

SIEMENS



SENTRON

Устройство определения дугового пробоя 5SM6

Технологическое руководство

ООО «Сименс»
Сектор «Инфраструктуры и городов»

lmv.ru@siemens.com

Возможны изменения.
В данной брошюре представлено описание оборудования и его рабочие характеристики, которые в случае фактического использования могут не всегда применяться так, как представлено в описании, или изменяться в результате дальнейшего усовершенствования продукции. Обязательство по предоставлению соответствующих характеристик продукции имеет силу только в том случае, если оно указано в условиях договора.

Все права защищены.
Все наименования продуктов могут быть товарными знаками Siemens Ltd или других компаний поставщиков, и их использование третьими лицами в собственных целях может нарушить права собственников.

© Siemens AG, 2012.

Предисловие

Защита, коммутация, измерение и контроль – компоненты низковольтных распределительных систем от компании «Сименс» выполняют все эти функции и подходят для любого применения при электромонтаже. Используемые в промышленности, инфраструктуре или жилищном строительстве, эти продукты гарантируют максимальную гибкость, простоту в эксплуатации и надежность, при этом помогая обеспечивать контроль безопасности всей системы электропитания.

Такие защитные устройства, как предохранители, модульные автоматические выключатели и устройства защитного отключения, имеют многолетний опыт испытаний и применения, но они не подходят для задач определения дуговых пробоев. Теперь этот пробел устранен - выпущено новое защитное устройство для определения дуговых пробоев: УОДП (устройство определения дугового пробоя) 5SM6. УОДП 5SM6 способны обнаруживать дуговые пробои, которые могут возникать в местах последовательных пробоев и незащищенных контактов или в результате повреждения изоляции между фазным и нейтральным проводниками, а также между фазным и заземляющим проводниками. Устройство очень эффективно для предотвращения пожаров, вызванных неисправностью электрооборудования.

В данном руководстве мы постарались описать не только физические характеристики УОДП, но и его конструкцию и режимы работы. Кроме того, здесь представлены различные комплектации устройства и некоторые варианты его применения, чтобы облегчить выбор требуемого устройства и обеспечить его правильную эксплуатацию.

СОДЕРЖАНИЕ

1	Введение	4
2	Статистика и причины пожаров	4
3	Защитные устройства	10
3.1	Дуговые пробой и известные защитные устройства	10
3.2	Расширенная концепция защиты	12
4	Условия возникновения и горения дуги	13
5	Конкретные примеры аварийных ситуаций с последовательными дуговыми пробоями	15
5.1	Аварийные ситуации при токе дугового пробоя до 3 А	15
5.2	Аварийные ситуации при токе дугового пробоя от 3 до 10 А	18
5.3	Аварийные ситуации при токе дугового пробоя более 10 А	20
5.4	Влияние тока нагрузки на возникновение пожара	20
6	Аварийная ситуация при параллельных дуговых пробоях	22
6.1	Основные концепции	22
6.2.	Режим отключения для устройств защиты от сверхтоков	23
6.3	Оценка	25
7	Определение дуговых пробоев	26
7.1	Базовая конструкция УОДП 5SM6	26
7.2	Определение последовательных дуговых пробоев	27
7.3	Определение параллельных дуговых пробоев	28
7.4	Предотвращение нежелательных отключений	29
8	Стандарты и требования для УОДП	33
8.1	Общие принципы	33
8.2	Стандарт продукта	33
8.3	Правила электромонтажа	34

9	Описание УОДП 5SM6	36
9.1	Версии продукта	36
9.2	Общие характеристики	37
9.3	Специальные характеристики	38
10	Руководство	40
10.1	Установка УОДП	40
10.2	Порядок действий после срабатывания УОДП	40
11	Примеры применения	42
12	Внешний вид	43
13	Источники и литература	44
	Список рисунков и таблиц	45

1. Введение

История определения дуговых пробоев в США уходит своими корнями на несколько десятилетий назад. Первые патенты были выданы в 1983 году. В 1990-ых годах были предприняты значительные усилия по определению подходящих требований и разработке соответствующих продуктов, предназначенных для определения дуговых пробоев. Постепенное внедрение AFCI (прерыватель цепи дугового пробоя) в США началось с 2001 года. В 2005 году в национальные правила по электромонтажу было введено требование использования AFCI с номинальным значением 15/20 А в распределительных цепях электропроводки спальных комнат. Начиная с 2008 года, это требование было расширено, туда были включены распределительные цепи всех жилых помещений.

2. Статистика и причины пожаров

Ежегодно в Германии регистрируется примерно 600 000 случаев повреждений, возникших по причине пожара; общая стоимость ущерба составила примерно 6 миллиардов евро. Значительно большие опасения вызывает тот факт, что в результате этих пожаров пострадало более 60 000 человек, среди них 6 000 человек получили тяжелые травмы и 600 человек погибло, причем примерно 75 % случаев произошло в частных домах. Особенно настораживает то, что многие пострадавшие от пожара были застигнуты врасплох, поскольку возгорание произошло ночью и люди спокойно спали; более 90 % из погибших скончались в результате отравления дымом. Большинство пожаров начинается с этапа тления, в процессе которого комнаты быстро заполняются дымом и продуктами горения. Вдыхание малой части этих газов может привести к потере сознания или смерти.

Пожары, вызванные неисправностью электропроводки, составляют примерно 30 % от всех случаев, и этот процент практически не меняется в течение многих лет. Например, в 2010 году количество таких пожаров составило 34 % (см. рисунок 1). Если отбросить те случаи, причину которых невозможно устранить, например, поджог и человеческий фактор, то доля пожаров, связанных с электрооборудованием, превысит 50 %. Примерно 50 % этих пожаров вызвано электрической нагрузкой, а 30 % - системой электромонтажа.

Причины пожаров (2010 г.)

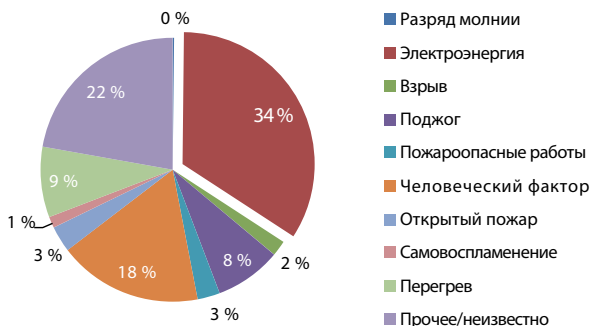


Рисунок 1. Причины пожаров в Германии в 2010 году

Интересно также взглянуть на статистику по дефектам, предоставленную VdS (VdS Schadenverhütung GmbH) по данным проверок более 30 000 компаний. На рисунке 2 представлено распределение более чем 150 000 обнаруженных дефектов. Наличие нескольких дефектов в системах может означать, что общее количество превышает 100 %.

Статистика VdS по дефектам в системах электрооборудования (2007 год)

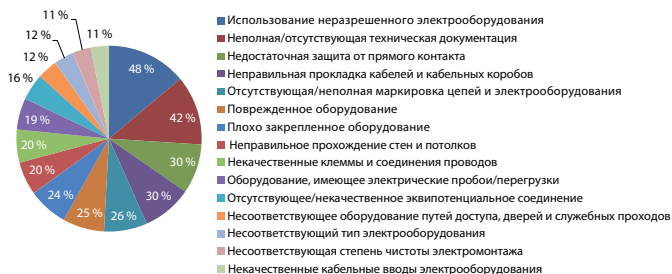


Рисунок 2. Статистика по дефектам в системах электрооборудования (2007 год)

При большинстве обнаруженных дефектов, например, некачественной прокладке кабеля или прохождении через стены/потолки, пожары могут возникать из-за дуговых пробоев, которые не определяются уже установленными защитными устройствами. Распределение статистических данных, показанное для Германии, в разной степени применимо и к другим европейским странам. Однако существует разница в методах сбора и обработки данных. На рисунках 3—5 представлены различные примеры пожарной статистики. И снова причиной пожара могут стать дуговые пробой, которые являются следствием обнаруженных дефектов, таких как повреждения грызунами, потеря контакта, старение или разрушение под действием влаги.

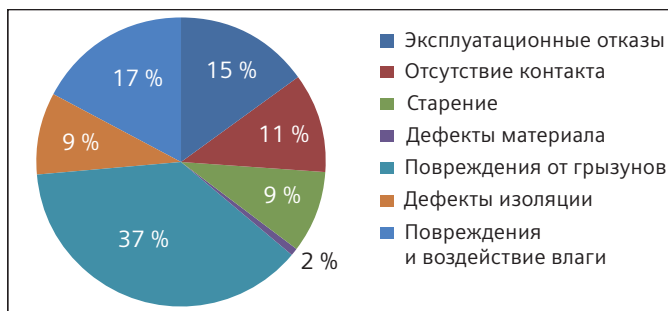


Рисунок 3. Дания: пожарная статистика за 2005 год; общее количество: 16 551 пожар

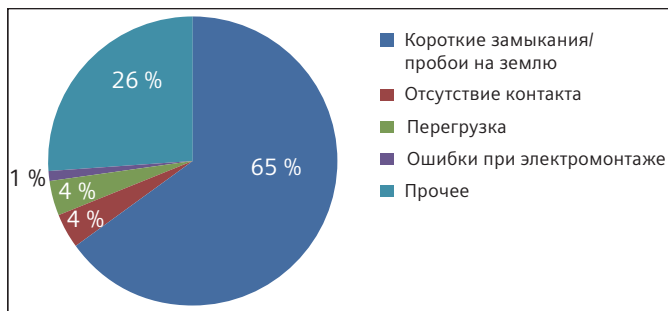


Рисунок 4. Финляндия: пожарная статистика за 2006 год; общее количество: 1 860 пожаров

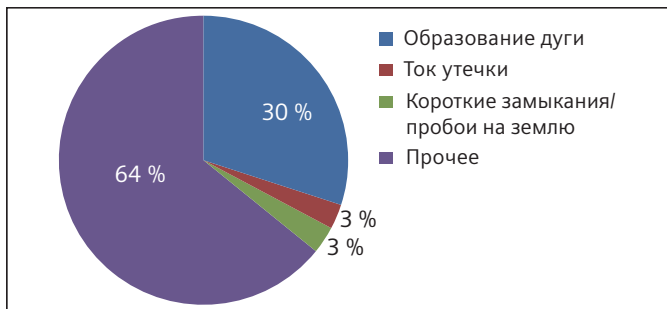


Рисунок 5. Норвегия: пожарная статистика за 2002—2006 годы;
общее количество: 9 200 пожаров

Другое исследование, проведенное в США (см. рисунок 6), больше внимания уделяет тем эффектам, которые были отмечены в системе электрооборудования перед возгоранием. Потенциальные типы и причины дуговых отказов могут быть приписаны таким эффектам.

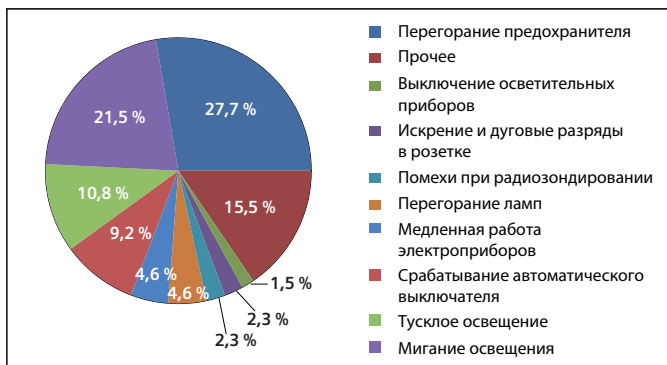


Рисунок 6. Результаты наблюдений, сделанных в США перед началом пожаров,
вызванных электрооборудованием

На практике аварийные ситуации, представленные статистическими данными, являются одинаково очевидными. В системах электрооборудования и в отходящих штепсельных розетках часто присутствуют следующие отказы (и запрещенные методы работы).

А. Поврежденная изоляция кабеля, например, гвоздями, винтами или зажимами.

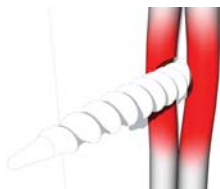


Рисунок 7. Гвоздь или винт



Рисунок 8. Передавленный зажим

Б. Кабели, имеющие слишком маленький радиус изгиба, могут сломаться.



Рисунок 9. Слишком маленький радиус изгиба

В. Дуговые отказы могут возникать в кабелях, которые проложены через открытые окна или двери и сдавливаются при закрывании окон или дверей, что становится причиной повреждения изоляции.

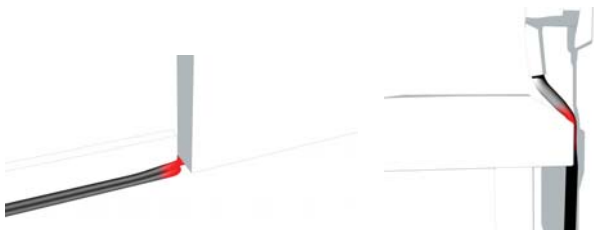
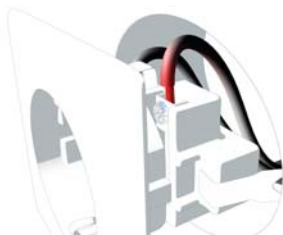


Рисунок 10. Пережатый кабель

- Г. Повреждение или старение изоляции, вызванное климатическими воздействиями, например, ультрафиолетовое излучение, температуры, влага, газы.
- Д. Повреждения от грызунов.
- Е. Потеря контакта, например, из-за слишком слабой затяжки.



Ж. Провода, поврежденные монтажными лапками.

Пожарная статистика, обнаруженные дефекты и их последствия являются сильным аргументом, свидетельствующим в пользу разработки подходящего защитного устройства, такого как УОДП, которое предназначено для снижения количества пожаров, вызванных дугowymi пробоями.

3. Защитные устройства

3.1 Дуговые пробои и известные защитные устройства

Дуговые пробои могут принимать разные формы (см. рисунок 11). В данном разделе будут рассмотрены различные виды пробоев в зависимости от режимов эксплуатации известных защитных устройств (устройства защитного отключения и устройства защиты от сверхтоков).

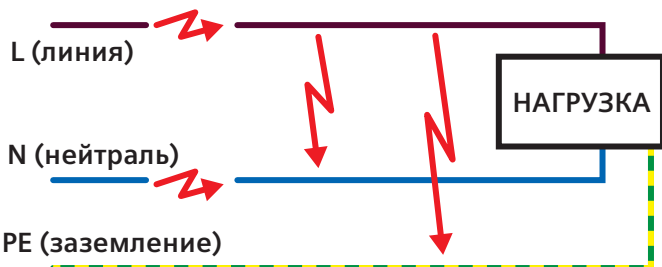


Рисунок 11. Виды дуговых пробоев

А. Параллельные дуговые пробои

Параллельные дуговые пробои могут возникать, например, при старении материала изоляции или при наличии проводящего загрязнения между линейными проводами.

Параллельный дуговой разряд между фазным проводом (L) и заземлением (PE)

Ток протекает от фазного провода к заземлению через дугу. В этом случае для защиты от пожара может быть использовано установленное устройство защитного отключения с максимальным номинальным дифференциальным током 300 мА. Оно должно устанавливаться в определенных областях (например, «помещения, подверженные пожарной опасности» в соответствии с IEC 60364-4-42; HD 384.4.482 S1).

В некоторых случаях устройства защиты от сверхтоков не обеспечивают защиту, поскольку полное сопротивление в неисправной цепи может быть слишком высоким. Поэтому невозможно реализовать условия для отключения за то короткое время, которое необходимо, чтобы ограничить энергию до значений, препятствующих возникновению пожара.

Параллельный дуговой разряд между двумя фазными проводниками или между фазным и нейтральным проводниками

В этом случае устройства защитного отключения не подходят для защиты, поскольку по проводу заземления не протекает никакого тока. Устройства для защиты от перегрузки и короткого замыкания, такие как модульные автоматические выключатели, могут обеспечить защиту только при определенных обстоятельствах. Успех зависит от полного сопротивления неисправной цепи, включая значение напряжения дуги, и от того, выполнены ли условия отключения для таких значений тока/времени, чтобы ограничить энергию в месте пробоя до уровней, которые препятствуют возникновению пожара. Высокие значения полного сопротивления ограничивают уровень тока и могут препятствовать своевременному выключению, особенно в местах пробоя с высоким контактным сопротивлением или там, где от штепсельной розетки отходят удлинительные кабели (см. также раздел 6).

Б. Последовательный дуговой пробой в активном проводе

В этом случае ток по проводу заземления отсутствует и происходит снижение тока нагрузки за счет возникновения напряжения дуги последовательно с полезной нагрузкой. В данном случае устройства защитного отключения и устройства защиты от сверхтоков могут быть бесполезны.

В итоге можно сказать, что для случаев последовательного дугового пробоя не существует никакой защиты и что необходимо повысить уровень защиты при возникновении параллельного дугового пробоя между активными проводниками.

Для устранения этих недостатков в концепцию безопасности системы «Сименс» для низковольтных распределительных систем были введены УОДП 5SM6.

3.2 Расширенная концепция защиты для предотвращения пожаров

Как уже упоминалось ранее, защитные устройства для определения дугowych пробоев (AFCI: выключатели цепи дугowego пробоя в соответствии с требованиями UL 1699) были внедрены в США несколько лет назад, и их установка стала обязательной для распределительных цепей, проложенных в жилых домах. В других странах, включая Германию, существуют стандарты, определяющие требования к таким защитным устройствам, как AFDD (устройства определения дугowych пробоев). УОДП 5SM6 от компании «Сименс» расширяет текущую концепцию обеспечения безопасности, направленную на снижение количества возгораний, вызванных электрооборудованием, и основанную на использовании устройств защитного отключения и устройств защиты от токовой перегрузки, и тем самым закрывает пробел, существующий в настоящее время.

На рисунке 12 показано распределение отдельных видов пробоев по отношению к защитным устройствам в соответствии со стандартами UL (например, США) и стандартами IEC или EN (например, Германии).

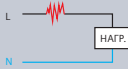
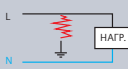
Тип пробоя	Защита в соответствии со стандартом IEC	Защита в соответствии со стандартом UL
Последовательный 		
Параллельный Фаза–Нейтраль/ Фаза–Фаза 		
Параллельный Фаза–Заземление 		

Рисунок 12. Виды пробоев и защитные устройства, подходящие для защиты от пожара

- MCB: Модульный автоматический выключатель
- RCD: Выключатель дифференцированного тока
- AFDD: Устройство определения дугowych пробоев
- AFCI: Прерыватель цепи дугowego пробоя (США)

Характеристики дугowych разрядов, а также функции и режимы эксплуатации УОДП 5SM6 описаны в следующих разделах.

4. Условия возникновения и горения дуги

При соприкосновении, прямом или косвенном, движущихся или с малой электропроводностью деталей в местах пробоев могут возникать так называемые «дуги касания» (см. рисунок 13). Движение (вибрация, тепловое расширение) металлических деталей, которые непосредственно касаются друг друга, приводит к образованию дуги, нагреву и, в конечном итоге, к расплавлению провода. При дальнейшем нагреве и повторном пробое расплавленного провода быстро формируются неустойчивые дуги. В результате металлические детали (электроды) начинают нагреваться. Происходит ионизация воздуха и после гашения дуги при переходе тока через ноль дуга загорается снова. В дальнейшем воспламеняются горючие материалы, расположенные поблизости (например, изоляция кабеля).

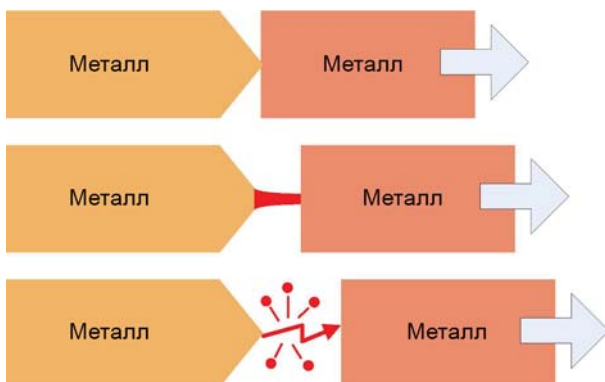


Рисунок 13. Дуга касания

Если изоляция между двумя проводами повреждена, то поверх проводящего изоляционного промежутка могут возникать параллельные дуговые пробои даже при отсутствии непосредственного контакта металлов (см. рисунок 14).

Если между проводами находятся какие-либо материалы, то характеристики изоляции могут быть ослаблены под действием старения или химических, тепловых и механических нагрузок. На поверхности с загрязнениями или конденсатом могут возникать токи утечки. Такие токи утечки и короткие разряды могут разогревать и обугливать пластики. Высокие температуры в месте пробоя могут вызвать испарение части обугленного материала, значительный нагрев окружающих деталей и возгорание устойчивой дуги. Наличие угольной дорожки между электрическими проводами позволяет дуге загореться снова после перехода тока через ноль, что сопровождается дальнейшим повышением температуры и приводит к пожару.

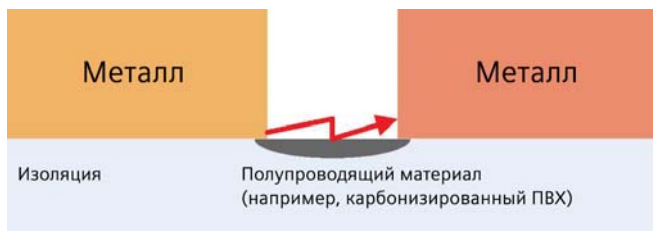


Рисунок 14. Дуга поверх проводящего изоляционного промежутка

Процесс возгорания в результате последовательного дугового пробоя будет описан на примере пережата кабеля. Протекание тока приводит к повышению температуры в области пережатия. Такой разогрев вызывает окисление меди, что в свою очередь приводит к увеличению сопротивления и дальнейшему повышению температуры, а в некоторых случаях — к расплавлению меди. При этом выделяется газ, особенно в точке максимального тока. В результате в воздушном промежутке появляется короткая дуга. Изоляция в месте пробоя обугливается. Через такой промежуток может образоваться устойчивая дуга и, соответственно, начаться пожар (см. рисунок 15).

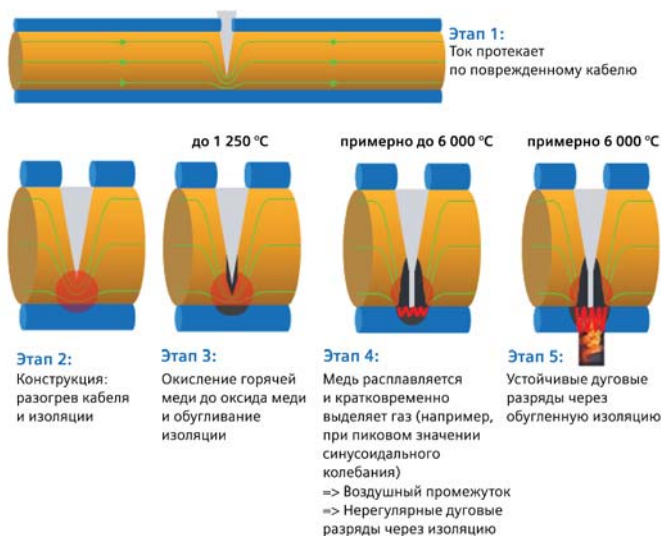


Рисунок 15. Возникновение пожара из-за последовательных дуговых пробоев

5. Конкретные примеры аварийных ситуаций с последовательными дуговыми пробоями

В лабораторных условиях были проведены испытания на образование последовательных дуговых пробоев при различных нагрузках, условия испытания — 230 В на землю (стандартное напряжение в Европе) и кабель NYM-J (самый распространенный в Европе тип кабеля). Определения терминов, использованных для анализа и представления режимов:

- а) Дуга — световой разряд электричества поверх изоляционной среды, который также вызывает частичное испарение электродов. Электрическая дуга последовательно создает широкополосные высокочастотные помехи.
- б) Устойчивость дуги — соотношение длительности дуги и времени наблюдения более 100 мс. Значение этого показателя всегда меньше 100 % из-за перехода напряжения переменного тока через нулевой уровень.
- в) Накаливание (раскаленный контакт) — соединение, в котором из-за плохого контакта протекающий ток вызывает разогрев материала контакта и его тление. При этом не возникает высокочастотных помех; раскаленный контакт может рассматриваться в качестве последовательного полного сопротивления.
- г) Начальное пламя — пламя, непрерывно горящее в течение 5 мс.
- д) Значительное пламя — пламя, непрерывно горящее в течение 50 мс.
- е) Устойчивое пламя — пламя, непрерывно горящее в течение 500 мс.

5.1 Аварийные ситуации при токе дугового пробоя до 3 А

На первом графике (энергия) показан процесс возрастания энергии в течение периода наблюдения (см. рисунок 16). Здесь представлены два показателя энергии. Черная кривая относится к суммарной энергии (суммарная электрическая энергия), которая генерируется в месте пробоя, в основном, в форме тепла и излучения. Красная кривая представляет энергию дуги.

В основном разница между суммарной энергией и энергией дуги вызвана явлением накаливания. Процесс повышения энергии может быть разделен на два этапа.

На первом этапе, «обугливание» (желтый отрезок), невозможно добиться устойчивой дуги, если место пробоя не обуглилось. Короткие дуги образуются только в том случае, если расстояние между концами проводов в месте пробоя достаточно мало, т. е. в момент контакта или прерывания. В результате низкой устойчивости дуги (нижний график) среднее значение энергии достаточно мало и суммарная энергия увеличивается медленно. На этапе обугливания образец кабеля не воспламеняется, однако происходит постоянное обугливание ПВХ изоляции.

На втором этапе, «возгорание» (красный участок), место пробоя достаточно обуглено и устойчивость дуги резко повышается до 80 %. Дуга становится очень устойчивой, энергия быстро возрастает и начинается воспламенение (предпоследний график).

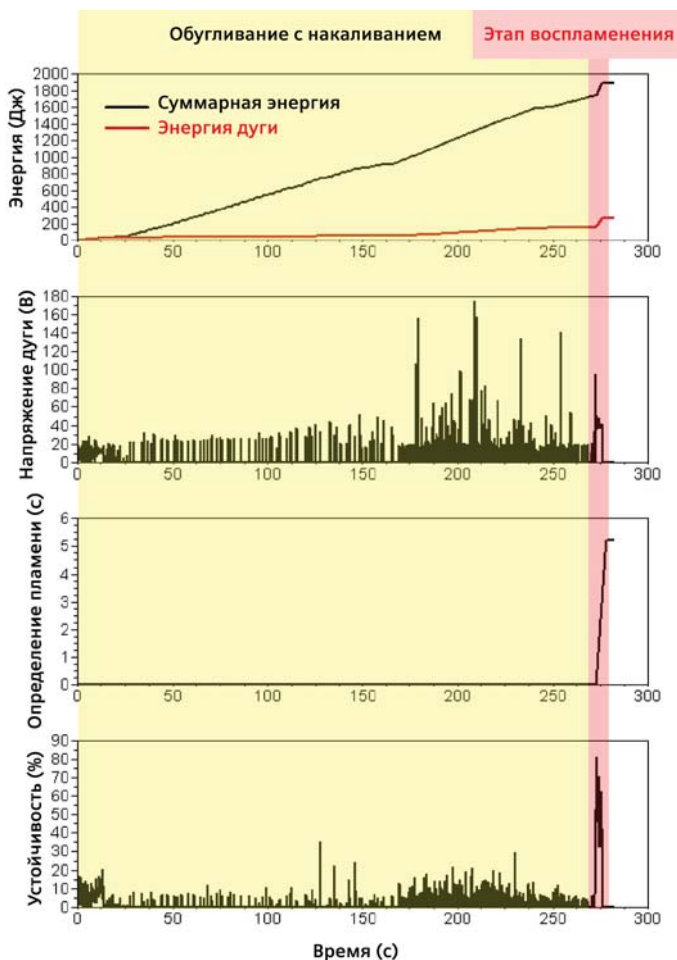


Рисунок 16. Развитие дуги для примера 2 A/240 В

5.2 Аварийные ситуации при токе дугового пробоя от 3 до 10 А

Для этих повышенных дуговых токов графики также могут быть разделены на этапы обугливания и воспламенения (см. рисунок 17). Как и в предыдущем случае, вначале устойчивость дуги очень мала, поскольку не произошло обугливания места пробоя. В результате низкой устойчивости дуги среднее значение энергии достаточно мало и суммарная энергия увеличивается медленно, поэтому кабель не воспламеняется.

Спустя некоторое время, меньшее, чем для предыдущего случая, место пробоя достаточно обуглено и устойчивость дуги резко повышается до 90 %. Дуга становится очень устойчивой, энергия быстро возрастает. Спустя несколько секунд изоляция перестает выдерживать нагрев и происходит воспламенение.

Во время испытания напряжение дуги очень мало, примерно 15-30 В. Это стандартное значение для дуги при низком напряжении, поскольку последовательная дуга может образовываться только в том случае, если промежуток между двумя проводниками очень мал.

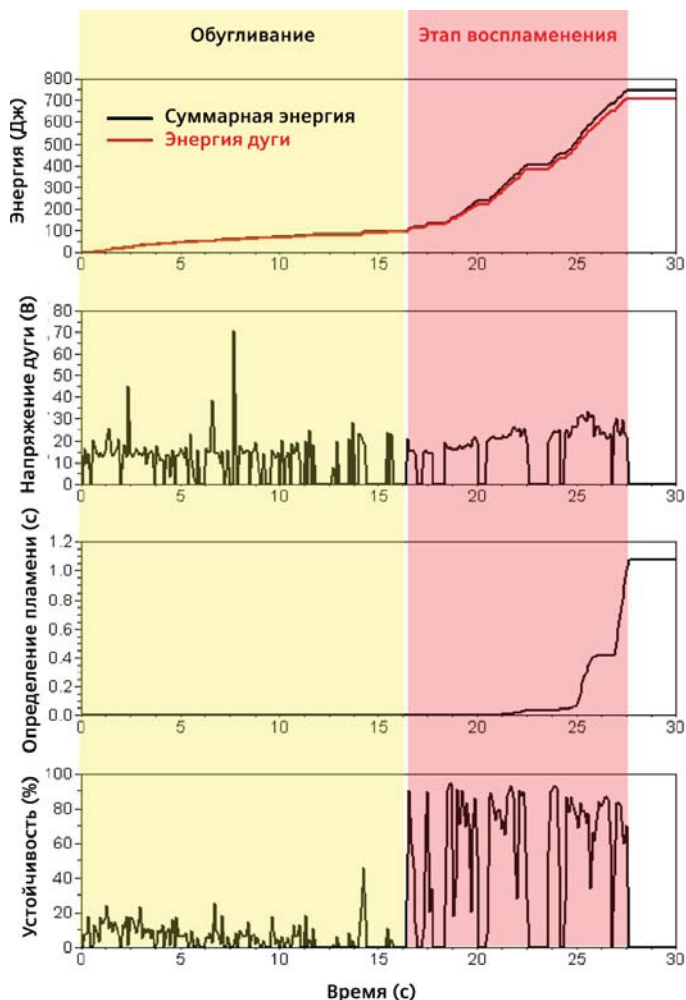


Рисунок 17. Развитие дуги для примера 5 A/240 В

5.3 Аварийные ситуации при токе дугового пробоя более 10 А

В этом диапазоне энергия дуги настолько высока, что пламя возникает очень быстро и без обугливания. Очевидно, что дуги с высокой энергией не подходят для эффективного обугливания места пробоя. Причина заключается в испарении образовавшегося ранее обуглившегося материала, в результате чего исключается образование полезной угольной дорожки. Более того, последовательные дуги с высокой энергией могут сваривать вместе два медных провода, что приводит к «восстановлению» места пробоя.

5.4 Влияние тока нагрузки на возникновение пожара

Испытания на возгорание были проведены при токах нагрузки в диапазоне от 1 до 32 А. На следующих графиках показаны средние значения, полученные для 100 измерений.

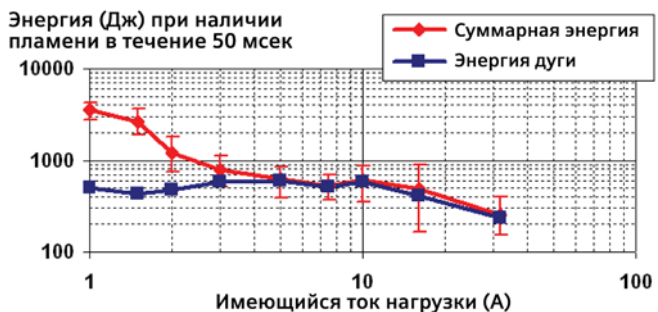


Рисунок 18. Энергия значительного пламени в зависимости от тока нагрузки

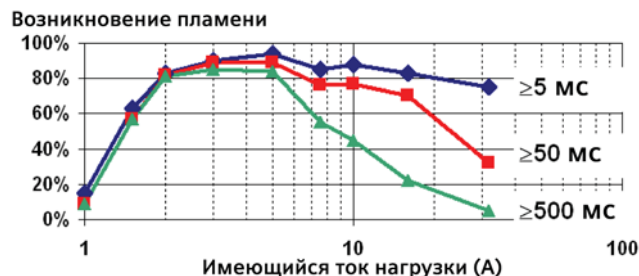


Рисунок 19. Возгорание в зависимости от тока нагрузки

В диапазоне малых токов (до 3 А) общая электрическая энергия, генерируемая в месте пробоя в основном в виде тепла и излучения и используемая для возгорания, в два-три раза больше, чем энергия, выделяемая дугой. Такая разница в значениях обусловлена накоплением. При токах менее 2 А даже устойчивая дуга не обладает достаточным количеством энергии, чтобы воспламенить кабель, поэтому вероятность возгорания достаточно мала.

Максимальная вероятность возникновения дуговых пробоев существует для среднего диапазона (3—10 А), представляющего ту категорию электрооборудования, к которой относятся самые распространенные бытовые электроприборы. В данном случае энергия дуги по величине соизмерима с суммарной электрической энергией. Кроме того, этот диапазон отличается преобладанием дуги над тлением. Для средних токов количество энергии, необходимое для воспламенения ПВХ кабеля, незначительно зависит от тока нагрузки и составляет относительно постоянную величину, равную 450 джоулям. При этом вероятность возникновения начального и значительного пламени составляет примерно 80 %.

В диапазоне более высоких токов (свыше 10 А) энергия дуги настолько высока, что пламя возникает очень быстро и без обугливания. Следовательно, вероятность возникновения значительного и устойчивого пламени гораздо ниже. Одной из причин этого явления можно считать испарение обугленного материала, что препятствует образованию угольной дорожки. Вероятность возникновения устойчивого пламени снижается до менее 5 %. Аналогичным образом при высоких токах нагрузки заметно снижается устойчивость дуги. Меньшая устойчивость дуги уменьшает энергию, что исключает возникновение стабильных возгораний. Более того, последовательные дуги с высокой энергией могут расплавить две части медного провода, что приведет к «восстановлению» места пробоя. Даже учитывая то, что устойчивые дуги достаточно редки для диапазона токов нагрузки более 10 А, краткое и мощное пламя, которое может возникнуть в данном случае, представляет серьезную опасность.

6. Аварийная ситуация при параллельных дуговых пробоях

6.1 Основные концепции

В отличие от последовательных дуговых пробоев, для обнаружения которых до сих пор не существует никаких защитных устройств, параллельные дуговые пробой могут быть выявлены при определенных условиях с помощью таких устройств защиты, как устройства защитного отключения и устройства защиты от сверхтоков (см. раздел 3 и рисунок 12).

Для отключения параллельных дуговых пробоев с помощью устройств защиты от сверхтоков необходимо учитывать состояние системы и ее полное сопротивление. Ниже будут рассмотрены условия отключения для устройств защиты от сверхтоков (модульные автоматические выключатели и предохранители), чтобы оценить их эффективность для защиты от пожара в любой ситуации.

На рисунке 20 показана типовая вольт-амперная характеристика параллельного дугового пробоя. В дополнение к устойчивой дуге кривая тока также включает довольно длительные промежутки без какого-либо тока, поскольку после перехода тока через ноль не всегда возникает дуга. Поэтому нет никакой гарантии того, что устройства защиты от сверхтоков сработают под действием теплового расцепления. Принимая во внимание высокое напряжение дуги и высокое сопротивление системы, следует отметить большую вероятность того, что максимальное значение тока будет меньше, чем ток магнитного расцепления модульного автоматического выключателя.

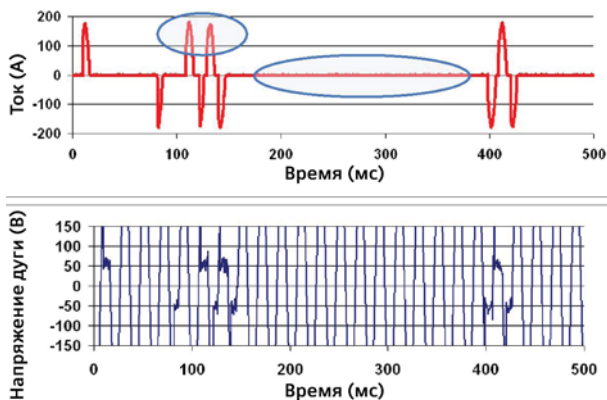


Рисунок 20. Вольт-амперная характеристика параллельного дугового разряда

В таких случаях высокие значения тока дуги, которые могут превышать 100 А, и напряжения дуги около 60 В дают в результате мощность дуги, равную нескольким киловаттам (например, при 100 А и 60 В мощность составит 6 кВт). Если в течение долей секунды не отключить систему, то в дальнейшем это приведет к повышению плотности энергии в месте пробоя, быстрому воспламенению материала изоляции и дальнейшему распространению пожара.

6.2 Режим отключения для устройств защиты от сверхтоков

При измерении ожидаемых токов короткого замыкания в розетках офисных зданий и жилых помещений было определено, что значения этих токов лежат в диапазоне от 150 до 500 А.

Поэтому в большинстве случаев можно использовать режим магнитного быстродействующего отключения модульных автоматических выключателей В 16 (в течение 100 мс).

Если пробой возник не в штепсельной розетке, а в линии электроснабжения штепсельной розетки, то ситуация улучшится благодаря снижению импеданса и повышению тока короткого замыкания.

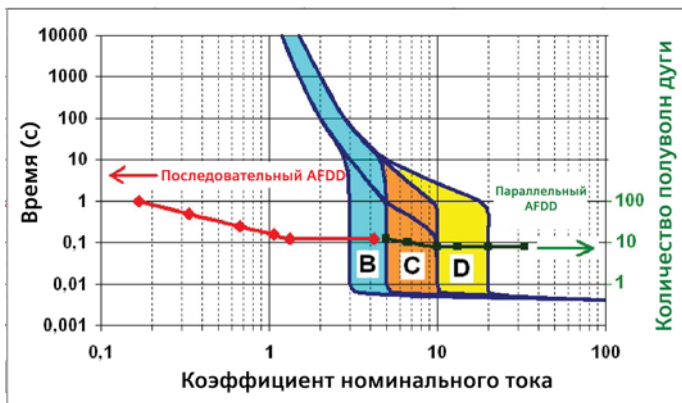
С другой стороны, пробой в удлинительном кабеле будет способствовать повышению импеданса, и, соответственно, заметному снижению тока короткого замыкания. В этом случае модульный автоматический выключатель не сможет выполнять свою защитную функцию.

Кроме того, высокое напряжение дуги в любом случае может вызвать уменьшение тока короткого замыкания и препятствовать магнитному быстродействующему отключению.

Аналогично, время отключения с помощью предохранителей может быть слишком большим для защиты от пожара в критических ситуациях.

Устройства защиты от сверхтоков могут работать только в таких условиях, когда интервал проводимости для определенного уровня тока расположен выше кривой срабатывания соответствующего устройства защиты от сверхтоков.

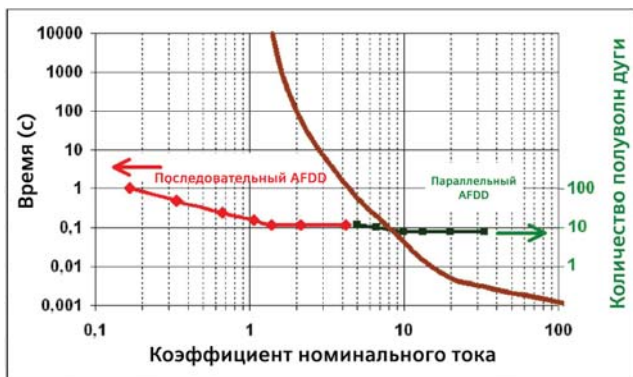
На рисунке 21 показаны кривые срабатывания модульных автоматических выключателей для характеристик В, С и D, а также кривая отключения для УОДП 5SM6. Времена отключения УОДП обеспечивают дополнительную и улучшенную защиту от параллельных дуговых пробоев в некоторых пересекающихся областях. Как уже было сказано ранее, только УОДП могут предоставить защиту от последовательных дуговых пробоев. Модульные автоматические выключатели непригодны для таких случаев.



→ n-коэффициент номинального тока (УОДП с $I_n = 16$ А)

Рисунок 21. Защита с помощью модульного автоматического выключателя

На рисунке 22 показаны кривые срабатывания предохранителей gL и кривая отключения для УОДП 5SM6. Здесь тоже очевидно, что времена отключения УОДП обеспечивают дополнительную и улучшенную защиту от параллельных дуговых пробоев в некоторых пересекающихся областях. Из этого примера можно сделать аналогичный вывод о том, что только УОДП могут обеспечить эффективную защиту от последовательных дуговых пробоев.



→ n-коэффициент номинального тока (УОДП с $I_n = 16$ А)

Рисунок 22. Защита с помощью предохранителя

6.3 Оценка

На рисунках 21 и 22 показано, что в большинстве случаев устройства защиты от сверхтоков, установленные во входящей цепи, обеспечивают достаточную защиту от параллельных дуговых пробоев. Тем не менее, УОДП могут дополнить такую защиту в пересекающихся областях, где существует совокупность условий для возникновения пробоя.

Основным преимуществом УОДП является их использование для защиты от последовательных дуговых пробоев. В этом случае времена отклика модульных автоматических выключателей и предохранителей, т. е. тех устройств, которые специально разработаны для линейной защиты, настолько велики, что эти устройства не могут обеспечить надежную защиту от пожара.

7. Определение дуговых пробоев

7.1 Базовая конструкция УОДП 5SM6

На рисунке 23 показана базовая конструкция УОДП 5SM6.

В целях определения все активные провода – в данном случае фазный и нейтральный – проходят через устройство. Линейный провод проходит через два отдельных датчика: датчик тока для определения низкочастотных сигналов (частота сети) и высокочастотный датчик для выявления высокочастотных сигналов. Аналоговое электронное устройство подает сигналы для обработки микропроцессором. Происходит сканирование высокочастотной мощности тока в диапазоне от 22 до 24 МГц. Далее это значение сравнивается с RSSI (индикатором мощности принятого сигнала) и представляет мощность дуги при определенной частоте и полосе пропускания.

Если микроконтроллер обнаруживает, что условия для возникновения дугового пробоя выполнены, то он генерирует сигнал об отключении и через расцепитель направляет его к выключателю. В случае УОДП 5SM6 активируется механическое соединительное звено, чтобы вызвать срабатывание установленного модульного автоматического выключателя или дифференциального автомата. Происходит замыкание контактов установленного защитного устройства и отключение сети электропитания от неисправной детали.

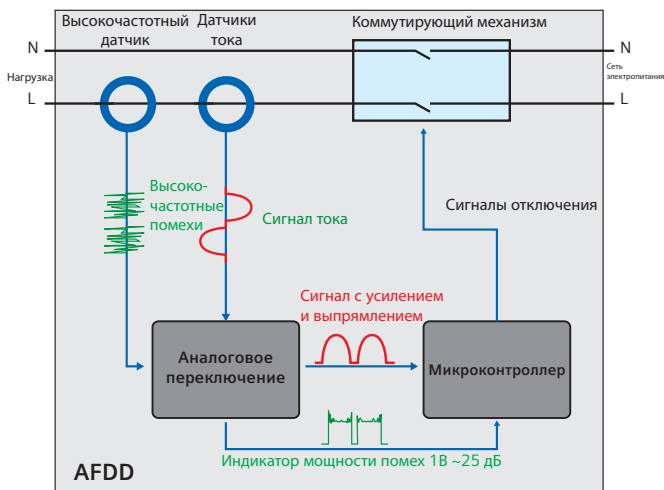


Рисунок 23. Базовая конструкция УОДП 5SM6

7.2 Определение последовательных дуговых пробоев

Определение последовательных дуговых пробоев занимает примерно 80 % от общего количества расчетов, выполняемых аналитическим алгоритмом микроконтроллера. Оставшиеся 20 % отведены на определение параллельных дуговых разрядов.

Определение последовательных дуговых разрядов (см. рисунок 24) основано на проверке RSSI крутизны фронтов. Для расчета опорного сигнала используется производная $dRSSI/dt$. Этот опорный сигнал «получается» из $|dRSSI/dt|$, где фронт лежит в области перехода тока I через ноль. Для того, чтобы система интерпретировала сигнал в качестве дугового пробоя и соответственно инициировала повышение значения интегратора пробоя, должно быть выполнено два условия:

- опорный сигнал > предельного значения G4 и
- RSSI достигает, как минимум, порогового значения G2.

Как только значение на интеграторе пробоя поднимается выше предельного значения G5, микроконтроллер отправляет выключателю команду на выключение.

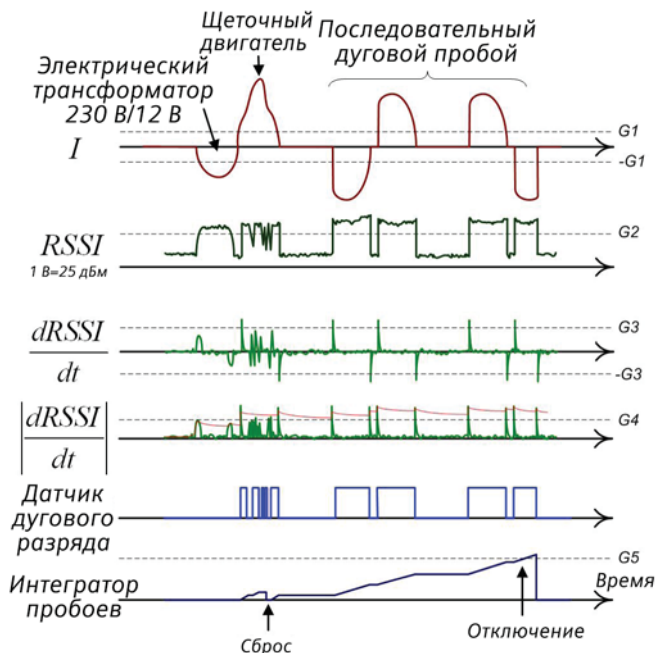


Рисунок 24. Обработка сигнала для оценки последовательных дуговых пробоев

Для предотвращения нежелательных отключений необходимо различать, с одной стороны, дуговые пробои и, с другой стороны, сигналы от таких нагрузок, как щеточные двигатели и трансформаторы электронной аппаратуры, которые при нормальной эксплуатации генерируют значительные уровни высокочастотных помех. Это обеспечивается путем немедленного обнуления значения интегратора пробоя в том случае, если возникают определенные «нетипичные для дуги» события. Таким примером может служить характеристика события, при котором RSSI показывает прерывания в кривой сигнала.

7.3 Определение параллельных дуговых пробоев

Последовательные и параллельные дуговые пробои имеют различные характеристики, и поэтому их анализ проходит разными путями. На рисунке 25 представлен процесс обработки сигнала.

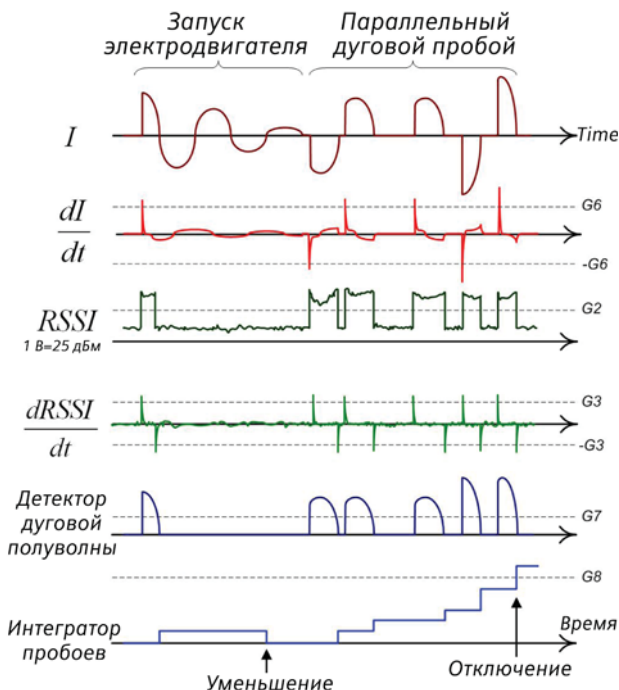


Рисунок 25. Процесс обработки сигнала для оценки параллельных дуговых пробоев

Операция расчета, выполняемая микроконтроллером для определения параллельного дугового пробоя, требует относительно мало времени по сравнению с общим алгоритмом, но это не связано с тем, что определение параллельных дуговых пробоев требует меньше усилий, чем в случае последовательных. Причина, скорее, заключается в том, что некоторые характеристики сигнала, которые рассчитываются для определения последовательных пробоев, могут быть использованы для расчета параллельных дуговых пробоев.

Алгоритм расчета параллельных дуговых пробоев включает определение не только $dRSSI/dt$, но и производной по току dl/dt . Функция определения параллельных дуговых пробоев не активируется до тех пор, пока значение dl/dt не превысит порогового значения G6. Если при этом $RSSI >$ предельного значения G2, то полуволна тока будет также интерпретирована в качестве дугового тока и интегратор пробоя сработает по значению, пропорциональному дуговому току. Если спустя некоторое время другой полуволны дуги не возникает, то интегратор пробоя снова отключается.

Если в течение определенного временного периода возникает достаточное количество полуволн дуги, то интегратор пробоя достигает порогового значения G8 и микроконтроллер отправляет команду на включение установленного защитного устройства (модульного автоматического выключателя или дифференциального автомата) через механическое соединительное звено.

7.4 Предотвращение нежелательных отключений

Для того чтобы защитное устройство полностью удовлетворяло всем требованиям, необходимо, чтобы оно не только надежно защищало от пожаров, возникших по причине неисправности электрооборудования, но и срабатывало только в случаях реальных пробоев. Для УОДП это означает, что устройство должно однозначно отличать дуговые пробои, для которых необходимо отключение в определенных пределах, и рабочие дуги электрических нагрузок, при которых отключение не требуется.

Примеры на рисунке 26 показывают различные варианты электрических нагрузок с высокочастотными компонентами в токовой цепи, сигналы которых – особенно в случае искрения щеток электрической дрели – очень похожи на сигналы дугового пробоя.

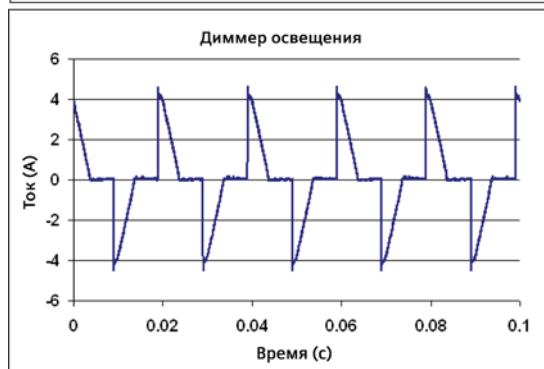
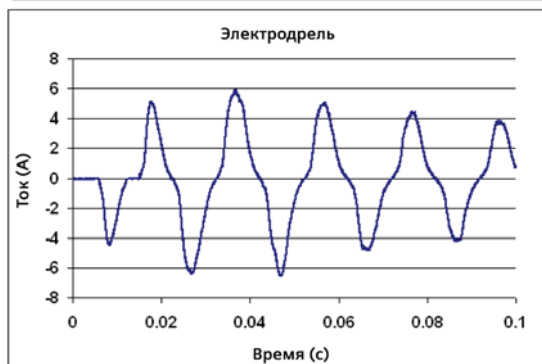
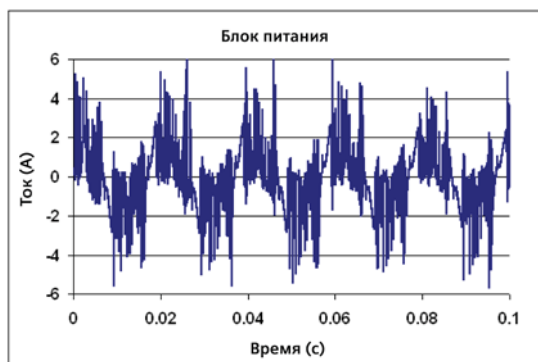


Рисунок 26. Примеры электрических нагрузок с высокочастотными сигналами

К другим эксплуатационным сбоям относятся, например,

- броски пускового тока люминесцентных ламп,
- дуги между контактами термостата, выключателей освещения, штепсельных соединителей.

УОДП не должно срабатывать при появлении таких рабочих сигналов или при возникновении дуговых пробоев в смежной цепи.

Чтобы принять надежное решение о том, надо ли отключать цепь в случае возникновения дугового пробоя, необходимо рассмотреть и сравнить большое количество известных сигналов пробоев (см. рисунок 27).

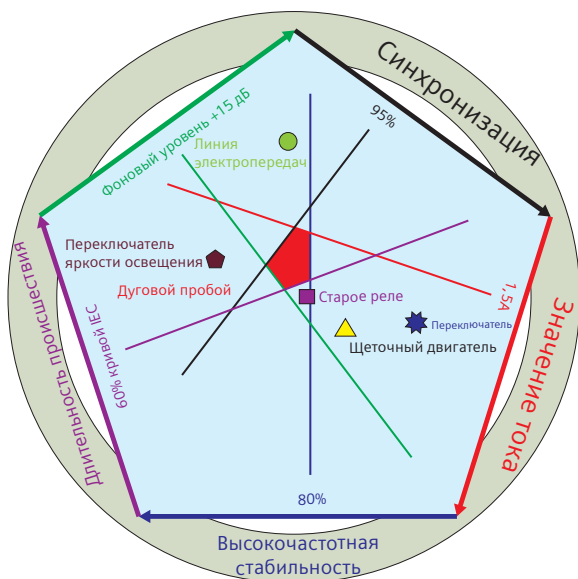


Рисунок 27. Факторы для определения дугового пробоя

Если микропроцессор проанализировал факторы, перечисленные на рисунке 27, и оказалось, что сигнал не находится в красной зоне «дугового пробоя», то он принимает решение «не выключать». Остается определить рабочий статус электрической нагрузки.

Кроме того, для большей защиты от нежелательного отключения были учтены высокочастотные фоновые помехи, существующие в системах электрооборудования.

На рисунке 28 показаны большие значения фоновых помех в диапазоне частот от 15 до 18 МГц. Поэтому для УОДП 5SM6 будет сканироваться диапазон от 22 до 24 МГц.

Этот частотный диапазон отличается особенно низкими помехами и большой разницей между фоновыми помехами и помехами от дуги.

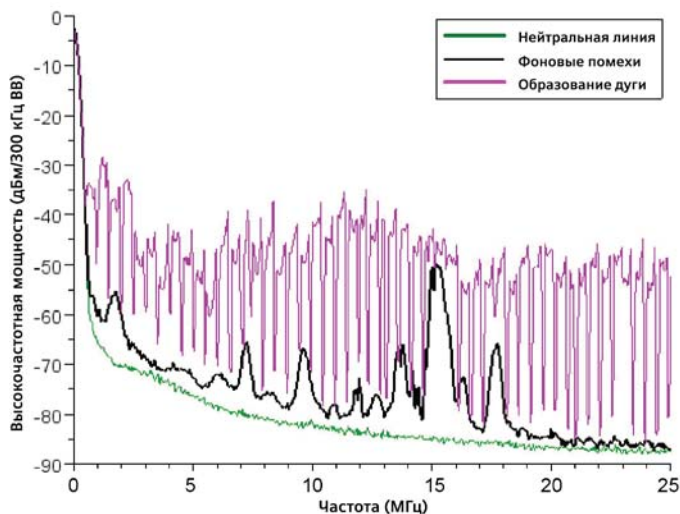


Рисунок 28. Высокочастотные помехи: фоновые помехи и дуги

Описанные параметры и критерии анализа основаны на американском опыте работы с выключателями цепи дугового пробоя и на всестороннем лабораторном анализе и моделировании. Применимость полученных результатов на практике была подтверждена в ходе обширных испытаний в полевых условиях.

8. Стандарты и требования для УОДП

8.1 Общие принципы

Стандарт IEC 60364-1/HD 60364-1 определяет область применения, назначение и принципы конфигурирования низковольтного электрооборудования. Положения раздела 131.3 «Защита от тепловых воздействий» требуют, чтобы система электрооборудования была скомпонована таким образом, чтобы не допустить риска воспламенения горючих материалов в результате повышения температуры или возникновения дуги.

Это может означать только то, что необходимо обеспечить защиту от тех опасностей, которые возникают под действием дуги. До настоящего времени устройства, подходящего для защиты цепей низковольтного оборудования, не существовало. Теперь этот пробел заполнен с помощью УОДП.

8.2 Стандарт продукта

Устройства УОДП подпадают под действие стандарта DIN EN 62606 (VDE 0665-10)/IEC 62606. УОДП 5SM6 было разработано в соответствии с требованиями этого стандарта. Положения стандарта описывают типовые требования и испытания, например, переключающая способность, срок службы, стойкость к тепловым воздействиям и ЭМС, применимые и для других защитных устройств (модульные автоматические выключатели и устройства защитного отключения).

Здесь также перечислены специальные испытательные устройства, которые предназначены для проверки отключения при возникновении последовательных и параллельных дуговых пробоев. Затем выполняется проверка требуемого времени отключения при заданных условиях.

Время отключения для малых дуговых токов (типичных для последовательных дуговых разрядов) определено в виде функции уровня тока дугового пробоя (см. таблицу 1).

Испытательный дуговой ток	2,5 А	5 А	10 А	16 А	32 А
Максимальное время отключения	1 с	0,5 с	0,25 с	0,15 с	0,12 с

Таблица 1. Время отключения для малых дуговых токов

Если значение тока находится в диапазоне от 2,5 до 32 А, то кривая отключения УОДП в случае последовательных дуговых пробоев будет пролегать далеко от кривых теплового отключения для модульных автоматических выключателей и предохранителей (см. рисунки 21 и 22). Пожарная защита реализована с учетом этих значений малого отклика и отключения в кратчайшие сроки.

В данном диапазоне токов кривые отключения для параллельных и последовательных дуговых пробоев идентичны.

Условие отключения, определенное для высоких дуговых токов (см. таблицу 2), относится не к фиксированному времени отключения, а к количеству полуолн дуги, которые возникают в течение 0,5 с. Это связано со случайным характером возникновения и нестабильным поведением параллельного дугового пробоя при высоких токах. Как уже было указано в разделе 6.2, предохранители и модульные автоматические переключатели тоже могут обеспечить защиту от параллельных дуговых пробоев при определенных уровнях тока и выше их, если выполняются условия их отключения.

Испытательный дуговой ток	75 A	100 A	150 A	200 A	300 A	500 A
Максимальное количество полуолн	12	10	8	8	8	8

Таблица 2. Время отключения для параллельных дуговых пробоев

Для оценки правильности работы устройства, помимо прочего, проводятся специальные испытания для проверки режима отключения в условиях дугового отказа и одновременного функционирования различного оборудования. Если оборудование работает, то при отсутствии дуговых пробоев никаких отключений не должно возникать.

8.3 Правила электромонтажа

Использование УОДП пока не является обязательным требованием для установки электрооборудования. Однако такие требования определены в документе DIN VDE 0100-530 «Монтаж низковольтного электрооборудования – часть 530: Выбор и монтаж электрооборудования – распределительные и контрольные устройства» в разделе 532.7 «Оборудование для определения дугового разряда и отключения (AFDD)», с примечанием о том, что в настоящее время обсуждаются подробные требования по определению дугового разряда в распределительных цепях.

Аналогично этому, документ DIN VDE 0100-420 «Монтаж низковольтного электрооборудования – часть 4-42: Защита для обеспечения безопасности – Защита от тепловых воздействий» заявляет, что требование по введению устройств для определения дугового разряда и отключения (AFDD) находится на «проработке». Основой для включения в эти положения подробных требований является соответствующий стандарт продукта, описанный в п. 8.1. Подробные требования будут включены в международные правила по электромонтажу. В 3-ей редакции стандарта IEC 60364-4-42 (международный стандарт, связанный с национальным стандартом

■ DIN VDE 0100-420) будет введено приоритетное требование по установке защитных устройств в распределительных цепях в спальнях и детских комнатах, а также во всех областях, где имеются горючие строительные конструкции. Для остальных помещений с повышенным риском возгораний использование УОДП будет носить рекомендательный характер.

Кроме того, предполагается ввести применение устройств определения дуговых пробоев в стандарт IEC 60364-5-53 (международный стандарт, связанный с национальным стандартом DIN VDE 0100-530).

9. Описание УОДП 5SM6

9.1 Версии продукта

УОДП 5SM6 выпускается в двух версиях для двух разных размеров по модульной ширине. Номинальное напряжение равно 230 В, номинальный ток - 16 А.

УОДП 5SM6 должно использоваться вместе с другим защитным устройством (модульный автоматический выключатель или дифференциальный автомат). В результате такой комбинации получается AFDD (устройство определения дуговых пробоев).

5SM6 011-1

УОДП 5SM6 011-1 предназначено для монтажа компактного модульного автоматического выключателя 5SY60 (1+N с шириной в один модуль) при номинальных максимальных токах до 16 А.

Преимущество:

компактная конструкция с общей модульной шириной в 2 модуля предлагает преимущества при проведении модернизации.



Рисунок 29. УОДП 5SM6 011-1 с установленным модульным автоматическим выключателем 5SY60 и без него

5SM6 021-1

УОДП 5SM6 021-1 предназначено для монтажа модульного автоматического выключателя (1+N с модульной шириной в 2 модуля) из серии 5SY или дифференциального автомата 5SU1 (1+N с модульной шириной в 2 модуля), каждый при номинальных максимальных токах до 16 А.

Преимущество:

решение с дифференциальным автоматом обеспечивает **полную защиту** от перегрузок, коротких замыканий, дифференциальных токов и возгорания.



Рисунок 30. УОДП 5SM6 021-1 с установленным дифференциальным автоматом 5SU1 и без него

9.2 Общие характеристики

а) Монтаж.

УОДП 5SM6 может быть дополнено на месте подходящим модульным автоматическим выключателем или дифференциальным автоматом и легко и быстро установлено на стандартной монтажной рейке без использования каких-либо инструментов. Можно устанавливать различные версии с номинальными токами до 16 А, разными перегрузочными характеристиками и коммутационными способностями. Это позволяет оптимизировать складские запасы.

б) Срабатывание.

УОДП определяет и анализирует дуговой пробой. Отключение осуществляется через работающее токовое реле, которое через соединительный механизм механически отключает установленный модульный автоматический выключатель или дифференциальный автомат. Это обеспечивает размыкание цепи.

в) Ввод питания.

Подача электропитания в устройства осуществляется снизу. Например, подача электропитания через сеть шинопроводов может обеспечить устойчивое и надежное питание.

г) Дополнительные компоненты.

К УОДП 5SM6 могут быть подключены различные дополнительные компоненты, например, вспомогательные блок-контакты состояния или срабатывания. Таким образом можно обеспечить подключение к системе управления более высокого уровня, и сообщение об отключении поступит в центральную диспетчерскую.

9.3 Специальные характеристики

- а) Регулярное функциональное самотестирование.
УОДП 5SM6 имеет встроенную функцию самотестирования (схему см. на рисунке 31).

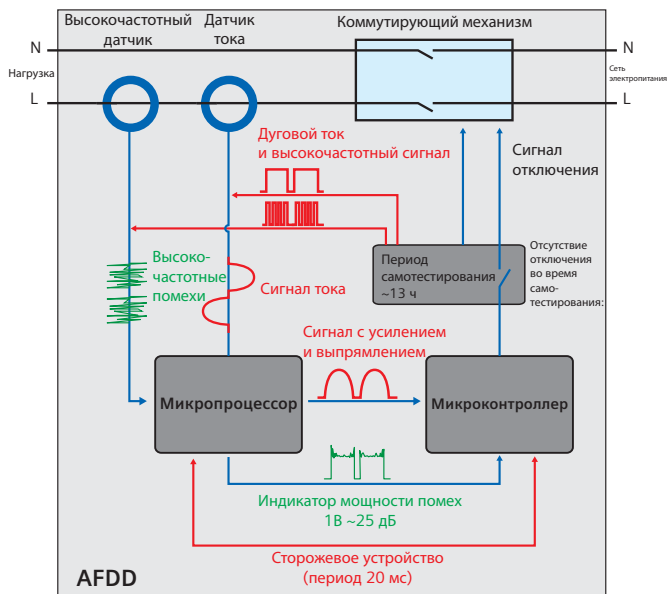


Рисунок 31. Схема внутренней функции самотестирования

Это самотестирование автоматически запускается каждые 13 часов, чтобы проверить работоспособность микропроцессора и алгоритмов определения. Программное обеспечение микроконтроллера генерирует синтетические высокочастотные и токовые сигналы, которые подобны сигналам дугового пробоя. Эти сигналы поступают в цепь обнаружения системы после датчиков, затем они оцениваются аналоговой цепью и микроконтроллером. Теперь микроконтроллер должен сгенерировать команду отключения. Во время самотестирования сигнал отключения для реле расцепления отключается на короткое время (мс), чтобы избежать практического отключения устройства. После успешного завершения проверки путь отключения снова вводится в действие.

Отрицательный результат проверки приведет к немедленному отключению устройства. Однако самотестирование будет отложено, если существуют начальные признаки реального дугового пробоя или повышенное потребление тока в соответствующей распределительной цепи выше среднего уровня.

Концепция проверки дополнена внешним сторожевым устройством, которое проверяет процесс выполнения программы и целостность прошивки каждые 20 мс.

б) Защита от перенапряжения.

Если напряжение между фазным и нейтральным проводами возрастает из-за системных отказов, например, обрыв нейтрального провода, то УОДП отключит систему при напряжениях более 275 В. Таким образом подключенные нагрузки будут защищены от возможного повреждения при перенапряжении.

в) Рабочие индикаторы состояния.

Светодиод в передней части показывает рабочее состояние устройства. Он предоставляет пользователю простую и понятную информацию о причинах отключения (см. рисунок 32).

			УОДП включено и работает
			Срабатывание: последовательный дуговой пробой
			Срабатывание: параллельный дуговой пробой
			Срабатывание: перенапряжение > 275 В
			УОДП не готово
			Отсутствует напряжение питания

Рисунок 32. Сообщения рабочего индикатора состояния

В случаях, помеченных *), рекомендуется уведомить специалиста-электрика, который сможет подробно проанализировать причину появления конкретного сообщения.

При проведении начального анализа неисправности будут полезны подробные пояснения в разделе 10.2.

10. Руководство

10.1 Установка УОДП

УОДП 5SM6 предназначено для защиты распределительных цепей, в частности, осветительных приборов и штепсельных розеток. Оно должно устанавливаться в начале цепи, чтобы защитить всю цепь. Целесообразно устанавливать по одному устройству для каждой отдельной распределительной цепи. В результате можно получить следующие преимущества:

- ограничение количества поврежденных нагрузок и кабельных сегментов;
- простота обнаружения места пробоя;
- снижение числа нежелательных отключений, вызванных наложенными помехами.

10.2 Порядок действий после срабатывания УОДП

Как уже было сказано в разделе 10.1, установка УОДП в отдельную распределительную цепь облегчает поиск места пробоя, поскольку позволяет изначально сузить поле поиска.

После появления какого-либо сообщения на рабочем индикаторе состояния рекомендуется выполнить следующую процедуру (см. таблицу 3).

Обозначение	Значение	Проверка/причина	Действие (я)
	Последовательный дуговой пробой	а) - Проба на запах: «Запах пластика»? - Видимое изменение цвета пластика (штепсельная розетка, переключатель, нагрузка)?	а) Отключите неисправную нагрузку от сети → замените или отремонтируйте б) Отсоедините и выключите все приборы (освещение) и снова включите УОДП → Отключение происходит снова: уведомите специалиста-электрика → Отключение отсутствует: включайте и подсоединяйте нагрузки одну за другой, пока не произойдет отключение → Проверьте неисправность устройства (при необходимости уведомите специалиста-электрика)
	Параллельные дуговые пробои	б) Снова включите УОДП. Если отключение повторяется через короткое время, в) Снова включите УОДП → отключений не происходит. Есть ли у нагрузки признаки неисправности выключателя, поврежденного кабеля, видимого изменения цвета на/в стене (может быть, в соседней комнате)?	в) Включите подозрительный выключатель и дождитесь реакции УОДП → Отремонтируйте, при необходимости привлечите специалиста-электрика Неисправность кабеля → Отремонтируйте с привлечением специалиста-электрика В случае изменения цвета: уведомите специалиста-электрика Если выполнение действий с а) по в) не дало никакого результата, рекомендуется обратиться к специалисту-электрику, чтобы он проверил сопротивление изоляции системы/нагрузок.
	Перенапряжение > 275 В	Существует длительное состояние перенапряжения между проводами L и N.	Если пробой возникает снова после очередного включения УОДП, то вам необходимо обратиться в энергосбытовую компанию и узнать о том, были ли какие-либо сбои в подаче питания. Если таких случаев не было, то договоритесь со специалистом-электриком о проверке системы.
	УОДП не готово	УОДП имеет внутреннюю неисправность.	Позвоните специалисту-электрику, чтобы он проверил/заменял УОДП.
	Отсутствует напряжение питания	а) Проверьте общую работоспособность источника питания. б) Проверьте, не отключило ли входящее защитное устройство подачу электропитания.	а) Дождитесь включения источника питания б) Проверьте причину отключения (при необходимости уведомите специалиста-электрика) и включите защитное устройство после устранения причины

Таблица 3. Рабочие состояния и рекомендуемые действия

11. Примеры применения

УОДП должны устанавливаться в начале распределительных цепей. В случае пробоя линейный и нейтральный провода отключаются от сети, чтобы обеспечить требуемую защиту от пожаров, вызванных образованием дуги.

Общее требование по защите от опасных последствий дуговых пробоев, как описано в разделе 8.1, особенно применимо к тем помещениям, где существует повышенный риск.

Здесь представлены некоторые конкретные примеры тех случаев, где распределительные цепи должны быть защищены с помощью УОДП, особенно штепсельные розетки и осветительные приборы.

- а) Возгорание обнаружено слишком поздно или не полностью, в результате может возникнуть смертельная опасность для людей, находящихся
 - в спальнях и детских комнатах
 - домах пожилых людей
 - детских садах
 - школах, университетах
 - больницах
 - кинотеатрах.
- б) Поблизости расположены быстро воспламеняемые материалы, используемые при постройке
 - домов из дерева или экологических строительных материалов
 - легковесных конструкций и помещений с обшивкой деревянными панелями
 - переоборудованных чердаков.
- в) Поблизости расположены быстро воспламеняемые материалы, хранимые
 - в конюшнях/амбарах
 - столярных мастерских/пекарнях
 - помещениях с повышенным пожарным риском.
- г) Пожар может вызвать повреждения ценных зданий или объектов, таких как
 - библиотеки
 - музеи
 - памятники архитектуры.

В добавление к данным примерам существуют общие риски для старых систем электрооборудования, где особенно высока вероятность потери контакта или повреждения изоляции.

12. Перспектива

УОДП 5SM6 представляет собой новое защитное устройство для систем электрооборудования, которое способствует эффективному снижению числа пожаров, возникших по причине электрооборудования.

Первыми на рынок были выпущены устройства, предназначенные для защиты однофазных распределительных цепей с номинальными токами до 16 А. За ними последуют версии для распределительных цепей с более высокими номинальными токами и для трехфазных применений. В будущем может понадобиться защита от дуговых пробоев в цепях постоянного тока, таких как фотоэлектрические энергетические установки.

По всей вероятности, в течение следующих нескольких лет использование УОДП 5SM6 в определенных системах электрооборудования будет регламентировано правилами по электромонтажу.

13. Источники и литература

Помимо других источников, в процессе подготовки данного руководства были использованы следующие материалы, ссылки и публикации, к которым можно обратиться для получения дополнительной информации.

GDV (Gesamtverband der deutschen Versicherungswirtschaft e.V.):
www.gdv.de/Downloads/Schwerpunkte/GDV_Adventsbraende_in_Zahlen_2008-2009.pdf
www.gdv.de/Presse/Archiv_der_Presseveranstaltungen/Presseveranstaltungen_2001/Presseforum_Schaden_und_Unfall_2001/inhaltsseite12184.html

F. Berger, "Der Störlichtbogen – ein Überblick", TU Ilmenau, VDE AKK-Seminar 2009

vfdb Technisch-Wissenschaftlicher Beirat (Arbeitsgruppe Brandschutzforschung) www.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Elementbibliothek/Bibliothek_Feuerwehr/idf_dokumente/Kontexmen%c3%bc/Denkschrift_BS-Forschung.pdf

VdS Schadenverhütung GmbH: www.vds.de/de/

John J. Shea, «Glowing Contact Physics» (Физика тлеющего контакта), Eaton Corp., IEEE 2006

JM Martel, "Serielle Störlichtbögen in Elektroinstallationen im Niederspannungsbereich", «Сименс», AKK-Seminar 2009

M. Anheuser, JM. Martel, Störlichtbögen in der Haustechnik, HDT-Seminar, Munich Dec 2011

JM. Martel, M. Anheuser, A. Hueber, F. Berger, F. Erhardt, "Schutz gegen parallele Störlichtbögen in Hauselektroinstallation", VDE AKK-Seminar 2011

IEC 23E/742/CDV: 2012-02: IEC 62606, ред. 1.0: Общие требования к устройствам определения дуговых пробоев (AFDD)

DIN VDE 0100-100:2009-06: Низковольтное электрооборудование – часть 1: Основные принципы, оценка общих характеристик, определения

DIN VDE 0100-530:2011-06: Монтаж низковольтного электрооборудования – часть 530: Выбор и монтаж электрического оборудования – распределительные и контрольные устройства

Список рисунков и таблиц

- Стр. 5, рис. 1. Причины пожаров в Германии в 2010 году
- Стр. 5, рис. 2. Статистика по дефектам в системах электрооборудования (2007 год)
- Стр. 6, рис. 3. Дания: пожарная статистика за 2005 год; общее количество: 16 551 пожаров
- Стр. 6, рис. 4. Финляндия: пожарная статистика за 2006 год; общее количество: 1 860 пожаров
- Стр. 7, рис. 5. Норвегия: пожарная статистика за 2002-2006 годы; общее количество: 9 200 пожаров
- Стр. 7, рис. 6. Результаты наблюдений, сделанных в США перед началом пожаров, вызванных электрооборудованием
- Стр. 8, рис. 7. Гвоздь или винт
- Стр. 8, рис. 8. Передавленный зажим
- Стр. 8, рис. 9. Слишком маленький радиус изгиба
- Стр. 9, рис.10. Пережатый кабель
- Стр. 10, рис.11. Виды дуговых пробоев
- Стр. 12, рис.12. Виды пробоев и защитные устройства, подходящие для защиты от пожара
- Стр. 13, рис.13. Дуга касания
- Стр. 14, рис.14. Дуга поверх проводящего изоляционного промежутка
- Стр. 14, рис.15. Возникновение пожара из-за последовательных дуговых пробоев
- Стр. 17, рис.16. Развитие дуги для примера 2 A/240 В
- Стр. 19, рис. 17. Развитие дуги для примера 5 A/240 В
- Стр. 20, рис.18. Энергия значительного пламени в зависимости от тока нагрузки
- Стр. 20, рис.19. Возгорание в зависимости от тока нагрузки
- Стр. 22, рис.20. Вольт-амперная характеристика параллельного дугового разряда
- Стр. 24, рис. 21. Защита с помощью модульного автоматического выключателя
- Стр. 25, рис. 22. Защита с помощью предохранителя
- Стр. 26, рис. 23. Базовая конструкция УОДП 5SM6
- Стр. 27, рис. 24. Обработка сигнала для оценки последовательных дуговых пробоев
- Стр. 28, рис. 25. Процесс обработки сигнала для оценки параллельных дуговых пробоев
- Стр. 30, рис. 26. Примеры электрических нагрузок с высокочастотными сигналами
- Стр. 31, рис. 27. Факторы для определения дугового пробоя

- Стр. 32, рис. 28. Высокочастотные помехи: фоновые помехи и дуги
- Стр. 33, табл. 1. Время отключения для параллельных дуговых пробоев
- Стр. 33, табл. 2. Время отключения для параллельных дуговых пробоев
- Стр. 35, рис. 29. УОДП 5SM6 011-1 с установленным модульным автоматическим выключателем 5SY60 и без него
- Стр. 36, рис. 30. УОДП 5SM6 021-1 с установленным дифференциальным автоматом 5SU1 и без него
- Стр. 37, рис. 31. Схема внутренней функции самотестирования
- Стр. 38, рис. 32. Сообщения рабочего индикатора состояния
- Стр. 41, табл. 3. Рабочие состояния и рекомендуемые действия