

Пожары, вызванные неисправностью НИЗКОВОЛЬТНОГО электрооборудования



Автор: европейский физик, дипломированный инженер
Альфред Меркс (Alfred Mörx)

EATON

Powering Business Worldwide

Предисловие автора

Настоящая научная публикация посвящена *пожарам, связанным с использованием низковольтных электроустановок*, и путям исключения риска возникновения таких пожаров путем принятия соответствующих эффективных мер при проектировании и сооружении таких установок.

В первую очередь это касается передачи в рамках данной публикации лучших знаний о том, как пожары, связанные с использованием электроустановок (за исключением пожаров, вызванных молнией или неправильным использованием низковольтного оборудования) возникают, и какие существуют в настоящее время концепции защиты для снижения риска таких инцидентов.

Основное внимание в данной публикации уделено тому, чтобы показать существенные взаимосвязи для домашних установок и подобных им. Требования и подробные решения для промышленных и коммерческих систем не являются частью настоящей научной публикации, хотя есть много общих черт.

Целью данной научной публикации не может быть и не является заменить комплексные исследования детальных применимых принятых правил технологии монтажа низковольтных установок и соответствующих технических мер, которые должны быть приняты в каждой стране в Европе; речь идет о практическом ознакомлении с этим вопросом. Цель состоит в том, чтобы передать всем заинтересованным общие знания в той степени, чтобы они продолжили дальнейшие индивидуальные исследования этой темы.

Крайний срок для данной публикации 1 сентября 2016 г.

Европейский физик, дипломированный инженер Альфред Меркс



(*1958 г., Вена) С 2001 года он является владельцем и руководителем Diam-Consult, лицензированного консалтингово-конструкторского бюро, специализирующегося на физических явлениях, сосредоточенного на анализе рисков и технологии защиты в сложных технических системах. Он изучал техническую физику в Техническом Университете в Вене. В качестве эксперта по основным вопросам электрической безопасности он в течение более 25 лет работает в национальных, европейских и международных целевых группах безопасного применения электроэнергии.

Интернет: www.diamcons.com, электронная почта: am@diamcons.com

Содержание

1	Цели защиты.....	3
1.1	Правовые основы для установок и оборудования	3
1.2	Классификация электрического оборудования и электрических установок.....	4
1.3	Требования, предъявляемые к общепринятым технологическим правилам	5
1.3.1	Общая информация.....	5
1.3.2	Современные международные и европейские разработки	5
2	Причины пожаров, вызванных неисправными электроустановками.....	6
2.1	Гармонические токи в нейтральном проводнике	8
2.2	Небрежное обращение с оборудованием при установке, выполняемой пользователем.....	9
2.3	Изменение предназначения помещения без регулировки установки и принятия защитных мер	9
2.4	Недостаточное техобслуживание и неадекватный ремонт («постоянно временные меры»).....	9
3	Определение возможных источников воспламенения в низковольтных электроустановках.....	10
3.1	Дифференциальный ток в низковольтных распределительных устройствах, распределительных сетях и сетях конечных потребителей	10
3.2	Защита от дугового КЗ в низковольтных распределительных устройствах	10
3.2.1	Частота возникновения дуговых коротких замыканий	10
3.2.2	Системы защиты от дугового КЗ.....	11
3.3	Последовательные и параллельные электрические дуги в распределительных сетях	12
4	Защитные меры в электроустановках.....	14
4.1	Тепловое проектирование распределительных устройств и соединений в установке.....	14
4.2	Проектирование сечений и выбор системы электропроводки и их устройств защиты от перегрузки по току	15
4.3	Обнаружение дифференциальных токов с использованием защитных устройств по дифференциальному току без встроенной защиты от сверхтоков	15
4.4	Обнаружение последовательных и параллельных электрических дуг в распределительных сетях при помощи устройства обнаружения дуговых КЗ	17
4.4.1	Основная информация	17
4.4.2	Устройства обнаружения дугового короткого замыкания.....	18
4.4.3	Защитное действие	19
4.4.4	Установка устройств обнаружения дугового короткого замыкания.....	20
5	Итоги	22
6	Литература.....	23

1 Цели защиты

1.1 Правовые основы для установок и оборудования

Директивы ЕС в целом предполагают, что общепринятые правила технологии применяются на добровольной основе. Тем не менее, директивы ЕС на продукцию (например, электрическое оборудование) устанавливают основные требования безопасности, выполнение которых не должно сдерживать маркетинг оборудования.

Стандарты и технические условия, в частности *гармонизированные стандарты* (для электрооборудования), тем не менее, очень важны, поскольку, если они соблюдаются, основные требования к безопасности считаются выполненными. В этом случае также говорят, что они дают презумпцию соответствия.

Законодательные требования к электробезопасности электроустановок и оборудования включены в австрийский Закон об электротехнической инженерии (ETG)[14]. Он использует четкие формулировки в отношении подготовки мер безопасности для электротехники.

Меры безопасности для электротехники

§ 3. (1) Электрическое оборудование и электроустановки на всей федеральной территории должны устанавливаться, разрабатываться, обслуживаться и эксплуатироваться таким образом, чтобы была гарантирована их эксплуатационная безопасность, безопасность людей и объектов, а также безопасная и бесперебойная работа других электрических установок и оборудования в зоне их опасности и зоне создаваемых ими помех, а также других установок. Для того, чтобы обеспечить вышесказанное, при конструировании и производстве электрооборудования должно быть принято во внимание не только нормальное использование, но и любое применение, какое можно предположить в соответствии с разумным усмотрением. Условия, содержащиеся в других законодательных нормах, касательно защиты жизни и здоровья людей, не зависят от этих положений¹.

§ 3. (2) В зоне опасности и в зоне создаваемых помех электроустановок и электрического оборудования, необходимо принять меры, которые требуются в случае любого создающего помехи электрооборудования и других установок, а также оборудования для обеспечения электробезопасности и бесперебойной эксплуатации.

Три основные цели, касающиеся безопасности, включенные в данный законодательный акт, кратко изложены на Рисунке 1-1.

Общепринятые правила технологии для создания, эксплуатации, модификации и обслуживания электрических установок в Австрии официально установлены и изложены в так называемых «Правилах электротехнической инженерии».

¹ Перевод с немецкого языка на английский выполнен автором.



Рисунок 1-1 Цели мер по безопасности согласно австрийскому Закону об электротехнической инженерии [14]

В других европейских странах это достигается (с учетом практических последствий) подобным образом путем ссылки на соответствующие электротехнические правила (например, правила VDE и стандарты в Германии или стандарт NIN на низковольтные установки в Швейцарии).

1.2 Классификация электрического оборудования и электрических установок

По сравнению с более ранними редакциями Закона об электротехнической инженерии, в тексте были переработаны определения стационарных установок и электрооборудования по сравнению с редакцией Закона об электротехнической инженерии от 1992 г. и изменением от 2015 г. Таким образом, эти термины четко классифицированы.

§ 1. (1) Электрическим оборудованием с точки зрения настоящего Федерального закона считаются предметы, которые, как в собранном виде, так и по частям, предназначены для производства, передачи или использования электрической энергии.

Эксплуатационные комбинации нескольких единиц электрического оборудования, которые продаются в качестве структурной единицы, и которые, по крайней мере, в данный момент времени перемещаются как структурная единица, также считаются электрическим оборудованием.

§ 1. (2) Стационарной электроустановкой с точки зрения настоящего Федерального закона является стационарная эксплуатационная комбинация электрического оборудования, при условии, что эта комбинация не должна считаться оборудованием в соответствии с разделом 1. Установки для уравнивания потенциалов, систем заземления, системы молниезащиты и системы для защиты от катодной коррозии также являются стационарными электроустановками.

§ 1. (2a) Передвижные электроустановки представляют собой комбинацию устройств и дополнительных установок, если таковые имеются, которые могут перемещаться и которые предназначены для работы в разных местах. Что касается безопасности, передвижные установки (эксплуатационные комбинации электрических устройств на транспортных средствах, транспортируемых зданиях и подвесных конструкциях) подчиняются тем же положениям, что и стационарные электроустановки.

1.3 Требования, предъявляемые к общепринятым технологическим правилам

1.3.1 Общая информация

Важным основным требованием является защита людей, домашнего скота и имущества от недопустимого теплового воздействия, которое может быть вызвано работой электрооборудования или стационарных электроустановок.

В частности, необходимо избежать воспламенения, сжигание или другого повреждения материалов и ожогов (ожоговых ран). Прежде всего, не должна быть нарушена безопасная работа установок [19], [20].

В Австрии, например, положения стандартов серии ÖVE / ÖNORM E 8001, а также стандартов серии ÖVE EN 1 в настоящее время применимы к установке низковольтных электроустановок.

Они включают в себя много требований в отношении предотвращения пожаров, вызванных неисправными электроустановками; как в целом, например, в EN 1, часть 2, раздел 25.2.1.

Оборудование должно располагаться и устанавливаться таким образом, чтобы ни температуры, достигнутые в ходе эксплуатации, ни температуры, достигаемые в случае перегрузки и короткого замыкания, не подвергали опасности установку или окружающую среду, т. е. оборудование должно [...] соответствовать действующим техническим требованиям и условиям среды [...]

или зданий сельскохозяйственного и тепличного назначения в E 8001-4-56, раздел 56.5

Если используются нейтральные или защитные устройства по дифференциальному току без встроенной защиты от сверхтоков, в качестве защиты от пожара должно быть установлено защитное устройство по дифференциальному току без встроенной защиты от сверхтоков с $I_{\Delta N} \leq 0,3 \text{ A}$.

1.3.2 Современные международные и европейские разработки

В последние годы к принятым правилам технологии IEC² и CLC³ по установке низковольтных электроустановок были добавлены нормы, призванные ликвидировать угрозу пожаров, вызванных неисправными электроустановками [21], [22].

На момент написания данной публикации⁴, некоторые из этих правил установки готовятся к принятию или были приняты в рамках государственных технологических правил, были также добавлены еще некоторые государственные требования [20].

Это применимо к использованию систем защиты от дугового короткого замыкания (КЗ) (см. раздел 3.2), а также к устройствам обнаружения дуговых КЗ (см. раздел 4.4).

Последняя редакция VDE 0100-420 [20] рекомендует использовать для стационарного оборудования, которое может генерировать электрическую дугу или искрение во время использования по назначению, систем защиты от дугового КЗ, если установка, как ожидается, потребует бесперебойности работы.

² Международная электротехническая комиссия

³ Европейский комитет по электротехнической стандартизации

⁴ Крайний срок: 1 сентября 2016 г.

Эти защитные устройства должны определить световую мощность электрической дуги и увеличение тока в линейных проводах, погасить электрическую дугу в течение 5 мс и отключить электрическую установку (или, если это возможно, затронутую часть установки) от сети питания. Это требование основано на знании того, что медленно реагирующие устройства защиты не могут предотвратить повреждения материальных ценностей, не позволяя, таким образом, быстро повторно запустить установку.

Тем не менее, устройства обнаружения дуговых КЗ⁵ были также утверждены в международных, европейских и государственных правилах технологии монтажа низковольтных электроустановок [20], [21], [22].

Начиная с 1 февраля 2016 г. в Германии при создании новых электроустановок в определенных сетях, а также после изменения или расширения существующих электроустановок должно быть предусмотрено использование устройств обнаружения дуговых КЗ⁶ [20].

В Германии переходный период для электроустановок, проектируемых или строящихся в настоящее время, продлится до 18 декабря 2017 г. Все прочие электроустановки, которые будут введены в эксплуатацию после этой даты, подпадают под действие положений стандарта DIN VDE 0100-420 (VDE 0100-420):2016-02.

Устройства защиты от дугового КЗ, таким образом, стали неотъемлемой частью принятых правил технологии. Они требуют, чтобы AFDD были установлены *в однофазных распределительных сетях (переменного тока)* с рабочим током до 16 А, в следующих местах:

- в спальнях или комнатах отдыха домов или учреждений дневного ухода за детьми, инвалидами или пожилыми людьми (например, детские сады, дома престарелых)
- в спальнях или комнатах отдыха квартир, оборудованных для инвалидов⁷
- в комнатах или местах
 - где есть риски из-за перерабатываемых или складироваемых материалов⁸
 - с горючими строительными материалами⁹
 - с рисками из-за невозможности восстановления изделий¹⁰

Любые опубликованные на сегодняшний день принятые правила технологии для Европы предполагают, что должны использоваться только устройства обнаружения дуговых КЗ, которые соответствуют требованиям EN 62606 [10].

2 Причины пожаров, вызванных неисправными электроустановками

Как уже в течение многих десятилетий известно из литературы и практического опыта (см., например, [5], [6]), опасность возникновения пожара в низковольтных электроустановках возникает в случае одновременного наличия следующих факторов:

⁵ В Германии и Австрии этот вид защитных устройств также часто называют AFDD, что соответствует их английской аббревиатуре.

⁶ DIN VDE 0100-420 (VDE 0100-420):2016-02

⁷ Квартиры, оборудованные для инвалидов в соответствии с DIN 18040-02

⁸ DIN VDE 0100-420: (VDE 0100-420):2016-02, раздел 422.3

⁹ DIN VDE 0100-420: (VDE 0100-420):2016-02, раздел 422.4

¹⁰ DIN VDE 0100-420: (VDE 0100-420):2016-02, раздел 422.6

- источник пламени
- горючее вещество
- кислород

При отсутствии одного из компонентов пожар не произойдет. С электрической точки зрения, причины воспламенения вызваны, например, теплогенераторами, лампами, клеммами, неправильно обслуживаемых электроустановками, перегруженной электропроводкой.

На практике, важнейшая задача защиты по предупреждению пожара, связанного с неисправным электрооборудованием, состоит в недопущении присутствия источников воспламенения или в своевременной идентификации источников воспламенения, прежде чем энергия в дефектной области станет достаточно высокой, чтобы воспламенить смесь материала с кислородом.

В Австрии за 2013 г. по статистическим данным ущерб от пожаров¹¹ отмечено 1150 пожаров, вызванных неисправностью электрооборудования¹². Сумма ущерба составила около 70 млн евро. Это соответствует 25 % общего ущерба от пожаров. При внимательном анализе тренда числа пожаров с 2003 г., а также суммарного ущерба от них, обнаруживается небольшой рост (Рисунок 2-1).

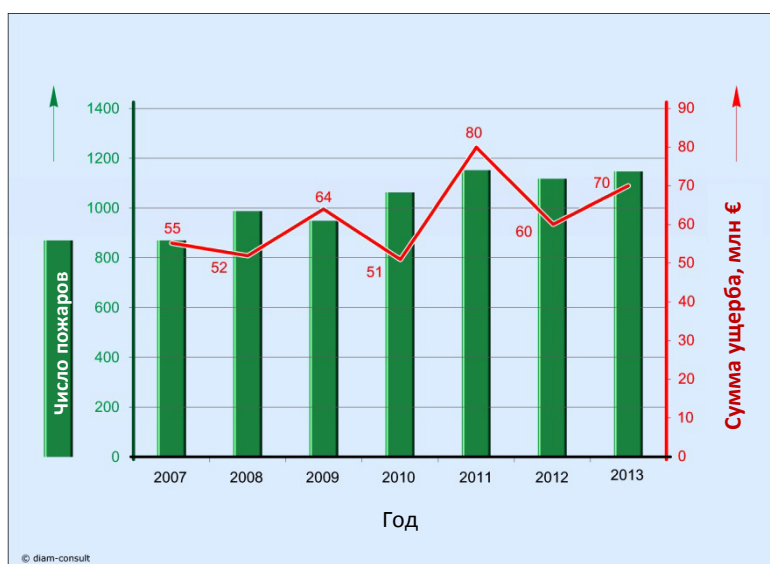


Рисунок 2-1 Количество пожаров, связанных с неисправностью электрооборудования, и сумма причиненного ущерба; данные 2007–2013 гг.; источник: Австрийские органы борьбы с пожарами (издатель), статистика ущерба от пожаров за 2013 г.

В 2013 году, а также более, чем в половине всех пожаров (ок. 52 %) пострадали *домашние хозяйства*. В рейтинге наиболее частых причин возникновения пожара «неисправность электрооборудования» в качестве источника воспламенения была второй.

Хотя имеющиеся статистические данные по каждой из европейских стран не могут быть полностью сопоставлены, в литературе есть данные, например, по Германии [18], доказывающие значение электроэнергии в качестве причины возникновения пожаров. Здесь также одной из главных причин возникновения пожаров явилась электроэнергия с долей 34 % от всех причин возникновения пожаров в 2010 году.

¹¹ Австрийские органы борьбы с пожарами (издатель), статистика ущерба от пожаров за 2013 г.

¹² Эти цифры не включают незначительный ущерб (в размере не более € 2000, а для Тироля — не более € 1500), ущерб, связанный с использованием нагревательных приборов, а также прямой или косвенный ущерб от грозных разрядов.

2.1 Гармонические токи в нейтральном проводнике

Гармонические токи в нейтральном проводнике низковольтных электроустановок, в первую очередь в старых электроустановках, являются потенциальным источником воспламенения.

Часто причиной генерации гармоник являются процессы выпрямления тока (например, в блоках питания).

Так называемые «не вращающиеся гармоники» или гармоники системы нулевой последовательности не создают вращающегося магнитного поля. Причина заключается в том, что эти гармоники имеют периодическую последовательность, которая точно происходит в поле токов в линейных проводах питающей сети, смещенных на 120° .

Таким образом, у токов третьих гармоник (i_{3L1} , i_{3L2} , i_{3L3}) положение фазы во всех трех линейных проводах является одинаковым. Эта ситуация показана на Рисунке 2-2.

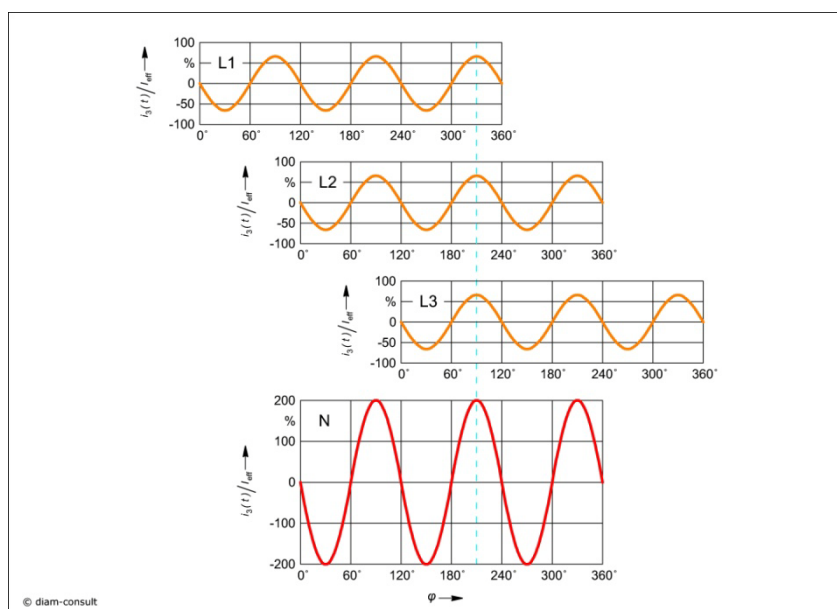


Рисунок 2-2 Перекрытие третьей гармоники в нейтральном проводе; проиллюстрировано в процентах от действительного значения тока в линейном проводе.

Это означает, что *частота тока питающей сети* (с основным колебанием, например, 50 Гц) линейных проводов добавится к нулю в случае симметричной нагрузки в нейтральном проводе. Величина третьих гармоник в нейтральном проводе, однако, увеличивается до трех раз от своего значения¹³ в случае симметричной нагрузки. Так как в прошлом многие нейтральные проводники были спроектированы с половиной поперечного сечения, эта ситуация может стать термически критической в точках зажима, даже если линейные провода еще далеко не перегружены.

В основном это относится также к любым гармоникам с порядковым номером, кратным трем (6, 9, 12 и т. д.). Пиковые значения, тем не менее, в большинстве случаев значительно ниже, чем у каждой из третьих гармоник.

¹³ Фазовые сдвиги могут иметь место даже для токов с частотой 150 Гц; однако эту тему намеренно опустим.

2.2 Небрежное обращение с оборудованием при установке, выполняемой пользователем

Из многолетнего опыта использования электроэнергии в электроустановках мы знаем, что пожар вызывают, в частности, следующие причины:

- неисправные или используемые не по назначению электронагревательные приборы и лампы (например, тепловентиляторы с заблокированными вентиляторами устройств с недостаточной стабильностью, использование лампочек избыточной мощности, накрытые одеждой нагревательные приборы)
- иные дефектные или поврежденные в процессе эксплуатации электроприборы (например, телевизоры)
- чрезмерный нагрев линий из-за недостаточной защиты от перегрузки по току или неисправные контакты (например, ослабленные зажимы)
- электрическая дуга, вызванная коротким замыканием с током замыкания на землю (например, из-за пробоя) или без него
- механическое повреждение линий (расплющивание либо механическое повреждение линий стационарных установок при сверлении), в том числе проводов переносного оборудования
- старение проводки и оборудования
- влияние факторов окружающей среды (температура, УФ излучение)
- высоконагруженные или перегруженные механически поврежденные розетки или многоместные розетки

2.3 Изменение предназначения помещения без регулировки установки и принятия защитных мер

В случае изменения предназначения помещения, например, если опасные количества горючих материалов могут располагаться на близком расстоянии от электрического оборудования, и помещение, таким образом, рассматривается как область с риском пожара, электрическая установка должна быть адаптирована к изменяющимся условиям.

В этих случаях электрические линии и кабели должны быть защищены в системах TN и TT с защитными устройствами по дифференциальному току без встроенной защиты от сверхтоков с номинальным дифференциальным током $I_{\Delta N} \leq 0,3 \text{ А}$ для предупреждения возникновения пожаров из-за поврежденной изоляции¹⁴.

Там, где резистивные дефекты могут привести к пожару, например, в потолочных обогревателях с поверхностными нагревательными элементами, номинальный дифференциальный ток должен быть $I_{\Delta N} \leq 0,03 \text{ А}$.

Если низковольтная установка не настроена соответствующим образом, существует постоянный риск возникновения пожара из-за использования электроэнергии после изменения предназначения помещения.

2.4 Недостаточное техобслуживание и неадекватный ремонт («постоянно временные меры»)

Ответственность за безопасную работу низковольтных электроустановок несут их операторы (см. также раздел 1.1 и [7]). Это включает в себя техническое обслуживание и ремонтные работы для поддержания безопасного состояния.

Если технический персонал не проинструктирован должным образом или недостаточно подготовлен, недочеты в осуществлении его деятельности могут увеличить риск возникновения пожара. Например, если используются несоответствующие инструменты и монтажные материалы.

¹⁴ См. также ÖVE/ÖNORM E 8001-4-50:2001, раздел 50.5.7

3 Определение возможных источников воспламенения в низковольтных электроустановках

В дополнение к оптимизации мер по защите людей и животных от опасных токов, протекающих через тело, фундаментальные исследования и технические разработки все чаще имеют дело с защитой от опасностей, вызванных электрическими дугами, которые часто также называют «*дуговое короткое замыкание*».

3.1 Дифференциальный ток в низковольтных распределительных устройствах, распределительных сетях и сетях конечных потребителей

Дифференциальный ток — это ток, который протекает через дефектную зону вследствие дефекта изоляции¹⁵. Дифференциальный ток не только представляет непосредственную угрозу для людей и животных, например, вызывая фибрилляцию желудочков сердца, но и является источником воспламенения. Это относится аналогичным образом к аппаратуре распределения, распределительным сетям и сетям конечных потребителей.

Эти дифференциальные токи в настоящее время в основном были определены устройствами защиты, которые, для того, чтобы реагировать, только идентифицируют ток, который возникает в случае ошибки, оценивают его и отсоединяют неисправную цепь, если определенное «пороговое значение» превышено. (Исключение: система для оптической идентификации дуг, упомянутое в секторе 3.2.)

При рассмотрении короткого замыкания или замыкания на землю, последовательные и параллельные электрические дуги в распределительных цепях до сих пор не были в центре внимания для определения средств защиты (ни в национальной, ни международной стандартизации)¹⁶. Это положение в настоящее время меняется, не в последнюю очередь из-за утверждения международных технологических нормативов для защиты оборудования от дугового КЗ [10].

3.2 Защита от дугового КЗ в низковольтных распределительных устройствах

3.2.1 Частота возникновения дуговых коротких замыканий

В системах низковольтных распределительных устройств дуговые КЗ возникают из-за следующих причин:

- образование конденсата (влажность в системе распределительных устройств);
- загрязнение, вызванное отложениями посторонних веществ на шинах и деталях распределительных устройств;
- переходное электрическое перенапряжение из-за грозового разряда или коммутационное перенапряжение;
- раннее (необнаруженное) старение изоляционного материала из-за разовой или постоянной тепловой перегрузки;
- неплотные соединения, неисправные точки контакта;
- проведение работ на частях распределительного устройства.

Одним из возможных последствий дугового КЗ может стать полное разрушение системы распределительных устройств.

Из-за высокого внутреннего давления до 15–25 т/м² в случае электрического воздействия дуги, стальной корпус становится источником высокой опасности для окружающей среды *и лиц, находящихся поблизости*. Из-за дуговых КЗ боковые стенки, дверцы и встроенные модули довольно часто выбрасываются из корпуса системы распределительных устройств.

¹⁵ Определение в соответствии с ÖVE/ÖNORM E 8001-1:2010-03-01; В низковольтном электрооборудовании, это определение, в частности, обозначает ток, который течет в землю из-за дефектной изоляции и который запускает устройство защиты для защиты от ошибок, если таковое имеется.

¹⁶ Единственным исключением является Северная Америка. Там уже с 1990-х гг. существуют устройства защиты, позволяющие идентифицировать параллельные, а позже также и последовательные электрические дуги в распределительных сетях.

Другим возможным последствием дуговых КЗ является возникновение и распространение пожаров, вызванных неисправностью электрооборудования.

Дуговые КЗ очень редко происходят на рабочих местах таких лиц. Важно, однако, иметь надежную защиту в случае их возникновения, так как они могут быть вызваны неправильно выполняемыми операциями.

Дуговые КЗ возникают не только вследствие короткого замыкания, но и в случае, если части, находящиеся под напряжением, такие как линии, кабельные наконечники, распределительные устройства или предохранители отсоединяются под напряжением без принятия специальных мер предосторожности¹⁷ [23].

3.2.2 Системы защиты от дугового КЗ

Способ быстрого выявления дуговых КЗ, используемый в течение нескольких лет на практике, состоит в обнаружении света, излучаемого дугой [9].

В этом процессе, электрические дуги, возникающие при сборке распределительного устройства, обнаруживаются в течение первых двух миллисекунд их существования. Затем напряжение сети, подающей напряжение на электрическую дугу, замыкается накоротко пиротехническим замыкателем через менее, чем 2 мс, забирая энергию от дугового КЗ. Это короткое замыкание затем идентифицируется и выключается с помощью сетевого выключателя.

В случае быстрого гашения дуги последствия уменьшаются, так как значительное повышение температуры, вызванное электрической дугой, предотвращает достижение распределительным устройством максимальной температуры и давления (Рисунок 3-1).

¹⁷ ÖVE/ÖNORM EN 50110-1:2014-10-01, приложение В. 6, [23].

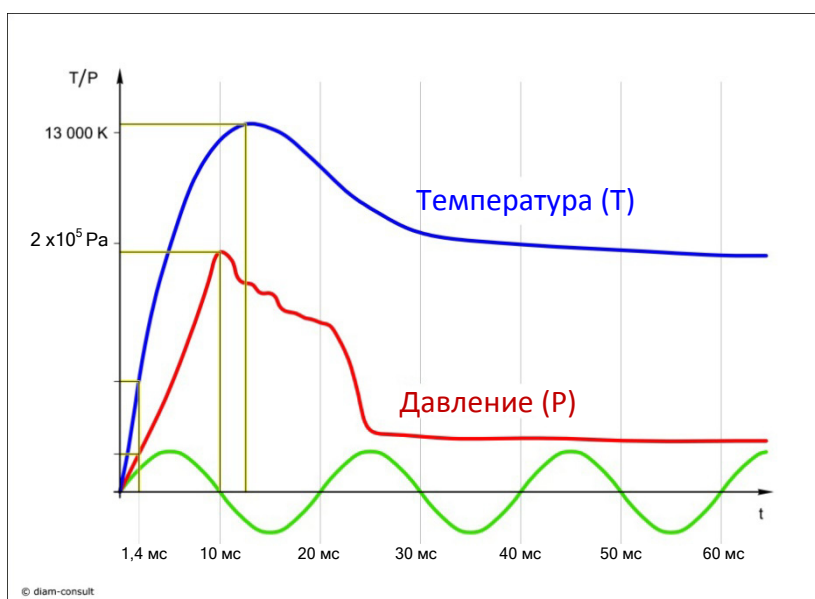


Рисунок 3-1 Термобарическая кривая дугового КЗ в низковольтной системе распределительных устройств; быстрое отключение (в данном случае, например, через 1,4 мс) электропитания предотвращает возрастание давления и температуры; примерное схематическое изображение.

Решение об использовании систем защиты от дугового КЗ для предотвращения или в случае возникновения электрической дуги обычно не принимается, пока не проведена [24] оценка рисков. Возможные цели защиты для использования таких систем могут включать в себя защиту лиц и имущества, а также бесперебойность работы электроустановок.

3.3 Последовательные и параллельные электрические дуги в распределительных сетях

Возможные причины возникновения пожаров в низковольтном электрооборудовании при появлении дугового КЗ:

- неисправная изоляция между активными проводниками;
- линии повреждены или разорваны внешним механическим воздействием;
- повышенное сопротивление клемм из-за внешних воздействий или тепловой перегрузки.

Последовательные и параллельные дуговые короткие замыкания в распределительных сетях иногда называют *слаботочными дуговыми короткими замыканиями* [8]. Рисунок 3-2 и Рисунок 3-3 приводят схематическое изображение последовательных и параллельных электрических дуг.

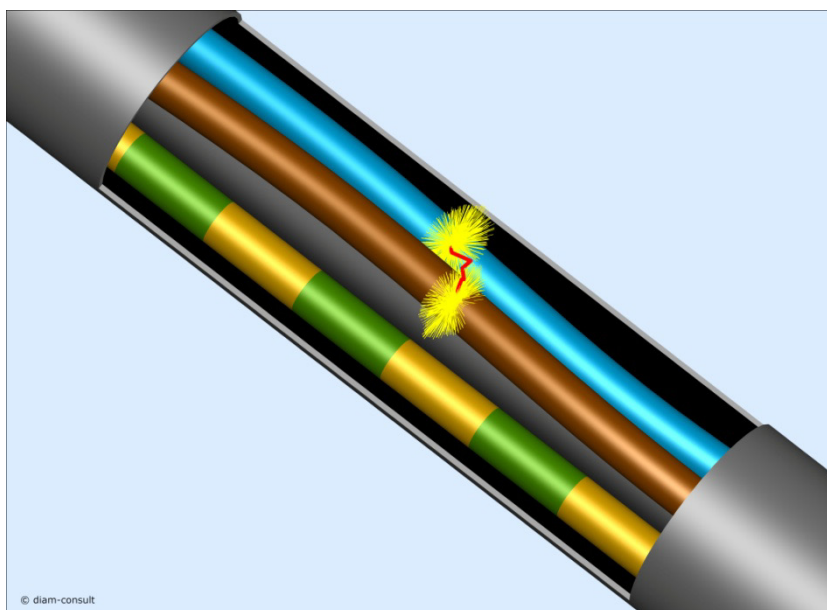


Рисунок 3-2 Параллельная электрическая дуга между проводником L и проводником N и последовательная электрическая дуга на проводнике L кабеля в пластиковой оболочке или в кабелепроводе; схематическое изображение

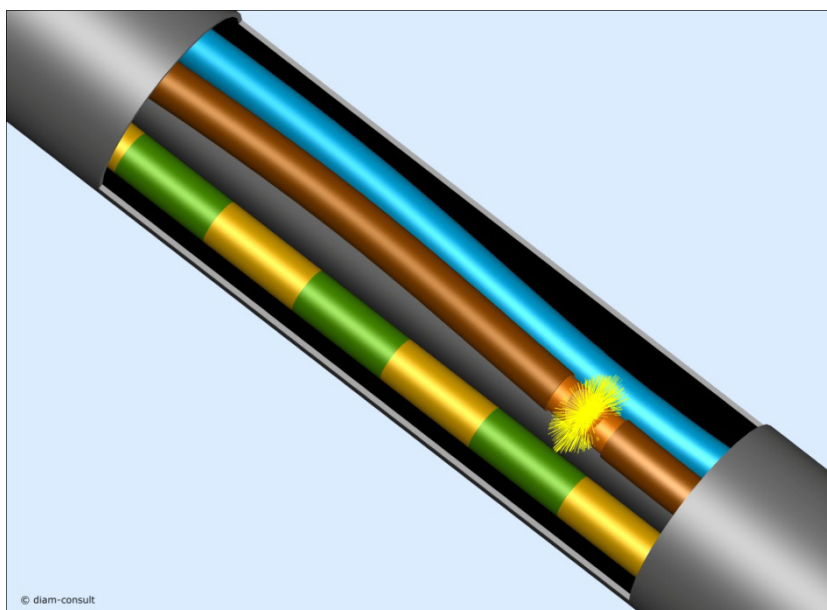


Рисунок 3-3 Последовательная электрическая дуга на проводнике L кабеля в пластиковой оболочке или в кабелепроводе; схематическое изображение

Слаботочное дуговое короткое замыкание представляет собой электрическую дугу с общей величиной тока, протекающего через нее, в пределах номинального тока цепи и/или номинального тока используемого защитного оборудования.

Так как дифференциальный ток не бывает значительно выше номинального тока, а иногда он даже ниже порога срабатывания защитного устройства по дифференциальному току без встроенной защиты от сверхтоков, устройства защиты от перегрузки по току и защитные устройства по дифференциальному току без встроенной защиты от сверхтоков не срабатывают или не всегда срабатывают.

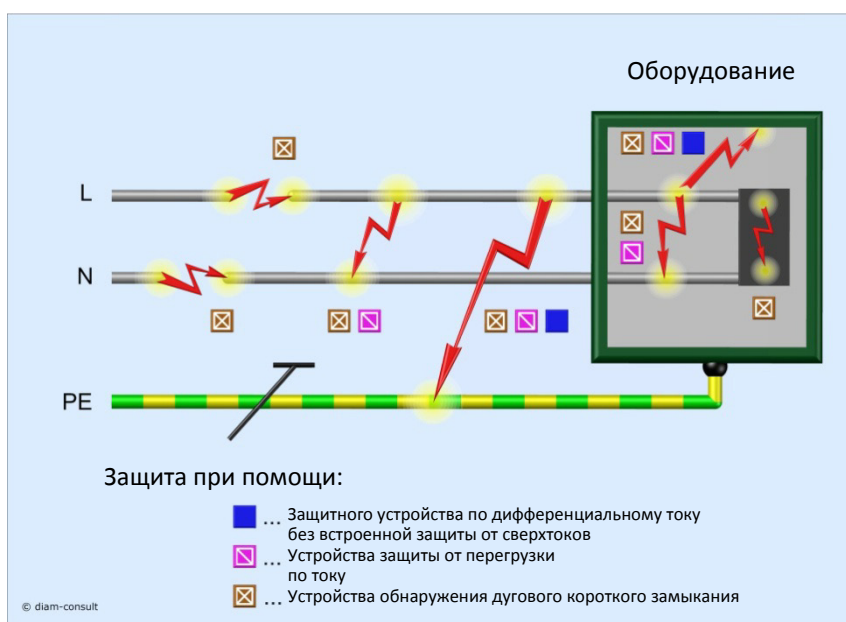


Рисунок 3-4 Параллельные и последовательные дуговые КЗ в распределительной сети; схематическое изображение

Рисунок 3-4 показывает варианты возникновения параллельных и последовательных дуговых коротких замыканий. Обозначены возможные точки неисправности в распределительной сети¹⁸ и в оборудовании. В случае слаботочного дугового короткого замыкания устройство обнаружения дугового замыкания дополняет защиту, обеспечиваемую защитным устройством по дифференциальному току без встроенной защиты от сверхтоков или устройством защиты от перегрузки по току.

4 Защитные меры в электроустановках

Ряд защитных мер, которые должны предотвратить пожары, связанные с использованием электроустановок, включены в принятые правила технологии для планирования и проектирования низковольтных электроустановок.

Эти меры объединяет то, что профессиональные и соответствующие стандартам проектирование и монтаж установки со всеми защитными мерами, а также ее надежная эксплуатация является важной предпосылкой для наибольшего снижения риска пожаров, вызванных неисправностью электрооборудования. Следует также отметить, что необходимы периодические осмотры, проводимые электриками, имеющими соответствующую квалификацию для этой цели.

Следующие разделы включают подборку некоторых важнейших мер, которые необходимо принять для снижения остаточного риска возникновения пожаров, вызванных неисправностью электрооборудования.

4.1 Тепловое проектирование распределительных устройств и соединений в установке

За последние несколько лет в принятых технологических правилах и литературе [3] регулярно указывалось на необходимость удобной конструкции систем распределительных устройств.

Особенно важны механическая конструкция всех соединений (зажимные точки) в установке, использование соответствующих зажимов, муфт для проводов и обжимной инструмент, предназначенный для этой цели и т. д.

¹⁸ Начиная с последнего устройства для защиты от перегрузки по току цепь электропитания оборудования называется «цепь распределения» (определение согласно ÖVE/ÖNORM E 8001-1:2010-03-01, раздел 3.1.11.3).

4.2 Проектирование сечений и выбор системы электропроводки и их устройств защиты от перегрузки по току

Могут вызвать пожар термически перегруженные кабели и линии, неправильно проложенные, например, с чрезмерным количеством разветвлений, без учета фактической температуры окружающей среды во время эксплуатации, а также нарушение допустимых для каждого типа линии радиусов изгиба.

Вот ¹⁹ практически исчерпывающее требование того (подчеркивание А. М.), как следует профессионально проектировать кабельные и линейные системы:

Если системы изменяются или к ним добавляются линии или кабели, допустимая постоянная величина тока I_z и номинальный ток I_N устройства защиты должны быть пересмотрены *также для участка, который был затронут изменением или дополнением*. Его можно считать образцовым для последующих нормативных документов.

Следует только отметить использование защиты от перегрузки по току, которая также защищает *нейтральный проводник* от перегрузки и короткого замыкания (автоматических выключатели для защиты от перегрузки по току с двумя или четырьмя защищаемыми полюсами). В случае возникновения гармонических токов они также защищают от тепловой перегрузки нейтральный проводник.

4.3 Обнаружение дифференциальных токов с использованием защитных устройств по дифференциальному току без встроенной защиты от сверхтоков

Защитные устройства по дифференциальному току без встроенной защиты от сверхтоков могут служить защитой от пожаров, вызванных неисправностью электрооборудования, из-за *токов короткого замыкания на землю* (см. Рисунок 3-4).

Дифференциальные токи на землю возникают

- при наличии повреждения изоляции между линейными проводами, и, например, некоторые токи (короткого замыкания) протекают через путь утечки тока к заземленной части в непосредственной близости от активного проводника, или
- при пробое изоляции непосредственно между активным проводником (например, линейный провод) и заземленными частями.

Испытания, проведенные на практике [5], [15], показывают, что остаточная мощность ²⁰ токов около 300 мА уже достаточно высока, чтобы вызвать пожар, если утечка непозволительно долго сохраняется на месте повреждения.

¹⁹ ÖVE EN 1, Teil 3, § 41.1, последний раздел

²⁰ Расчетное значение для предела мощности для риска электрического воспламенения — ниже 100 Вт. Предел 60 Вт также часто рассматривается как «достаточно низкий для практического использования, чтобы избежать риска возникновения пожара» [5].

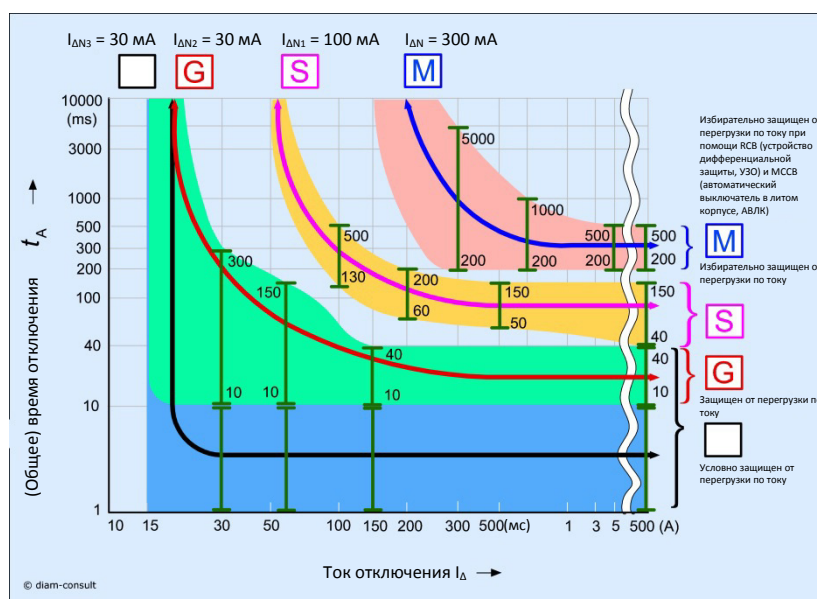


Рисунок 4-1 Защитное устройство по дифференциальному току без встроенной защиты от сверхтоков, Тип М; селективность

Они, однако, в первую очередь предназначены для защиты от поражения электрическим током и должны соответствовать четко определенным пределам с учетом максимально допустимого (общего) времени отключения из-за электро-физиологических причин. Поэтому они выключаются «быстро». В зависимости от величины возникшего дифференциального тока, время отключения составляет от нескольких десятков миллисекунд до 0,13 с (для типа S).

Защитные устройства по дифференциальному току без встроенной защиты от сверхтоков с обычными характеристиками ток срабатывания/время отключения²¹ могут в основном защитить от таких рисков.

Это значит, что защитные устройства по дифференциальному току без встроенной защиты от сверхтоков часто срабатывают одновременно с устройствами для защиты от перегрузки по току. Это приводит к отключению электропитания и приводит (не обязательно) к простоям электрооборудования (потере данных и т. д.).

Для того чтобы избежать этого нежелательного одновременного срабатывания противопожарной защиты или точнее замыкания на землю противопожарной защиты для всей установки²² (или части установки), были разработаны защитные устройства по дифференциальному току без встроенной защиты от сверхтоков типа М [12]. Они переключаются селективно с защитными устройствами по дифференциальному току без встроенной защиты от сверхтоков и автоматическими выключателями защиты линии (см. Рисунок 4-1).

²¹ К ним относятся: устройства по дифференциальному току без встроенной защиты от сверхтоков типа S, типа G и т. н. автоматические выключатели «без запаздывания» FI (ранее называвшиеся также «условно устойчивые к пробному току» автоматические выключатели).

²² Для сетей с номинальным током выше 32 А.

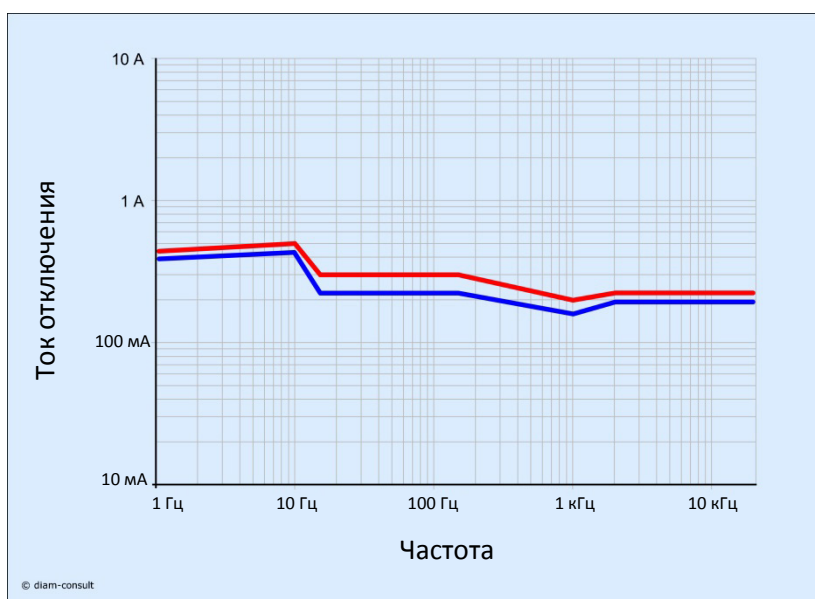


Рисунок 4-2 Защитное устройство по дифференциальному току без встроенной защиты от сверхтоков, тип В+; ток срабатывания/диапазон частот с пределами срабатывания (максимум, минимум); данные получены [13]
Выпускаются также защитные устройства по дифференциальному току без встроенной защиты от сверхтоков, которые способны обнаруживать не только синусоидальные дифференциальные токи с номинальной частотой 50 Гц, но также и дифференциальный волновой ток, их конструкция позволяет эффективно использовать для предотвращения пожаров, вызванных неисправным электрооборудованием. Пример приведен на Рисунке 4-2.

4.4 Обнаружение последовательных и параллельных электрических дуг в распределительных сетях при помощи устройства обнаружения дуговых КЗ

4.4.1 Основная информация

Несколько десятилетий тому назад было установлено, что защитные устройства по дифференциальному току без встроенной защиты от сверхтоков и устройства защиты от перегрузки по току являются эффективными устройствами, снижающими риск возникновения пожаров, вызванных неисправностью электрооборудования.

Защитные устройства по дифференциальному току без встроенной защиты от сверхтоков и устройства защиты от перегрузки по току, однако, не способны снизить риск пожаров, вызванных неисправностью электрооборудования и возникновением последовательных или параллельных электрических дуг между проводниками под напряжением.

При последовательных дуговых коротких замыканиях ток по отношению к защитному проводнику минимален. Сопротивление последовательных дуговых коротких замыканий уменьшает рабочий ток, поддерживая его ниже порога срабатывания автоматического выключателя защиты от перегрузки по току. Автоматические выключатели для защиты от перегрузки по току и защитные устройства по дифференциальному току без встроенной защиты от сверхтоков не способны обнаруживать такие неисправности.

В случае параллельной электрической дуги между линейным проводом и нейтральным проводником ток ограничивается сопротивлением цепи. Кроме того, автоматические выключатели для защиты от перегрузки по току не предназначены для спорадически возникающих электрических дуг.

Стандарт ÖVE/ÖNORM EN 62606 [10] указывает на то, что эффективное значение тока замыкания на землю, вызванного дуговым КЗ, которое может вызвать воспламенение, не ограничивается номинальной частотой 50/60 Гц. Этот ток замыкания на землю может иметь гораздо более широкий спектр частот, который не учитывается общепринятыми в настоящее время техническими правилами для инспектирования защитных устройств по дифференциальному току без встроенной защиты от сверхтоков.

4.4.2 Устройства обнаружения дугового короткого замыкания

По вышеуказанным причинам в Северной Америке еще в 1990-х гг. началась разработка защитных устройств для обнаружения дуговых КЗ.

В Европе принятые технические правила для испытания устройства обнаружения дуговых КЗ²³ были опубликованы лишь в 2014 г. [10].

Устройства обнаружения дуговых КЗ (AFDD) представляют собой устройства, предназначенные для смягчения последствий неисправностей с образованием дуги путем отключения цепи при обнаружении дугового КЗ²⁴. Устройства защиты от дугового КЗ используются для ограничения риска возникновения пожаров, вызванных неисправностью электроустановок на выходе линии.

Среди прочего, AFDD классифицируются в зависимости от их конструкции.

С одной стороны, есть устройства обнаружения дуговых КЗ в едином блоке, включающие устройство AFD²⁵ и размыкатели и предназначенные для последовательного подключения с указанным производителем ЗУ КЗ. Данное защитное устройство должно соответствовать одному или нескольким соответствующим стандартам²⁶. (Эта конструкция AFDD не включает в себя защитное устройство.)

С другой стороны, существуют AFDD как единое устройство, содержащее блок AFD, интегрированный в защитном устройстве, соответствующем одному или нескольким соответствующим стандартам²⁷. Оно включает в себя, например, устройства защиты от дугового КЗ, которые поставляются изготовителем в качестве защитного устройства по дифференциальному току без встроенной защиты от сверхтоков со встроенной защитой от перегрузки по току со встроенным блоком AFD.

Кроме того, есть устройства AFDD, состоящие из блока AFD и заявленного защитного устройства, предназначенные для монтажа на месте установки²⁸. В качестве защитных устройств могут использоваться защитные выключатели по дифференциальному току, комбинированные защитные выключатели по дифференциальному току / автоматические выключатели или обычные автоматические выключатели.

В зависимости от конструкции, ток отключается либо расцепителями либо защитными устройствами, которые включают в себя блок AFD, или же защитными устройствами, которые соединены с блоком AFD.

²³ В Германии и Австрии этот вид защитных устройств также часто называют AFDD, что соответствует их английской аббревиатуре.

²⁴ Определение согласно EN 62606:2013, раздел 3.3

²⁵ Блок AFD является частью устройства AFDD обеспечения функции обнаружения и распознавания опасных дуговых КЗ на землю, параллельных и последовательных КЗ и выполняет срабатывание устройства по прерыванию тока.

²⁶ EN 60898-1, EN 61009-1, IEC 60269

²⁷ EN 60898-1, EN 61008-1, EN 61009-1 или EN 62423

²⁸ Требования EN 62606:2013, приложение D, применимы к этим устройствам защиты от дугового КЗ.

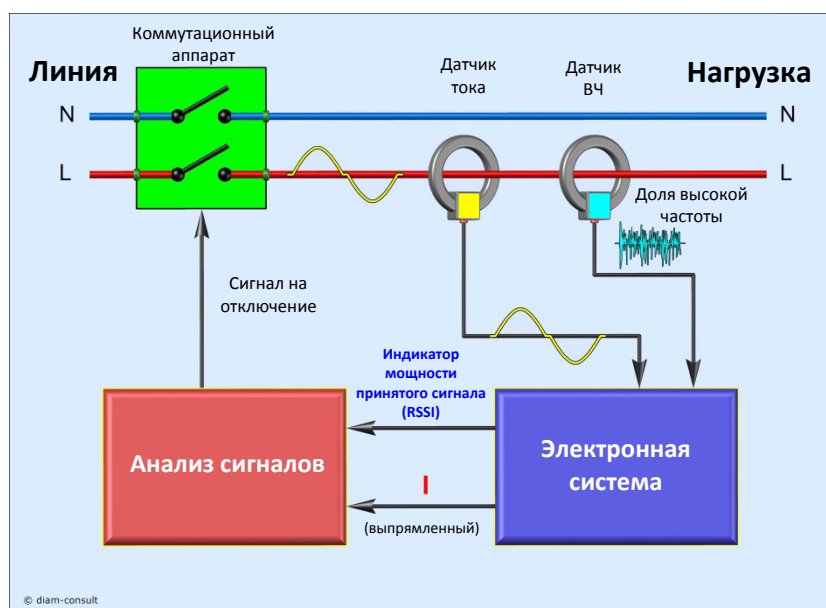


Рисунок 4-3 Устройство обнаружения дугового КЗ; схематическая иллюстрация; индикация мощности принятого сигнала (RSSI) и т. д. Индикация мощности принятого сигнала (мощность ВЧ тока)

Схематическое изображение внешнего вида устройства обнаружения дугового КЗ²⁹ представлено на Рисунке 4-3.

Ток отключения измеряется двумя отдельными датчиками и разделяется на низкочастотную и высокочастотную составляющие при помощи электронной системы.

4.4.3 Защитное действие

Устройство обнаружения дугового КЗ разделяет ток каждой распределительной сети на низкочастотную и высокочастотную составляющие.

Эти два сигнала используются в качестве основания для идентификации электрической дуги; они анализируются микроконтроллером, являются ли они ВЧ сигналами последовательной или параллельной электрической дуги, либо же шумами работающего оборудования, такого, как щеточный электродвигатель или электронный трансформатор. В первом случае срабатывает отключение неисправной цепи, во втором цепь не отключается.

В зависимости от конструкции AFDD, возможно, например, использование RCBO³⁰ (аппарата защиты со встроенным блоком AFD) как коммутирующего аппарата. Есть, однако, возможность обеспечения дополнительной защиты и обнаружения дугового КЗ в распределительных сетях со штепсельными розетками одним защитным устройством.

Устройства обнаружения дугового КЗ являются устройствами защиты и не должны рассматриваться, как *альтернатива защитным устройствам по дифференциальному току без встроенной защиты от сверхтоков или/и автоматическим выключателям для защиты от перегрузки по току*. Устройства обнаружения дугового КЗ не способны определить нарушение изоляции! Как это было указано в одной книге [11]: «Устройство защиты от дугового короткого замыкания «ожидает» (только) сигнала ВЧ от дугового короткого замыкания».

(Дополнительное) защитное действие устройств обнаружения дугового короткого замыкания можно ясно проиллюстрировать, сравнив время-токовые характеристики (полуцикла) устройств защиты от перегрузки по току и автоматических выключателей для защиты от дугового КЗ (Рисунок 4-4).

²⁹ Иллюстрация основана на идеях, изложенных в [25].

³⁰ Выключатель дифференциального тока со встроенной защитой от перегрузки по току

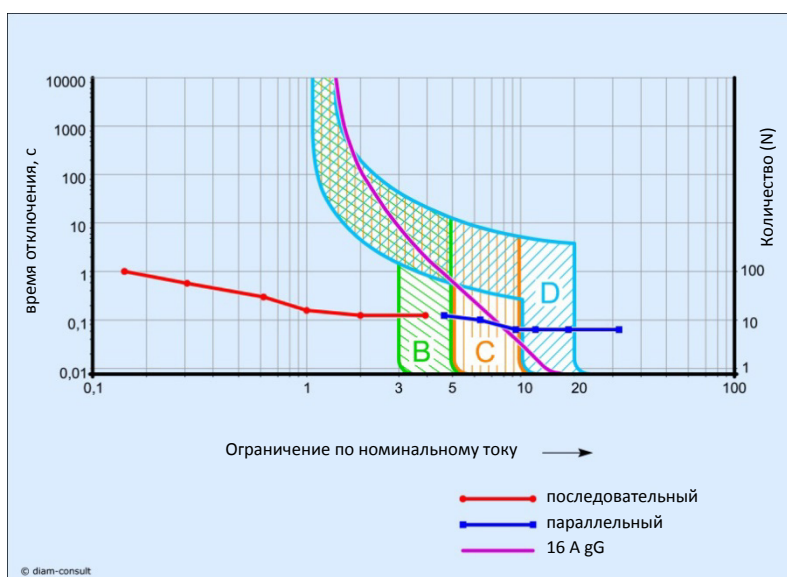


Рисунок 4-4 Диаграмма полуцикла ток-время устройств защиты от перегрузки по току и устройства обнаружения дуговых КЗ, схематическое изображение; плавкий предохранитель 16 A, gG, автоматический выключатель защиты от перегрузки по току B, C, D; AFDD с характеристиками для последовательных и параллельных дуговых КЗ

Характеристика срабатывания устройства обнаружения дуговых КЗ определена для дуговых токов до 63 А (типично для ошибок изоляции внешних проводников по отношению к земле или для последовательных электрических дуг) и более до 500 А (типично для ошибок изоляции внешних проводников по отношению к земле или для параллельных электрических дуг) (Таблица 4-1, Таблица 4-2).

В случае малых токов характеристика срабатывания для параллельных дуговых КЗ идентична характеристикам последовательных КЗ и, таким образом, ниже приведены характеристики срабатывания устройств защиты от перегрузок по току. В случае высоких токов дуги [10] определяет не фиксированное время отключения, а число полуциклов дугового КЗ (N), которое происходит в течение 0,5 с. Устройство обнаружения дугового КЗ должно отключить дуговое КЗ, если число полуциклов дугового КЗ, как указано в Таблице 4-2 происходят в течение 0,5 с.

Ток дуги (среднеквадратическое значение) (А)	2,5	5	10	16	32	63
Максимальное время расцепления (с)	1	0,5	0,25	0,15	0,12	0,12

Таблица 4-1 Предельные значения времени отключения для Устройства обнаружения дуговых КЗ при низких токах дуги; $U_N = 230$ В; источник — [10]

Ток дуги (среднеквадратическое значение) (А)	75	100	150	200	300	500
Количество полуциклов (N)	12	10	8	8	8	8

Таблица 4-2 Количество полуциклов для устройства обнаружения дуговых КЗ при высоких токах дуги; $U_N = 230$ В; источник — [10]

Для последовательных электрических дуг время отключения значительно ниже любого времени отключения автоматического выключателя защиты от перегрузки по току.

4.4.4 Установка устройств обнаружения дугового короткого замыкания

Устройства защиты от дугового КЗ (требования к изделию — см. [10]) должны быть установлены в соответствии с указаниями изготовителя в начале сети распределения, которую они должны защищать.

Стандартные требования к эксплуатации AFDD должны быть соблюдены. Если производитель не уточнил требования, применяются требования в соответствии с Таблицей 4-3.

Влияющая величина	Стандартный диапазон применения	Исходная величина	Тестовые допуски ^{f)}
Температура окружающего воздуха ^{a)g)}	От –5 °C до + 40 °C ^{b)}	20 °C	± 5 °C
Высота места расположения	Не превышает 2000 м		
Относительная влажность Максимальное значение 40 °C	50 % ^{c)}		
Внешнее магнитное поле	Не превышает 5-кратного значения магнитного поля Земли	Магнитное поле Земли	^{d)}
Рабочее положение	Как указано изготовителем с отклонением 2° в каждом направлении	Как указано изготовителем	2° в каждом направлении
Частота	Справочное значение ± 5 % ^{f)}	Номинальное значение	± 2 %
Искажение синусоидальности	Не превышает 5 %	Ноль	5 %
a) Максимальное значение среднесуточной температуры 35 °C. b) Когда преобладают более суровые климатические условия, в соответствии с соглашением между изготовителем и потребителем, допустимы значения вне диапазона. c) Для более низких температур допускаются более высокие значения относительной влажности (например, 90 % при 20 °C). d) При размещении AFDD вблизи сильных магнитных полей могут возникнуть дополнительные требования. e) При установке аппарата необходимо избегать деформаций, которые могут нарушить его работу. f) Если иное не определено изготовителем, применимы указанные отклонения. g) Хранение допускается при температурах в пределах от –20 °C до +60 °C, эти показатели должны быть учтены изготовителем.			

Таблица 4-3 AFDD; стандартные условия эксплуатации согласно EN 62606:2013; [10]

Для любого устройства AFDD, который предполагается комбинировать, интегрировать или устанавливать с одним или несколькими защитными устройствами, стандартные условия эксплуатации и установки которых являются более жесткими, чем указано в Таблице 4-3, должны соблюдаться стандартные условия эксплуатации и установки защитного устройства наиболее жесткого уровня.

Устройства обнаружения дуговых КЗ устанавливаются в распределительных сетях. Рисунок 4-5 представляет пример конструкции низковольтного устройства с защитным заземлением (система TN) в качестве защитной меры от КЗ и дополнительной защитой для сетей с выводами на штепсельные розетки.

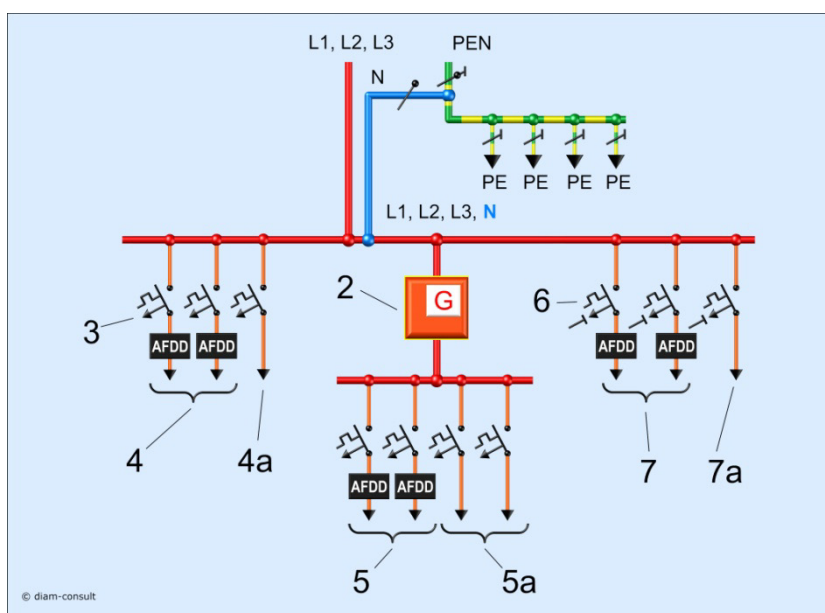


Рисунок 4-5 Установка устройства обнаружения дуговых КЗ в распределительных сетях низковольтных установок с защитным заземлением (система TN) как защитная мера от КЗ, в отдельных цепях с дополнительной защитой как защитная мера; пример, схематическое изображение

2 ... Защитное устройство по дифференциальному току без встроенной защиты от сверхтоков (RCCB) типа G согласно ÖVE/ÖNORM E 8601:2015-02-01 для дополнительной защиты сетей с выводами на штепсельные розетки

3 ... Автоматический выключатель, а также комбинация RCBO и AFDD

4 ... Сеть для постоянно подключенного электрооборудования и защита при помощи AFDD

4a ... Сеть для постоянно подключенного электрооборудования

5 ... Схемы с электрическими розетками, дополнительной защитой и защитой с помощью AFDD, а также сочетание RCBO и AFDD

5a ... Сети с электрическими розетками

6 ... Комбинированный автоматический выключатель / защитные устройства по дифференциальному току без встроенной защиты от сверхтоков (RCBO) для дополнительной защиты цепей с электрическими розетками

7 ... Схемы с электрическими розетками, дополнительной защитой и защитой с помощью AFDD, а также сочетание RCBO и AFDD

7a ... Сети с выводами на штепсельные розетки, дополнительная защита

5 Итоги

Пожары, вызванные неисправностью электрооборудования, и меры, направленные на их предотвращение, все чаще оказываются в центре внимания национальных, европейских и международных нормативных структур. Согласованное для конкретного проекта сочетание тщательного соблюдения правил установки и современных защитных устройств для защиты от перегрузки по току, защиты от дифференциальных токов и дугового короткого замыкания обеспечивает проектировщиков, монтажников и операторов низковольтных установок эффективными техническими вариантами снижения риска ущерба для людей и имущества.

6 Литература

- [1] Ludwar, G., Mörx, A., Elektrotechnikrecht, Praxisorientierter Kommentar; ÖVE, FEEL, ON, Vienna 2007, ISBN: 978-3-85133-044-1
- [2] BGBl. 106/1993; Elektrotechnikgesetz 1992, BGBl. Version. I/129/2015, 6. November 2015.
- [3] Henschl, T., Mörx, A.; Elektroinstallation in Gebäuden, new edition; Österreichischer Wirtschaftsverlag; 2012; ISBN 3-85212-116-5
- [4] Austrian Fire Prevention Agencies (publisher), fire damage statistics 2013.
- [5] Schwenkhagen, Hans., Schnell, Paul.; Gefahrenschutz in elektrischen Anlagen; Verlag W. Girardet Essen, 1957
- [6] Hofheinz, Wolfgang; Fehlerstrom-Überwachung in elektrischen Anlagen; VDE publication series 113, VDE-Verlag GmbH., 2008
- [7] ÖVE/ÖNORM EN 50110-1 (EN 50110-2-100 incorporated):2014-10-01
- [8] Müller, Peter; Detektion von stromschwachen Störlichtbögen in Niederspannungsschaltanlagen, Dissertation Universität Stuttgart, 2014, Printed by Druckerei Hohlweg, 70182 Stuttgart, Germany, 2015, ISBN: 978-3-00-048762-0
- [9] Esser, W., Meyer, D.; Auslösekennlinien einstellungsspezifisch darstellen und ihr Zusammenwirken kompetent beurteilen; Moeller GmbH., Bonn, 2004
- [10] ÖVE/ÖNORM EN 62606: 2014 09 01; General requirements for arc fault detection devices
- [11] Schmucki, Josef; Schutz vor elektrisch gezündeten Bränden; Elektrotechnik 4/2015, elektrosuisse, SEV Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik; CH-8320 Fehraltorf.
- [12] ÖVE/ÖNORM E 8603:2015-11-01; Zeitverzögerte Fehlerstrom-Schutzschalter des Typs M ohne eingebautem Überstromschutz zur Anwendung in Stromkreisen mit Nennströmen über 32 A, amendment of ÖVE/ÖNORM EN 61008-1
- [13] Eaton Industries (Austria) GmbH; xEffect — Schaltgeräte für industrielle Anwendungen; 2015
- [14] BGBl. 106/1993, Elektrotechnikgesetz 1992 in der Fassung BGBl. I/129/2015
- [15] Mörx, A.; Fehlerstellen in Niederspannungsanlagen und elektrische Zündung von Bränden; research protocol, diam-consult, Ingenieurbüro für Physik, Wien; 2007 (unpublished).
- [16] Mörx, A.; Brandschutz in Niederspannungsanlagen (Parts 1 to 3), elektrojournal booklets 9a, 10, 11, Österreichischer Wirtschaftsverlag, 2006
- [17] Mörx, A.; Brandschutz in Niederspannungsanlagen (Parts 4 to 6), elektrojournal booklets 9a, 4, 6, Österreichischer Wirtschaftsverlag, 2008
- [18] Database of the IFS „Institut für Schadenverhütung und Schadenforschung“ der öffentlichen Versicherer e.V., Kiel; <http://www.ifs-kiel.de>; quoted in Martel, Anheuser, Hueber, Berger, Erhard; Schutz gegen parallele Störlichtbögen in Hauselektroinstallationen; VDE technical report 67; 2011
- [19] ÖVE/ÖNORM E 8001-1-23:2000-12-01; Installation of electrical systems with nominal voltages up to AC 1000V and DC 1500V, Part 1-23: Protection for Safety — Protection against thermal effects
- [20] DIN VDE 0100-420 (VDE 0100-420), February 2016; Low voltage electrical installations — Part 4-42: Protection for safety — Protection against thermal effects
- [21] DIN VDE -4-42 (VDE 0100-420), February 2015; Low voltage electrical installations — Part 4-42: Protection for safety — Protection against thermal effects
- [22] IEC 60364-4-42:2010 + A1:2014; Low-voltage electrical installations — Part 4-42: Protection for safety — Protection against thermal effects

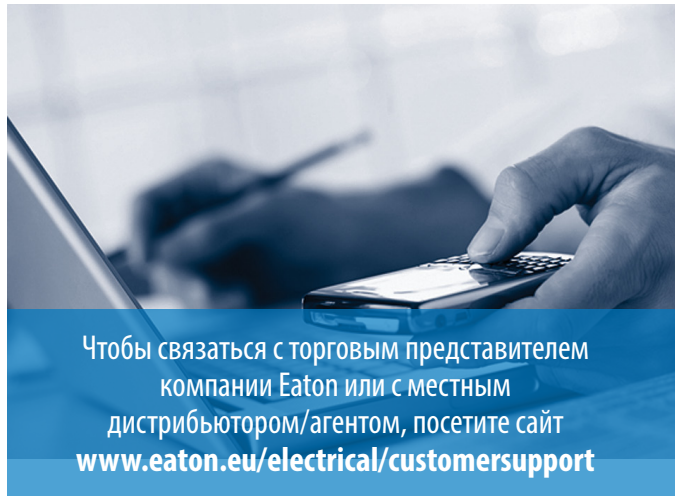
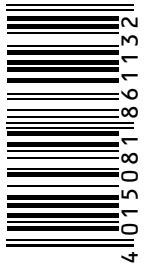
- [23] EN 50110-1:2013; Operation of electrical installations– Part 1: General Requirements
- [24] Mörx, A., Störlichtbogen in Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen, Gefährdungsbeurteilung gemäß EN 50110-1:2014; http://www.diamcons.com/images/stories/kostenlose_publicationen/0162_09_DACH_2016_Diskussionsbeitrag_Moerx_AT_V_03.pdf
- [25] Martel, Anheuser, Hueber, Berger, Erhard; Schutz gegen parallele Störlichtbögen in Hauselektroinstallationen; VDE technical report 67; 2011
- [26] ÖVE/ÖNORM E 8601:2015-02-01; Short time-delayed residual current-operated circuit breakers, Type G without and with overcurrent protection, supplement to ÖVE/ÖNORM EN 61008-1 and ÖVE/ÖNORM EN 61009-1
- [27] ÖVE/ÖNORM E 8001-1:2010-03-01; Erection of electrical installations with rated voltages up to AC 1000 V and DC 1500 V — Part 1: Definitions and measures against electrical shock
- [28] ÖVE/ÖNORM EN 61008-1:2015-12-01; Residual current operated circuit breakers without integral overcurrent protection for household and similar uses (RCCBs), Part 1: General rules
- [29] ÖVE/ÖNORM EN 61009-1:2015-12-01; Residual current operated circuit breakers without integral overcurrent protection for household and similar uses (RCCBs), Part 1: General rules

Компания Eaton специализируется в области управления энергией. В 2015 г. объем ее продаж составил 20,9 млрд долларов США. Eaton предлагает заказчикам энергоэффективные решения для безопасного и устойчивого управления электрической, гидравлической

и механической энергией. В компании Eaton работает около 97 000 сотрудников. Продукция компании продается более чем в 175 странах.

Для получения дополнительной информации посетите сайт www.eaton.eu.

Артикул № 188247



Чтобы связаться с торговым представителем
компании Eaton или с местным
дистрибьютором/агентом, посетите сайт
www.eaton.eu/electrical/customersupport