



City9 Set: устройства защитного отключения от компании Systeme Electric



В статье рассматриваются основные принципы работы устройств защитного отключения. Представлена новая серия City9 Set от компании «Систэм Электрик».

«Систэм Электрик», г. Москва

На протяжении многих лет большое количество людей получает электротравмы как в собственных домах, так и на производстве в результате непрямого прикосновения к электрическим приборам, которые в результате неправильной работы могут находиться под напряжением. В России и странах СНГ, а также на мировых рынках органы государственной власти по электробезопасности выступают за широкое использование устройств дифференциального тока (ВДТ), также известных как предохранительные выключатели или устройства от утечки тока на землю, в качестве эффективного средства защиты от угрозы поражения электрическим током.

ВДТ может обеспечить защиту людей от смертельно опасного поражения электрическим током из-за утечки на землю, а также может обеспечить защиту от пожароопасных ситуаций в электроустановках. Правила электромонтажа Российской Федерации СП 256.1325800.2016 «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа» требуют, чтобы активные металлические токопроводящие части электроустановки были защищены

одним или несколькими устройствами, которые автоматически отключают питание в случае перегрузки по току, прежде чем такая перегрузка достигнет величины или продолжительности, которые могут привести к травмам людей или повредить электроустановку жилого дома из-за

чрезмерных температур или электромагнитных волн (молния) перенапряжений.

Правила «Электроустановки жилых и общественных зданий» также требуют дополнительной защиты в большинстве электрощитов конечного распределения с помощью уста-

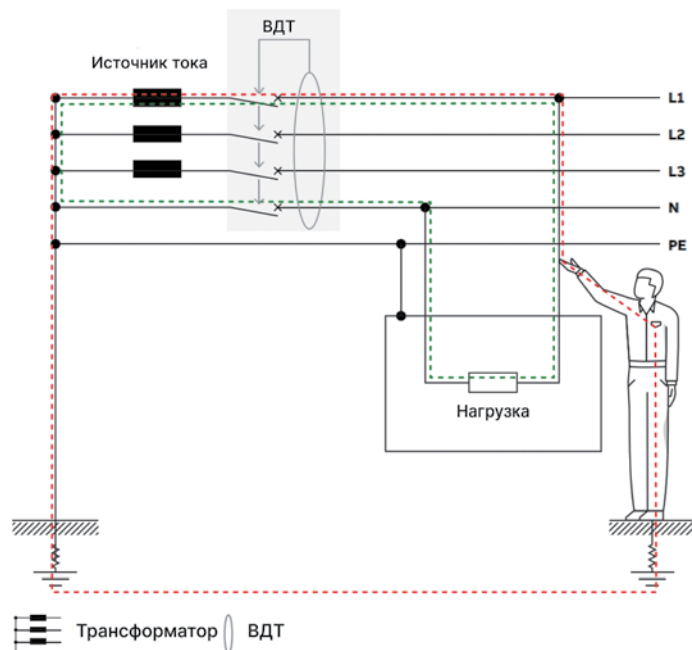


Рис. 1. Схема возникновения замыкания на землю в электрической цепи

новки устройств защитного отключения совместно с автоматическим выключателем.

В исправной электрической цепи токи протекают от источника (то есть трансформаторной подстанции) к нагрузке и обратно по петле (показана зеленым пунктиром на рис. 1), которая может включать одну или три фазы (L1, L2, L3) и нейтральный проводник (N). В случае замыкания на землю образуется дополнительная токовая петля (красный пунктир на рис. 1), в которой ток течет обратно к источнику либо через землю, либо через заземляющий проводник, такой как, например, защитное заземление (РЕ). Помимо замыканий на землю, могут возникнуть и другие электрические неисправности, такие как перегрузка или короткое замыкание, перенапряжение, дуговое замыкание и т. д. От этих неисправностей рекомендуются специальные защитные устройства, которые выходят за рамки данной статьи по ВДТ.

Первые конструкции ВДТ использовали электроэнергетическими компаниями как средство выявления «кражи энергии», когда электроэнергия небезопасно и незаконно забиралась из неизолированных – голых – проводов линии электропередачи, а в качестве нуля – нейтрального проводника – использовался штырь, воткнутый в землю, который создавал электрическую цепь в обход электросчетчиков.

Дальнейшие этапы разработки и совершенствования устройства защитного отключения были приняты в качестве основы безопасного и надежного средства защиты людей от поражения электрическим током. В России установка обязательной защиты устройств от токов утечки на землю стала обязательной с 2001 года. В 2000–2010-х годах применение ВДТ в бытовых электроустройствах привело к снижению количества смертельных случаев из-за поражения электрическим током примерно на 50 % по сравнению с 1990-ми годами. Последующие редакции правил электромонтажа ужесточили обязательные требования к защите от остаточного тока, обеспечивая еще большую безопасность, и позволили снизить количество смертельных случаев от поражения электрическим током еще на 50 % с 2009-го по 2019 год. Органы по электробезо-



Рис. 2. Пирамида уровней защиты от замыканий на землю

пасности сообщают, что количество смертей от поражения электрическим током в России за 20-летнюю историю применения снизилось с 1,7 смертей на миллион человек в 2000–2001 годах до 0,34 смертей на миллион человек в 2019–2020 годах.

Три уровня защиты от замыканий на землю

Защита от неисправностей, соответствующая стандартам электробезопасности, может быть определена в виде пирамиды уровней защиты. Наивысший уровень защиты достижим только в рамках подхода к безопаснос-

ти, включающего три уровня: базовую защиту, защиту от неисправностей и дополнительную защиту (рис. 2).

Базовый уровень защиты

Первой и самой основной формой защиты является предотвращение случайного контакта с частями, находящимися под напряжением. Правила электромонтажа требуют обеспечения защиты от опасностей, которые могут возникнуть в результате контакта с частями электроустановки, находящимися под напряжением при нормальной эксплуатации. Этого можно достичь с помощью таких мер, как

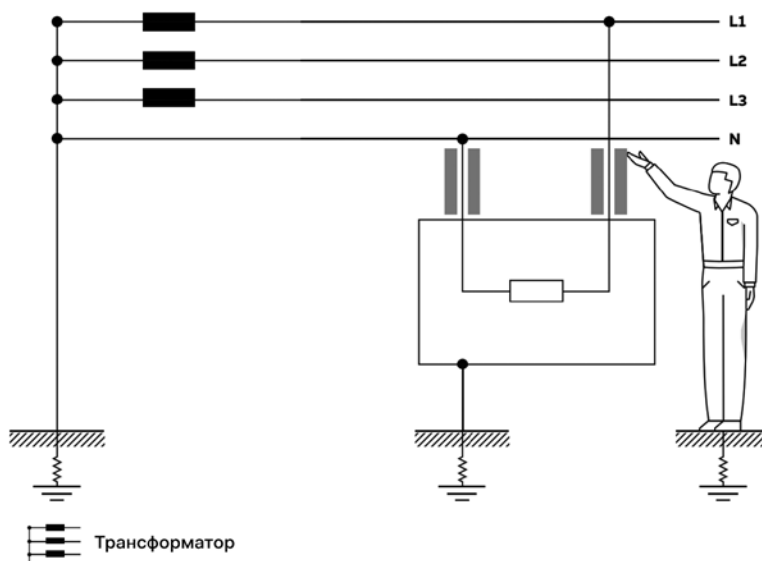


Рис. 3. Электрическая цепь при контакте человека с частью, находящейся под напряжением

использование изолянт, ограждений, препятствующих прикосновению человека к открытым частям, находящимся под напряжением.

Базовой защиты может быть достаточно, за исключением случаев, когда где-то имеется дефект изоляции или если защита снимается намеренно, например во время работ по установке или техническому обслуживанию, а затем открытые токопроводящие части повторно не изолируются и не отключаются.

Любой контакт только с одной опасной частью, находящейся под напряжением, опасен, поскольку при прикосновении тело человека, как правило, одновременно находится в контакте с землей (например, ступни, стоящие на полу). Это обеспечивает электрическую цепь обратным путем к источнику, то есть трансформатору подстанции распределительной сети (рис. 3).

Защита от неисправностей

В случае повреждения изоляции необходимо обеспечить защиту от повреждения для предотвращения поражения электрическим током. Это делается либо с помощью второго независимого слоя изоляции (двойная изоляция), либо путем помещения токоведущих частей в заземленный металлический корпус (схематически показанный на рис. 1 и 5 в виде прямоугольной коробки вокруг нагрузки и подключенный к РЕ-проводнику). Защитное устройство должно авто-

матически отключать питание в случае неисправности: незначительного и полного повреждения изоляции между линейными проводниками и открытыми проводящими частями. Для обеспечения двойной или усиленной изоляции необходимо использовать электрооборудование, которое соответствует государственным стандартам – ГОСТ. Типичными примерами являются кабели в оболочке, состоящие из внешней изолирующей оболочки, покрывающей несколько проводников, которые, в свою очередь, индивидуально и полностью изолированы (изображено серыми контурами на рис. 4). Электрооборудование, защищаемое автоматическим отключением, оснащено защитной заземляющей клеммой, которая обозначается как PE – третий контакт во многих вилках. Другим методом защиты от неисправностей является защита сверхнизким напряжением (ELV – extra low voltage) в системах с напряжением меньше 50 В переменного тока, питаемых от указанного безопасного источника – трансформаторной подстанции. Оборудование, защищенное сверхнизким напряжением, называется оборудованием класса III. Типичные примеры включают электронные приборы малой мощности, такие как зарядное устройство для мобильного телефона или ноутбука.

Дополнительный уровень защиты

Согласно российским внутренним документам и стандартам международ-

ной электротехнической комиссии – МЭК (IEC), двойной уровень защиты от поражения электрическим током – базовая защита и защита от неисправностей – обязателен везде. Во многих распространенных приложениях, особенно в конечных электроприборах, требуется третий уровень защиты, известный как дополнительная защита, на случай отказа как основной защиты, так и защиты от неисправностей (рис. 6). Выход из строя базовой защиты и защиты от сбоев может произойти из-за небрежности пользователей, например самовольного снятия корпуса прибора, нарушения изоляции или потери соединения с защитным заземлением, погружения в воду и т.д. Если заранее не отключить питание, очень вероятен удар электрическим током при прикосновении к токоведущим частям, как указано на рис. 1. ВДТ с высокой чувствительностью (например, 30 мА или менее) считается в электрических системах переменного тока дополнительной защитой от поражения электрическим током. Как показано на рис. 1, при прикосновении к токоведущему проводнику остаточный ток потечет через корпус на землю, минуя ВДТ на обратном пути, что приведет к отключению питания. Важно отметить, что, поскольку тело человека является частью контура повреждения, то высокое сопротивление тела (около 1000 Ом) приводит к протеканию очень низкого тока (несколько мА) по сравнению с рабочим током защиты от сверхтоков – автоматиче-

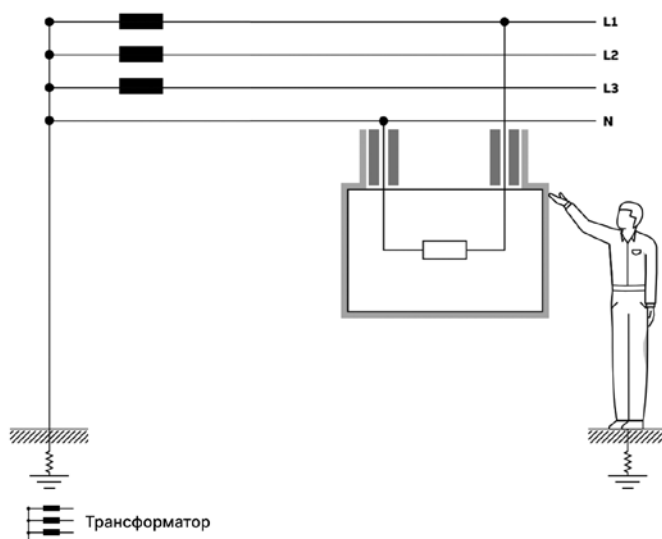


Рис. 4. Защита от неисправностей с помощью автоматического отключения

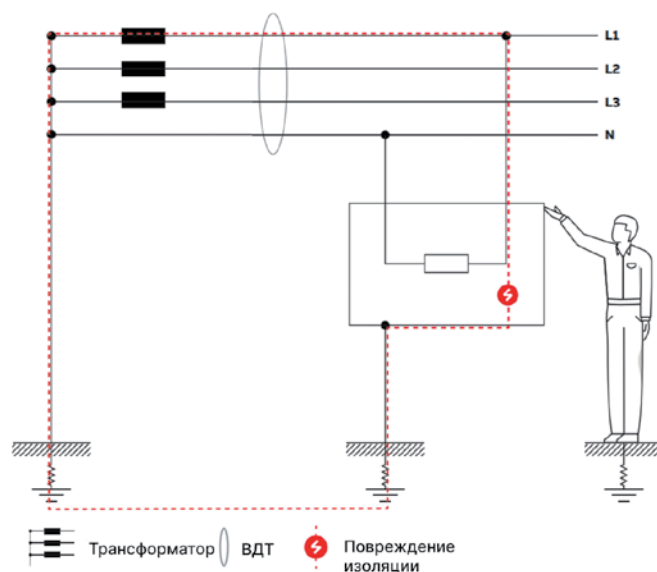


Рис. 5. Защита от неисправностей сверхнизким напряжением

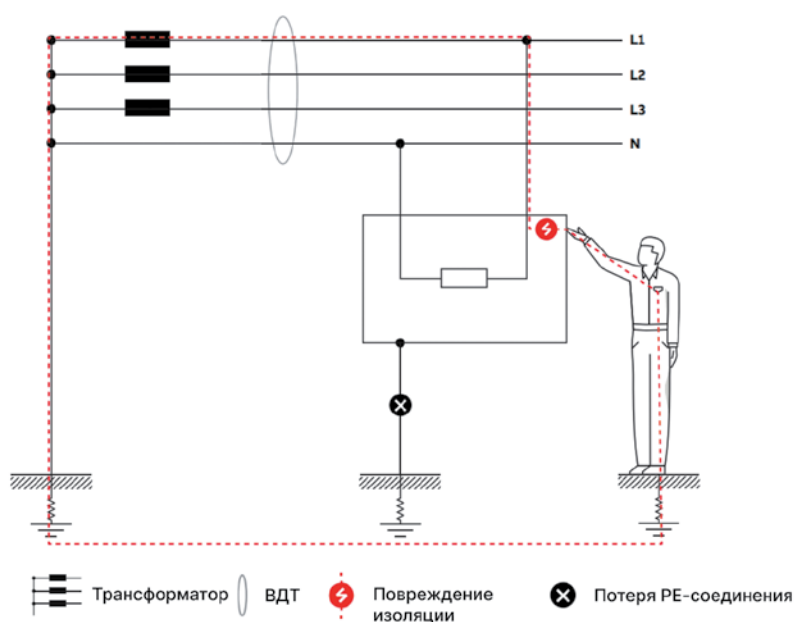


Рис. 6. Схема дополнительной защиты

ского выключателя, который может находиться в диапазоне десятка, сотни или тысячи ампер. По этой причине защита от сверхтоков не может обеспечить дополнительную защиту.

Основное различие между устройством, используемым для защиты от неисправностей, и устройством, используемым для дополнительной защиты, заключается в том, что устройство защиты от неисправностей обеспечивает защиту цепи от поражения электрическим током при повреждениях с низким уровнем сопротивления, тогда как дополнительная защита обеспечивает защиту цепи с быстрым прерыванием цепи при повреждениях с высоким сопротивлением — при низком значении сопротивления — уровни миллиампер, снижающие риск травм. Дополнительные устройства защиты, такие как ВДТ, не могут исключить поражение электрическим током, однако они могут сработать достаточно быстро и при достаточно низком уровне тока, чтобы ограничить повреждающее воздействие от поражения электрическим током на организм человека и предотвратить серьезные травмы или смерть. Использование ВДТ с номинальным дифференциальным током срабатывания не более 30 мА является ключевым элементом защиты для повышения безопасности в электрических цепях низкого напряжения (НН), хотя оно не может быть единственным средством защиты и не заменяет необходимые меры, указанные для базовой

защиты и защиты от неисправностей. Дополнительная защита ВДТ на ток до 30 мА не зависит от системы заземления и не связана с требованиями защиты от замыканий. Например, ВДТ на 30 мА можно использовать для дополнительной защиты. Дополнительная защита ВДТ номиналом 30 мА также обязательна при определенных условиях, определенных правилами «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа».

Воздействие электрического тока на тело человека

Электричество вызывает шок в человеческом теле, поскольку это внешняя сила, которая вмешивается во внутреннее электричество, вырабатываемое нервной системой. Поскольку человеческое тело состоит в основном из воды, оно, по существу, является проводящим. Любое напряжение, приложенное к телу, может помешать и повлиять на нормальное функционирование системы. Чем выше напряжение, тем хуже эффект. Поражение электрическим током — это патологическое воздействие электрического тока на организм человека. Оно влияет на мышечные, кровеносные и дыхательные функции, а также может вызвать серьезные ожоги. Травмы, причиненные людям прохождением тока через тело человека:

► **мышечное сокращение** — мышцы, на которые воздействует ток, непроизвольно сокращаются, что затрудняет

отпускание проводящих частей. Очень сильные токи обычно не вызывают мышечного сокращения, поскольку, когда тело соприкасается с такими токами, мышечное сокращение настолько сильное, что непроизвольные мышечные движения могут отбросить пострадавшего от проводника;

► **остановка дыхания** — если ток проходит через мышцы, контролирующие дыхательную систему, непроизвольное сокращение этих мышц изменяет нормальный дыхательный процесс и пострадавший может умереть от удушья или страдать от последствий травм, вызванных асфиксией;

► **фибрилляция желудочков** — наиболее опасный эффект обусловлен влиянием внешних токов на физиологические сокращения организма. Это может вызвать изменения нормального сердечного цикла. Эта аномалия может стать необратимым явлением, потенциально фатальным, поскольку может сохраняться даже после устранения причины поражения электрическим током;

► **ожоги** вследствие прямого нагревательного воздействия тока, проходящего через тело человека.

Российский стандарт ГОСТ ИЕС 61140—2012 «Защита от поражения электрическим током» содержит подробную информацию, основанную на исследованиях, о том, что опасность для людей зависит главным образом от величины и продолжительности тока. Этот стандарт основан на международном ИЕС 61140.

Традиционная карта рисков представлена на рис. 7 и показывает временные/токовые зоны воздействия переменного тока (15–100 Гц), протекающего по типичному пути от левой руки к ноге. Обратите внимание, что этот путь будет включать сердце. Каждая точка на карте риска представляет ток тела по горизонтальной оси и продолжительность воздействия по вертикальной оси.

Ток тела

Зоны времени и текущие границы интервалов для различных физиологических эффектов пути от рук к ногам указаны в табл. 1.

Типы выключателей дифференциального тока (RCCB)

По сути, это устройство представляет собой механический выключа-

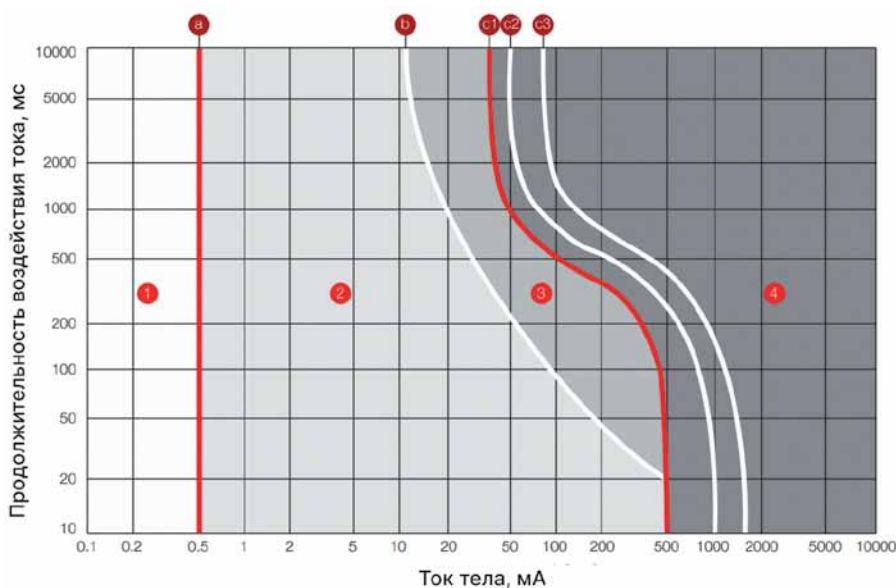


Рис. 7. Карта рисков

Таблица 1. Зоны времени и текущие границы интервалов для различных физиологических эффектов пути от рук к ногам

Зона	Эффект
1	Обычно никакой реакции
2	Обычно нет вредных физиологических эффектов
3	Обычно органических повреждений не ожидается. Вероятность судорожных мышечных сокращений и затруднения дыхания; обратимые нарушения формирования и проведения импульсов в сердце, в том числе мерцательная аритмия и транзиторная остановка сердца без фибрилляции желудочков, нарастающие с величиной и временем тока
4	Помимо эффектов зоны 3, вероятность фибрилляции желудочков увеличивается примерно до 5% для кривой «зоны 2», 50% для кривой «зоны c3» и более 50% за пределами кривой «зоны c3». Могут возникнуть патофизиологические эффекты, такие как остановка сердца, остановка дыхания и тяжелые ожоги, которые усиливаются с увеличением силы тока и времени

тель с прикрепленной к нему характеристикой отключения по дифференциальному току (рис. 8). Он разорвет цепь только при наличии тока утечки на землю. Время срабатывания такое, чтобы минимизировать риски для жизни человека. Поскольку ВДТ не способны обнаружить перегруз-

ку по току, короткое замыкание или отреагировать на них, их необходимо подключить последовательно с устройством максимального тока, например предохранителем или автоматическим выключателем (миниатюрным автоматическим выключателем). Это дает ВДТ и остальной части

схемы защиты, необходимую для реагирования на перегрузку по току или короткое замыкание.

Подводя итог, можно сказать, что ВДТ обеспечивают защиту от утечки на землю, однако при их применении важно помнить, что их всегда следует устанавливать вместе с устройством защиты от короткого замыкания соответствующего номинала, например автоматическим выключателем или предохранителем.

Автоматический выключатель с защитой от перегрузки по току утечки (RCBO)

АВДТ представляет собой устройство защитного отключения, в которое встроен автоматический выключатель. АВДТ является эквивалентом отдельного автоматического выключателя и ВДТ. Основными функциями, которые обеспечивает АВДТ, являются:

- ▶ защита от токов замыкания на землю;
- ▶ защита от перегрузки и токов короткого замыкания.

Лучший способ использования АВДТ – установить по одному в каждой цепи, например, если в одной из цепей наблюдается неисправность, то это не повлияет на другие цепи. Поскольку цена на эти устройства падает с каждым годом, АВДТ является эффективным способом защиты жизни и установки.

ВДТ типа AC

ВДТ типа AC подходят для систем, в которых нагрузки имеют только синусоидальный ток потребления. Базовым примером является электрический чайник, который потребляет только синусоидальный ток: прибор, который не имеет режимов управле-

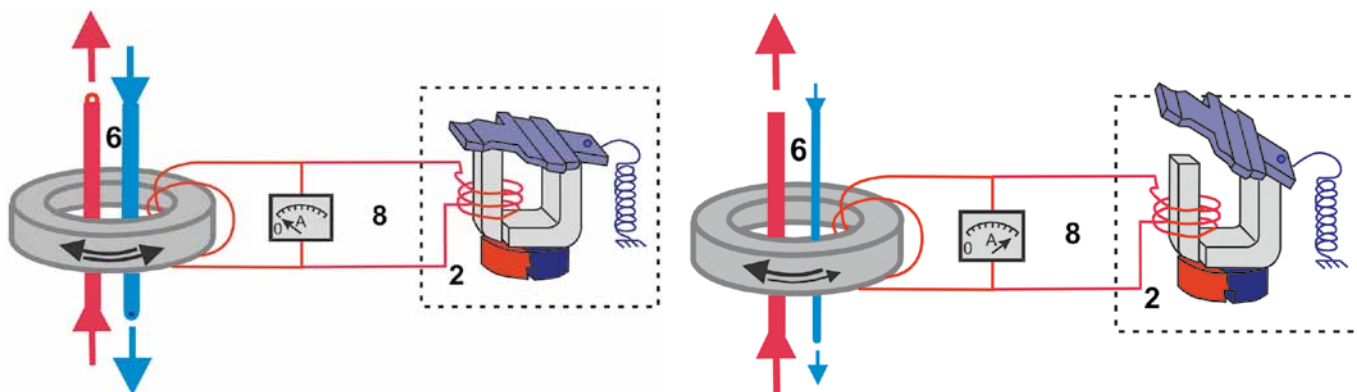


Рис. 8. Принцип работы выключателя дифференциального тока

ния и отключается только после закипания воды. Они устойчивы к импульсным токам утечки до пикового значения 250 А (форма волны 8/20), которые могут возникать, например, из-за наложения импульсов напряжения в сети (в частности, при переключении люминесцентных ламп, рентгеновского оборудования, обработки данных). ВДТ типа переменного тока предназначены для обнаружения синусоидальных сигналов, частота которых равна частоте сети, то есть 50 Гц. ВДТ типа АС раньше были наиболее распространены в сетях переменного тока (отсюда и название), питающих классические электрические нагрузки с резистивным, индуктивным или ёмкостным сопротивлением, как правило, без электронных компонентов. Токи (включая утечку на землю) и напряжение обычно имеют синусоидальную форму. Типичные нагрузки включают вольфрамовое и галогенное освещение, духовки и обогреватели без электронного управления.

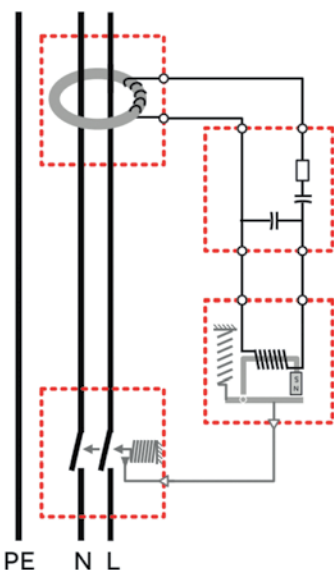
ВДТ типа А

ВДТ типа А также обладают устойчивостью к импульсным токам до пикового значения 250 А (форма волны 8/20) и работают с характеристиками типа переменного тока, с дополнительной способностью обнаруживать дифференциальные токи, которые являются лишь частично синусоидальными. Эти формы тока типичны для сетей, питающих силовые электронные компоненты, такие как диоды и транзисторы. С ростом популярности электронных приборов, таких как диммеры, компьютеры и телевизоры, токи и напряжения в сети стали все более возрастать от импульсных источников питания и так далее, где тиристоры управляют источником питания, поочередно включая и отключая ток. Этим объясняется лишь частичная синусоидальность токов утечки на землю в сетях со значительным количеством электронных нагрузок. ВДТ типа А обнаруживают дифференциальные токи с формой волны переменного тока, пульсирующей формой волны постоянного тока или плавным постоянным током до 6 мА.

Независимые от напряжения ВДТ

Одно из преимуществ устройств защитного отключения по дифференциальному току линейки City9 состо-

Независимые от напряжения ВДТ



Зависимые от напряжения ВДТ

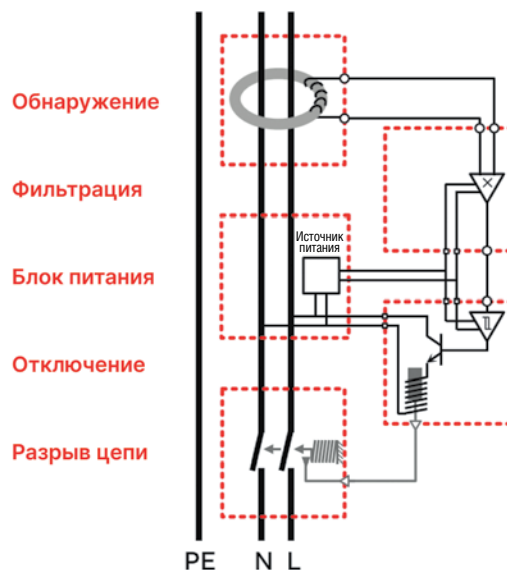


Рис. 9. Схема зависимых и независимых от напряжения ВДТ

ит в их конструкции: все устройства защитного отключения являются независимыми от напряжения и используют энергию тока замыкания на землю для непосредственного отключения механизма. В этом типе устройств выход сенсорной катушки приводит в действие специально сконструированное магнитное реле, которое затем размыкает механизм ВДТ независимо от напряжения сети (рис. 9). В независимых от напряжения ВДТ обычно используется конструкция поляризованного реле (с ослаблением поля).

Эффект достигается путем подавления постоянного магнитного потока (который удерживает реле во включенном состоянии) потоком возбуждения (создаваемым током повреждения). Это может произойти только в одном полупериоде переменного тока, поскольку в другом полупериоде магнитный поток будет усилен. Время срабатывания может варьироваться от 20 до 120 миллисекунд при номинальном токе отключения.

Принцип работы ВДТ

Измерение тока утечки

Для любой конкретной установки остаточный ток равен разности токов, протекающих через фазные провода и, где это применимо, нейтральный провод. ВДТ должны срабатывать при значениях остаточного тока, которые очень малы по сравнению с номинальными токами нагрузки, протекаю-

щими в главных проводниках (мА по сравнению с амперами). Разумный способ измерения остаточного тока — это непосредственное измерение дисбаланса тока.

Когда ток значительно изменяется во времени, например, в цепях переменного тока, этого можно добиться с помощью так называемого дифференциального трансформатора, или трансформатора баланса с сердечником (рис. 10). Это специальный трансформатор тока (ТТ), все питающие проводники которого служат первичными обмотками. В нормальной цепи магнитные поля всех проводников, проходящих через ТТ, нейтрализуют друг друга. Если дисбаланс тока в первичных обмотках приводит к дисбалансу магнитного поля в тороиде трансформатора, это, в свою очередь,

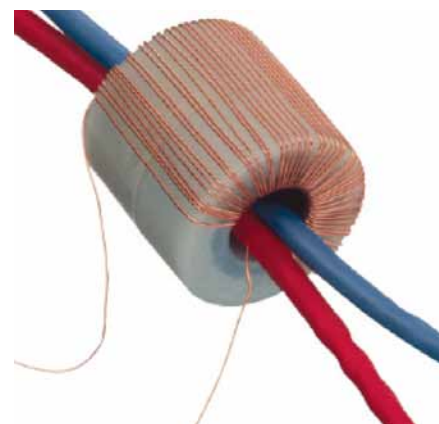


Рис. 10. Дифференциальный трансформатор тока

создает напряжение на вторичной обмотке. Это выходное напряжение является пропорциональной мерой интенсивности остаточного тока.

Кнопка тестирования

Международные и российские стандарты рекомендуют периодически проверять установленные ВДТ. Проверка осуществляется с помощью подходящей обходной цепи, которая замыкает одну из фаз на нейтраль или на другую фазу, минуя датчик остаточного тока; следовательно, остаточный ток моделируется, когда тестовая цепь замыкается путем нажатия соответствующей тестовой кнопки (рис. 11).

Функциональное ВДТ должно воспринимать и обрабатывать моде-

лируемый дифференциальный ток, интенсивность которого калибруется подходящим сопротивлением испытательной цепи. Поэтому исправное ВДТ сработает. Поскольку тестовый сигнал подается вверх, а результаты тестирования наблюдаются ниже, тестирование ВДТ эффективно проверяет работоспособность всей функции считывания и отключения ВДТ. Компания Systême Electric рекомендует проверять ВДТ City9 каждые три месяца.

Дальнейшие разработки

Исторические данные ясно показали, что внедрение технологии устройств защитного отключения по дифференциальному току и обяза-

тельное их применение в соответствии с нормами и правилами электропроводки оказали огромное влияние на снижение количества смертельных случаев из-за поражения электрическим током. Объем продуктового предложения Systême Electric по мере развития технологий линейки City9 Set стал значительно шире как по номинальному току устройств, так и по дифференциальному току утечки, и стал отвечать потребностям жилых домов. Модели автоматических выключателей дифференциального тока (АВДТ) более компактны, чем версии более бюджетного ценового сегмента, что позволяет экономить место в распределительных щитах.

Увеличение доли электроники в домохозяйствах привело к появлению в сети гармонических помех, недопустимых для более ранних ВДТ, что привело к нежелательным (неприятным) проблемам с отключением. Компания Systême Electric находится в авангарде разработки как один из ведущих российских поставщиков устройств защитного отключения по дифференциальному току. В ближайшие месяцы объем продуктового предложения будет расширен за счет появления в линейке City9 Set компактных, одномодульных АВДТ, которые будут удовлетворять растущим требованиям жилых домовладений и гражданских зданий. Постоянная приверженность исследованиям и разработкам позволяет продолжать расширять разработку продуктов линейки ВДТ и АВДТ Systême Electric.

Д. Ю. Камнев, технический эксперт DEKraft, «Систэм Электрик», г. Москва, тел.: 8 (800) 200-6446, e-mail: support@systeme.ru, сайт: systeme.ru

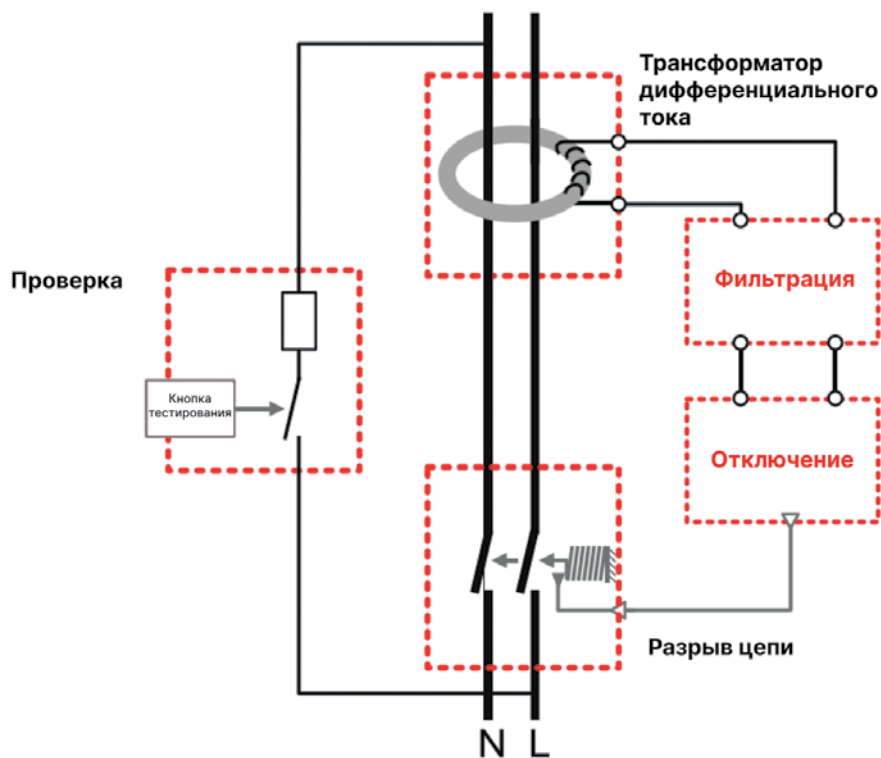


Рис. 11. Схема ВДТ, независимого от напряжения, с кнопкой тестирования

15-17 НОЯБРЯ
УФА 2023 ВАНХ-ЭКСПО

РОССИЙСКИЙ
ПРОМЫШЛЕННЫЙ ФОРУМ

ВЫСТАВКИ

- МАШИНОСТРОЕНИЕ
- МЕТАЛЛООБРАБОТКА

ИННОВАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ УФЫ

