стандартом установлены:

- времена отключения для конечных цепей, питающих переносное или передвижное оборудование или штепсельные розетки, в соответствии с Таблицей 4;
- время отключения, не превышающее 5 секунд, для конечных цепей, питающих стационарное электрооборудование, и распределительных цепей.





Серия проектировщика

Как уже упоминалось, для конечных цепей, питающих стационарное оборудование, Стандартом допускаются времена отключения, не превышающие 5 секунд. Но если от того же распределительного щита запитываются другие конечные цепи, питающие в свою очередь штепсельные розетки или передвижное оборудование, возможно, что в результате повреждения на стационарном оборудовании открытые проводящие части передвижного оборудования или оборудования, питаемого от штепсельных розеток, окажутся под напряжением относительно земли.

В таком случае питание будет отключено в пределах 5 секунд, тогда как Стандартом предусмотрено отключение в пределах 0.4 секунды (для $U_0 = 230$ В).

Чтобы обеспечить время отключения в пределах 5 секунд для конечных цепей, питающих стационарное электрооборудование, при наличии других конечных цепей, питающих переносное электрооборудование или штепсельные розетки, необходимо обеспечить уравнивание потенциалов между распределительным щитом и сторонними проводящими частями. Для более подробной информации см. ГОСТ Р 50571.3 п. 413.1.3.5.

Выбор автоматического устройства для защиты от замыканий фазных проводников на проводники РЕ и от косвенного прикосновения должен быть сделан на основе правильной координации времен отключения с сопротивлением контура повреждения.

В системах TN в случае замыкания на землю на стороне НН обычно создаются токи, подобные токам однофазного замыкания на землю, протекающим через фазный проводник (или проводники) и защитный, так как система заземления никак не затрагивается.

Можно вывести следующее выражение:

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

где I_{kLPE} — ток замыкания фазы на проводник РЕ. Поэтому можно установить, что защита от косвенного прикосновения обеспечивается, если ток срабатывания U_0 защитного устройства (в пределах 0.4 с при 230 В, или 5 с в определенных условиях) ниже, чем ток замыкания между фазным и РЕ проводниками (I_{kLPE}).

В системах TN для защиты от косвенного прикосновения могут быть использованы:

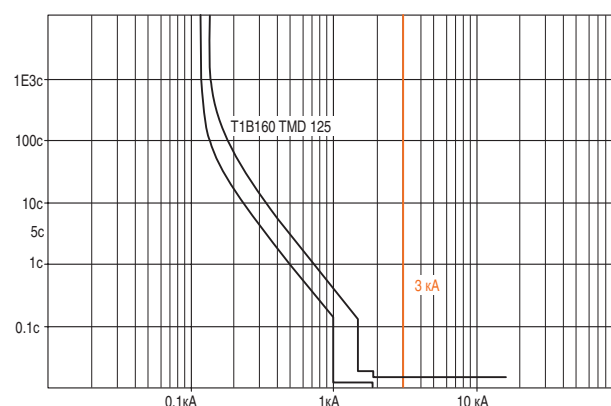
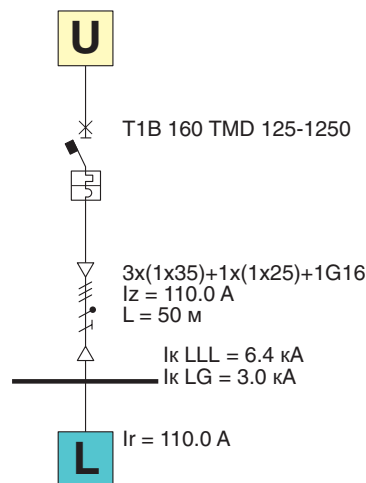
- автоматические выключатели с термомангнитными расцепителями;
- автоматические выключатели с электронными расцепителями;
- устройства дифференциального тока (только для систем TN-S и TN-C-S).

Защита от косвенного прикосновения с помощью термомангнитных расцепителей

Как уже упоминалось, в распределительных системах TN токи замыкания на землю довольно большие, что объясняется низким сопротивлением контура повреждения. Следовательно, в большинстве случаев защита от косвенного прикосновения может обеспечиваться автоматическими выключателями при условии, что токи, вызывающие срабатывания в пределах определенных времен, меньше, чем токи повреждения.

Следующий пример (Рисунок 13) демонстрирует проверку защиты от косвенного прикосновения в конечной цепи, питающей передвижное оборудование в системе TN-S с номинальным напряжением 400 В. Для данных условий важно убедиться, что ток замыкания фаза-РЕ выше, чем ток, вызывающий срабатывание в пределах 0.4 с.

Рисунок 13

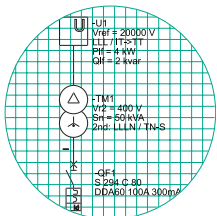


В рассматриваемом примере ток, вызывающий автоматическое отключение в течение времени, не превышающего 0.4с, ниже, чем ток замыкания фазы на проводник РЕ, который в свою очередь равен 3 кА.

Защита от косвенного прикосновения с помощью электронных расцепителей

Что касается электронных расцепителей, то для защитных функций L (от перегрузки), S (от короткого замыкания с выдержкой времени) и I (от короткого замыкания с мгновенным срабатыванием) справедливы те же указания. Конечно, электронные расцепители позволяют осуществить более точную настройку, как по времени, так и по порогам срабатывания.

Функция защиты от замыкания на землю G улучшает условия защиты, так как она позволяет обнаружить аварийные ситуации,



Серия проектировщика

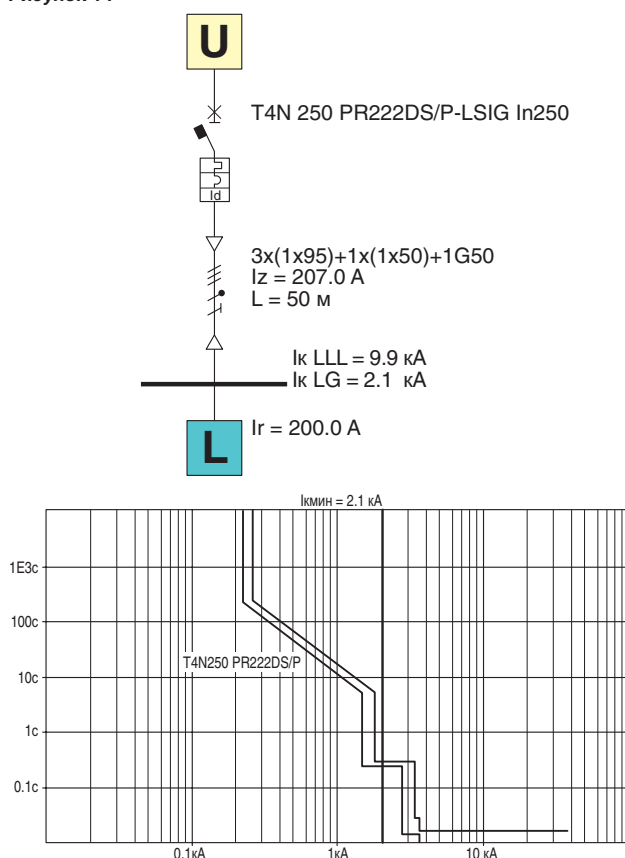
когда сопротивление контура повреждения принимает такие значения, что защита от сверхтоков не обеспечивает время срабатывания в пределах значений, установленных Стандартом, или если необходимо установить функции S и I на высокие значения для обеспечения селективности. При использовании функции G необходимо условие защиты от косвенного прикосновения примет вид:

$$Z_s \cdot I_a \leq U_0$$

где I_a — значение уставки защиты от замыкания на землю [A]. Данная величина может быть установлена в диапазоне от 0.2 до 1 In (в зависимости от типа расцепителя). Поэтому не сложно понять, как с помощью функции G можно обеспечить защиту от косвенного прикосновения для больших значений сопротивлений контура повреждения (т.е. в случае наличия длинного кабеля), а не с помощью защиты от сверхтоков.

В следующем примере (Рисунок 14) показан вариант возможных уставок автоматического выключателя Tmax T4N250 In 250 A, оборудованного электронным расцепителем типа PR222DS/P LSI.

Рисунок 14



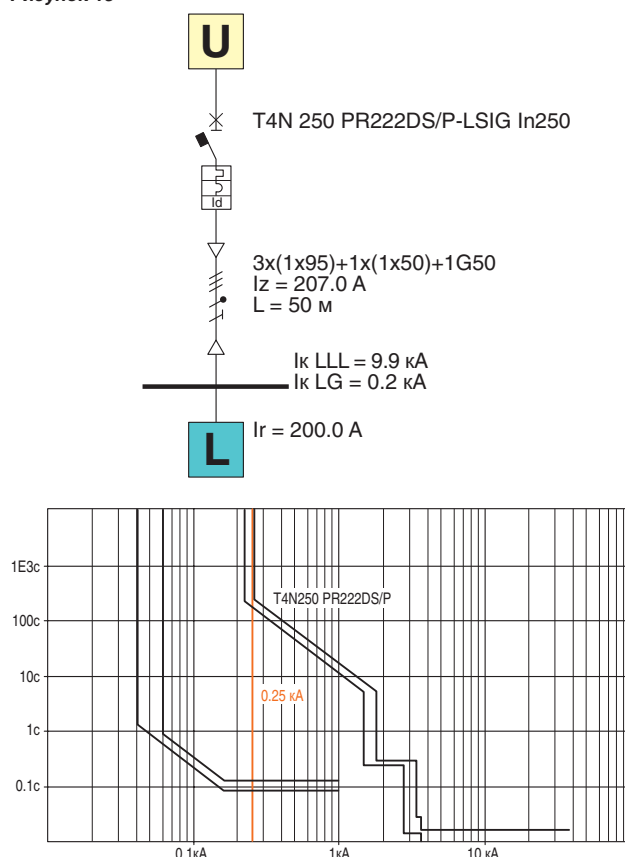
T4N 250 PR222DS/P-LSI In 250 A

L:	$I_1=0.8 \times I_n$	$t_1=9 \text{ c}$
S: $t=\text{const}$	$I_2=6.4 \times I_n$	$t_2=0.25 \text{ c}$
I:	$I_3=12 \times I_n$	

В частности, функция S была установлена так, чтобы обеспечивалось срабатывание в случае повреждения в пределах 0.25 с. Однако, данная величина отражает только одну из возможных уставок, так как функция I_2 также могла бы быть использована для защиты от косвенного прикосновения.

Если в той же электроустановке ток замыкания фаза-РЕ будет очень низким, например равным 0.2 kA, то использовать защиту от сверхтоков для защиты от косвенного прикосновения будет недопустимо, так как минимальная уставка функции S, вызывающая срабатывание в пределах 0.4с I_2 с учетом допуска, т.е. 330 A (значение больше тока I_{kLPE}). помимо этого слишком низкие уставки для обеспечения защиты от замыканий фаза-РЕ могут отразиться на координации с токами перегрузки. Поэтому в данном случае должна использоваться функция G с уставками, показанными на Рисунке 15:

Рисунок 15

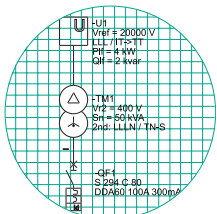


T4N 250 PR222DS/P-LSI In 250 A

L:	$I_1=0.8 \times I_n$	$t_1=9 \text{ c}$
S: $t=\text{const}$	$I_2=6.4 \times I_n$	$t_2=0.25 \text{ c}$
I:	$I_3=12 \times I_n$	
G:	$I_4=0.2 \times I_n$	$t_4=0.1 \text{ c}$

В системах TN-S, функция G позволяет обеспечить защиту от замыканий на землю для всех ситуаций, где защитные устройства от сверхтоков не обеспечивают ее.

Но необходимо помнить, что в системах TN-C использование функции G является невозможным в линиях, питающих трехфазные нагрузки с нейтралью. Фактически, расцепители на микропроцессорной основе будут неспособны обнаружить ток замыкания на землю, так как в данных условиях сумма токов фазных проводников и нейтрального всегда будет равна нулю, потому что ток повреждения будет течь в нейтральном



Серия проектировщика

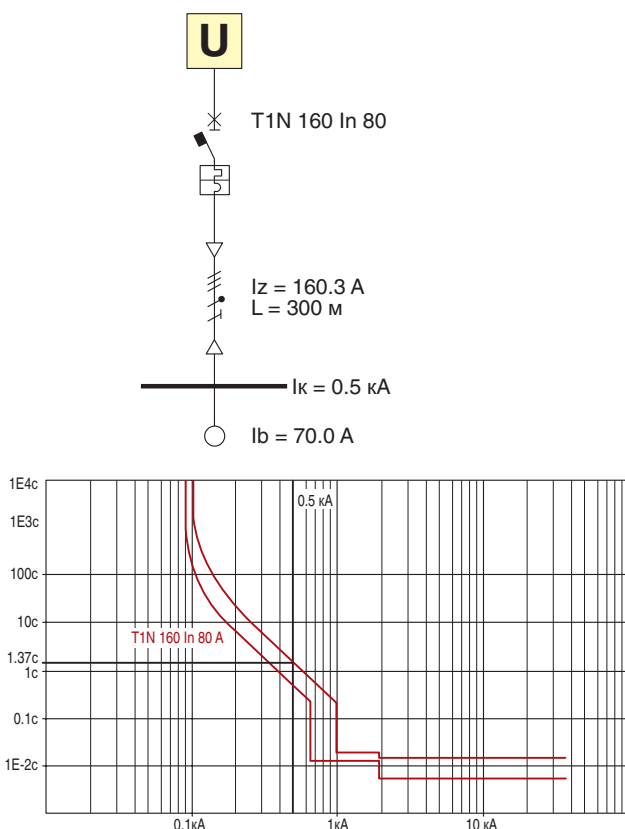
проводнике, который также является и защитным проводником PEN (подробно данный вопрос будет рассмотрен в следующем параграфе).

Защита от косвенного прикосновения с помощью устройств дифференциального тока

Применение выключателей дифференциального тока позволяет улучшить дальнейшие защитные условия, в частности, в случае неметаллического замыкания или замыкания в конце очень длинной линии, где имеются значительные сопротивления, ограничивающие ток короткого замыкания. Такие повреждения могут существовать довольно продолжительное время и являться причинами перегрева и возникновения пожара.

На Рисунке 16 показан пример конечной цепи, питаемой кабелем длиной 330 м и защищенной термомагнитным автоматическим выключателем типа Tmax T1N160 In 80 A. Благодаря высокому сопротивлению кабеля, величина тока замыкания фаза-РЕ равна 0.5 кА. При таком значении автоматический выключатель срабатывает за время, равное около 1.4 с, что не отвечает требованиям Стандарта. В данном случае применение выключателя дифференциального тока позволяет обеспечить обнаружение тока повреждения и отключение, в течение времени, в соответствии с требованиями Стандарта.

Рисунок 16



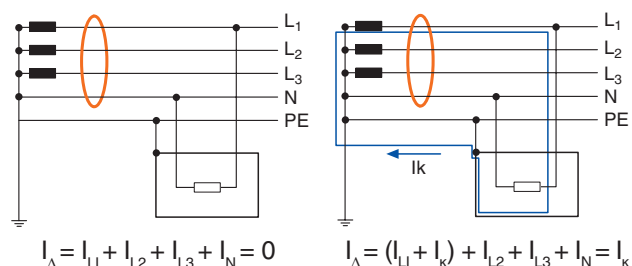
Выключатели дифференциального тока не могут быть использованы в системах TN-C, так как функции нейтрального и защитного проводников выполняются одним проводником PEN, который не позволяет применять данного рода устройства.

Чтобы объяснить вышесказанное, необходимо вспомнить принцип действия выключателей дифференциального тока, которые по существу обнаруживают ток замыкания на землю с помощью дифференциального трансформатора

тока, охватывающего фазные проводники и нейтральный, если он разделен.

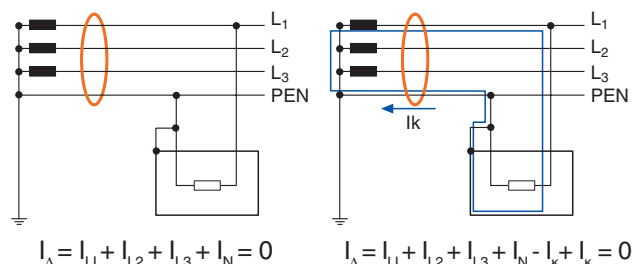
В системах TN-S ток замыкания на землю протекает по защитному проводнику РЕ, не протекая через тороидальный трансформатор (Рисунок 17). В таком случае векторная сумма токов будет отлична от нуля, и, если дифференциальный ток будет выше уставки, выключатель дифференциального тока сработает.

Рисунок 17: Устройство дифференциального тока в системе TN-S



В системах TN-C ток замыкания на землю возвращается по проводнику PEN, таким образом второй раз протекая сквозь тороид (рисунок 18). В данном случае векторная сумма токов будет равна нулю и устройство дифференциального тока останется включенным.

Рисунок 18: Устройство дифференциального тока в системе TN-C



С другой стороны в той же самой системе, если нейтральный проводник не охвачен тороидальным трансформатором, наличия однофазной нагрузки (несбалансированная нагрузка) будет достаточно, чтобы вызвать нежелательное срабатывание устройства дифференциального тока, даже при отсутствии повреждений в цепи.

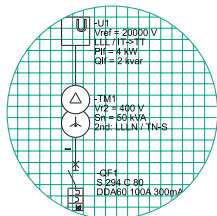
Выводы

В системах TN Стандартом предусмотрено применение:

- автоматических устройств защиты от сверхтоков, способных отключить цепь за времена, зависящие от номинального напряжения, или не превышающие 5 с при определенных условиях;
- устройства дифференциального тока.

В системах TN-C отключение нейтрального проводника и применение устройств дифференциального тока или устройств с подобным принципом действия (функция G) недопустимы.

¹ Фактически тороидальный трансформатор охватывает все токоведущие проводники (фазные и нейтральный).

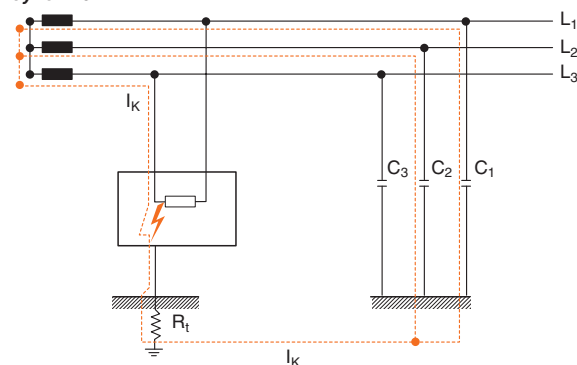


Серия проектировщика

5.5 Защита от косвенного прикосновения в системах IT

Как показано на Рисунке 19, ток замыкания на землю в системе IT протекает по емкостным сопротивлениям проводников линии относительно земли. По этой причине первое замыкание на землю характеризуется крайне низким значением тока и напряжения прикосновения. Вследствие этого нет необходимости производить отключение питания.

Рисунок 19



В соответствии со Стандартом МЭК 60364-4 (ГОСТ Р 50571.3-94) автоматическое отключение питания в случае единственного замыкания на землю¹ не требуется, при условии что выполняется следующее условие:

где:

$$R_t \cdot I_d \leq U_L$$

R_t активное сопротивление заземлителя открытых проводящих частей [Ом];

I_d ток замыкания между фазным проводником и открытой проводящей частью [А];

U_L 50 В для обычных помещений (25 В для особых помещений).

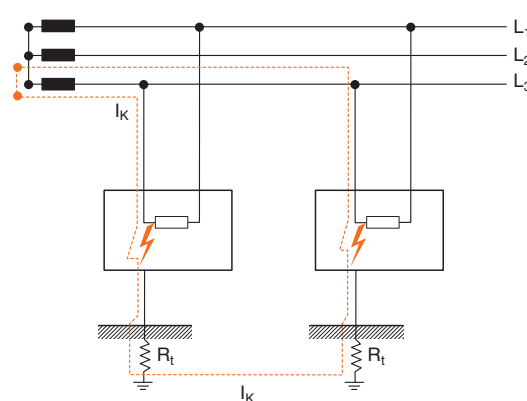
Если данное условие выполняется, то при первом замыкании напряжение прикосновения на открытых проводящих частях будет меньше, чем 50 В, что является допустимым для человеческого тела в течение бесконечного времени, как показано на кривой электробезопасности (Рисунок 2).

В электроустановках системы IT должно быть установлено устройство контроля изоляции, предназначенное для индикации аномальных условий в случае первого замыкания. Устройство контроля изоляции в соответствии со Стандартом МЭК 61557-8 есть устройство, непрерывно контролирующее электрическую изоляцию. Оно предназначено для сигнализации при заметных снижениях уровня изоляции в электроустановках, чтобы персонал мог обнаружить причину этого снижения, прежде чем случится второе замыкание. Это позволяет предотвратить отключение питания при первом замыкании.

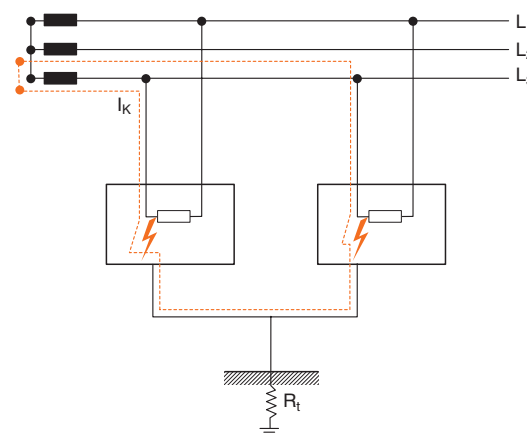
Появление первого замыкания на землю преобразует систему распределения, лишая ее при этом преимуществ сети, изолированной от земли. В частности при наличии первого замыкания возможно возникновение двух ситуаций (Рисунок 20):

1. там, где открытые проводящие части оборудованы индивидуальными заземлителями, система IT становится системой TT;
2. там, где открытые проводящие части соединены с общим заземленным защитным проводником, система IT становится системой TN.

Рисунок 20



IT → TT

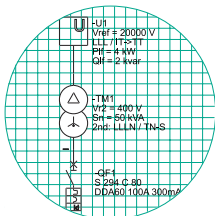


IT → TN

Стандартом предписывается, что в случае второго замыкания источник питания должен отключаться в соответствии со следующими условиями:

- а) там где открытые части заземлены группами или индивидуально, условия защиты те же, что и для систем TT;

¹ Определено Стандартом как первое замыкание на землю; появление одновременно двух замыканий на двух фазах называется вторым замыканием на землю.



Серия проектировщика

б) там где открытые части соединены с единым заземленным защитным проводником, условия защиты те же, что и для систем TN; в частности следующие условия должны выполняться:

если нейтраль не распределена:

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

если нейтраль распределена:

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

где:

- U_0 номинальное фазное напряжение;
- U номинальное линейное напряжение;
- Z_s полное сопротивление цепи замыкания, включающей фазный и защитный проводники;
- Z'_s полное сопротивление цепи замыкания, включающей нулевой рабочий и защитный проводники;
- I_a ток срабатывания защитного устройства за время отключения t , указанное в Таблице 5, или в пределах 5 с для всех прочих цепей, когда это время допустимо (см. 413.1.3.5 ГОСТ 50571.3-94).

Таблица 5

Номинальное напряжение установки U_0/U , В	Время отключения, с	
	Нераспределенная нейтраль	Распределенная нейтраль
120/240	0.8	5
230/400	0.4	0.8
400/690	0.2	0.4
580/1000	0.1	0.2

В Стандарте рекомендуется не распределять нейтральный проводник в системах IT. Одной из причин этого является реальная сложность выполнения предписанного условия для сопротивления контура двойного повреждения. Фактически, при наличии распределенного нейтрального проводника сопротивление должно быть на 58% меньше, чем сопротивление ..., которое удовлетворяет условию в случае двойного замыкания между фазами. Таким образом, становится очевидным, что довольно сложно произвести координацию с автоматическим устройством, которое должно сработать, гарантировав тем самым защиту от косвенного прикосновения.

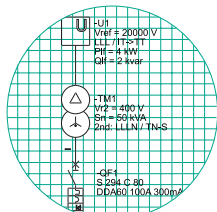
Более того, в основном для достаточно сложных установок наличие нейтрального проводника приводит к риску случайного его соединения с землей в любой точке, лишая тем самым электроустановку преимуществ систем IT.

В Стандарте МЭК 60364-4 установлено, что если необходимые условия пункта б) не могут быть выполнены путем использования устройств защиты от сверхтоков, защита каждой нагрузки должна быть обеспечена с помощью выключателя дифференциального тока. Поэтому с помощью выключателя дифференциального тока можно улучшить условия защиты также и в системах IT при условии, что эти распределительные системы применяются в определенных установках, для которых непрерывность электроснабжения является основным требованием, или для установок, где отключение питания может создать опасные условия для жизни людей или привести к серьезным экономическим убыткам. В подобных случаях следует устанавливать устройство, непрерывно контролирующее изоляцию и сигнализирующее звуком или визуально о любом возможном замыкании на землю в цепи или о повреждении питаемого оборудования.

Выводы

В отношении систем IT в Стандарте:

- не требуется обеспечить автоматическое отключение питания при первом замыкании;
- предписывается автоматическое отключение питания при возникновении второго замыкания, если первое не было устранено, в соответствии аналогичными предписаниями для систем TT или TN, в зависимости от типа соединения с землей открытых проводящих частей;
- требуется обеспечить наличие устройства контроля изоляции цепи с тем, чтобы сигнализировать о появлении повреждения.



Серия проектировщика

6 Решения АББ для защиты от замыканий на землю

6.1 Основные аспекты

Как было рассмотрено в предыдущей главе, в большинстве электрических систем надежная и безопасная защита обеспечивается путем сочетания функций защиты от сверхтока с функциями защиты от замыканий на землю, совместно с эффективной системой заземления.

Данный выбор позволяет получить помимо защиты от косвенного прикосновения надежную и своевременную защиту от замыканий на землю с малыми значениями токов замыкания. Это нужно там, где меры предотвращения пожара крайне необходимы.

Правильный выбор устройств защиты должен также подразумевать обеспечение селективности срабатывания защит от замыканий на землю помимо селективности устройств защиты от сверхтоков.

Для того, чтобы обеспечить выполнение требований для правильной защиты от замыканий на землю компанией АББ были разработаны изделия следующих категорий:

- Миниатюрные автоматические выключатели (Таблица 1)

- АВДТ (выключатели дифференциального тока с встроенной защитой от сверхтоков) серии DS9 с номинальными токами от 6 А до 40 А;
- Блоки дифференциального тока типа DDA 200, объединяемые с термомангнитными автоматическими выключателями типа S200 с номинальными токами от 0.5 до 63 А;
- ВДТ (выключатели дифференциального тока) типа F200 с номинальными длительными токами от 16 А до 125 А.

	In [A]	DDA 200	DDA 60	DDA 70	DDA 90	DDA 560	DDA 570	DDA 590
S200	0.5÷63	•	-	-	-	-	-	-
S290	80÷125	-	•	•	•	-	-	-
S500	6÷63	-	-	-	-	•	•	•

- Выключатели в литом корпусе (Таблица 2)

- расцепитель дифференциального тока RC221, устанавливаемый на автоматические выключатели Tmax T1, T2, T3 с номинальными токами от 16 А до 250 А;
- расцепитель дифференциального тока RC222, устанавливаемый на автоматические выключатели Tmax T1, T2, T3, T4, T5 с номинальными длительными токами от 16 А до 400 А;
- расцепитель дифференциального тока RC223, устанавливаемый на автоматические выключатели Tmax T4, с номинальными токами до 250 А;
- электронные расцепители типа PR222DS/P, PR223DS/P LSIG для автоматических выключателей Tmax T4, T5, T6 с номинальными длительными токами от 100 А до 1000 А;

- электронные расцепители типа PR331, PR332 LSIG для автоматических выключателей Tmax T7 с номинальными длительными токами от 800 А до 1600 А;
- электронные расцепители типа PR332, PR333 с встроенной защитой от дифференциального тока для автоматических выключателей Tmax T7 с номинальными длительными токами от 800 А до 1600 А;

Таблица 2: Автоматические выключатели в литом корпусе Tmax с защитой от дифференциального тока и замыкания на землю

	In [A]	RC221	RC222	RC223	PR222 LSIG	PR223 LSIG	PR331 PR332 LSIG	PR332 PR333 LSIRc
T1	16 ÷ 160	•	•	-	-	-	-	-
T2	10 ÷ 160	•	•	-	-	-	-	-
T3	63 ÷ 250	•	•	-	-	-	-	-
T4	100 ÷ 320	-	•	• ¹	•	•	-	-
T5	320 ÷ 630	-	•	-	•	•	-	-
T6	630 ÷ 1000	-	-	-	•	•	-	-
T7	800 ÷ 1600	-	-	-	-	-	•	•

¹ Только для T4

- Воздушные автоматические выключатели (Таблица 3)

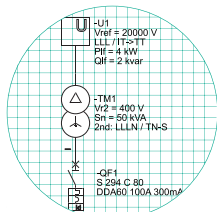
- электронные расцепители типа PR331, PR332, PR333 LSIG для автоматических выключателей Emax X1 с номинальными непрерываемыми токами от 630 А до 1600 А;
- воздушные автоматические выключатели с электронными расцепителями PR121, PR122, PR123 LSIG для автоматических выключателей Emax E1..E6 с номинальными непрерываемыми токами от 400 А до 6300 А;
- электронные расцепители типа PR332, PR333 с встроенной защитой от дифференциального тока для автоматических выключателей Emax X1 с номинальными длительными токами от 630 А до 1600 А;
- электронные расцепители типа PR122, PR123 с встроенной защитой от дифференциального тока для автоматических выключателей Emax E1..E6 с номинальными непрерываемыми токами от 400 А до 6300 А.

Таблица 3: Воздушные автоматические выключатели Emax с защитой от дифференциального тока и замыкания на землю

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

- Расцепители дифференциального тока с внешним трансформатором:

- RCQ: щитовой электронный расцепитель дифференциального тока;
- RD2: устройство, отслеживающее дифференциальный ток, устанавливаемое на DIN-рейку.



Серия проектировщика

6.2 Решения с применением устройств дифференциального тока

6.2.1 Модульные автоматические выключатели System pro M compact с функцией защиты от дифференциального тока

АВДТ серии DS9..

Диапазон термомангнитных выключателей дифференциального тока серии DS9.. (один полюс + нейтраль) производства АББ удовлетворяет всем требованиям к автоматическим выключателям по защите различного типа однофазных сетей современной электротехники.

Все АВДТ отличаются инновационной конструкцией с одним двухцветным красно-зеленым рычагом управления и индикатором срабатывания по дифференциальному току на лицевой панели. Аппараты ряда DS 9.. шириной два модуля соответствуют всем требованиям защиты, обеспечивая возможность выбора в пределах трех значений отключающей способности, пяти различных значений чувствительности, причем для каждого из этих значений имеется возможность выбора типа защиты по дифференциальному току: тип А или АС.

Ряд DS 9.. состоит из трех серий:

- DS 941 с отключающей способностью 4,5 кА;
- DS 951 с отключающей способностью 6 кА;
- DS 971 с отключающей способностью 10 кА;

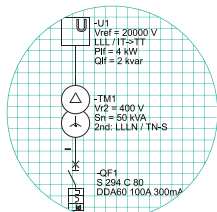
Защита от перегрузки и короткого замыкания обеспечивается теми же термомангнитными расцепителями, что и в ряду модульных автоматических выключателей S 9..

Для каждой серии доступны все значения номинального отключающего дифференциального тока, необходимые для выключателей такого типа: 30 мА – 100 мА – 300 – 500 – 1000 мА. Более того, только для серии DS 941 доступно значение дифференциального тока 10 мА.

Возможность выбора между устройствами защиты дифференциального тока типов А и АС для каждой из серий дает возможность реализовать специальную защиту от косвенного прикосновения в зависимости от типа подключенной нагрузки.

Автоматические выключатели дифференциального тока (АВДТ) серий DS9...

		DS941	DS951	DS971
Соответствие стандартам		ГОСТ Р 51327, ГОСТ Р 50030.2, МЭК 61009, МЭК 60947-2		
Тип (АС - пер. ток, А - пер. и пульс. пост ток)				
Характеристика срабатывания		мгновенного действия		
Номинальный ток	I_n [A]	$6 \leq I_n \leq 40$	$6 \leq I_n \leq 40$	$6 \leq I_n \leq 32$
Число полюсов		1P+N		
Номинальное напряжение	U_e [B]	230		
Напряжение изоляции	U_i [B]	500		
Номинальная частота	[Гц]	50...60		
Номинальная отключающая способность согласно ГОСТ Р 51327	I_{cn} [A]	4500	6000	10000
Номинальная отключающая способность согласно ГОСТ Р 50030.2 для 2- полюсов 230 В	I_{cu} [kA]	6	10	10
	I_{cs} [kA]	4.5	6	10
Характеристики термомангнитного расцепителя	B: $3 I_n \leq I_m \leq 5 I_n$	•		
	C: $5 I_n \leq I_m \leq 10 I_n$	•		
Ном. откл. дифф. ток $I_{\Delta n}$ [A]		0.01-0.03-0.1-0.3-0.5-1	0.03-0.1-0.3-0.5-1	0.03-0.1-0.3-0.5-1



Серия проектировщика

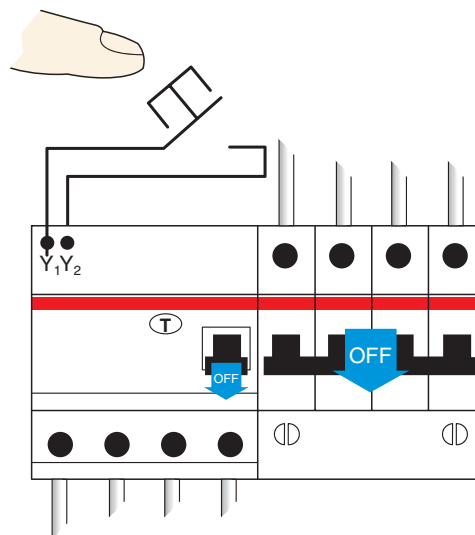
Термамагнитные выключатели дифференциального тока (АВДТ) серий DS200

Термамагнитные выключатели дифференциального тока серий DS 200 и DS200 M в двух-, трех- и четырехполюсном исполнении обеспечивают как функцию защиты от косвенного прикосновения, так и функции обычного термамагнитного автоматического выключателя (срабатывание при перегрузке или коротком замыкании).

Серии термамагнитных АВДТ происходят от соответствующей серии автоматических выключателей S200 и имеют надлежащую отключающую способность, характеристику срабатывания и номинальный ток. В частности, у серии DS200 часть для защиты от сверхтока образована термамагнитным расцепителем серии S200, а у серии DS200 M расцепителем серии S200 M.

Дифференциальные расцепители DS200 и DS200 M выпускаются типов AC и A.

Аппараты типоразмеров 50 и 63 А имеют два дополнительных вывода Y1 Y2 для дистанционного отключения расцепителя дифференциального тока путем нажатия внешней кнопки, как показано на рисунке.



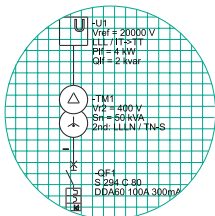
Диапазон рабочего напряжения для АВДТ серий DS200:

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

Термамагнитные выключатели дифференциального тока (АВДТ) серий DS200

		DS200L	DS200	DS200 M	DS200 P
Соответствие стандартам		ГОСТ Р 51327, ГОСТ Р 50030.2, МЭК 61009, МЭК 60947-2			
Тип (AC - пер. ток, A - пер. и пульс. пост ток)		AC	AC, A	AC, A	A
Характеристика срабатывания		мгновенного действия			
Номинальный ток	I_n [A]	6...32	6...63	6...63	6...25 32
Число полюсов		2P	2P, 3P, 4P	2P, 3P, 4P	2P
Номинальное напряжение	U_e [B]	110-254 (2P)/195-440 (3P, 4P)			
Напряжение изоляции	U_i [B]	500			
Номинальная частота	[Гц]	50...60			
Номинальная отключающая способность согласно ГОСТ Р 51327	I_{cn} [A]	4500	6000	10000	25000 15000
Номинальная отключающая способность согласно ГОСТ Р 50030.2 *	I_{cu} [kA]	6	10	15	25 15
	I_{cs} [kA]	4.5	7.5	11.2	12.5 10
Характеристики термамагнитного расцепителя	B: $3 I_n \leq I_m \leq 5 I_n$		•	•	
	C: $5 I_n \leq I_m \leq 10 I_n$	•	•	•	
	K: $8 I_n \leq I_m \leq 14 I_n$		•		• •
Ном. откл. дифф. ток	$I_{\Delta n}$ [A]	0.03	0.03, 0.3 (только тип AC хар-ка C - 2P, 4P)	0.03, 0.3 (только тип AC хар-ка C - 2P, 4P)	0.03

* 1P+N@230В перем. тока, 2P, 3P, 4P @400В перем. тока



Серия проектировщика

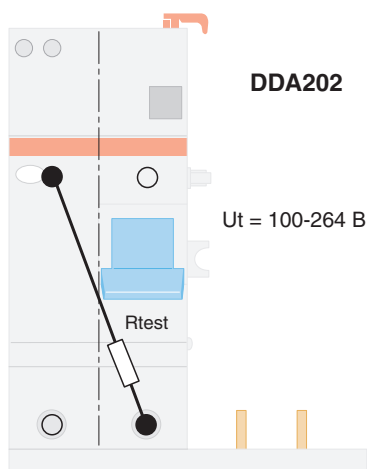
Блоки дифференциального тока серии DDA200 объединяемые с термомангнитными автоматическими выключателями серии S200

Блоки дифференциального тока объединяются с модульными автоматическими выключателями, имеющими такие же или меньшие значения номинального тока, таким образом, обеспечивая защиту от замыканий на землю, а также от перегрузки и токов коротких замыканий.

Блоки DDA подходят для сборки с выключателями серий S200 с помощью стационарных крепежных элементов и пластиковых штырей.

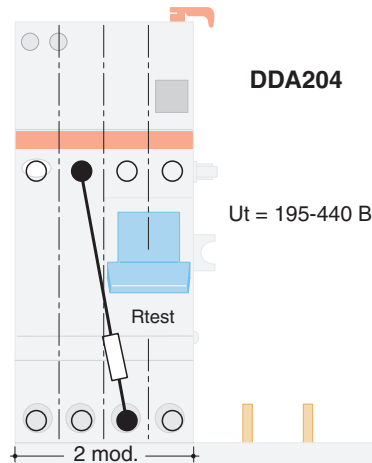
Выпускаются блоки следующих типов: AC, A, AP-R (помехоустойчивые), селективные и AE с функцией аварийного отключения. Диапазон устройств включает в себя все типоразмеры до 63 А для всех значений чувствительности и любого исполнения по числу полюсов. Кроме того, аппараты на 63 А оснащаются выводами, обеспечивающими дистанционное управление с помощью нормально открытых кнопок (контактов). Стандартные блоки DDA200 на номинальные токи 25-40 А благодаря их дизайну и выбранному рабочему напряжению для цепи тестирования можно применять в электроустановках, где фазное напряжение составляет 115-125 В (например, судовые электроустановки).

Фактически, цепи тестирования двухполюсных блоков дифференциального тока способны работать в диапазоне 100-264 В, как показано на рисунке:

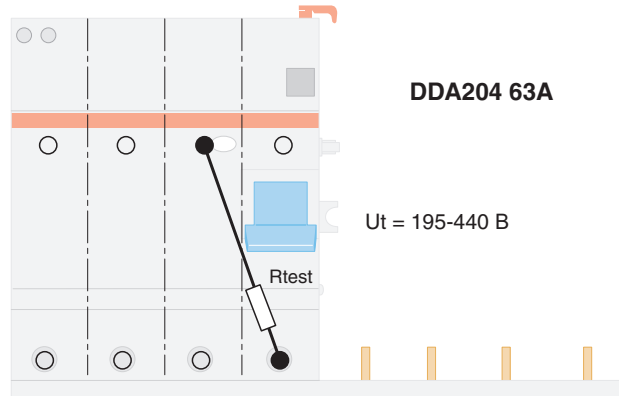


В компактных четырехполюсных блоках размером в два модуля (на номинальные токи 25-40 А) цепь тестирования подключается между двумя средними фазами. При этом рабочее напряжение лежит в диапазоне от 195 до 400 В. Поэтому получается, что данная конфигурация подходит как для систем с линейным напряжением 400 В (стандартная ситуация),

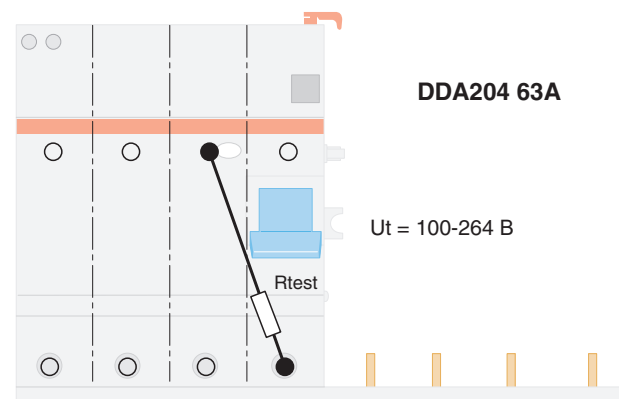
так и для электрических установок с фазным напряжением 115-125 В (в таком случае напряжение между фазами составит $115-125 \text{ В} \times 1.73 = 200-215 \text{ В}$, что является приемлемым значением для цепи тестирования).

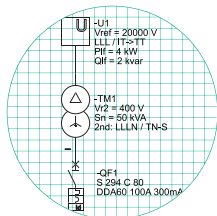


В четырехполюсных блоках на 63 А напряжение цепи тестирования лежит в диапазоне от 195 до 440 В, и цепь подключена, как показано на следующем рисунке:



Однако существуют блоки DDA200 на 115 В, для которых рабочее напряжение цепи тестирования лежит в диапазоне от 100 до 264 В. Таким образом, блоки DDA данного типоразмера могут быть использованы в судовых электроустановках с фазным напряжением 115-125 В.

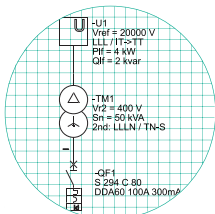




Серия проектировщика

Блоки DDA

		DDA200 AC	DDA200 A	DDA200 A AE	DDA200 AC AP-R	DDA200 A AP-R	DDA200 AC-S	DDA200 A S
Соответствие стандартам		ГОСТ Р 51327 Приложение G						
Тип (AC - пер. ток, A - пер. и пульс. пост ток)		AC	A	A	AC	A	AC	A
Характеристика срабатывания		мгновенного действия					селективный	
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 [Гц]		50...60						
Номинальная отключающая способность согласно ГОСТ Р 51327 I_{cn} [A]		I_{cn} соответствующего авт. выключателя						
Номинальная отключающая способность согласно ГОСТ Р 50030.2 I_{cu} [кА] I_{cs} [кА]		I_{cu}/I_{cs} соответствующего авт. выключателя						
Ном. откл. дифф. ток $I_{\Delta n}$ [A]		0.01...1	0.01...1	0.03...1	0.03	0.03	0.1...1	0.1...1



Серия проектировщика

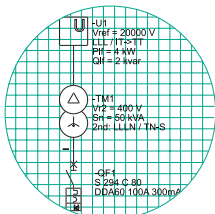
Выключатели дифференциального тока (ВДТ) серий F200

Новый ряд выключателей дифференциального тока System pro M compact представлен широким выбором устройств серии F200. представлены устройства типов AC и A, устройства мгновенного действия и селективные. Также имеются устройства специальных исполнений, такие как помехоустойчивые устройства типа AP-R и версия для подключения нейтрали слева. Доступны все типоразмеры до 63 А со всеми значениями чувствительности до 1 А, двух- и четырехполюсные исполнения. Представлены также ВДТ на номинальные токи 80-100-125 А чувствительностью 0.03-0.5 А, типов А, AC, AP-R и устройства типа А/селективные.

Для жилых помещений и офисов разработана специальная бюджетная серия FH200. Отличительными особенностями серии являются рычаг управления черного цвета, невозможность подключения боковых аксессуаров и шинных разводов.

Выключатели дифференциального тока ВДТ серии F200

	F200 AC	F200 A	F200 AC AP-R	F200 A AP-R	F200 A S
Соответствие стандартам	ГОСТ Р 51326				
Тип (AC - пер. ток, A - пер. и пульс. пост ток)	AC	A	AC	A	A
Характеристика срабатывания	instantaneous				selective
Номинальный токIn [A]	16, 25, 40, 63		25, 40, 63		40, 63
Число полюсов	2P, 4P				
Номинальное напряжениеUe [В]	230/400 - 240/415				
Напряжение изоляцииUi [В]	500				
Номинальная частота[Гц]	50...60				
Ном. откл. дифф. ток ΔIn [A]	0.01...0.5		0.03		0.1...1



Серия проектировщика

6.2.2 Расцепители дифференциального тока для выключателей в литом корпусе Tmax

Вся серия автоматических выключателей Tmax (как автоматические выключатели, так и выключатели нагрузки) рассчитана на подключение расцепителей дифференциального тока. В частности, трехполюсные или четырехполюсные автоматические выключатели Tmax T1, T2 и T3 могут быть оборудованы новыми расцепителями дифференциального тока серий RC221 или RC222. Для четырехполюсных выключателей T4 и T5 предусмотрен расцепитель RC222 для установки в нижней части выключателя. Также выключатели T4 могут быть объединены с расцепителем дифференциального тока серии RC223. Автоматические выключатели T6 и T7 могут быть скомбинированы с щитовым расцепителем дифференциального тока RCQ.

Кроме типовых для автоматических выключателей функций защиты от перегрузок и коротких замыканий полученные таким образом автоматические выключатели для защиты от дифференциального тока обеспечивают защиту людей и защиту от токов замыкания на землю. Тем самым обеспечивается защита косвенного прикосновения и от возгорания. Расцепители дифференциального тока могут также быть установлены на выключатели нагрузки Tmax T1D, T3D, T4D и T5D. В этом случае полученный аппарат – это выключатель дифференциального тока, то есть выключатель, который обеспечивает только защиту от дифференциального тока, а не типовые для автоматических выключателей функции защиты. «Чистые» выключатели дифференциального тока чувствительны к току замыкания на землю и, в общих случаях, применяются как главные выключатели-разъединители в малых распределительных щитах.

Использование автоматических выключателей дифференциального тока обеспечивает непрерывный контроль состояния изоляции установки, эффективную защиту от возгорания и взрыва. Если устройства защиты имеют уставку срабатывания $I_{\Delta n} = 30 \text{ mA}$, они также защищают людей при косвенном прикосновении.

Расцепители дифференциального тока выпускаются в соответствии со Стандартами:

- ГОСТ Р 50030.2, Приложение В;
- МЭК 60255-3 (RCQ и RC223) и МЭК 61000: защита от нежелательного срабатывания;
- МЭК 60755 (RCQ): нечувствительность к постоянным.

Расцепители дифференциального тока RC221 и RC222 для выключателей T1, T2 и T3

Расцепители дифференциального тока RC221 и RC222 могут быть установлены как на автоматические выключатели T1, T2 и T3, так и на выключатели нагрузки T1D и T3D. Возможна установка на трехполюсные и четырехполюсные автоматические выключатели стационарного исполнения.

Они разработаны с применением электронных технологий и воздействуют напрямую на катушку отключения автоматического выключателя. Доступ к органам регулировки обеспечивается слева от автоматического выключателя. Расцепителям не требуется наличия дополнительного источника питания, так как они питаются напрямую от сети и их работа гарантирована даже при однофазном или двухфазном питании и при наличии однонаправленного пульсирующего тока с постоянной составляющей (тип А).

С помощью расцепителя дифференциального тока RC222 можно реализовать функцию дистанционного отключения выключателя с помощью кнопки с НЗ контактом.

Расцепители дифференциального тока RC222 для выключателей T4 и T5

Для четырехполюсных выключателей T4 и T5 имеется расцепитель дифференциального тока для установки в нижней части автоматического выключателя RC222.

Расцепитель имеет стандартные передние выводы, но он также может быть укомплектован любыми выводами, существующими для соответствующего автоматического выключателя.

Они разработаны с применением электронных технологий и воздействуют напрямую на катушку отключения автоматического выключателя. Доступ к органам регулировки обеспечивается слева от автоматического выключателя. Расцепителям не требуется наличия дополнительного источника питания, так как они питаются напрямую от сети и их работа гарантирована даже при однофазном или двухфазном питании и при наличии однонаправленного пульсирующего тока с постоянной составляющей (тип А).

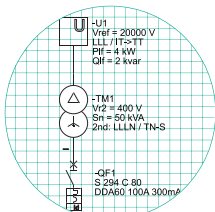
Расцепитель дифференциального тока RC222 может запитываться как сверху, так и снизу. Возможно отключение устройства при тестировании изоляции. С помощью расцепителя дифференциального тока RC222 можно реализовать функцию дистанционного отключения выключателя с помощью кнопки с НЗ контактом.

Расцепители дифференциального тока RC223 (Тип В)

Вместе с представленной серией расцепителей дифференциального тока АББ предлагает расцепитель дифференциального тока RC223 типа В, который может работать только с четырехполюсным автоматическим выключателем Tmax T4 стационарного или втычного исполнения.

Этот тип расцепителя имеет те же характеристики, что и расцепитель RC222 (тип S и AE), но также соответствует типу В, который обеспечивает чувствительность к дифференциальным токам повреждения с переменной, переменной пульсирующей и постоянной составляющими.

Расцепитель дифференциального тока RC223 позволяет производить дистанционное отключение автоматического выключателя посредством внешней кнопки с НЗ контактом (AE). Соответствие Стандартам ГОСТ Р 50030.1, ГОСТ Р 50030.2, Приложение В, и МЭК 60755.



Серия проектировщика

Кроме сигналов и уставок, стандартных для расцепителя дифференциального тока RC222, расцепитель RC223 также позволяет выбрать максимальное значение порога чувствительности к частоте дифференциального тока повреждения (3 уставки: 400-700-1000 Гц). Таким образом, расцепитель RC223 можно адаптировать к различным требованиям промышленных установок в соответствии с ожидаемыми частотами тока повреждения на стороне нагрузки. Типовыми установками, для которых значения номинальной частоты могут быть отличны от стандартного (50-60 Гц), являются сварочные агрегаты, используемые в автомобильной промышленности (1000 Гц), оборудование в текстильной промышленности (700 Гц), аэропорты, а также трехфазные электроприводы (400 Гц).

6.2.3 Электронные расцепители PR... для автоматических выключателей в литом корпусе с встроенной функцией защиты от дифференциального тока

Автоматические выключатели Emax и Tmax T7 могут оснащаться тороидальными трансформаторами, встраиваемыми в заднюю часть выключателя. Таким образом, обеспечивается выявление дифференциальных токов.

В частности, расцепителями, выполняющими данную функцию, являются:

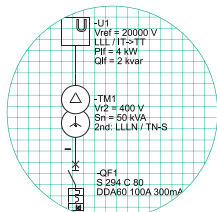
- PR122/P LSI Rc и PR332 LSI Rc;
- PR122/P LSI G и PR332/P LSI G с "модулем измерения";
- PR123/P LSI G и PR333/P LSI G.

Расцепители PR332 и PR333, обеспечивающие защиту от дифференциального тока, могут устанавливаться на автоматические выключатели Tmax T7, Emax X1 трехполюсного и четырехполюсного исполнений. А расцепители PR122 и PR123, реализующие ту же функцию, устанавливаются на трехполюсные и четырехполюсные выключатели Emax E2 и E3 и на Emax E4 (только трехполюсные).

Благодаря широкому диапазону уставок данные электронные расцепители подходят для применений, где требуется координация устройств защиты от дифференциального тока нескольких уровней системы электроснабжения – от главного распределительного щита до конечного потребителя.

Таблица 4

	RC221	RC222		RC223
Типоразмеры автоматических выключателей	T1-T2-T3	T1-T2-T3	T4 and T5 4p	T4 4p
Тип	L-образный	L-образный	Установка снизу	Установка снизу
Технология	Микропроцессорная	Микропроцессорная	Микропроцессорная	Микропроцессорная
Действие	с отключающей катушкой	с отключающей катушкой	с отключающей катушкой	с отключающей катушкой
Первичное рабочее напряжение ⁽¹⁾	[В]	85...500	85...500	110...440
Рабочая частота	[Гц]	45...66	45...66	0-1000
Автономное питание	■	■	■	■
Рабочий диапазон цепи тестирования ⁽¹⁾		85...500	85...500	110...500
Номинальный рабочий ток	[А]	до 250 А	до 250 А	до 250 А
Номинальный отключающий дифференциальный ток	[А]	0.03 - 0.1 - 0.3	0.03 - 0.05 - 0.1 - 0.3	0.03 - 0.05 - 0.1
		0.5 - 1 - 3	0.5 - 1 - 3 - 5 - 10	0.3 - 0.5 - 1
Выдержка времени для несрабатывания	[с]	мгновенное	мгновенное - 0.1 - 0.2 - 0.3 - 0.5 - 1 - 2 - 3	мгновенное - 0 - 0.1 - 0.2 - 0.3 - 0.5 - 1 - 2 - 3
			±20%	±20%
Допустимое отклонение времени срабатывания			±20%	±20%
Локальная сигнализация срабатывания	■	■	■	■
Отключающая катушка с переключающим контактом для сигнализации срабатывания	■	■	■	■
Вход для дистанционного отключения	■	■	■	■
Нормально открытый контакт для предаварийной сигнализации	■	■	■	■
Нормально открытый контакт для аварийной сигнализации	■	■	■	■
Предаварийная индикация при токе 25 % от I _{Δn} (точность ± 3%)	■	■	■	■
Индикация аварийной временной выдержки при токе 75% от I _{Δn} (точность ± 3%)	■	■	■	■
Automatic residual current reset	■	■	■	■
Тип "A" для импульсного переменного тока, "AC" для переменного тока	■	■	■	■
Тип "AE" для устройства дистанционного расцепления	■	■	■	■
Тип B для импульсного тока и для постоянного тока	■	■	■	■
Селективный тип "S"	■	■	■	■
Кнопка для испытания изоляции	■	■	■	■
Питание через верхние и нижние выводы	■	■	■	■
Сборка с трехполюсными автоматическими выключателями	■	■	■	■
Сборка с четырехполюсными автоматическими выключателями	■	■	■	■
Комплект для переоборудования автоматического выключателя с расцепителем дифференциального тока из стационарного во втычной	■	■	■	■



Серия проектировщика

Эти электронные расцепители для защиты от дифференциальных токов подходят для защиты от:

- переменных токов замыкания на землю (тип AC);
- переменных и/или пульсирующих токов замыкания на землю с постоянными составляющими (тип A).

Следующая таблица показывает основные технические характеристики дифференциальной защиты:

Таблица 5

Чувствительность I_n	[A]	0.3 - 0.5 - 0.7 - 1 - 2 - 3 (DIP-переключатель в положении 0.1) 3 - 5 - 7 - 10 - 20 - 30 (переключатель в положении 1)
Времена срабатывания	[с]	0.06 - 0.1 - 0.2 - 0.3 - 0.4 - 0.5 - 0.8 - 1 - 3 - 5
Тип		AC и A

6.2.4 Реле дифференциального тока с внешним трансформатором

Автоматические выключатели АББ также могут работать совместно реле дифференциального тока RCQ и RD2 с внешним тороидом (для внешней установки на проводниках) и особенно подходят для случаев, когда условия установки накладывают ограничения, например, если уже установлены автоматические выключатели или при ограниченном пространстве в щите и т.д.

Благодаря низким уставкам по дифференциальному току и времени срабатывания реле дифференциального тока с внешним тороидальным трансформатором может быть легко установлено также и на конечном уровне установки. В частности, выбрав номинальный отключающий дифференциальный ток $I_n = 0.03$ А с мгновенным срабатыванием, автоматический выключатель гарантирует защиту от косвенного прикосновения и представляет дополнительную меру от прямого прикосновения также и при наличии довольно высоких значений сопротивлений заземления (например, в системах TT).

Таблица 6

Residual current relays		SACE RCQ
Реле дифференциального тока	AC [В]	80...500
	DC [В]	48...125
Рабочая частота	[Гц]	45-66
Регулировка порога срабатывания $I_{\Delta n}$	1-ый диапазон регулировки	[А] 0.03 - 0.05 - 0.1 - 0.3 - 0.5
	2-ой диапазон регулировки	[А] 1 - 3 - 5 - 10 - 30
Регулировка времени срабатывания	[с]	0 - 0.1 - 0.2 - 0.3 - 0.5 - 0.7 - 1 - 2 - 3 - 5
Регулировка предаварийной уставки	% x $I_{\Delta n}$	25...75% x $I_{\Delta n}$
Диапазон работы включенных трансформаторов	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
Диапазон работы трансформаторов, которые могут быть разомкнуты	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 предаварийного состояния	Желтый мигающий светодиод, 1 нормально открытый переключающий контакт, 6 А - 250 В (перем. ток) 50/60 Гц	
Сигнализация срабатывания реле дифференциального тока	Желтые магнитные флажковые контакты (Н.О. Н.З.; Н.О.) 6 А - 250 В (перем. ток), 50/60 Гц	
Дистанционное управление размыканием	Н.О. контакт - Время срабатывания - 15 мс	
Подключение к тороидальному трансформатору	4 витых провода. Максимальная длина: 5 м	
Габаритные размеры Ш x В x Г	[мм]	96 x 96 x 131.5
Размеры отверстия для сборки в дверце	[мм]	92 x 92

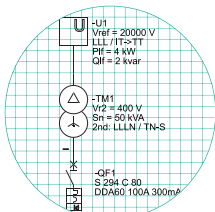
Подобные дифференциальные реле по принципу действия относятся к типу косвенного воздействия: команда на размыкание, выдаваемая реле, должна вызвать срабатывание автоматического выключателя посредством дистанционного расцепителя (установка которого осуществляется пользователем).

Щитовое электронное реле дифференциального тока RCQ

Модульные автоматические выключатели System pro M compact, выключатели в литом корпусе Tmax и воздушные выключатели Emax могут работать совместно с щитовым электронным реле RCQ с отдельным тороидом, который устанавливается снаружи на проводниках. Реле имеют порог срабатывания до 30 А и время выдержки до 5 с.

Благодаря широкому диапазону уставок щитовое реле RCQ подходит для случаев, когда система защиты от дифференциальных токов должна быть скоординирована между различными уровнями распределительной системы электроснабжения (от главного распределительного щита до щита конечного потребителя). Особенно рекомендуется их применение для реализации защиты по дифференциальному току с низкой чувствительностью, для обеспечения частичной (токовой) или полной (временной) селективности, или обеспечения защиты с высокой чувствительностью (физиологическая чувствительность) для дополнительной защиты людей при прямом прикосновении к токоведущим частям.

Реле RCQ относится к типу А и реагирует на переменные и пульсирующие дифференциальные токи с постоянной составляющей.



Серия проектировщика

Монитор дифференциального тока RD2 (МДТ)

Как уже упоминалось, System pro M compact и выключатели в литом корпусе Tmax небольшого размера также могут быть объединены с монитором дифференциального тока RD2 с внешним тороидальным трансформатором с возможностью настроек по дифференциальному току до 2 А и времени срабатывания до 5 сек.

Варианты применения МДТ RD2 могут быть теми же, что и для реле RCQ. Поэтому его установка рекомендуется как для реализации защиты с низкой чувствительностью (для обеспечения частичной (токовой) или полной (временной) селективности), так и для обеспечения защиты с высокой чувствительностью (физиологическая чувствительность) в качестве дополнительной меры защиты людей при прямом прикосновении к токоведущим частям.

Устройство RD2 относится к типу А и реагирует как на переменные дифференциальные токи, так и на однонаправленные пульсирующие. С помощью специальных переключателей можно выбирать время срабатывания и настраивать чувствительность. Кроме того, RD2 может устанавливаться непосредственно на DIN-рейку.

Технические характеристики		
Рабочее напряжение	[В]	230÷400 перем. ток (RD2) 48÷150 перем./пост. ток (RD2-48)
Рабочая частота	[Гц]	50/60
Уставка чувствительности $I_{\Delta n}$	[А]	0.03; 0.1; 0.3; 0.5; 1; 2
Уставки времени срабатывания	[с]	мгновен.; 0.3; 0.5; 1; 2; 5
Длительный ток контакта	[А]	10 при 250 В перем. тока. (акт. нагрузка)
Тип контакта перекидной		change-over
Рабочая температура	[°C]	-5...+40 ±5
Число модулей	[n°]	2
Соответствие стандартам		МЭК 62020

6.3 Решение на основе функции G

Для диапазона номинальных токов от 100 А до 6300 А защита от замыканий обеспечивается автоматическими выключателями АББ в комбинации с электронными расцепителями:

- PR222DS/P, PR223DS и PR223EF (PR222DS/PD) для выключателей в литом корпусе Tmax T4, T5 и T6 с номинальными длительными токами от 250 А до 1000 А;
- PR331 и PR332 для выключателей в литом корпусе Tmax T7 с номинальными токами от 800 А до 1600 А;
- PR331, PR332 и PR333 для воздушных автоматических выключателей Tmax X1 с номинальными токами от 630 А до 1600 А;
- PR121, PR122 и PR123 для воздушных автоматических выключателей Tmax с номинальными токами от 400 А до 6300 А.

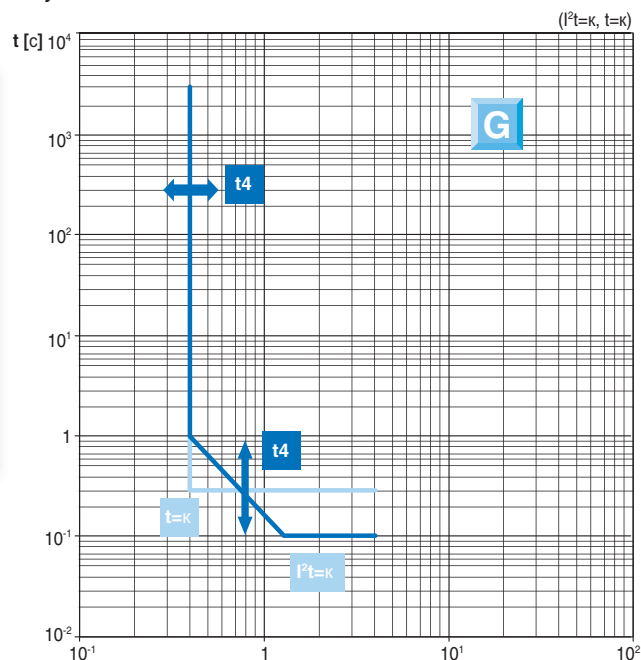
Вышеупомянутые расцепители могут оснащаться функцией G для защиты от замыканий на землю с обратозависимой или независимой характеристикой выдержки времени. Все технические характеристики подробно описаны в технических каталогах.

Следующие таблицы показывают доступные настройки:

Таблица 7

		I_{Δ}	t_{Δ}
PR222	$I^2t=k$	0.2 – 0.25 – 0.45 – 0.55 – 0.75 – 0.8 – 1 × I_n ручные настройки	0.1s, 0.2s, 0.4s, 0.8s ручные настройки
		0.2...1 × I_n (шаг 0.1 × I_n) электронные настройки	0.1...0.8s (шаг 0.01 с) электронные настройки
PR223	$I^2t=k$	0.2...1 × I_n (шаг 0.1 × I_n)	0.1...0.8s (шаг 0.01s) электронные настройки
PR331	$I^2t=k - t=k$	0.2 – 0.3 – 0.4 – 0.6 – 0.8 – 0.9 – 1 × I_n	0.1s, 0.2 с, 0.4s, 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	0.1s, 0.2 с, 0.4s, 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)

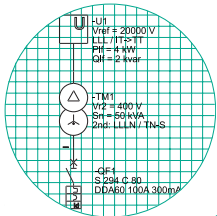
Рисунок 1



Электронные расцепители АББ спроектированы на основе микропроцессорной технологии. Это позволяет реализовать защитные функции, гарантирующие высокую надежность, точность срабатывания и нечувствительность к внешним воздействиям.

Электронные расцепители на микропроцессорной основе не требуют внешних источников питания и гарантируют правильное выполнение защитных функций, даже когда ток протекает только по одной из фаз. Защитный расцепитель образован трансформаторами тока (тремя или четырьмя в зависимости от числа полюсов выключателя), защитного блока PR... и одной отключающей катушкой, которая воздействует на отключающий механизм автоматического выключателя.

Трансформаторы тока снабжают расцепитель энергией, необходимой для правильного функционирования защиты и сигнала для обнаружения тока.



Серия проектировщика

Преимущества, получаемые от использования электронных расцепителей для защиты от косвенных прикосновений

В качестве примера рассмотрим реализацию защиты от косвенного прикосновения на выводах нагрузки в системе TN-S

Характеристики электроустановки:

- трехфазная система без нейтрали
- система распределения TN-S
- частота 50 Гц
- ток короткого замыкания $I_k = 30 \text{ кА}$
- длина проводников $L = 200 \text{ м}$
- ток нагрузки $I_b = 187 \text{ А}$
- одножильный медный кабель в ПВХ изоляции
- сечение фазного проводника $S = 95 \text{ мм}^2$
- сечение защитного проводника $S_{PE} = 50 \text{ мм}^2$
- длительно-допустимый ток кабеля $I_z = 207 \text{ А}$

Рассмотрим альтернативу применения двух автоматических выключателей T3N250 .. = 200 А с термоманитным расцепителем и T4N250 .. с электронным расцепителем PR222DS/PSIG, выбранных по номинальному току, отключающей способности и для защиты кабелей от перегрузки и короткого замыкания. Проверим максимальную защищаемую длину кабеля от косвенного прикосновения при применении двух автоматических выключателей с термоманитным и электронным расцепителями.

Проверка защищаемой от косвенного прикосновения длины кабеля выполняется в соответствии с итальянским стандартом CEI 64-8/5, чтобы убедиться в своевременности срабатывания защитной аппаратуры от короткого замыкания, учитывая аналогию проблем защит максимальной длины от короткого замыкания и от косвенного прикосновения.

Следующая формула (полученная из закона Ома применительно к цепи с повреждением) позволяет рассчитать максимальную защищаемую длину от косвенного прикосновения:

$$L_{\max} = \frac{0.8 \cdot U_0}{1.5 \cdot \rho \cdot (1+m) \cdot \frac{I_a}{S}}$$

где

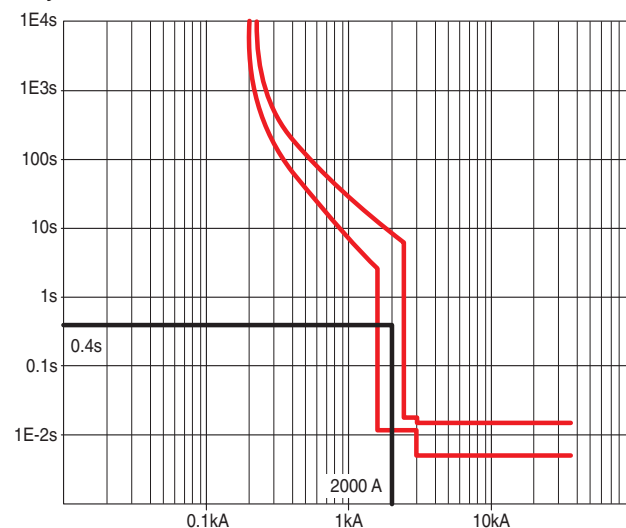
- U_0 фазное напряжение в вольтах (230 В);
- 0.8 коэффициент, учитывающий снижение напряжения питания до 80% в результате эффекта короткого замыкания;
- 1.5 коэффициент, учитывающий увеличение сопротивления при коротком замыкании;
- ρ удельное сопротивление материала проводника при 20.. С (0.018 Ом для меди);
- m отношение поперечного сечения фазного проводника к поперечному сечению защитного проводника;
- I_a ток, вызывающий срабатывание автоматического выключателя в пределах времени, предписанного Стандартом, плюс допуск (обычно 20%);
- S поперечное сечение фазного проводника.

¹ Проверка максимальной защищаемой длины вытекает из соотношения для защиты от косвенного прикосновения в системах TN .., выраженного как функция длины кабеля. Подставив в формулу минимальное значение тока, вызывающего мгновенное срабатывание автоматического выключателя, можно получить максимальную защищаемую длину при минимальном токе короткого замыкания на землю, который может быть отключен автоматическим выключателем за короткое время, таким образом, гарантируя защиту от косвенного прикосновения.

Автоматический выключатель T3N250 In 200 А с термоманитным расцепителем

расцепитель	$I_n = 200 \text{ А}$
диапазон тепловой уставки	$I_t = 140 - 200 \text{ А}$
ток срабатывания в течение 0.4 сек	$I_a = 2000 \text{ А}$
Точность для тока срабатывания	$\pm 20\%$

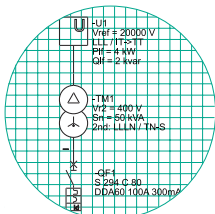
Рисунок 2



Из формулы получается:

$$L_{\max} = (0.8 \cdot 230 \cdot 95) / [1.5 \cdot 0.018 \cdot (1 + 95/50) \cdot 1.2 \cdot 2000] = 93 \text{ м}$$

Длина кабеля установки – 200м и поэтому защита не будет обеспечена.

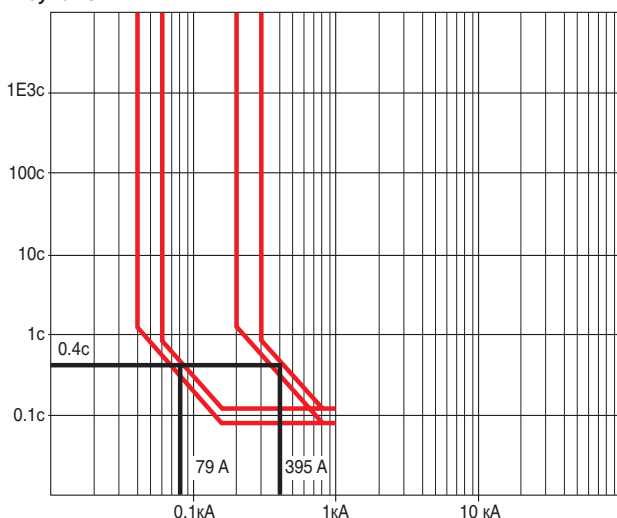


Серия проектировщика

Автоматический выключатель T4N250 In 200 A с электронным расцепителем PR22DS/P LSI G

номинальный ток	$I_n = 250 \text{ A}$
диапазон уставок функции G	$I_a = 50 - 250 \text{ A}$
минимальный ток срабатывания в течение 0.4 сек	$I_a = 79 \text{ A}$ при $I_a = 50 \text{ A}$
максимальный ток срабатывания в течение 0.4 сек	$I_a = 395 \text{ A}$ при $I_a = 250 \text{ A}$
точность для тока срабатывания	$\pm 10\%$

Рисунок 3



Из формулы получается:

$$L_{\text{макс.}} = (0.8 \cdot 230 \cdot 95) / [1.5 \cdot 0.018 \cdot (1 + 95/50) \cdot 1.1 \cdot 79] = 2567 \text{ м}$$

если $I_a = 50 \text{ A}$

$$\text{и}$$

$$L_{\text{макс.}} = (0.8 \cdot 230 \cdot 95) / [1.5 \cdot 0.018 \cdot (1 + 95/50) \cdot 1.1 \cdot 395] = 513 \text{ м}$$

если $I_a = 250 \text{ A}$

Поэтому можно сделать вывод о том, что благодаря применению электронного расцепителя длина защищаемого кабеля может быть 200 м.

Защита обеспечивается путем настройки функции G с величинами уставок в диапазоне от 50 до 250 A.

Такой широкий ряд возможностей и довольно низкие уставки по току позволяют сделать координацию защиты проще, если рассматривать детально предыдущие утверждения в отношении преимуществ, получаемых от применения защиты от замыкания на землю для защиты людей и повышения надежности электроустановки.

6.4 Защита при помощи функции G или устройств дифференциального тока?

Как описано в предыдущих параграфах, компания АББ предлагает два типа изделий для защиты от замыканий на землю:

- устройства защиты от дифференциального тока, объединяемые с автоматическими выключателями;
- функция защиты от замыканий на землю G, интегрированную в электронных расцепителях автоматических выключателей.

На устройства защиты от дифференциального тока устанавливаются тороиды из ферромагнитного материала, которые охватывают токоведущие проводники цепи. При наличии замыкания на землю векторная сумма токов, протекающих в проводниках отлична от нуля и, при превышении уставки, происходит срабатывание защиты. Расцепители дифференциального тока АББ позволяют настраивать ток срабатывания от 30 мА до 30 A с временами задержки от 0 (мгновенное) до 5 сек (см. технический каталог).

Принцип действия функции G подобен принципу устройств дифференциального тока, но здесь векторная сумма токов вычисляется с помощью микропроцессора, и в этих расцепителях отсутствуют тороидальные трансформаторы. Функция G расцепителей АББ позволяет получить пороги срабатывания в диапазоне 0.2..1 номинального тока автоматического выключателя и время задержки от 0.1 до 1 сек (см. технический каталог).

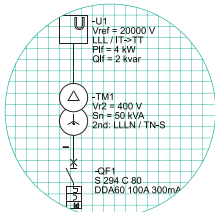
Решение о том, какое устройство защиты выбрать, должно основываться на тщательном анализе не только системы распределения, но и на значении тока короткого замыкания. В соответствии с предписаниями Стандарта автоматический выключатель должен обнаруживать и отключать токи замыкания в пределах времени необходимого, чтобы избежать пагубных последствий протекания этого тока.

6.4.1 Типичные примеры применения автоматических выключателей дифференциального тока

Выключатели дифференциального тока особенно подходят для защиты людей от косвенного прикосновения и являются дополнительной мерой защиты от прямого прикосновения.

Применение выключателей дифференциального тока для защиты от косвенных прикосновений может быть абсолютно необходимо, например, в следующих случаях:

- в распределительных системах ТТ: как уже было рассмотрено, ток замыкания возвращается к источнику через заземлитель и принимает довольно малое значение по сравнению с током мгновенного срабатывания термомангнитного выключателя;
- заземление открытых проводящих частей является достаточно эффективным.



Серия проектировщика

Однако, иногда бывает необходимо или полезно применять данный вид защиты и в других случаях, например, в сетях с одним заземлителем (система TN-S), при наличии следующих условий:

- обычные устройства защиты не обеспечивают защиту в соответствии со Стандартом;
- среда с условиями повышенной опасности (например, повышенная влажность);
- замыкания со значительными полными сопротивлениями. Некоторыми из установок, в которых применяются данные аппараты защиты, могут являться:
- все типы стройплощадок (здания, морские объекты и т.д.);
- больницы и операционные;
- рудники и шахты;
- палаточные лагеря с электрическими установками;
- бассейны, сауны, места общественного питания и, в общем случае, места с повышенным уровнем влажности;
- освещение фонтанов и аквариумов;
- сельскохозяйственные постройки;
- исследовательские лаборатории;
- учебные лаборатории.

Кроме того, выключатели дифференциального тока являются пригодными для защиты взрывоопасных электроустановок, или вообще установок, где токи утечки могут причинить экономический вред. Такими установками могут быть:

- фабрики химической промышленности;
- загрязненные помещения или помещения с горючими материалами;
- нефтеперерабатывающие заводы;
- газоперерабатывающие установки;
- установки для подзарядки батарей.

6.4.2 Примеры применения выключателей в литом корпусе и воздушных, оснащенных функцией защиты от замыкания на землю G

Выключатели в литом корпусе и воздушные выключатели, оснащенные функцией G, в настоящее время применяются на трансформаторных подстанциях СН/НН как для защиты трансформаторов, так и для защиты распределительных линий.

Функция защиты G может быть настроена с задержкой по времени, что может гарантировать обеспечение селективности с расцепителями дифференциального тока на стороне нагрузки.

Помимо применений, в которых расцепители дифференциального тока особенно необходимы, функция G может применяться для защиты от косвенного прикосновения, если это необходимо по условиям электроустановки, и показывать лучшие характеристики защиты от замыкания на землю, по сравнению с устройствами защиты от сверхтоков.

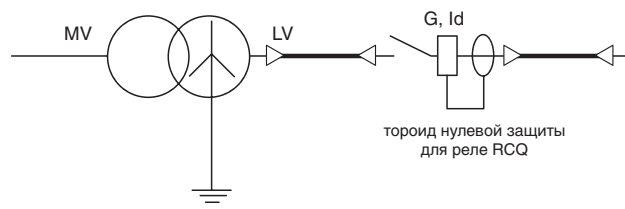
6.5 Современные системы защиты от замыкания на землю

6.5.1 Основные аспекты

На примере обычной схемы линии, образованной трансформатором, кабелем и вводным автоматическим выключателем, можно выделить три зоны, определяемые расположением места замыкания, и установить три типа защиты:

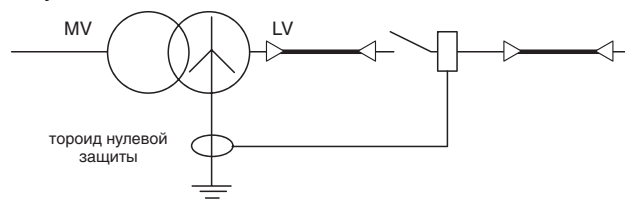
1. Неограниченная Защита от Замыкания на Землю (НЗЗЗ) – защита от замыканий, происходящих на стороне нагрузки выключателя на вторичной стороне трансформатора. Данный тип защиты (Рисунок 4) описан в предыдущих параграфах и может быть реализован с помощью функции G, устройствами защиты от дифференциального тока (RC..) или обычными устройствами защиты от сверхтоков с высокими токами замыкания на землю.

Рисунок 4



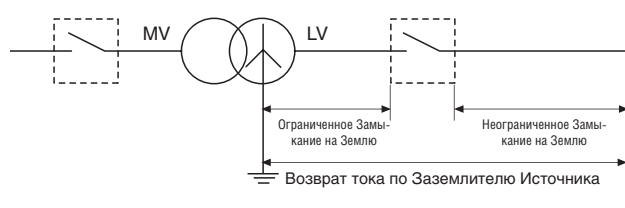
2. Возврат тока по Заземлителю Источника, также называемый "Резервной Защитой от Замыкания на Землю" (РЗЗЗ), - защита от замыканий на землю, происходящих как на стороне нагрузки, так и на стороне питания автоматического выключателя на вторичной стороне трансформатора. Данный вид защиты реализуем при наличии тороида нулевой защиты на заземляющем проводнике центральной точки звезды трансформатора, как показано на рисунке:

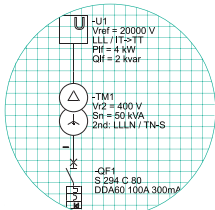
Рисунок 5



3. Ограниченная Защита от Замыкания на Землю (ОЗЗЗ) – это защита от замыканий на землю, происходящих как на вторичной стороне трансформатора, так и на кабеле, соединяющем его с автоматическим выключателем. Далее на рисунке показаны зоны замыкания на землю.

Рисунок 6



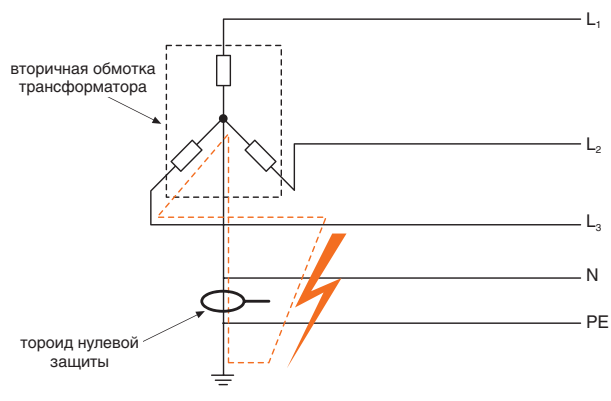


Серия проектировщика

6.5.2 Возврат тока по Заземлителю Источника питания

Защита “Возврат тока по Заземлителю Источника” представляет собой защиту от замыканий на землю, которые происходят как на стороне питания, так и на стороне нагрузки автоматического выключателя на вторичной стороне трансформатора СН/НН. Применение данной защиты основано на использовании тороида, охватывающего проводник, который соединяет центральную точку звезды трансформатора с землей.

Рисунок 7



В данном случае тороид будет способен обнаружить:

- токи замыкания фазных проводников на проводник PE;
- токи замыкания фазных проводников на землю;
- ошибки при монтаже (например, если однофазная нагрузка была ошибочно подключена к фазному проводнику и проводнику PE);
- соединения с землей нейтрального проводника в любых точках помимо центральной точки звезды.

Электронные расцепители АББ типов PR122, PR123, PR332 и PR333 для воздушных выключателей Emax и Emax X1 могут работать от внешнего тороида, расположенного на заземляющем проводнике нейтральной точки. Номинальный ток тороида может быть равен 100, 250, 400 и 800 А, таким образом, делая уставку защиты от замыкания на землю (функции G) независимой от размера первичных трансформаторов тока, установленных на фазах автоматического выключателя.

6.5.3 Ограниченная Защита от Замыкания на Землю

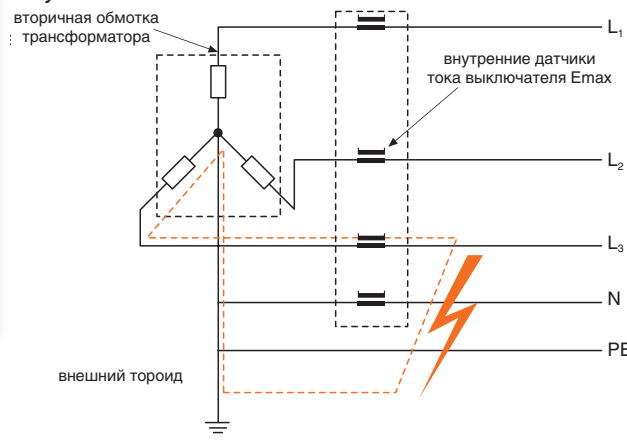
Ограниченная Защита от Замыкания на Землю (ОЗЗЗ) – это защита от замыканий на землю, происходящих между вторичной обмоткой трансформатора и автоматическим выключателем¹.

Серия автоматических выключателей Emax, оборудуемая электронными расцепителями PR123 и PR333 (Emax X1), позволяет иметь две независимые кривые функции защиты G: одна для внутренней защиты (функция G без внешнего тороида) и одна для внешней защиты (функция G с внешним тороидом, как описано в предыдущем параграфе).

“Двойная” функция G позволяет реализовать одновременную защиту установки и от замыканий на землю на кабеле, соединяющем автоматический выключатель с вторичной обмоткой трансформатора (ограниченная защита от замыкания на землю), и от замыканий на стороне нагрузки автоматического выключателя (за пределами ограниченной защиты от замыкания на землю).

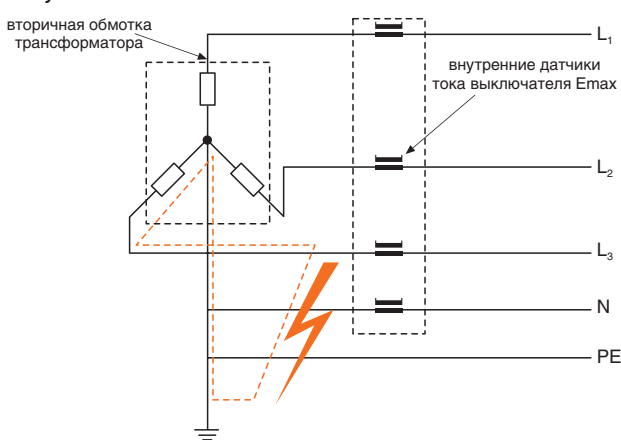
На следующем рисунке показано замыкание на землю на стороне нагрузки автоматического выключателя Emax: ток замыкания протекает только по одной фазе и, если векторная сумма токов, обнаруживаемая четырьмя трансформаторами тока (ТТ), оказывается выше уставки, электронный расцепитель активирует функцию защиты G, что приводит к срабатыванию автоматического выключателя.

Рисунок 8

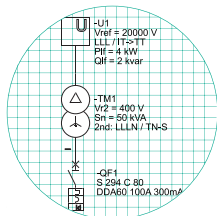


При такой же конфигурации цепи замыкание на землю на стороне питания автоматического выключателя Emax (Рисунок 9) не вызовет активации функции G, так как ток замыкания на землю не затрагивает ни на фазные ТрТ, ни на ТрТ нейтрального проводника.

Рисунок 9



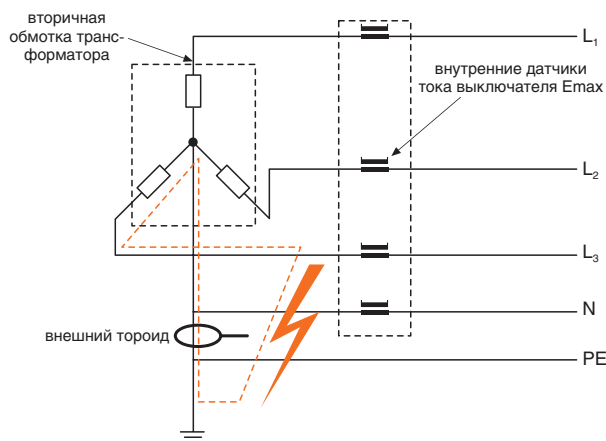
¹ Для устройств защиты СН обнаружение такого типа повреждений является сложной задачей. В частности, если применяется трансформатор с типом соединения обмоток “треугольник-звезда”, ток замыкания фазного проводника на землю или фазного проводника на нейтральный проводник на первичной стороне будет иметь значение в $\sqrt{3}$ раз меньше.



Серия проектировщика

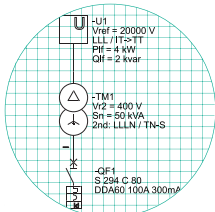
Применение “двойной” функции G с установкой внешнего тороида, как показано на следующем рисунке, приводит к тому, что замыкания на землю на стороне питания автоматического выключателя Emax могут быть также обнаружены. В таком случае аварийный контакт второй функции G применяется для инициирования срабатывания автоматического выключателя на первичной стороне трансформатора, чтобы обеспечить отключение поврежденного участка.

Рисунок 10



Если при той же конфигурации цепи, что и на Рисунке 10, произойдет замыкание на стороне нагрузки аппарата Emax, ток замыкания будет обнаружен и внешним тороидом, и внутренними датчиками тока на фазах. Чтобы определить какой автоматический выключатель должен сработать (CH или HH), требуется соответствующая координация времен срабатывания. В частности, необходимо установить времена так, чтобы срабатывание автоматического выключателя HH по внутренней функции защиты G происходило бы быстрее, чем выдавался бы аварийный сигнал от внешнего тороида.

Поэтому благодаря времятоковой селективности между двумя функциями защиты G, прежде чем автоматический выключатель CH на первичной стороне трансформатора получит команду на срабатывание, автоматический выключатель HH произведет отключение повреждения. Очевидно, что при появлении замыкания на стороне питания автоматического выключателя HH сработает только автоматический выключатель на стороне CH.



Серия проектировщика

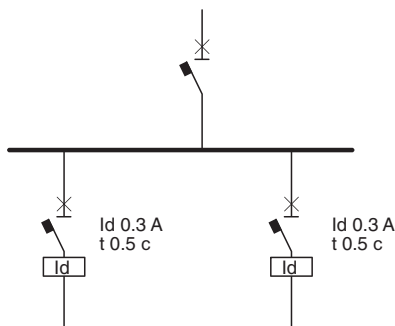
7 Селективность устройств защиты от замыкания на землю

Из соображений безопасности в Стандарте МЭК 60364-5-53 рекомендуется обеспечивать селективность между защитными устройствами дифференциального тока, установленными последовательно, для обеспечения непрерывности электропитания частей установки, не подверженных аварии. Эта селективность может быть достигнута подбором УДТ таким образом, чтобы срабатывал аппарат, ближе всего расположенный к месту аварии.

Данный вид селективности называют селективностью по дифференциальному току и выделяют два типа:

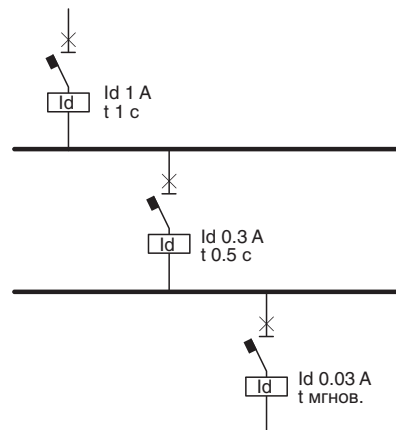
1. горизонтальная селективность (Рисунок 1): заключается в защите каждой линии использованием отдельного устройства дифференциального тока. Таким образом, в случае замыкания на землю отключается только поврежденная линия, так как другие аппараты дифференциального тока не выявляют ток замыкания. Тем не менее, необходимо обеспечить защитные меры от косвенных прикосновений в части НКУ и установки на стороне питания устройств дифференциального тока.

Рисунок 1: Горизонтальная селективность по дифференциальному току



2. вертикальная селективность (Рисунок 2): реализуется применением устройств дифференциального тока, соединенных последовательно.

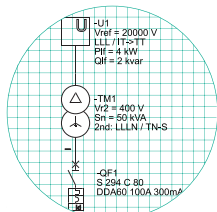
Рисунок 2: Вертикальная селективность по дифференциальному току



В соответствии с МЭК 60364-5-53 для обеспечения селективности между двумя последовательными устройствами защиты от дифференциального тока, эти аппараты должны удовлетворять двум следующим требованиям:

- времятоковая характеристика несрабатывания защитного УДТ расположенного со стороны источника питания (сверху) должна проходить над рабочей времятоковой характеристикой УДТ расположенного со стороны нагрузки (снизу);
- номинальный дифференциальный рабочий ток аппарата, расположенного со стороны источника, должен быть выше, чем ток УДТ, расположенного со стороны нагрузки.

Времятоковая характеристика несрабатывания – это кривая, показывающая максимальное значение времени задержки, в течение которого дифференциальный ток выше, чем дифференциальный ток несрабатывания (равный $0,5 I_{\Delta n}$), и который протекает через УДТ, не вызывая его срабатывания.



Серия проектировщика

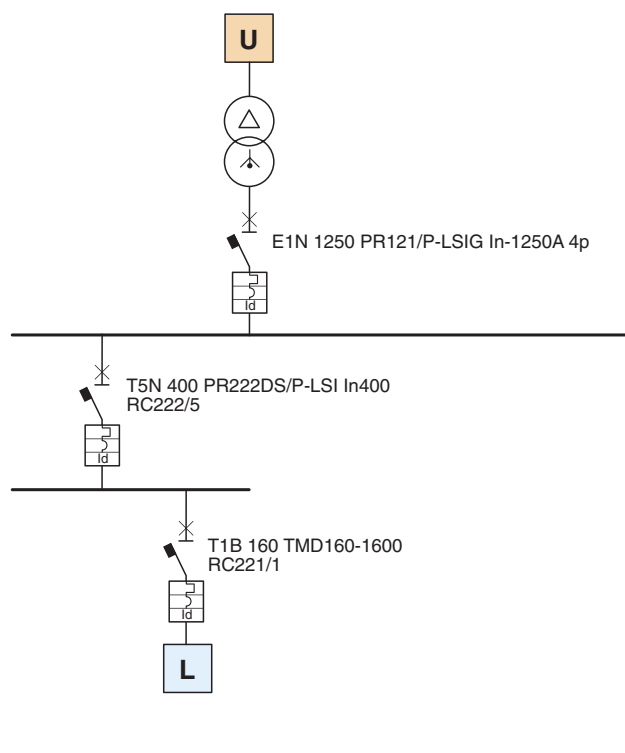
Подводя итог, чтобы обеспечить селективность между двумя последовательными устройствами дифференциального тока, необходимо обеспечить:

- для УДТ типа S с временной задержкой, расположенного со стороны источника питания (в соответствии с ГОСТ Р 51326.1, ГОСТ Р 51327, МЭК 61008-1 и МЭК 61009), необходимо выбрать неселективные нижестоящие УДТ с в три раза меньшим;
- для электронных расцепителей дифференциального тока (RC221/222/223, RCQ и RD2) достаточно, чтобы уставки тока и времени устройства на стороне питания были выше, чем у устройства на стороне нагрузки, обязательно принимая в расчет допуски.

На следующем рисунке (Рисунок 3) изображена часть электроустановки, три последовательно соединенных автоматических выключателя оборудованы расцепителями дифференциального тока и электронным расцепителем с функцией G. Рассматриваются следующие автоматические выключатели:

- E1N 1250 PR121/P-LSIG $I_n=1250$ A 4p
- T5N 400 PR222DS/P-LSI $I_n=400$ A с расцепителем дифференциального тока типа RC222;
- T1B 160 TMD $I_n=160$ A с расцепителем дифференциального тока типа RC221.

Рисунок 3



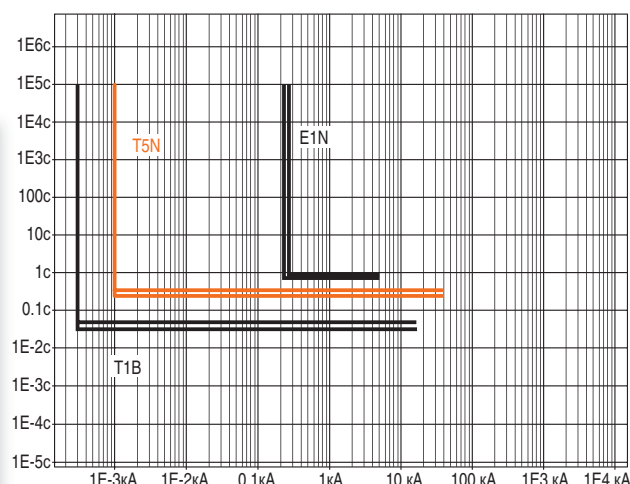
Чтобы обеспечить правильную координацию в отношении дифференциального тока, необходимо правильно установить пороги срабатывания и времена срабатывания, учитывая допуски.

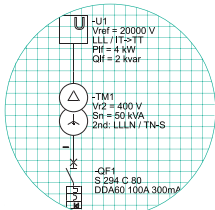
Очевидно, что требования Стандартов должны быть выполнены для каждого автоматического выключателя, для обеспечения защиты от косвенного прикосновения.

- E1N 1250
Функция G: $t=const - \text{Ток} - 250 \text{ [A]} - \text{Время } 0.8 \text{ [c]}$
- T5N 400
RC: Current 1 [A] - Time 0.3 [s]
- T1B 160
RC: Ток 0.3 [A] - Время – мгнов.

Характеристики срабатывания рассматриваемых устройств представлены на Рисунке 4:

Рисунок 4





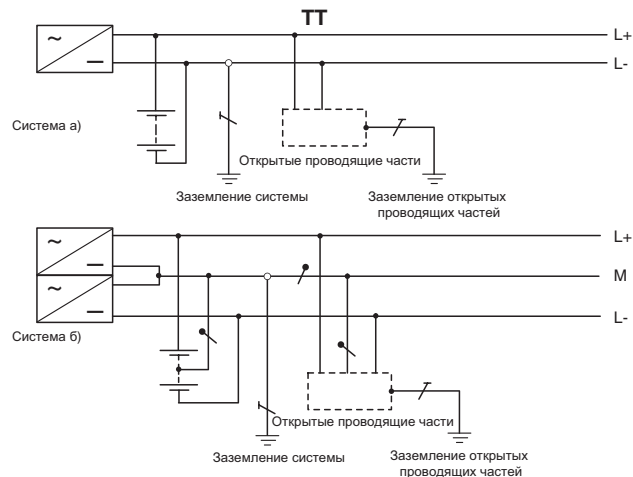
Серия проектировщика

Приложение А

Системы распределения постоянного тока

Системы распределения постоянного тока определены ГОСТ Р 50571.2 и в Стандарте МЭК 60364-1 по аналогии с системами переменного тока:

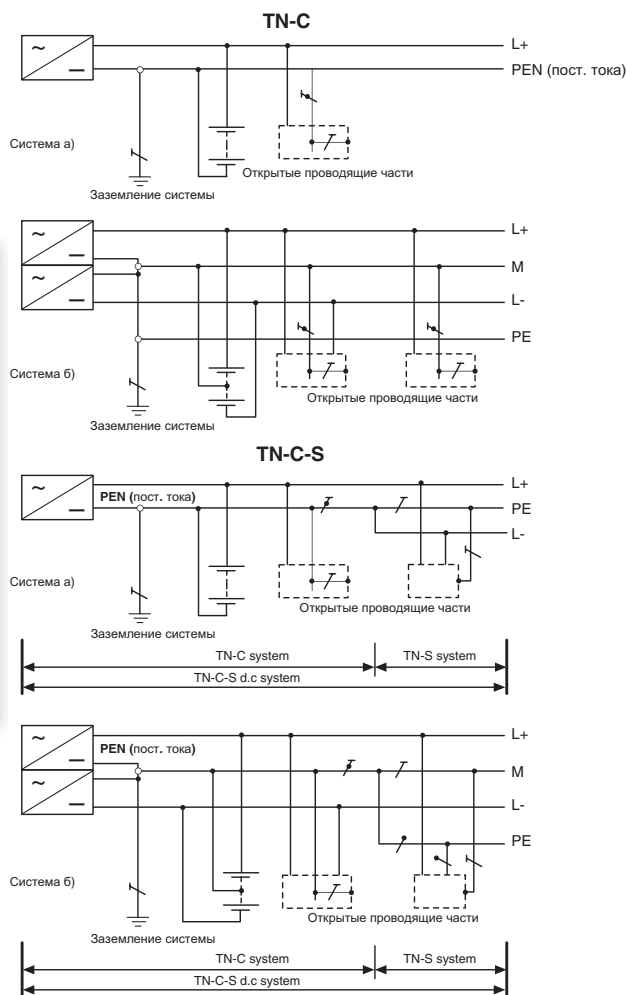
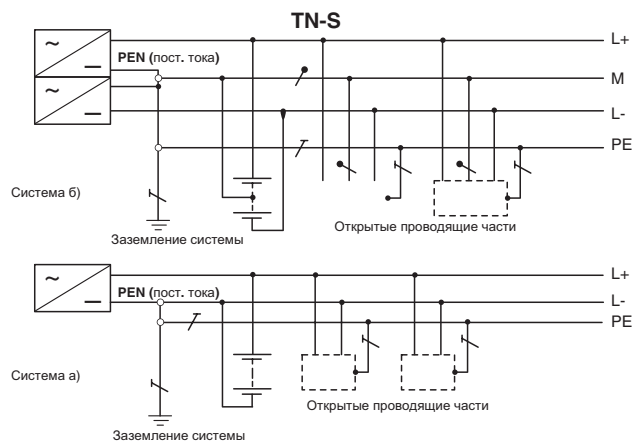
Система ТТ: линейный (фазный) проводник (например L-) системы и открытые проводящие части соединены с электрически независимыми¹ заземлителями.



Система TN: линейный (фазный) проводник (например L-) или средняя точка источника питания глухо заземлены. Открытые проводящие части соединены с той же заземленной точкой.

Существует три типа систем TN и отличаются они друг от друга тем, разделены ли заземленный линейный (фазный) проводник (например L-) и защитный проводник или нет:

1. **TN-C** – функции заземленного линейного (фазного) проводника (например L-) и защитного проводника объединены в одном проводнике, называемом PEN.
2. **TN-S** – линейный (фазный) проводник (например L-), соединенный с землей, и защитный проводник PE разделены во всей системе.
3. **TN-C-S** – функции линейного (фазного) проводника (например L-) и защитного проводника частично объединены в одном проводнике PEN и частично разделены.



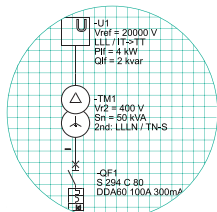
В соответствии с ГОСТ Р 50571.3 (413.1.1.1) «защитное устройство, предназначенное для автоматического отключения питания цепи или электрооборудования, должно обеспечивать защиту от косвенного прикосновения при замыкании токоведущей части на открытую проводящую часть или защитный проводник цепи или электрооборудования таким образом, что время отключения питания должно обеспечивать электробезопасность человека при одновременном прикосновении к проводящим частям также в случае возможного превышения значений напряжения прикосновения 50 В переменного тока (действующее значение) и 120 В выпрямленного тока»².

Для специальных установок и окружающих условий могут быть необходимы времена отключения и значения напряжений прикосновения меньше, чем указанные выше. Дальнейшие требования для силовых систем постоянного тока находятся в разработке.

В системах постоянного тока необходимо учитывать эффекты электрохимической коррозии в результате протекания постоянных токов утечки.

¹ Выбор того, какой линейный проводник L- или L+ будет заземлен, основывается на причинах, не рассматриваемых в данном приложении.

² В системах IT при возникновении первого замыкания автоматическое отключение питания обычно не требуется.



Серия проектировщика

Приложение Б

Защита от прямого прикосновения

Защита от прямого прикосновения людей и животных подразумевает предотвращение опасности, которая может появиться при контакте с токоведущими частями электроустановки. Для того чтобы избежать прямого прикосновения, необходимо реализовать электроустановку, имеющую определенные характеристики, обеспечив тем самым безопасность людей.

Данная защита может быть реализована одним из следующих способов:

- предотвращение протекания тока через тело человека;
- ограничение тока, который может протекать через тело человека, до значений, не вызывающих электрического шока и не оказывающих опасных физиологических воздействий.

Необходимо помнить, что защитные меры должны быть согласованы с типом электроустановки и окружающими условиями.

Основываясь на вышесказанном, защитные меры могут различаться на обеспечивающие:

- полную защиту;
- частичную защиту.

Полная защита подразумевает предотвращение как нежелательных, так и преднамеренных прикосновений людей к токоведущим частям. Данный вид защиты обычно принимается там, где к электроустановкам имеют доступ лица, не имеющие соответствующего технического образования (обычные лица).

Основными мерами защиты от прямого прикосновения являются:

- изоляция токоведущих частей, которая может быть устранена только разрушением (в данном случае защита будет полной);
- расположение токоведущих частей внутри оболочек или за ограждениями, предусматривающими степени защиты IP2X или IPXXB. Для горизонтальных поверхностей в пределах досягаемости и превышающих размеры барьеров или оболочек, степень защиты должна быть не менее IPXXD или IP4X (тогда будем иметь полную защиту).

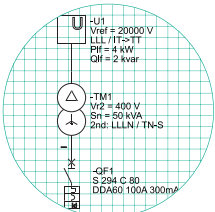
Следующая таблица демонстрирует степени защиты, обеспечиваемые оболочками, в соответствии с ГОСТ 14254, МЭК 60529

ПЕРВАЯ ЦИФРА: защита от проникновения внешних твердых предметов			
IP	Описание		Определение
0	Нет защиты		Particular protections not provided
1		Защищено от внешних твердых предметов диаметром больше или равным 50 мм (нежелательное прикосновение рукой)	Щуп-предмет - сфера диаметром 50 мм - не должен проникать полностью*
2		Защищено от внешних твердых предметов диаметром больше или равным 12,5 мм (палец руки)	Щуп-предмет - сфера диаметром 12,5 мм - не должен проникать полностью
3		Защищено от внешних твердых предметов диаметром больше или равным 2,5 мм (инструментов, проводов)	Щуп-предмет диаметром 2,5 мм не должен проникать ни полностью, ни частично*
4		Защищено от внешних твердых предметов диаметром больше или равным 1,0 мм	Щуп-предмет диаметром 1,0 мм не должен проникать ни полностью, ни частично*
5		Пылезащищено	Проникновение пыли исключено не полностью, однако пыль не должна проникать в количестве, достаточном для нарушения нормальной работы оборудования или снижения его безопасности
6		Пыленепроницаемо	Пыль не проникает в оболочку

ВТОРАЯ ЦИФРА: защита от проникновения воды			
IP	Описание		Определение
0	Нет защиты		Particular protections not provided
1		Защищено от вертикально падающих капель воды	Вертикально падающие капли воды не должны оказывать вредного воздействия
2		Защищено от вертикально падающих капель воды, когда оболочка отклонена на угол до 15°	Вертикально падающие капли не должны оказывать вредного воздействия, когда оболочка отклонена от вертикали в любую сторону на угол до 15° включительно
3		Защищено от воды, падающей в виде дождя	Вода, падающая в виде брызг в любом направлении, составляющем угол до 60° включительно с вертикалью, не должна оказывать вредного воздействия
4		Защищено от сплошного обрызгивания	Вода, падающая в виде брызг на оболочку с любого направления, не должна оказывать вредного воздействия
5		Защищено от водяных струй	Вода, направляемая на оболочку в виде струй с любого направления, не должна оказывать вредного воздействия
6		Защищено от сильных водяных струй	Вода, направляемая на оболочку в виде сильных струй с любого направления, не должна оказывать вредного воздействия
7		Защищено от воздействия при временном (непродолжительном) погружении в воду	Должно быть исключено проникновение воды внутрь оболочки в количестве, вызывающем вредное воздействие, при ее погружении на короткое время при стандартизованных условиях по давлению и длительности
8		Защищено от воздействия при длительном погружении в воду	Должно быть исключено проникновение воды в оболочку в количествах, вызывающих вредное воздействие, при ее длительном погружении в воду при условиях, согласованных между изготовителем и потребителем, однако более жестких, чем условия для цифры 7

Дополнительная буква: защита от доступа к опасным частям

IP	Описание		Определение
0		Защищено от доступа тыльной стороной руки	Щуп доступности - сфера диаметром 50 мм - должен оставаться на достаточном расстоянии от опасных частей
1		Защищено от доступа пальцем руки	Шарнирный испытательный палец диаметром 12 мм и длиной 80 мм должен оставаться на достаточном расстоянии от опасных частей
2		Защищено от доступа инструментом	Щуп доступности диаметром 2,5 мм и длиной 100 мм должен оставаться на достаточном расстоянии от опасных частей
3		Защищено от доступа проволокой	Щуп доступности диаметром 1,0 мм и длиной 100 мм должен оставаться на достаточном расстоянии от опасных частей



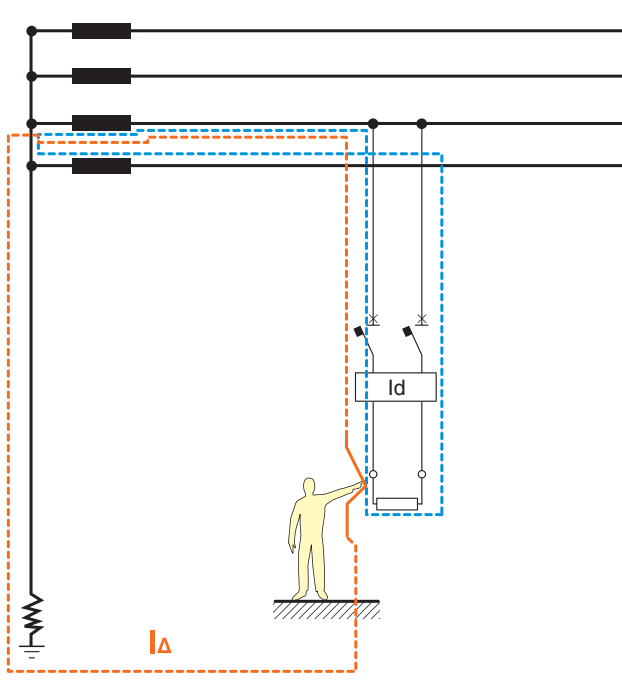
Серия проектировщика

- установка барьеров, препятствующих непреднамеренному приближению к токоведущим частям или непреднамеренному прикосновению к токоведущим частям при эксплуатации электрооборудования (барьеры предназначены для предотвращения случайного прикосновения к токоведущим частям, но не исключают прикосновения при обходе барьера, поэтому их установка является частичной мерой защиты);
- защита путем размещения вне зоны досягаемости предназначена только для предотвращения непреднамеренных прикосновений к токоведущим частям (частичная защита);
- применение устройств дифференциального тока с номинальными отключающими дифференциальными токами, не превышающими 30 мА.

Защита при помощи устройств дифференциального тока определена ГОСТ Р 50571.3 только в качестве дополнительной меры защиты и предназначена для того, чтобы дополнять вышеупомянутые меры, но не заменять их. Для того, чтобы лучше понять это, на Рисунке 1 показан случай прямого прикосновения только к одной токоведущей части.

Синяя штриховая линия показывает путь тока в нормальном режиме, а красная линия показывает путь тока, который мог бы протекать через человека в вышеупомянутом случае. Так как данный случай не является замыканием на землю, то способ соединения открытых проводящих частей с землей не имеет значения.

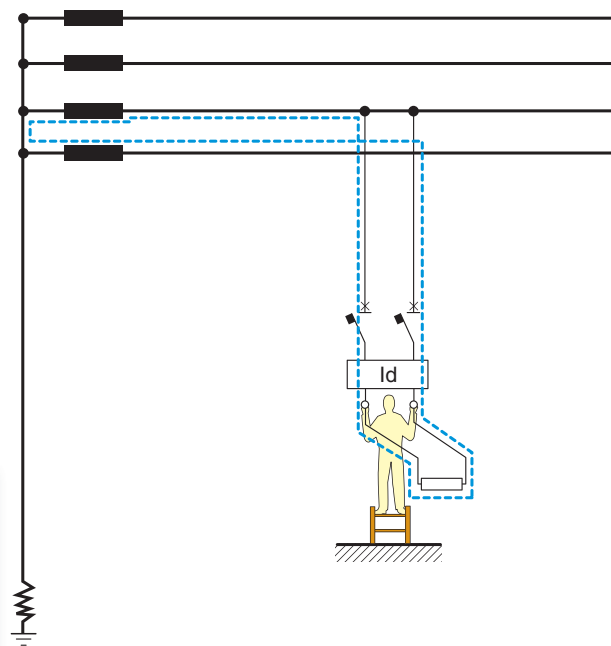
Рисунок 1



Как известно, устройства дифференциального тока обязательно срабатывают при $I_{\Delta} \geq I_{\Delta n}$ (где $I_{\Delta n}$ – чувствительность устройства дифференциального тока). В соответствии с кривой электробезопасности (см. главу 5), человек не пострадает, если ток, протекающий через его тело, будет ниже или равен 30 мА ($I_{\Delta n} \leq 30$ мА).

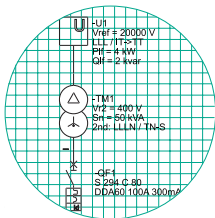
На Рисунке 2 показан случай, когда происходит прямое прикосновение к двум токоведущим частям с различными потенциалами.

Рисунок 2



Случай может быть усугублен, если человек изолирован от земли (т.е. человек находится на деревянной лестнице или обут в обувь с резиновой подошвой и т.п.) или если его тело представляет собой большое значение электрического сопротивления, к которому добавляется сопротивление земли. При таких условиях ток утечки .. будет иметь настолько низкое значение, что устройство дифференциального тока не будет срабатывать. Но при этом ток, протекающий через тело человека, будет опасным.

В результате для таких случаев (хоть и довольно исключительных) Стандартом предусматриваются устройства дифференциального тока в качестве дополнительной меры защиты помимо других рассмотренных мер защиты.



Серия проектировщика

Приложение В

Защита от косвенного прикосновения без применения автоматического отключения

Помимо автоматического отключения питания для защиты от косвенного прикосновения в Стандарте на электроустановки предусмотрены другие меры защиты, имеющие очевидные преимущества в отношении непрерывности электроснабжения. Эти меры рассматриваются, как предупредительные меры, так как они используются для предотвращения появления опасных условий.

Основными мерами являются:

- применение электрооборудования класса II или с равноценной изоляцией;
- изолирующие (непроводящие) помещения, зоны, площадки;
- применение системы местного уравнивания потенциалов;
- применение электрического разделения цепей.

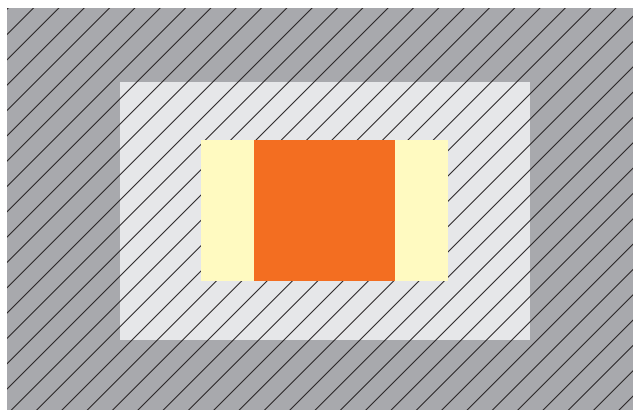
Применение электрооборудования класса II или с равноценной изоляцией






Эта мера защиты обеспечивается применением электрооборудования, имеющего определенные конструктивные или неконструктивные признаки, которые обеспечивают защиту от косвенного прикосновения.

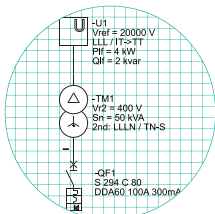
Основными признаками оборудования данного класса являются (Рисунок 1):

- двойная или усиленная изоляция;
- блоки электрооборудования заводского изготовления со сплошной изоляцией;
- дополнительная изоляция, наносимая при монтаже на электрооборудование, имеющее только основную изоляцию;
- усиленная изоляция, накладываемая на неизолированные токоведущие части во время монтажа электроустановки.

Рисунок 1



-  = токоведущая часть
-  = функциональная изоляция: в электрическом устройстве она изолирует части, имеющие различные потенциалы, таким образом, обеспечивая функционирование устройства
-  = основная изоляция – изоляция токоведущих частей
-  = дополнительная изоляция применяется помимо основной изоляции в случае повреждения последней
-  = усиленная изоляция – изоляция опасных токоведущих частей, обеспечивающая такую же степень защиты от поражения электрическим током, как и двойная изоляция

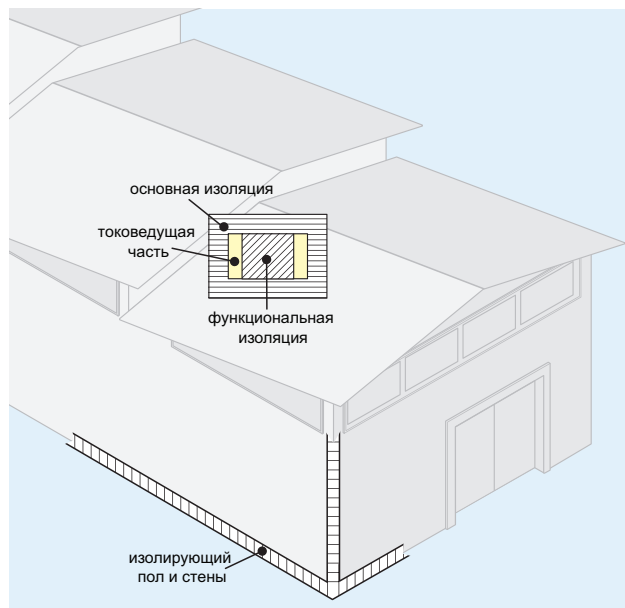


Серия проектировщика

Изолирующие (непроводящие) помещения, зоны, площадки
Защита с помощью изолирующих помещений заключается в обеспечении размещения определенным образом окружающей обстановки (промежутки, расположение барьеров и изоляции), элементов защиты для предотвращения одновременного прикосновения к частям, оказавшимся под разными потенциалами в случае повреждения основной изоляции токоведущих частей.

По этим признакам данный метод не может быть применим в гражданском строительстве и т.п.

Рисунок 2



Защита с помощью системы местного уравнивания потенциалов

Данный тип защиты заключается в объединении проводящих частей и сторонних проводящих частей, одновременно доступных для прикосновения.

При применении данного метода могут возникнуть проблемы в случае отсоединения от системы уравнивания потенциалов, что может привести к тому, что человек окажется под опасной разностью потенциалов.

Данная мера защиты никогда не применима в гражданских зданиях и им подобным, и из-за сложности выполнения требований условий существует немного типов помещений, имеющих подходящие характеристики.

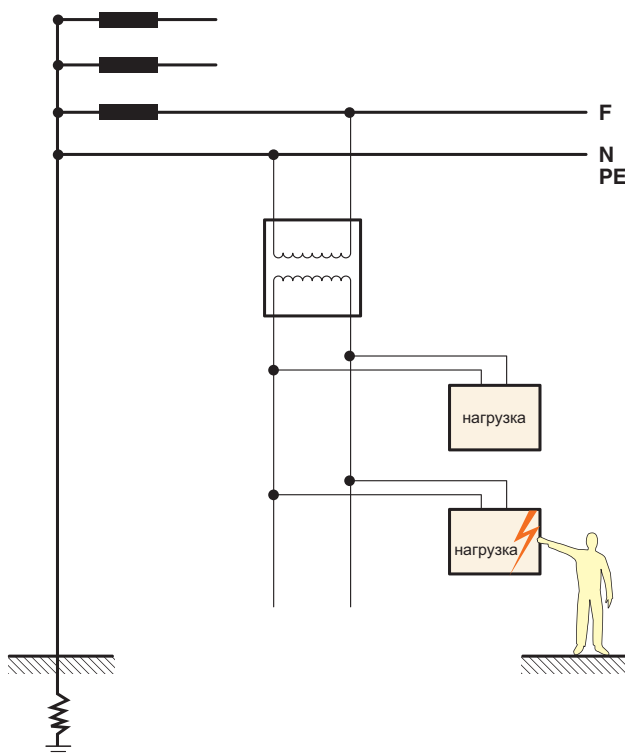
Защита с помощью электрического разделения цепей (защитное разделение)

Защита с помощью электрического разделения цепей заключается в обеспечении электрического разделения между источником питания и питаемой цепью с помощью разделительного трансформатора или источника тока, обеспечивающего степень безопасности, равноценную степени безопасности разделяющего трансформатора.

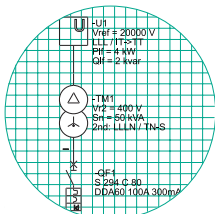
Трансформатор, применяемый для электрического разделения, не может быть обычным трансформатором или автотрансформатором. Он должен иметь такие электрические характеристики, чтобы обеспечить необходимую электрическую изоляцию (двойная или усиленная изоляция, или защитное экранирование между первичной и вторичной обмотками).

В рамках этого вида защиты в случае косвенного прикосновения напряжение, приложенное к телу человека, ограничивается сопротивлением системы на землю¹, так как система полностью изолирована (Рисунок 3).

Рисунок 3



¹ Емкостные токи кабелей не учитываются из-за их малой длины.



Серия проектировщика

Приложение Г

Комбинированная защита от прямого и косвенного прикосновения

Стандартом разрешено применение комбинированной защиты и от прямого, и от косвенного прикосновения. Для этих целей необходимо реализовать систему с точно определенными характеристиками.

Основной особенностью таких систем является наличие номинального напряжения, равного 50 В переменного тока и 120 В постоянного тока (сверхнизкое напряжение).

Данный тип защиты может быть обеспечен путем соблюдения соответствующих мер с тем, чтобы повышение номинального напряжения было исключено. Как это могло бы произойти в случае повреждения на вторичной обмотке трансформатора с напряжением первичной обмотки .. 50 В в условиях повреждения изоляции между обмотками или при прикосновении к другим цепям, имеющим более высокое напряжение.

Поэтому уровень сверхнизкого напряжения может быть достигнут с использованием следующих источников:

- безопасный разделительный трансформатор в соответствии со Стандартом (МЭК 61558-2-6);
- источник тока, обеспечивающий степень безопасности, равноценную степени безопасности разделяющего трансформатора;
- электрохимический источник, имеющий соответствующие характеристики;
- небольшие генераторы;
- электронные устройства в соответствии с определенными Стандартами (устройства, где приняты меры, предотвращающие появление значений напряжений на выходных клеммах, превышающих вышеупомянутые значения).

Данные типы систем определены как:

- БСНН (система безопасного сверхнизкого напряжения, SELV);
- ЗСНН (заземленная система БСНН, PELV);
- ФСНН (система функционального сверхнизкого напряжения, FELV).

Система безопасного сверхнизкого напряжения (БСНН)

Система БСНН имеет следующие характеристики:

1. она питается либо от независимого источника, либо от одного из перечисленных выше;
2. она отделена от других электрических систем с помощью двойной или усиленной изоляции или заземленного металлического экрана;
3. она не имеет точек соединения с землей.

Эти характеристики необходимы для предотвращения появления в системе напряжения выше номинального.

Заземленная система безопасного сверхнизкого напряжения (ЗСНН)

Система ЗСНН имеет такие же характеристики 1 и 2, но она имеет заземленные точки, необходимые для функционирования или безопасности цепей управления.

Системы ЗСНН в результате имеют меньший уровень безопасности, чем системы БСНН, потому что через соединение с землей цепь может оказаться под напряжением, превышающим номинальное напряжение вторичной обмотки (сверхнизкое напряжение).

Это одна из причин, по которой системы БСНН неприемлемы, когда требуются более строгие меры защиты (например, ограниченные по объему проводящие помещения).

Защита от прямых и косвенных прикосновений (в системах БСНН и ЗСНН)

Из-за применения систем БСНН и ЗСНН не существует опасности косвенных прикосновений, так как напряжение питания настолько низкое, что оно не представляет опасности для человека.

Что касается прямого прикосновения при номинальных напряжениях 25 В переменного тока и 60 В постоянного тока, то защита уже обеспечивается БСНН (при нормальных окружающих условиях).

Для более высоких значений напряжения (но, однако, не превышающих 50 В) должна быть обеспечена изоляция или токоведущие части должны быть недоступны для испытательного щупа.

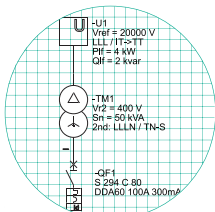
Система функционального сверхнизкого напряжения (ФСНН)

Если номинальное напряжение системы является сверхнизким, но она не отвечает требованиям БСНН и ЗСНН, то система называется ФСНН (Система функционального сверхнизкого напряжения).

Защита от прямых и косвенных прикосновений (в системах ФСНН)

Системы ФСНН могут запитываться и от обычных небезопасных трансформаторов.

При этом при повреждении изоляции напряжение первичной обмотки окажется на вторичной. Поэтому должны быть предусмотрены меры защиты от прямого и косвенного прикосновений.



Серия проектировщика

Косвенное прикосновение

При косвенном прикосновении необходимо, чтобы:

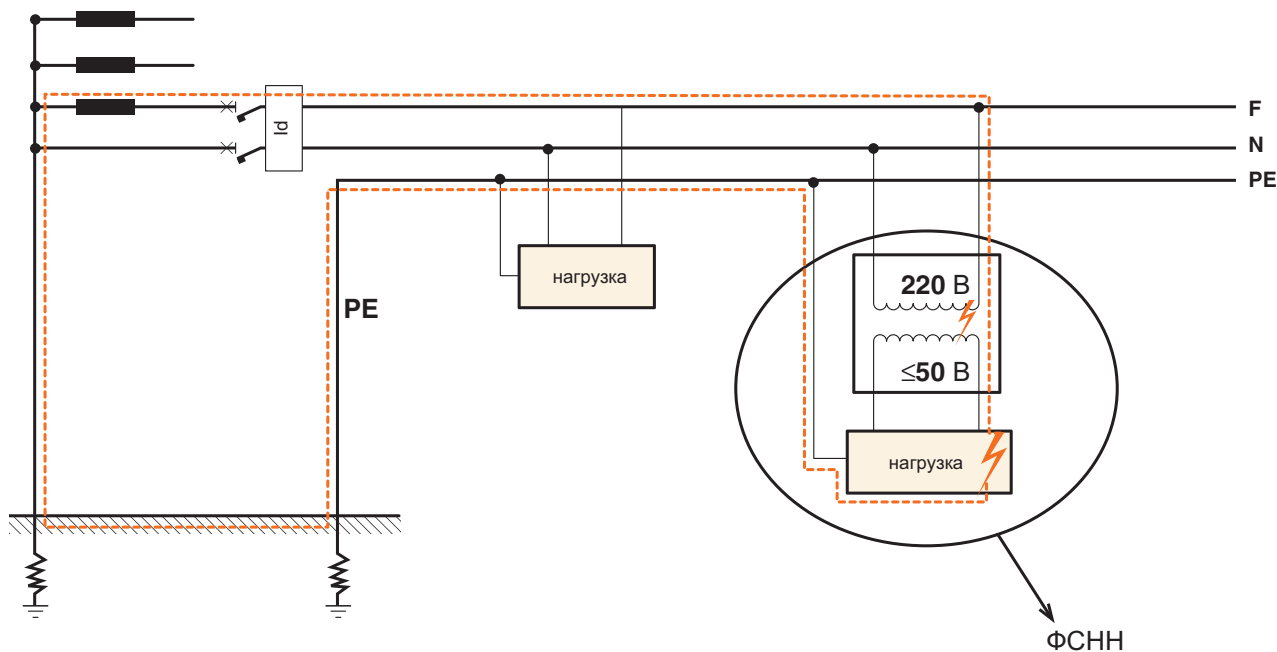
- открытые проводящие части цепи ФСНН были соединены с защитным проводником первичной системы, при условии, что предусмотрено автоматическое отключение питания. Таким образом, как показано на Рисунке 1, в случае двойного повреждения изоляции устройство дифференциального тока сработает при $I_{\Delta} \geq I_{\Delta n}$;
- открытые проводящие части цепи ФСНН были соединены с системой местного уравнивания потенциалов (в системе, где обеспечивается защита путем электрического разделения цепей).

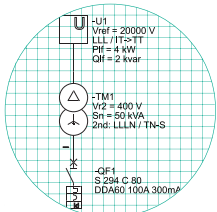
Прямое прикосновение

При прямом прикосновении необходимо, чтобы:

- токоведущие части находились в оболочках или за барьерами, обеспечивающих степень защиты не ниже IP2X или IPXXB;
- была обеспечена изоляция, соответствующая минимальному испытательному напряжению, требуемому для первичной цепи.

Рисунок 1





Серия проектировщика

Приложение Д

Принципы выбора нейтрального и защитного проводников

Нейтральный проводник

Общие сведения

Нейтральный проводник является токоведущим проводником, соединяется с нейтральной точкой системы и способен участвовать в передаче электрической мощности.

Также его функциями являются:

- при его наличии можно получить напряжение U_0 , отличное от линейного напряжения U (Рисунок 1);
- реализация функционально независимых друг от друга нагрузок (Рисунок 2);
- ограничение сдвига нейтральной точки при наличии несбалансированных трехфазных нагрузок (Рисунок 3);
- выполнение также функции защитного проводника (PEN), при определенных условиях (Рисунок 4).

Рисунок 1

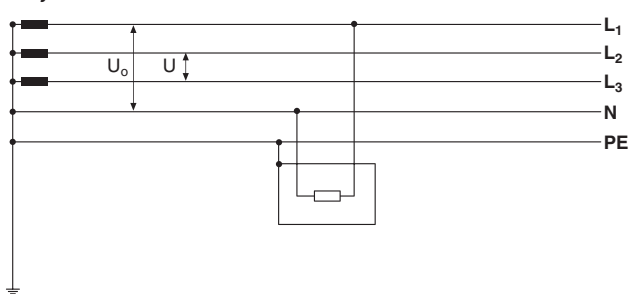
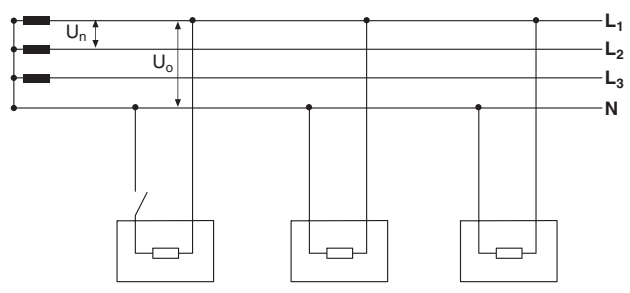


Рисунок 2

При наличии распределенной нейтрали на нагрузку может подаваться напряжение U_0



При отсутствии нейтрали отключение нагрузки может привести к появлению на других нагрузках напряжения, равного $U_n/2$

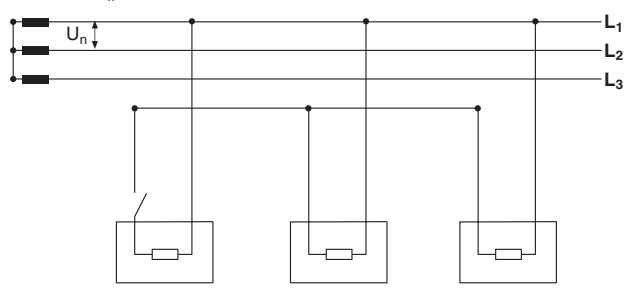
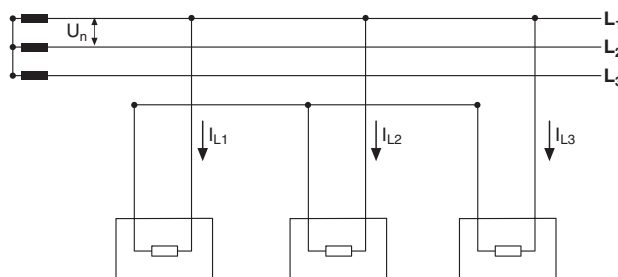


Рисунок 3

При отсутствии нейтрали сумма токов должна быть равна нулю, в противном случае будет наблюдаться сильная несимметрия фазных напряжений.



При наличии нейтрали реальная нейтральная точка совпадает с идеальной

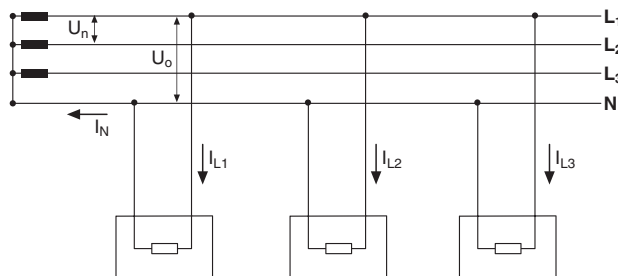
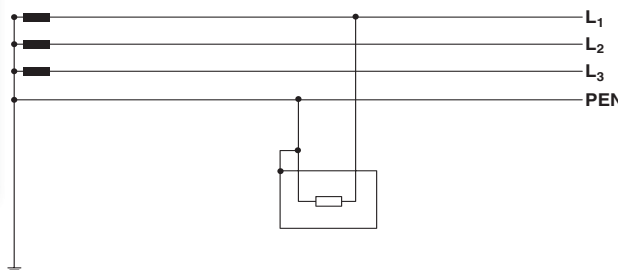
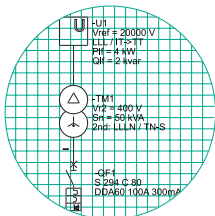


Рисунок 4

В системе TN-C нейтральный проводник является также и защитным проводником



¹ обычно (но не всегда) нейтральная точка соединена с центральной точкой звезды трансформатора или генератора. На практике в электрических установках нейтральная точка системы имеет нулевой потенциал. Фактически, если система является сбалансированной, из векторной диаграммы фазных и линейных напряжений, то нейтральная точка совпадает со средней точкой треугольника. С физической точки зрения нейтральная точка становится доступной в случае соединения фаз звездой. С другой стороны, если имеется соединение типа «треугольник», нейтральная точка может быть получена путем расчетного преобразования треугольника в звезду.



Серия проектировщика

Защита и отсоединение нейтрального проводника

В аномальных условиях нейтральный проводник может иметь повышенное напряжение относительно земли, которое может появиться благодаря, например, нежелательным отсоединениям нейтрали из-за ее разрыва или отключения однополюсных устройств (предохранителей или однополюсных автоматических выключателей). Данным ситуациям следует уделять особое внимание, так как они могут вызвать серьезные последствия, если нейтральный проводник используется в качестве защитного проводника, как, например, в системах TN-C. Что касается таких систем, то стандартами запрещается применение устройств (однофазных и многофазных), которые могут отсоединять PEN проводник. Эти Стандарты предписывают создание минимальных поперечных сечений, чтобы иметь ничтожно малую вероятность неразрушения ее целостности в результате случайных причин. Как было показано, в четырехпроводной цепи отсоединение нейтрали приводит к изменению питающего напряжения однополюсных аппаратов, которые начинают запитываться напряжением, отличным от фазного напряжения. Способы защиты и отсоединения нейтрального проводника отличаются в зависимости от распределительных систем:

- системы TT или TN;
- системы IT.

Системы TT или TN:

- а) если поперечное сечение нейтрального проводника больше или равно сечению фазного проводника, то отслеживание сверхтоков в нейтральном проводнике не является необходимым (нейтраль не защищается и не отсоединяется);
- б) нет необходимости оснащать нейтральный проводник устройством защиты от сверхтоков при одновременном выполнении следующих условий:
 - нейтральный проводник защищен от сверхтоков защитным устройством фазных проводников, и

- максимальный ток нейтрального проводника, протекание которого возможно при нормальных условиях, ниже, чем длительно допустимый ток данного проводника;
- в) там, где поперечное сечение нейтрального проводника меньше, чем сечение фазных проводников, необходимо обеспечить нейтральный проводник устройством отслеживания сверхтоков с целью отсоединения фазных проводников (нейтраль защищена, но не отсоединяется).

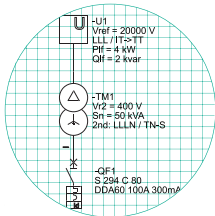
В системах TN-C нейтральный проводник служит также и защитным проводником и поэтому он не может быть отсоединен. Кроме того, в случае отсоединения нейтрального проводника и при наличии замыкания на землю на открытых проводящих частях будет номинальное напряжение системы относительно земли.

Системы IT:

Если нейтральный проводник распределен, то обычно необходимо обеспечивать нейтральный проводник устройством отслеживания сверхтоков в каждой цепи, которое вызовет отсоединение всех токоведущих проводников цепи, включая нейтральный проводник.

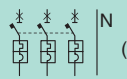
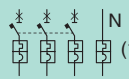
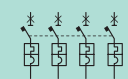
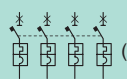
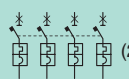
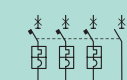
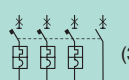




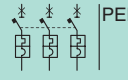
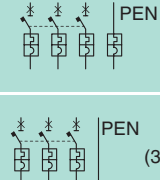

Отслеживание перегрузки нейтрального проводника не является необходимым, если:

- нейтральный проводник эффективно защищен от коротких замыканий на стороне питания (например, вначале электроустановки);
- цепь защищена устройством дифференциального тока с номинальным отключающим дифференциальным током, не превосходящим $0.15 \times I_n$ нейтрального проводника. Данное устройство должно отключать все токоведущие проводники, включая нейтраль.

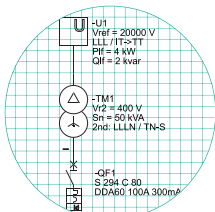


Серия проектировщика

Таблица 1

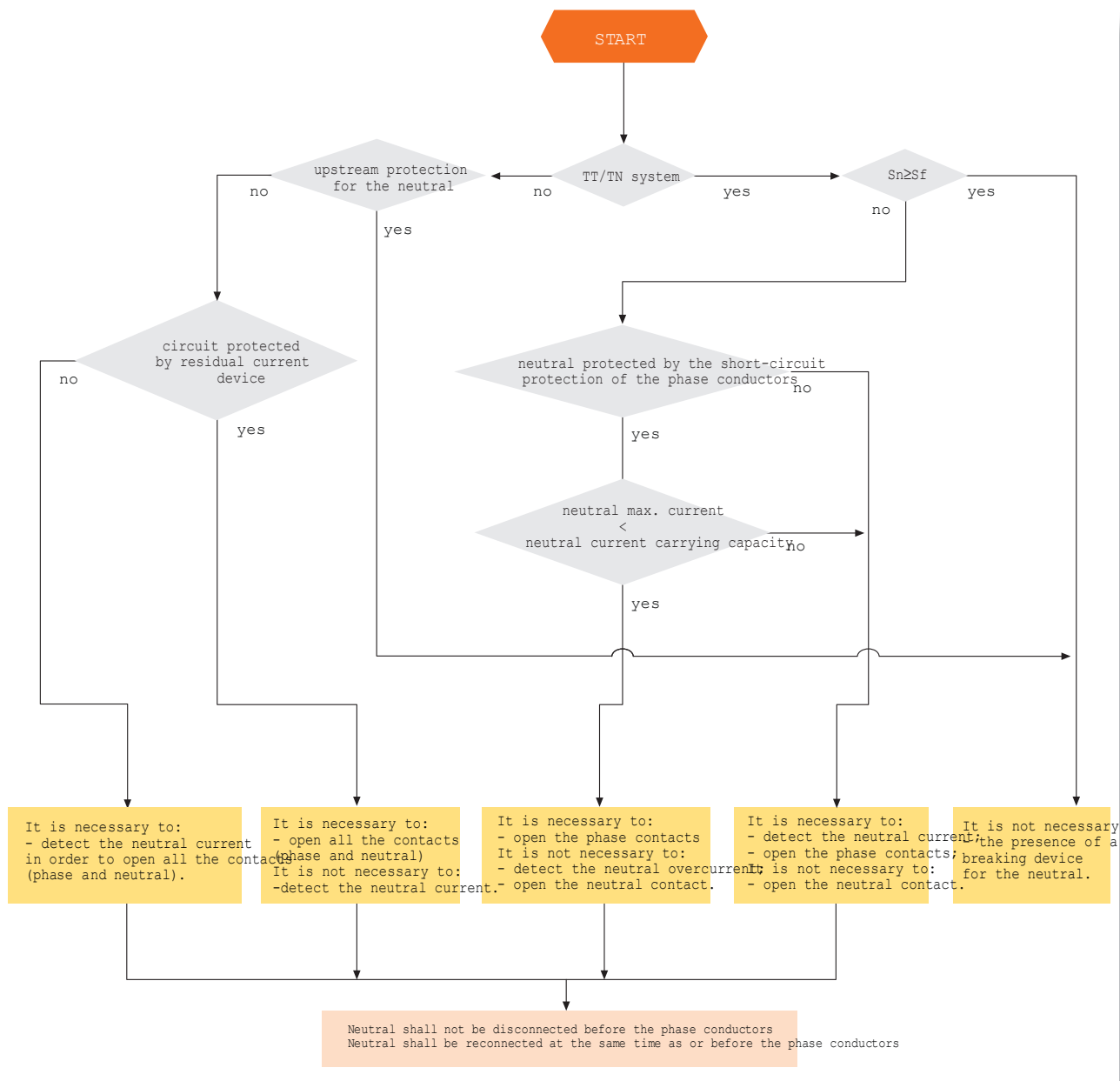
	ТТ или TN-S		TN-C		IT
	$S_N = S$	$S_N < S$	$S_{PEN} = S$	$S_{PEN} < S$	
Три фазы + нейтраль	 (1)	 (1)	—	—	
	 (2)	 (2)			
	 (3)	 (3)			
Одна фаза + нейтраль	 (1)	—	—	—	
	 (2)				
	 (3)				
Три фазы + PEN	—	—		 (3)	—
	—	—	—	—	
Одна фаза + PEN	—	—		—	—

- (1) минимальное требование, предписываемое стандартами по электроустановкам
 (2) конфигурация, рекомендуемая АББ
 (3) возможная конфигурация, если пункт б) выполняется.



Серия проектировщика

Рисунок 5: Диаграмма «защита нейтрального проводника»



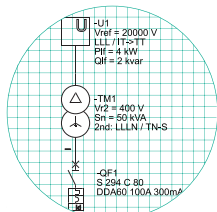
Определение минимального сечения нейтрального проводника

Нейтральный проводник должен иметь площадь поперечного сечения, равную сечению линейного проводника в следующих случаях:

- в однофазных или двухфазных сетях в независимости от поперечного сечения линейного проводника;
- в трехфазных сетях, если поперечное сечение линейных проводников меньше или равно 16 мм², если материал проводников - медь, или 25 мм² если материал - алюминий.

Поперечное сечение нейтрального проводника может быть меньше, если сечение линейных проводников больше 16 мм² (материал проводников – медь) или 25 мм² (материал – алюминий) и если выполняются следующие условия:

- поперечное сечение нейтрального проводника не меньше 16 мм² для меди и 25 мм² для алюминия;
- нет большого содержания высших гармоник в токе нагрузки. Если таковое имеется, например, в случае газоразрядных ламп, поперечное сечение нейтрального проводника может быть больше сечения фазных проводников.



Серия проектировщика

Подводя итог:

Таблица 2

	Сечение фазного проводника S [мм²]	Мин. сечение нейтрального проводника S _N [мм²]
Однофазные/двухфазные цепи Cu/Al	any	S¹
Трехфазные цепи Cu	S ≤ 16	S¹
	S > 16	16
Трехфазные цепи Al	S ≤ 25	S¹
	S > 25	25

¹ в системах TN-C Стандартами предписывается выполнение PEN проводников с минимальным сечением 10 мм² для медных проводников и 16 мм² для алюминиевых.

Защитный проводник

Определение минимального поперечного сечения

Минимальное поперечное сечение защитного проводника PE может быть определено по Таблице 3:

Таблица 3

Сечение фазного проводника S [мм²]	Сечение нейтрального проводника S _{PE} [мм²]
S ≤ 16	S
16 < S ≤ 25	16
S > 25	S/2

Для более точного расчета, учитывая то, что защитный проводник подвержен адиабатическому нагреву от начальной температуры до конечной определенной температуры (поэтому отключение при повреждении должно осуществляться в пределах 5 сек), минимальное сечение защитного проводника S_{PE} может быть получено с использованием формулы:

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

где:

S_{PE} — поперечное сечение защитного проводника в [мм²];

I —

K — коэффициент, значение которого зависит от материала защитного проводника, его изоляции и начальной и конечной температур. Данный коэффициент в соответствии с ГОСТ Р 50571.10 может быть рассчитан 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, Дж/(°C·мм³);

B — величина, обратная температурному коэффициенту сопротивления при 0°C для проводника, °C;

ρ₂₀ — удельное электрическое сопротивление материала проводника при 20°C, Ом мм;

θ_i — начальная температура проводника, °C;

θ_f — конечная температура проводника, °C.

В Таблице 4 показаны наиболее общие значения вышеприведенных параметров:

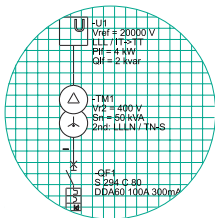
Таблица 4

Материал	B [°C]	Q _C , Дж/(°C·мм³)	ρ ₂₀ , Ом мм	$\sqrt{\frac{Q_C (B + 20)}{\rho_{20}}}$
Медь	234.5	3.45·10 ⁻³	17.241·10 ⁻⁶	226
Алюминий	228	2.5·10 ⁻³	28.264·10 ⁻⁶	148
Свинец	230	1.45·10 ⁻³	214·10 ⁻⁶	42
Сталь	202	3.8·10 ⁻³	138·10 ⁻⁶	78

Если из таблицы или из формулы нельзя получить стандартизованное поперечное сечение, необходимо выбрать защитный проводник с ближайшим большим стандартизованным поперечным сечением.

В независимости от того, используется ли формула или таблица, поперечное сечение защитного проводника, не являющегося питающим кабелем, должно быть не менее:

- 2,5 мм² — при наличии механической защиты;
- 4 мм² — при отсутствии механической защиты.



Серия проектировщика

Глоссарий

PE	Защитный проводник
PEN	Комбинированный проводник (защитный и нейтральный)
I_{Δ}	Дифференциальный ток
$I_{\Delta n}$	Номинальный отключающий дифференциальный ток
I_n	Номинальный ток
I_3	Уставка мгновенного срабатывания
УДТ	Устройство дифференциального тока
U_0	Фазное напряжение (между фазой и нейтралью)
U_n	Номинальное линейное напряжение (между фазами)
Z	Полное сопротивление
I_a	Ток срабатывания устройства защиты
R	Активное сопротивление
R_t	Активное сопротивление заземлителя
N	Нейтральный проводник
S	Поперечное сечение фазного проводника
S_N	Поперечное сечение нейтрального проводника
S_{PE}	Поперечное сечение защитного проводника
S_{PEN}	Поперечное сечение проводника PEN



1SDC007102G0201

ООО “АББ Индустри и Стройтехника”

117997, Москва,
ул. Обручева, 30/1
Тел.: +7 (495) 960 2200
Факс: +7 (495) 960 2220

193029, Санкт-Петербург,
Б. Смоленский пр., 6
Тел.: +7 (812) 326 9915
Факс: +7 (812) 326 9916

394006, Воронеж,
ул. Свободы, 73
Тел.: +7 (4732) 393 160
Факс: +7 (4732) 393 170

620066, Екатеринбург,
ул. Бархотская, 1, оф. 212
Тел.: +7 (343) 369 0000
Факс: +7 (343) 369 0069

664050, Иркутск,
ул. Байкальская, 291
Тел.: +7 (3952) 563 458
Факс: +7 (3952) 563 459

443010, Самара,
ул. Красноармейская, 1
Тел.: +7 (846) 269 8047
Факс: +7 (846) 269 8046

344002, Ростов-на-Дону,
ул. Пушкинская, 72а
Тел.: +7 (863) 255 9751
Факс: +7 (863) 255 9751

630007, Новосибирск,
Серебренниковская ул., 14/1
Тел.: +7 (383) 211 9270
Факс: +7 (383) 211 9270

www.abb.ru
ruibs@ru.abb.com

420021, Казань,
ул. Парижской Коммуны, 26
Тел.: +7 (843) 292 3971
Факс: +7 (843) 292 3921

603093, Нижний Новгород,
ул. Родионова, 23
Тел.: +7 (8312) 619 102
Факс: +7 (8312) 619 164