

АППАРАТУРА ДУГОВОЙ ЗАЩИТЫ

# Техническое описание устройств защиты от дугового пробоя

## Дуговые пробои и функционирование УЗДП



- Полная защита от дуговых пробоев, перегрузки по току и коротких замыканий
- Быстрая кроссировка и монтаж
- Возможность подключения питания сверху и снизу
- Совместимость с устройствами линейки System pro M compact®
- Простой поиск неисправностей сети благодаря светодиодной индикации

Компания АВВ предлагает широкий ассортимент распределительных устройств низкого напряжения с установкой на DIN-рейку для систем энергоснабжения жилых, коммерческих и промышленных зданий, обеспечивающих защиту, измерение и контроль параметров сети в соответствии с высочайшими стандартами надежности, качества и безопасности.

Быстрое обнаружение и устранение дуговых коротких замыканий в электроустановках бытового и коммерческого назначения помогает избежать возгораний в проводке и, следовательно, угрозы человеческим жизням и целостности дорогостоящего оборудования. Изготовленные в соответствии с международным стандартом «МЭК 62606 — Общие требования к устройствам защиты от дугового пробоя», устройства защиты от дуговых пробоев компании АВВ снижают риски пожаров в результате неисправностей энергосистемы.

В представляемом руководстве объясняется физическая природа электрической дуги, описывается механизм функционирования устройства защиты от дуговых пробоев, их основные особенности и преимущества.

## Содержание

001	Содержание, определения, выражения, сокращения
002	Введение
003 – 005	Пожары
006 – 009	Электрическая дуга
010 – 015	Устройства защиты и дуговые КЗ
016 – 021	Нормативная база
022 – 023	УЗДП S-ARC1 и DS-ARC
024	Источники и литература

### Определения, выражения, сокращения

УЗДП	Устройство защиты от дуговых пробоев
ПДКЗ	Прерыватель дугового короткого замыкания
АВ	Автоматический выключатель
АВДТ	Автоматический выключатель дифференциального тока
ВДТ	Выключатель дифференциального тока без защиты от сверхтоков
УЗО	Устройство защитного отключения
УЗИП	Устройство защиты от импульсных перенапряжений

## Введение

Первый прерыватель дугового короткого замыкания (ПДКЗ) был запатентован в США в 1980 году. ПДКЗ представляет собой устройство, предназначенное для обнаружения разрядов электрической дуги, которое было предписано для использования Национальным электротехническим кодексом (NEC, US Wiring Regulation) в январе 2008 года.

Правила, в частности, устанавливали обязательное использование ПДКЗ для защиты всех цепей 15–20 А в некоторых помещениях жилых домов. Согласно NEC, ПДКЗ — это «устройство, предназначенное для обеспечения защиты от последствий дуговых коротких замыканий путем распознавания

характеристик, свойственных только горению дуги, и обесточивания цепи при обнаружении дугового короткого замыкания».

В начале 2012 года в семейство стандартов МЭК начало вводиться понятие устройства защиты от дуговых пробоев (УЗДП), а в августе 2013 года были опубликованы Технические стандарты на продукцию МЭК 62606, в которых изложены требования к этому типу приборов.



## Пожары

### Физическая природа явления

Пожар — это быстрое неконтролируемое окисление материала в процессе экзотермического химического горения, сопровождающийся выделением тепла, света и различных продуктов реакции. Возгорание происходит при наличии трёх основных элементов: горючего (легковоспламеняющегося) вещества, кислорода и подходящей температуры. На рисунке 1 показаны стадии развития пожара. Чтобы охватить все помещение, огню требуются всего три минуты, потому что сегодня используется больше легковоспламеняющихся материалов, чем в прошлом. На первом этапе воспламенения пары горючих веществ инициируют процесс горения, который легко поддается контролю. На стадии распространения эта энергия питает

пламя, обуславливая медленное повышение температуры и выделение дыма. На этой стадии пожар еще не полностью разгорелся, и его необходимо локализовать, чтобы избежать перехода пожара в стадию объемного развития. В последнем случае происходит резкое повышение температуры и увеличение количества материала, участвующего в горении. Пламя достигает крайне высоких температур (даже выше 1000 °С), и горение становится неконтролируемым и продолжается, пока остается топливо и кислород, а затем наступает стадия затухания. Таким образом, контроль и локализация пожара до наступления стадии объемного развития имеют критическое значение.

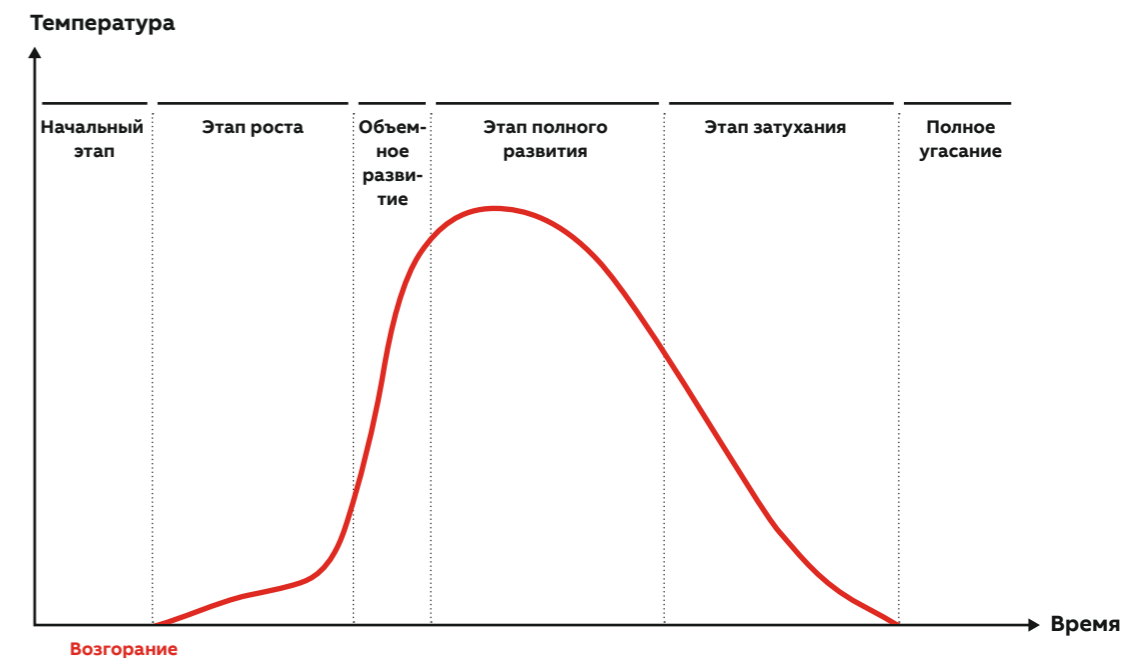


Рис. 1: Стадии развития пожара

## Причины и статистика

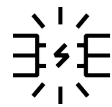
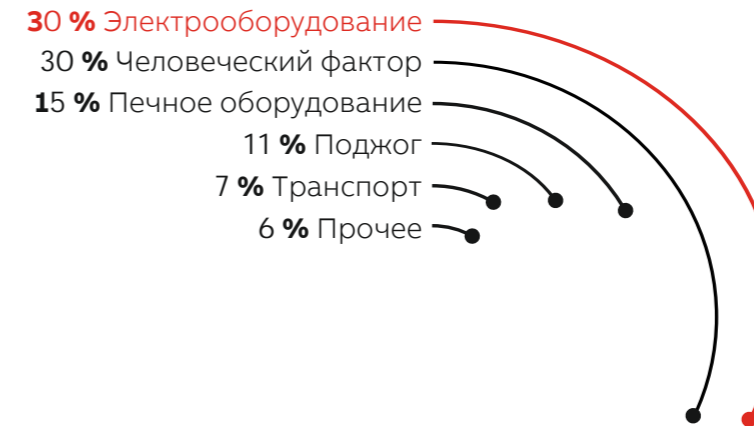
Ежегодно в России регистрируется порядка 140 000 пожаров различных видов, при этом 90 % из них происходят в жилых зданиях. Каждый год в пожарах гибнет около 9000 россиян — примерно 25 смертей в сутки, и более 9000 человек попадают в больницы с тяжёлыми травмами (источник: vniipro.ru)

На рисунке 2 показаны причины пожаров на основе данных по России (источник: vniipro.ru, 2015-2018 г.).

Как видно, по вине неполадок с электрикой пожары возникали в 30% случаев, особенно в жилых помещениях. Был причинен не только материальный ущерб: от воздействия дыма, огня и пламени погибло 7500 человек.

Основная причина пожаров электрического происхождения — неисправности в электроустановках, виды которых описаны ниже.

Рис. 2:  
Причины пожаров в  
России (2015-2018г.)



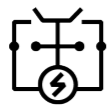
**Короткое замыкание (КЗ)** – непредусмотренное нормальными условиями работы соединение двух или нескольких точек электрической цепи, находящихся в рабочем режиме под разными напряжениями, проводником с малым сопротивлением.

Короткое замыкание сопровождается резким увеличением тока через место КЗ, что сопровождается термическим, электродинамическим и дуговым эффектом.

Термический эффект вызван разогревом проводников от источника питания до места КЗ до нескольких сотен (иногда более тысячи градусов). При этом элементы проводов и аппаратуры, изготовленные из изоляционных материалов, расплавляются и даже могут самовоспламениться.

Электродинамический эффект связан с появлением сил между проводниками с электрическим током (силы Ампера), что вызывает механическое повреждение (часто носящее взрывной характер) электропроводки.

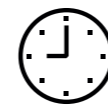
Дуговой эффект КЗ связан с прохождением тока КЗ через небольшие воздушные промежутки, в результате воздух разогревается до температуры в несколько тысяч градусов и переходит в состояние ионизированной плазмы (становится хорошим проводником электричества). Процесс сопровождается вспышкой, искрением, ярким и устойчивым горением.



**Режим перегрузки** - это такой режим работы, при котором происходит превышение фактического значения тока как отдельных элементов, так и электрической цепи в целом над номинальным значением. Перегрев проводника может привести к повреждению изоляции и пожару с воспламенением окружающих горючих материалов.



**Переходные перенапряжения** или скачки напряжения, связанные с ударами молнии, вызывают пробой изоляции, следствием которых могут быть повреждение электронных компонентов (микросхем, экранов, блоков питания и др.) и самовозгорание проводки.



**Длительные перенапряжения** (от нескольких секунд до нескольких минут) — напряжения, которые могут быть невысокими, но достаточно продолжительными, чтобы вызвать повреждение элементов системы и, как следствие, возгорание определенных элементов электрического оборудования, если они не рассчитаны для работы в таких условиях. Такие перенапряжения могут быть вызваны неисправностями в питающей сети (обрыв нулевого провода, короткое замыкание на землю высоковольтного сетевого кабеля).



**Повреждение изоляции** также представляет проблему. Новые изоляционные материалы имеют очень высокое поверхностное сопротивление (трекинговую стойкость), предотвращающее протекание токов утечки по поверхности диэлектрика, но со временем загрязнение приводит к отложению материалов (например, пыли) и другим типам загрязнений. Если эти отложения поглощают влагу, они могут превратить поверхность изоляции в проводник. Если отложения остаются сухими, значения поверхностного сопротивления сохраняются, что устраняет опасность токов утечки по поверхности диэлектрика. Но если поверхность изоляционного материала сохнет, локально могут появляться микродуги (мерцание), ухудшающие свойства материала и приводящие к локальному нагару, что увеличивает ток поверхностной утечки. Если ток превышает 300 мА, для воспламенения нагара будет достаточно нагретой поверхности и возникающих искр. Иногда ток может протекать через проводник защитного заземления и обнаруживаться устройством дифференциального тока. В других случаях необходимо специальное устройство, такое как индикатор дугового пробоя.



**Электрооборудование, не соответствующее нормативным требованиям**, в старых зданиях (например, неправильное использование розеточных блоков и удлинителей) также может привести к пожару. Доступные в настоящее время защитные устройства, такие как миниатюрные автоматические выключатели (АВ), устройства дифференциального тока (УДТ), устройства защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП) и защита от повышения напряжения промышленной частоты, могут гарантированно выполнить отключение при перегрузке по току, возникновении токов утечки и перенапряжении соответственно. Повреждение изоляции и нарушение норм, предъявляемых к электрооборудованию могут стать причиной дуги (в том числе, при отсутствии тока утечки), которую необходимо нейтрализовать с помощью устройства защиты от дугового пробоя.

# Электрическая дуга

## Физическая природа явления

Электрическая дуга обычно возникает между двумя токопроводящими частями с различным напряжением, между которыми происходит диэлектрический пробой. При определённых условиях твёрдый или газообразный диэлектрик становится проводником за счёт ионизации материалов на поверхности диэлектрика или за счёт ионизации атомов газа. Выделяют два вида ДКЗ:

- **Параллельный дуговой пробой** — пробой изоляции между нормально изолированными токопроводящими частями
- **Последовательный дуговой пробой** — частичный обрыв и непреднамеренное отключение проводника, который в нормальном состоянии непрерывен.

В первом случае дуга состоит в основном из паров металла (главным образом углерода), выделяемых контактами. Среда вокруг дуги будет обогащаться ионизированными частицами в результате их взаимодействия с установившимся тепловым режимом. Развитие дуги связано с напряжением и расстоянием между двумя контактами, что графически представлено на «кривой Пашена». На кривой показано напряжение пробоя в ионизированном газе, которое зависит от произведения давления газа и расстояния между проводниками. Например, как видно на рисунке 3, оно возникает при минимальном напряжении пробоя (до 101 кПа и на расстоянии 7,5 мкм), равному 327 В постоянного тока, с учетом воздуха между двумя проводниками.

Рис. 3:  
Кривая Пашена для воздуха и других газов

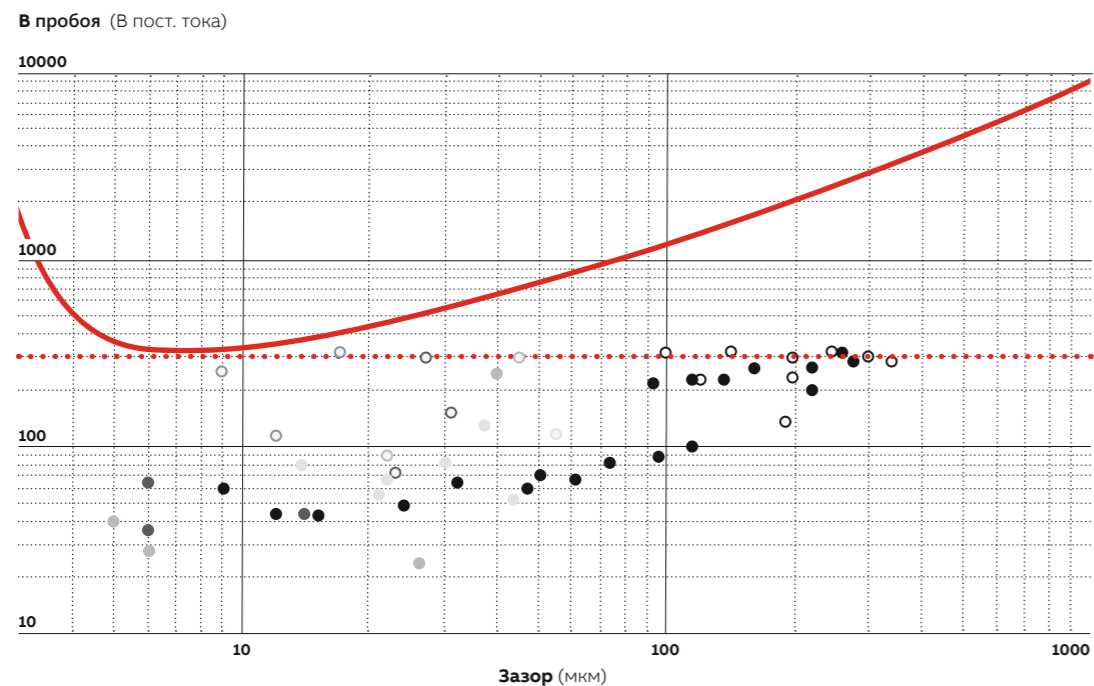


Рис. 4:  
Строение электрической дуги

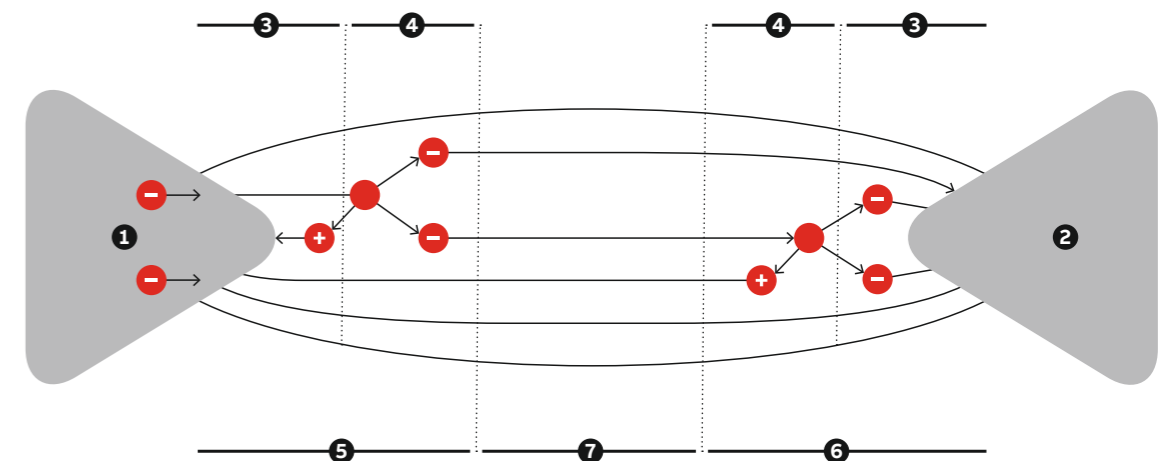
На основе данных для величины диэлектрической проницаемости (кривая Пашена) можно предположить, что в цепи низкого напряжения невозможно зажечь электрическую дугу при 230 В. Однако было продемонстрировано, что присутствие частиц углерода, высвобождаемых в результате процесса плавления изоляции, снижает пороговое значение напряжения и, следовательно, увеличивает вероятность горения дуги.

Фактически повреждённый проводник может способствовать возникновению электрических дуг между соприкасающимися контактами. В данном примере ток протекает через повреждённый участок, и в результате плотность тока, как правило, растёт. Повышение тепла в зоне воздействия эффекта Джоуля приводит к перегреву изоляции. Медные части в этот момент окисляются, а затем свариваются и начинают обугливать изоляцию.

Таким образом, между двумя проводниками образуется воздушный зазор, и на поверхности изоляции начинают появляться небольшие дуги.

Физическое строение дуги в целом делится на три части, как показано на рисунке 4.

Столб дуги занимает наибольшую протяженность дугового промежутка между катодной и анодной областями. Основным процессом образования заряженных частиц здесь является ионизация газа. Этот процесс происходит в результате соударения заряженных и нейтральных частиц газа. При достаточной энергии соударения из частиц газа происходит выбивание электронов и образование положительных ионов. Такую ионизацию называют ионизацией соударением. Соударение может произойти и без ионизации, тогда энергия соударения выделяется в виде теплоты и идёт на повышение температуры дуги. Образующиеся в столбе дуги заряженные частицы движутся к электродам: электроны — к аноду, ионы — к катоду. Часть положительных ионов достигает катодного пятна, другая же часть не достигает и, присоединяя к себе отрицательно заряженные электроны, ионы становятся нейтральными атомами. Температура столба дуги достигает 6000–8000 °С и более.

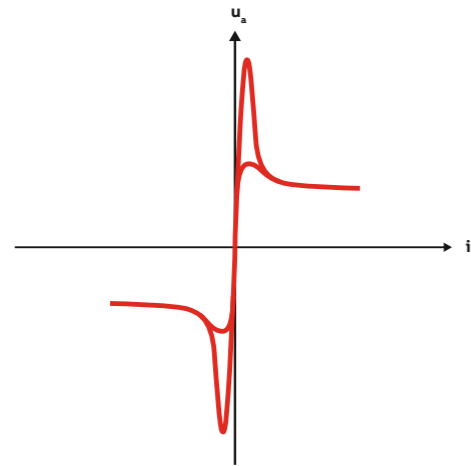


1. Катод
2. Анод
3. Сектор объемного заряда
4. Переходный сектор

5. Катодная зона
6. Анодная зона
7. Столб дуги

## Кривые и стабильность дуги

Рис. 5:  
Характеристика дуги в стабильном состоянии



Дуга может быть описана вольт-амперной характеристикой (ВАХ), которая демонстрирует значения напряжения, требуемые для поддержания горения дуги и влияющая на изменение её тока. В цепях переменного тока, напряжение питания изменяется по синусоидальному закону, поэтому кривая ВАХ имеет положительную и отрицательную часть, где  $U_d$  — напряжение дуги, а  $I$  — её ток.

В частности, кривая первого квадранта (соответствующая положительным значениям тока) сначала увеличивается, а затем уменьшается. Это повторяется в третьем квадранте, когда напряжение питания переходит в отрицательную полуволну. Соединительные участки между кривыми двух квадрантов соответствуют моментам, когда ток меняет знак. Ток дуги также отличается от идеального синусоидального тока. Как показано на рисунке 6, при переходе идеальной кривой тока через ноль он принимает форму с «плечами».

Основная причина в том, что источник питания не способен поддерживать дугу в эти краткие моменты. На рисунках 6 и 7 также представлены графики кривых тока и напряжения дуги, при активной нагрузке.

По предыдущим кривым можно заметить, что синусоидальный характер цепи питания отражается на характеристике дуги при пересечении с нулём как напряжения, так и тока, с последствиями в виде затухания и возможного повторного пробоя.

Рис. 6:  
Форма кривой тока дуги (в сравнении с синусоидальной формой при частоте 60 Гц)

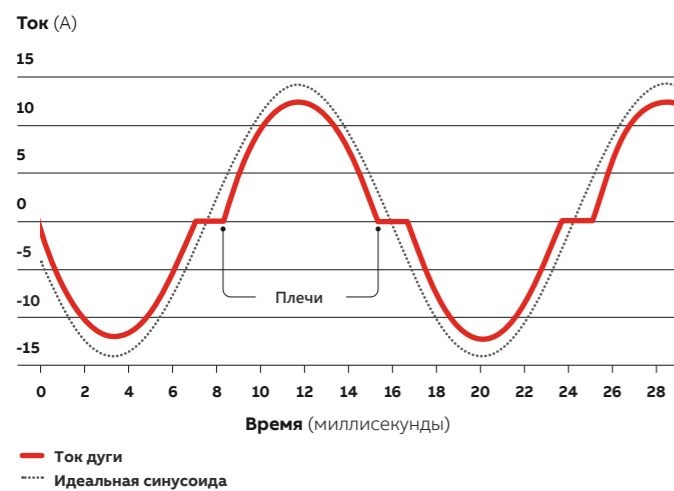


Рис. 7:  
Форма тока и напряжения дуги при частоте 60 Гц

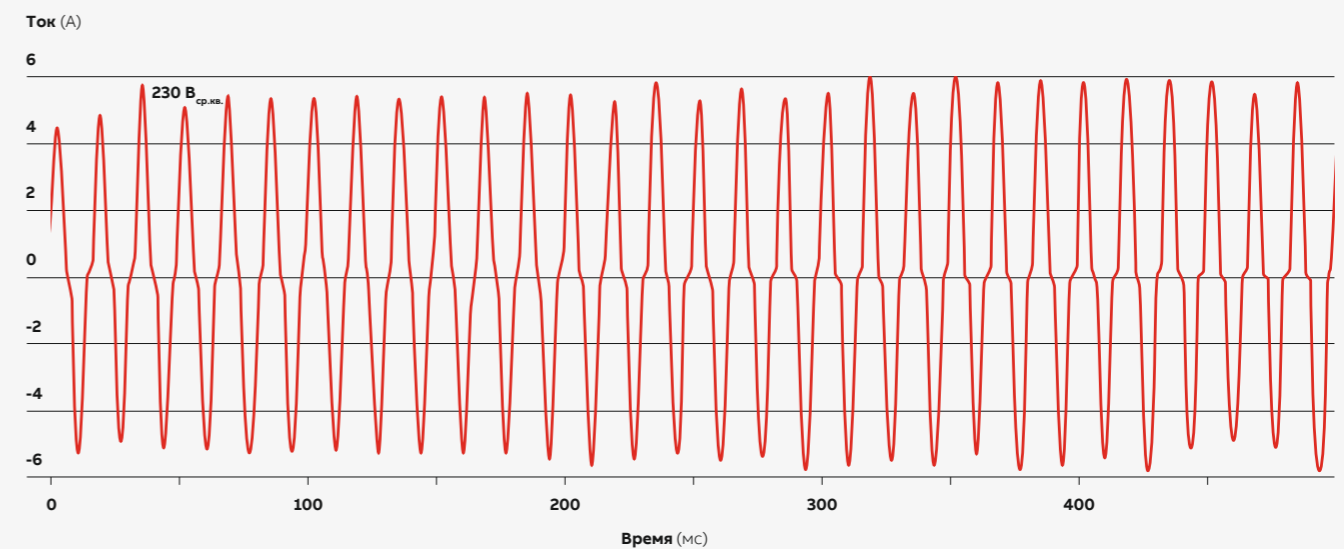
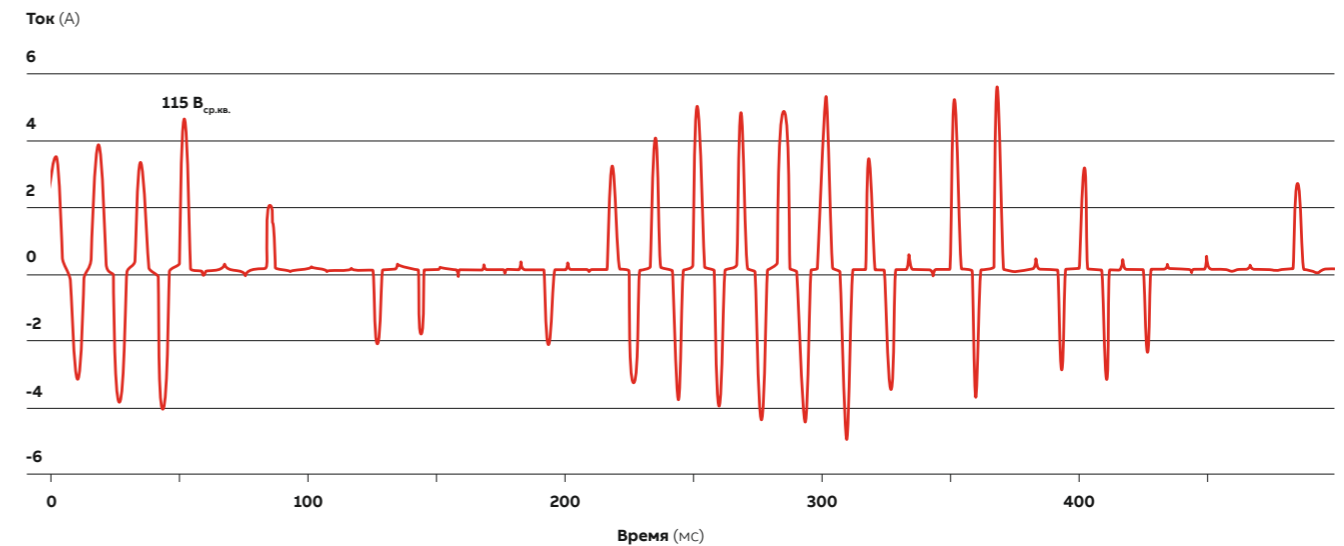
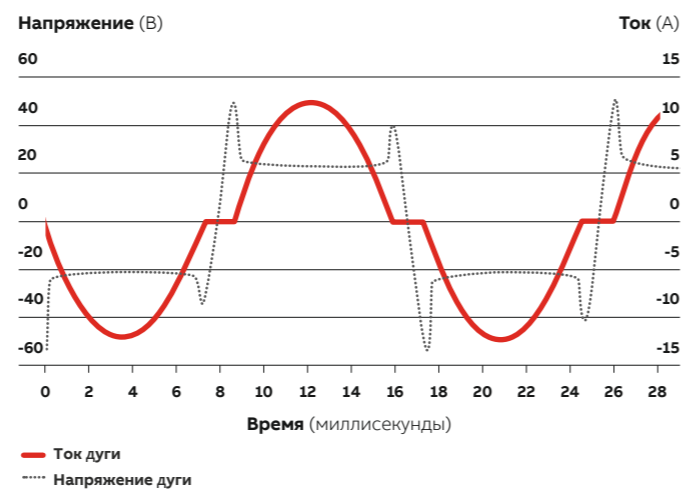


Рис. 8:  
Ток дуги при действующем значении напряжения источника 115 В (сверху) и 230 В (снизу)

Вероятность образования дуги, как правило, предсказать сложно, а её интенсивность, кривая и потенциальная возможность возникновения пожара зависят от многих переменных факторов, таких как:

- напряжение между токопроводящими частями,
- расстояние между токопроводящими частями,
- электрическая нагрузка (при её наличии), последовательная или параллельная дуговому промежутку,
- локальные условия тепловыделения,
- окружающие материалы, способные гореть, обугливаться или выделять горючие газы.

В частности, стабильность дуги во многом обеспечивается ростом напряжения (и, следовательно, тока). Рассмотрим, как пример, два разных действующих значения напряжения источника питания - 115 и 230 В. В случае 230 В действующее значение тока дуги снижается сильнее в сравнении с 115 В (см. рис. 8), по причине большей термоэмиссии электронов и большей вероятности повторного пробоя после пересечения с нулём.

# Устройства защиты и дуговые КЗ

## Классификация дуговых коротких замыканий

Вызванные электрической дугой замыкания обычно затрагивают, как минимум, один активный проводник. Нагрузка, как правило, заземляется и в системах с глухозаземлённой нейтралью (система TN), и в системах с изолированной от трансформаторной подстанции нейтралью (системы TT или IT). Наличие защитного проводника PE — необходимое условие для каждой рассматриваемой системы. Последовательные дуговые пробои между нулевым проводником и PE исключаются, поскольку ток и напряжение недостаточно высоки для возникновения дуги. Для систем с разделённым нулевым защитным и нулевым рабочим проводниками (TN-S) пробои могут быть представлены так, как на рисунке 9.

Рис. 9:  
Пробои в общей распределительной сети

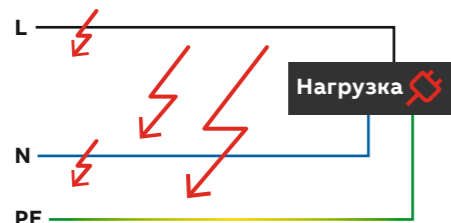


Рис. 10:  
Возможные причины параллельных дуговых пробоев



## Параллельные дуговые пробои

Как правило, значение тока при параллельном дуговом пробое выше, чем обычные токи, протекающие в бытовых электрических цепях. Фактически, если дуга параллельна нагрузке, общий ток цепи будет увеличиваться, обычно от 50 А вплоть до значения тока короткого замыкания. Как правило, значение тока, достаточное для срабатывания защиты, не достигается, поскольку для дуги характерно пренебрежимо малое сопротивление. Таким образом, в определенных пределах, параллельные дуговые пробои также могут обнаруживаться и отключаться стандартными устройствами защиты от сверхтоков, такими как АВ, АВДТ и предохранители. Обычно ДКЗ такого типа возникают по причине нарушения изоляции, механическим или случайным воздействием на токоведущие части, приводящим к их повреждению, как показано на рисунке 10.

Ниже приведены некоторые возможные ситуации при параллельном дуговом пробое:

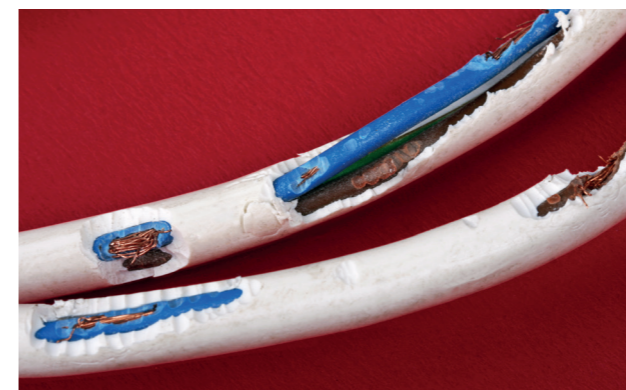
- Фазный проводник L и нулевой проводник N. Устройства дифференциального тока (УДТ) не могут обнаружить и отключить повреждение, так как ток утечки не протекает в защитном проводнике PE. Устройства защиты от сверхтоков смогут защитить цепь только в том случае, когда ток дугового пробова превысит порог их срабатывания. Фактически, сопротивление дуги при параллельном пробое может снижать значение тока, ограничивая функциональность АВ и АВДТ.

- Фазный L и заземляющий PE проводники (дуговое замыкание на землю). Ток замыкания протекает через электрическую дугу от фазного (L) к защитному (PE) проводнику, либо в землю. В этом случае ВДТ и АВДТ могут срабатывать в зависимости от чувствительности, а также обеспечивать защиту в случае пожара при чувствительности не более 300 мА. АВ и предохранители сработать не могут, поскольку значение тока замыкания, как правило, довольно низкое, особенно в распределительных системах TT. Устройства защиты от дуговых пробоев компании ABB серий S-ARC1 и DS-ARC1 способны обнаруживать и отключать параллельные дуговые пробои при их возникновении.

## Последовательные дуговые пробои

Последовательные с полезной нагрузкой дуговые пробои происходят вдоль проводника и могут вызывать локальный перегрев. Ток замыкания ограничен нагрузкой, и потому он ниже, чем ток параллельного дугового пробова, но все же он может вызывать возгорание из-за высоких температур дуги. Однако последовательные дуги труднее обнаруживать, поскольку значение тока ниже значений тока уставки защитных устройств, в этом случае требуется более сложный анализ электрических процессов в цепи.

Рис. 11:  
Возможные причины последовательных дуговых пробоев



Одной из возможных причин последовательного дугового пробова является (см. рисунок 11) механическое повреждение проводника, например грызунами или при неаккуратном монтаже. Также к причинам относятся неисправные выключатели (которые ненадлежащим образом замыкают полюса), незатянутые клеммы, недостаточно затянутые лампы, а также частично оборванные или неправильно соединенные кабели. Токи последовательного дугового пробова могут варьироваться в диапазоне от менее 2,5 А (для цепей 230 В переменного тока) до штатных рабочих токов бытовых электроприборов. Более того, полное последовательное сопротивление цепи возрастает. АВ, ВДТ, АВДТ не способны обнаруживать такой пробой.

Устройства защиты от дуговых пробоев компании ABB серий S-ARC1 и DS-ARC1 способны обеспечить полную защиту от возникающих последовательных дуговых пробоев.

## Обзор устройств защиты

Концепция защитного устройства, предназначенного для обнаружения электрических дуговых пробоев и снижения риска возгорания, была разработана в США в 1980 году. Через несколько лет системы противопожарной защиты с ПДКЗ стали обязательным нормативным требованием в США для всех жилых зданий в соответствии со стандартом продукции UL 1699.

В начале 2012 года в стандарты МЭК начали вводиться устройства защиты от дуговых пробоев (УЗДП), а в августе 2013 года были опубликованы Технические стандарты на продукцию МЭК 62606, в которых изложены требования к устройствам защиты от дуговых пробоев.

Как показано на рисунке 12, устройства защиты от дуговых пробоев обеспечивают защиту и от последовательных и от параллельных дуговых

пробоев, которые могут произойти вне временных диапазонов срабатывания стандартных АВ (или АВДТ).

Можно выделить три преобладающих области:

- зона токов ниже номинальных, характеризующаяся пробоями с высоким сопротивлением (последовательный пробой) и номинальными рабочими токами. Это слабые короткие замыкания или последовательные дуги, со значениями тока близкими к номинальным. Такие токи абсолютно невидимы для АВ, а УЗО могут обнаруживать их только в случае протекания тока утечки на землю. Устройство защиты от дуговых пробоев (УЗДП) способно отключить цепь в случае возникновения последовательной дуги за время, указанное в стандарте ГОСТ IEC 62606-2016 в соответствии с таблицей 1 (приведенной в настоящем документе на стр. 19);

- зона токов в диапазоне от номинального тока и до порога срабатывания электромагнитного расцепителя (ниже зоны срабатывания по перегрузке, рис. 12) характеризуется «слабыми» короткими замыканиями, типичными для параллельного искрения. В этой области, как правило, сила тока при пробое имеет значения, близкие к токам перегрузки, и может обнаруживаться АВ согласно их время-токовой характеристике. УДТ способны обнаруживать эти повреждения только в случае протекания тока утечки на землю. Поскольку риск возгорания достаточно высок, установка УЗДП позволяет обнаружить пробой быстрее, чем автоматический выключатель (который прерывает цепь в зависимости от своей характеристики времени отключения). В этом случае время срабатывания для устройств защиты от дугового пробоя не нормируется, но учитывается максимальное количество полувольт,

на которые влияет дуга за период в 0,5 секунды, согласно стандарту ГОСТ IEC 62606-2016 в соответствии с таблицей 2 (приведенной в настоящем документе на стр. 19);

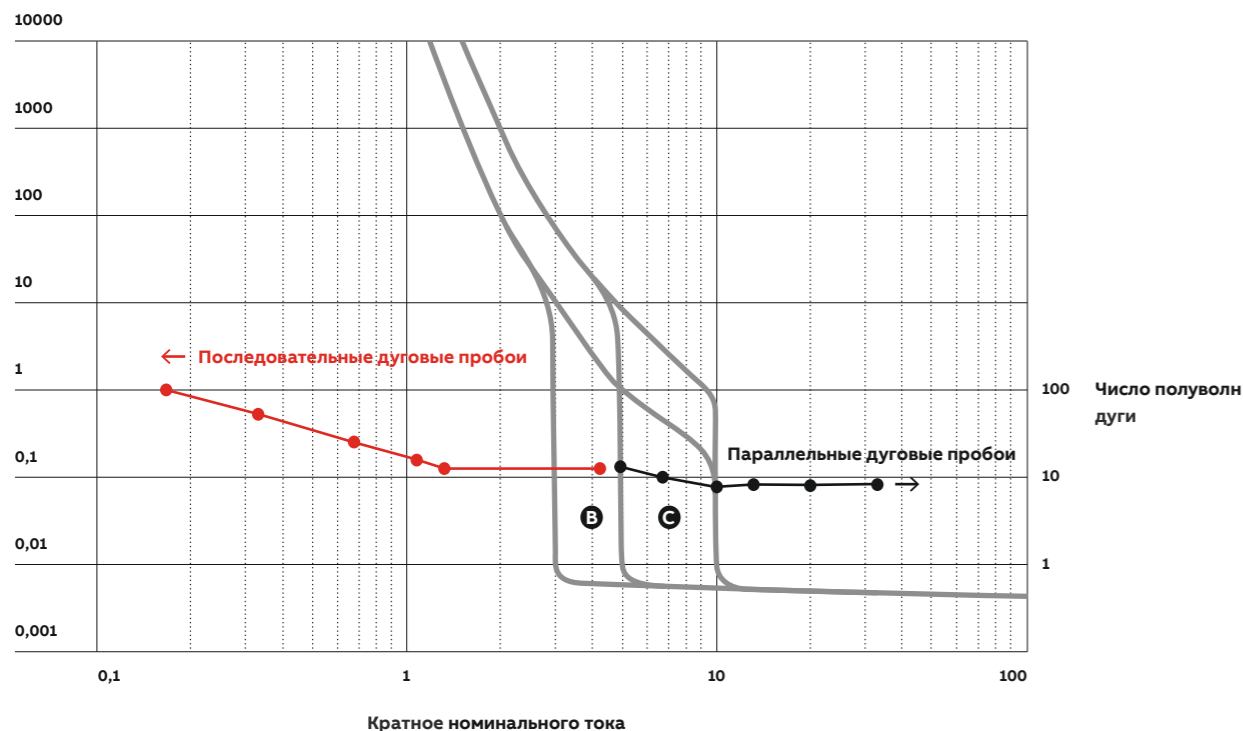
- зона токов, превышающих или равных порогу срабатывания электромагнитного расцепителя, характеризуется замыканиями с близким к нулю сопротивлением (короткое замыкание), которые могут обнаруживаться и немедленно отключаться автоматическими выключателями, АВДТ или предохранителями. Применение таких устройств исключает риск аварии.

Для полной защиты от последовательного, параллельного дугового пробоя и замыкания на землю необходимо устанавливать устройства защиты от дуговых пробоев. На рисунке 13 показываються различные уровни защиты, обеспечиваемые разными устройствами.

Рис. 12:

Время-токовая характеристика (ВТХ) для устройств защиты от дуговых пробоев (УЗДП) и устройств защиты от сверхтоков (АВ) в соответствии со стандартами МЭК 62606 и 60898-1

Время (с)



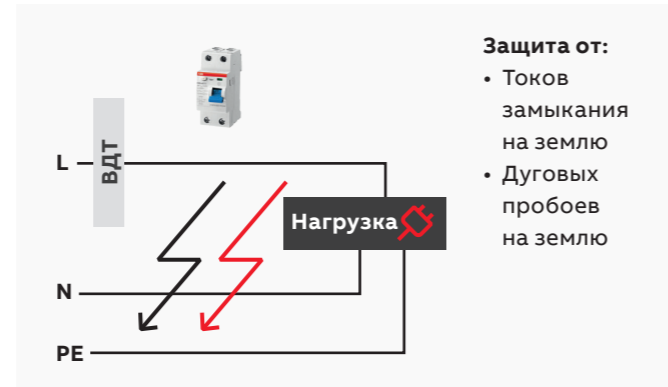


## Обзор устройств защиты

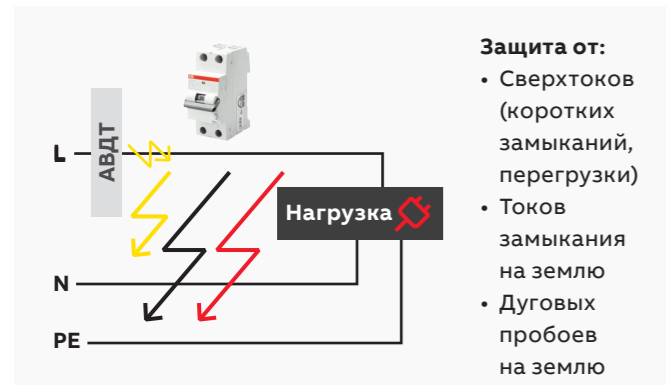
01 АВ



02 ВДТ



03 АВДТ



04 УЗДП S-ARC1 со встроенным АВ



05 УЗДП DS-ARC1 со встроенным АВДТ

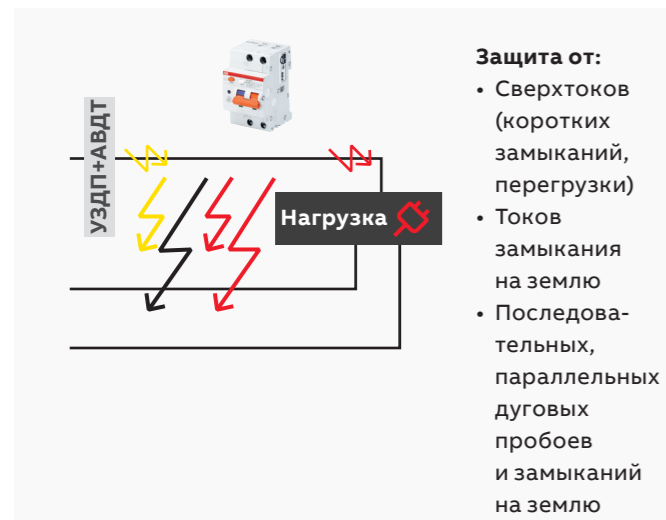


Рис. 13: Обзор устройств защиты

## Рабочие функции S-ARC1 и DS-ARC1

Базовая схема устройств ABB S-ARC1 и DS-ARC1 представлена на рисунке 14.

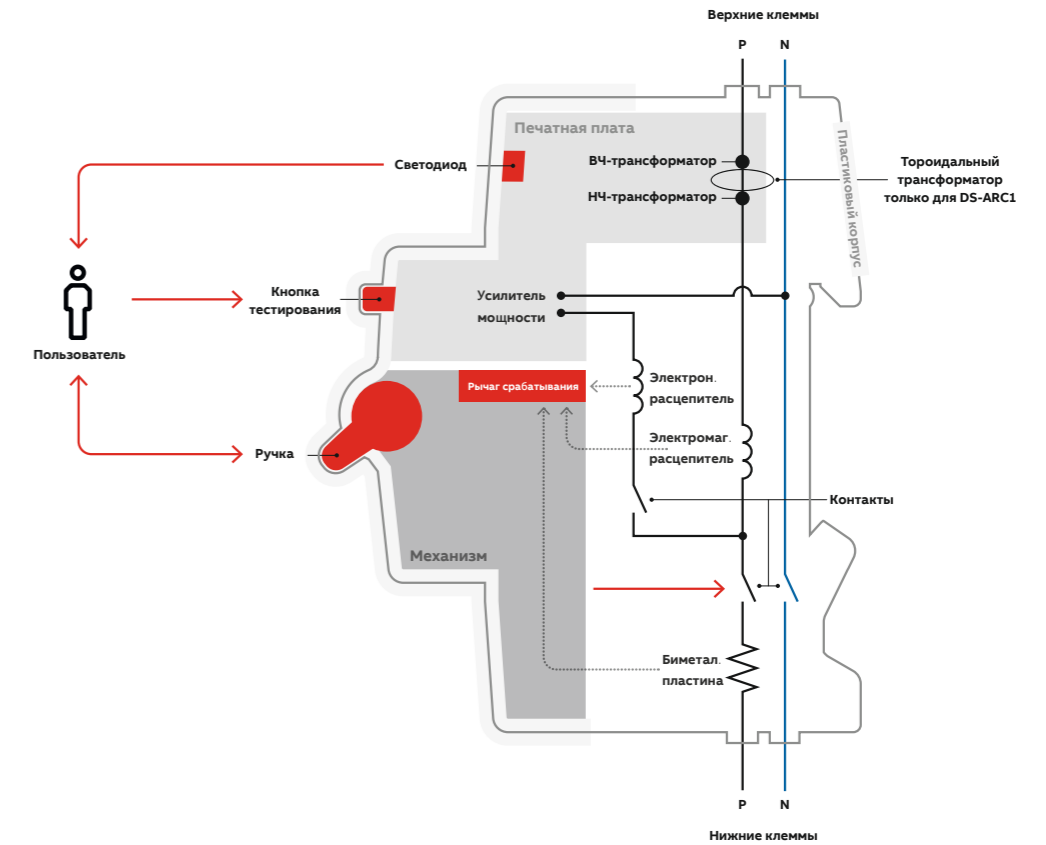
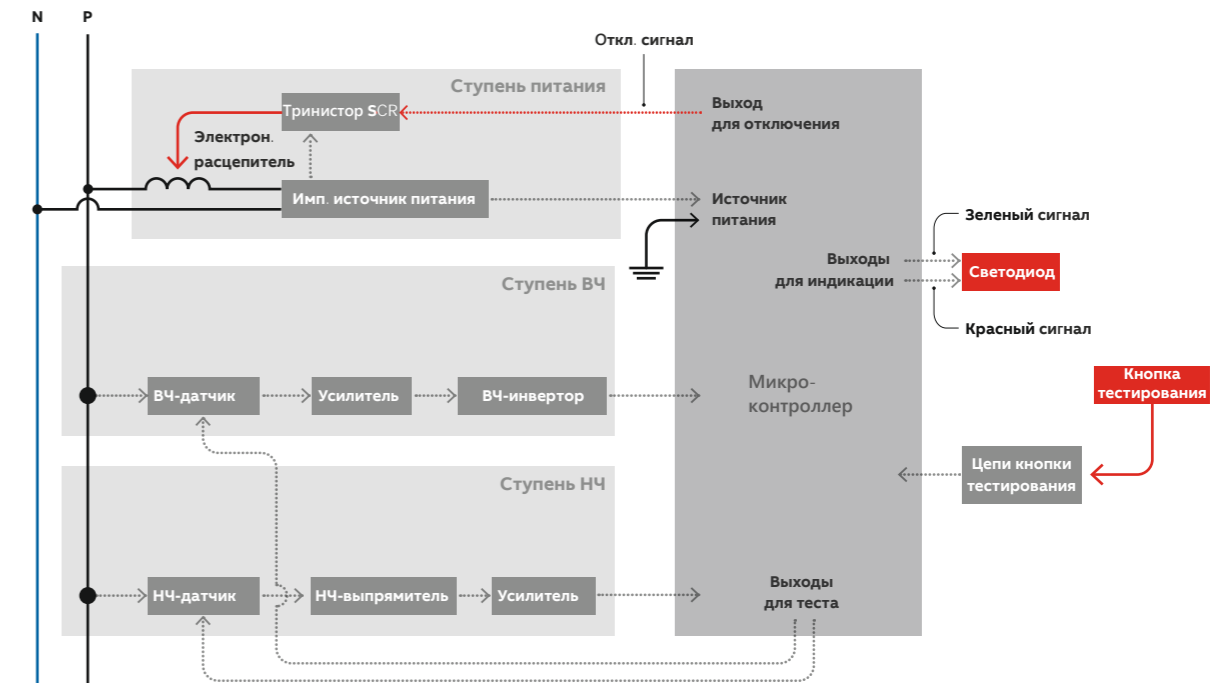


Рис. 14: Базовая внутренняя схема моделей S-ARC1 и DS-ARC1

Рис. 15: Базовая схема работы моделей S-ARC1 и DS-ARC1



## Устройство и функционал УЗДП S-ARC1 и DS-ARC1 компании ABB

УЗДП S-ARC1 и DS-ARC1 имеют подвижные контакты и в фазном и в нейтральном полюсах, а их внутреннее устройство делится на две функциональные группы.

- **Секция РСВ** (печатная плата, также см. рис. 15) получает питание от импульсного источника питания (SMPS). S-ARC1 и DS-ARC1 имеют две основные ступени обнаружения шумов низкой частоты (НЧ) и высокой частоты (ВЧ) в полосе 10 МГц протекающего тока. Электронные сигналы обрабатываются с помощью специальных датчиков и аналоговых схем. Микроконтроллер (MCU) получает входные сигналы от чувствительных ступеней НЧ и ВЧ и с помощью соответствующих алгоритмов непрерывно анализирует сигналы в поисках уникальных признаков, указывающих на наличие дугового пробоя на линии. Если обнаруживается дуговой пробой, MCU подает питание на тринистор (SCR) и электронный расцепитель, который отключает механизм и размыкает главные контакты. Эта технология обеспечивает надлежащее отключение как в случае последовательных, так и параллельных пробоев, о которых сигнализирует светодиод (является частью MCU).

- **Секция механики** включает рычаг срабатывания, на который воздействует толкатель электронного расцепителя блока MCU (в случае последовательных и параллельных дуговых пробоев), электромагнитный расцепитель (при коротких замыканиях) и биметаллическая пластина (при перегрузке) для размыкания главных контактов. В модели DS-ARC1 также имеется тороидальный трансформатор для обнаружения токов утечки на землю.

На рисунках 16 и 17 представлены подробные схемы внутренних компонентов S-ARC1 и DS-ARC1.

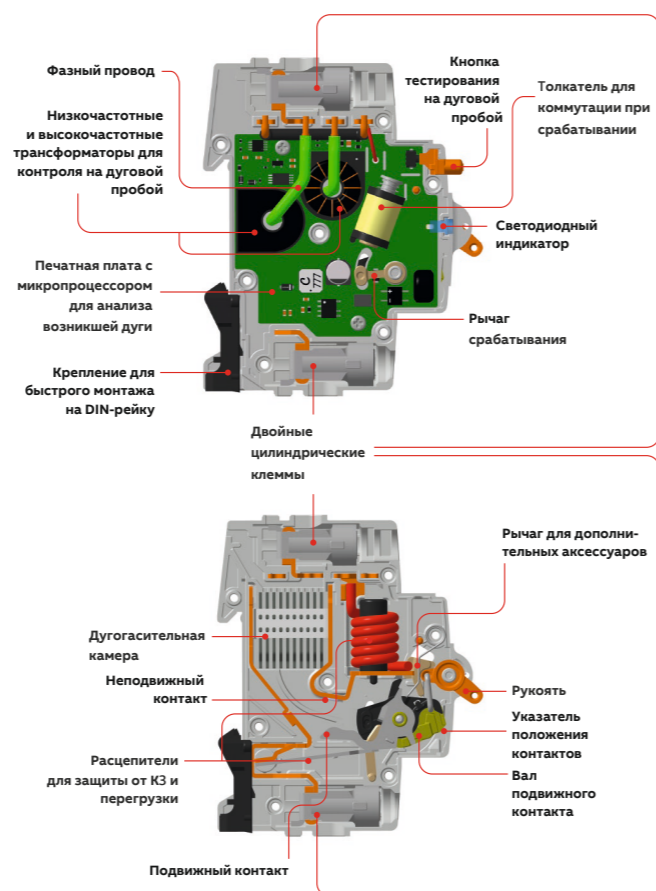


Рис. 16 и 17:  
Внутренние  
компоненты S-ARC1  
и DS-ARC1

Устройства S-ARC1 и DS-ARC1 компании ABB имеют два варианта тестирования для проверки корректной работы электронной схемы УЗДП: при помощи кнопки тестирования функций УЗДП (оранжевая) и внутренней процедуры самодиагностики. Согласно стандарту МЭК 62606 УЗДП должно оснащаться хотя бы одним из этих двух решений.

- **Кнопка тестирования** (см. рис. 15) направляет сигнал микроконтроллеру (MCU). MCU генерирует электронные сигналы, имитирующие характеристики тока дугового пробоя и высокой и низкой частот. Если изделие работает правильно, то микроконтроллер распознает имитацию дуги и вызывает отключение устройства. При повторном включении УЗДП светодиод загорается зеленым. Если после нажатия кнопки тестирования возникает внутренняя ошибка, то выключатель не срабатывает, а светодиод начинает мигать красным/зеленым. В этом случае требуется замена устройства квалифицированным специалистом.

- **При внутренней самодиагностике** MCU непрерывно тестирует электронные компоненты (т.е. аналоговые схемы, периферийные элементы MCU, память и т.д.), которые имеют критическое значение для обнаружения дуги. В частности, процедуры самодиагностики выполняются при включении питания и в течение всего времени работы изделия. Если в процессе внутренней самодиагностики обнаруживается какая-либо ошибка, то она отображается попеременным мерцанием светодиода зеленым и красным светом без отключения, чтобы обеспечить непрерывность работы. В этом случае необходимо нажать кнопку тестирования: если устройство отключается, то оно возвращается к штатной работе, УЗДП можно повторно включить; в противном случае требуется замена устройства квалифицированным специалистом.

- **Белая кнопка тестирования.** Устройство DS-ARC1 также оснащено белой кнопкой тестирования, которую нужно нажимать каждые шесть месяцев для проверки работоспособности УДТ. Наличие этой кнопки тестирования обязательно в соответствии со стандартом МЭК 61009.

На рисунке 18 показаны внутренние компоненты DS-ARC1 для обнаружения дифференциальных токов.

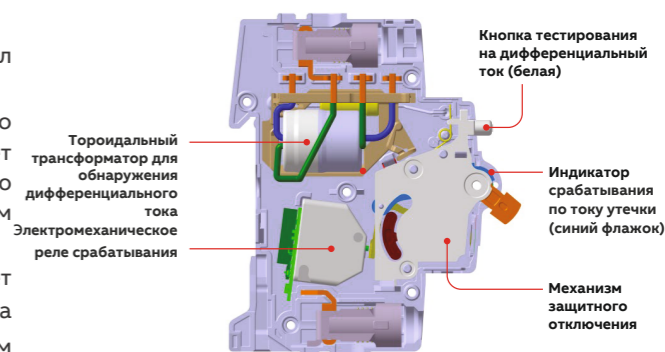


Рис. 18:  
Внутренние  
компоненты  
DS-ARC1

# Нормативная база

## Введение

МЭК 60364 (ГОСТ Р 50571) — это международный стандарт для низковольтных электроустановок в зданиях. Как упоминалось выше, пожары в жилых домах и на других объектах в основном связаны с электротехническими неисправностями. Раздел МЭК 60364-4-42 (ГОСТ Р 50571.4.42-2017) «Защита для обеспечения безопасности. Защита от тепловых воздействий» посвящен защите от пожаров и связанных с высокой температурой инцидентов, возникающих в результате неисправностей в низковольтных электрических установках.

Стандарт МЭК 62606 (ГОСТ IEC 62606-2016) «Общие требования к устройствам защиты от дуговых пробоев» применяется к устройствам защиты от дугового пробоя бытового и аналогичного назначения в цепях переменного тока.

Рис. 19:

Возможные области применения УЗДП в зданиях из горючих материалов, в деревообрабатывающих и плотницких мастерских



## Установка устройств защиты от дугового пробоя согласно МЭК 60364

Использование УЗДП в настоящий момент регулируется международным стандартом МЭК 60364-4-42 (ГОСТ Р 50571.4.42-2017) «Защита для обеспечения безопасности. Защита от тепловых воздействий». В 2014 году была опубликована редакция, рекомендуемая использовать устройства защиты от дуговых пробоев для защиты от воздействия электрических дуг. Рекомендуется размещать УЗДП как вводное устройство в следующих условиях:

- в помещениях, построенных с использованием легковоспламеняющихся материалов
- в помещениях, содержащих легковоспламеняющиеся материалы
- в помещениях с постоянным пребыванием людей в течение продолжительного времени
- в помещениях, подверженных риску пожара в силу
  - наличия в них пожароопасных обрабатываемых или складированных материалов
  - наличия горючих строительных материалов
  - наличия конструкций, способствующих распространению огня
- в помещениях, в которых подвергается опасности невосполнимое имущество

Примеры таких объектов представлены на рисунке 19.



## Указания по технике монтажа VDE 0100-420

Немецкий национальный стандарт DIN VDE 0100-420 включает пункты, утверждённые в стандарте МЭК 60364-4-42 (ГОСТ Р 50571.4.42-2017), который стал обязательным с 18.12.2017. В частности, установка устройств защиты от дугового пробоя (УЗДП) обязательна для всех распределительных сетей в однофазных системах переменного тока менее 16 А в таких помещениях как:

- в зданиях со спальными местами и жилых помещениях в домах, детских садах и центрах ухода за инвалидами, престарелыми, а также в квартирах, спроектированных для инвалидов
- в помещениях, подверженных риску пожара в силу наличия пожароопасных обрабатываемых или складированных материалов
- в помещениях, построенных с использованием горючих строительных материалов
- в помещениях, в которых подвергается опасности невосполнимое имущество
- в целом рекомендовано для таких помещений, как помещения со спальными местами
- в помещениях с конструкциями, способствующими распространению огня

## Стандарт продукции МЭК 62606

Международный стандарт по УЗДП МЭК 62606 (ГОСТ IEC 62606-2016) «Общие требования к устройствам защиты от дуговых пробоев» устанавливает требования к характеристикам этих устройств, а также приводит условия испытаний на соответствие требованиям стандарта. Согласно данному стандарту, определяются следующие виды конструкции устройств этого типа:

– УЗДП в качестве единого устройства, сочетающего БОДП (блок обнаружения дугового пробоя) и размыкающее устройство и предназначенного для последовательного соединения с подходящим УЗКЗ (устройством защиты от короткого замыкания), указанным изготовителем и отвечающим одному или нескольким из стандартов: МЭК 60898-1, МЭК 61009-1 или серии стандартов МЭК 60269.;

– УЗДП в качестве единого устройства, содержащего БОДП (блок обнаружения дугового пробоя), встроенный в защитное устройство, отвечающее одному или нескольким из стандартов:

МЭК 60898-1, МЭК 61008-1, МЭК 61009-1 или МЭК 62423;

– УЗДП согласно приложению D, состоящее из БОДП и указанного защитного устройства, предназначенное для сборки на месте

В случае низких значений дугового тока — до 63 А — приводящих к последовательным дуговым пробоям, стандарт определяет максимальное время срабатывания для устройств защиты от дуговых пробоев, указанное в таблице 1.

**Таблица 1:**  
Время срабатывания для значений низких токов

Тестовый дуговой ток (среднекв. значения)	2,5 А	5 А	10 А	16 А	32 А	63 А
Максимальное время отключения	1 с	0,5 с	0,25 с	0,15 с	0,12 с	0,12 с

В случае высоких значений дугового тока, приводящих к параллельным дуговым пробоям, стандарт не определяет максимальное время срабатывания для УЗДП, но устанавливает максимальное количество полувольт, на которые влияет дуга за 0,5 секунды, как показано в таблице 2. Это объясняется тем, что иногда могут возникать параллельные дуговые пробои со множеством пропущенных полувольт.

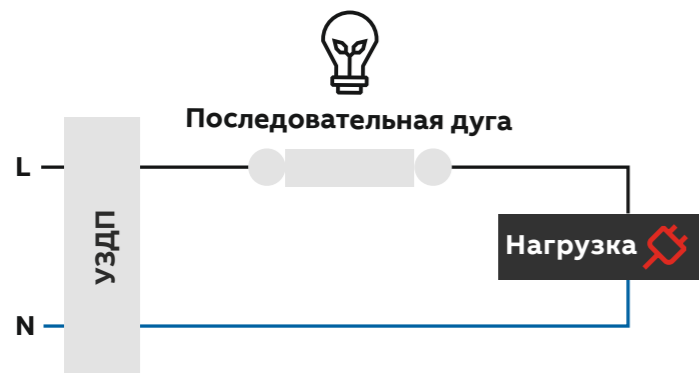
**Таблица 2:**  
Число полувольт, установленных для высоких токов

Тестовый дуговой ток <sup>a</sup> (среднекв. значения)	75 А	100 А	150 А	200 А	300 А	500 А
N <sup>b</sup>	12	10	8	8	8	8

В стандарте приведены различные виды испытаний, в том числе и отдельно для последовательных и параллельных дуговых пробоев. Также предусмотрены испытания на точность срабатывания при появлении фоновых помех от подсосединённых нескольких устройств со стороны нагрузки, с токами, похожими на ток дугового пробоя. На следующих страницах вкратце описываются различные проводимые испытания.

Рис. 20:

Испытания с образцом кабеля



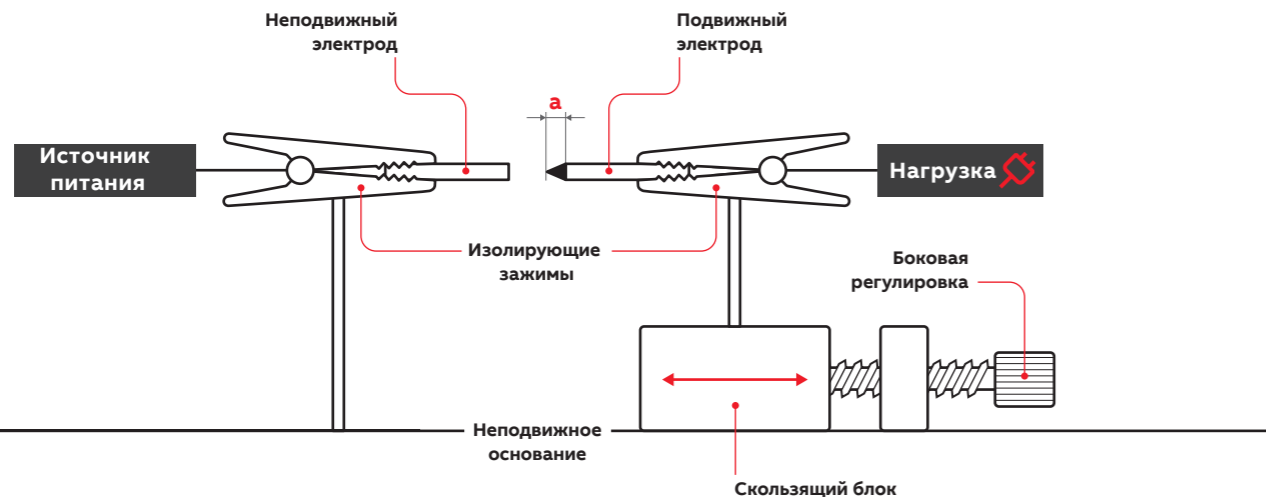
### Испытание на обнаружение последовательных пробоев

В этом тесте блок S-ARC1 должен отключиться в течение периода времени, указанного в Таблице 1 (стр. 19), в соответствии со значением дугового тока и с учетом испытательного напряжения 230/240 В и номинальной частоты 50 Гц. В контрольной цепи (рис. 20) используется образец кабеля (с электродами, либо предварительно обугленный образец) для создания стабильного углеродного пути между фазой и нейтралью. Положительный результат теста должен подтвердиться зажиганием последовательно подключенных ламп накаливания.

В другом испытании с дуговым генератором применяется аппарат (см. рис. 21) с фиксированным и подвижным электродами стандартных размеров, изготовленными из меди и графита соответственно. Тест начинается с замкнутых контактов, которые постепенно разделяются для получения постоянной дуги. Когда применяется дуговой генератор, УЗДП должно срабатывать в 2,5 раза быстрее по сравнению с временем, указанным в таблице 1 (стр. 19). Причина в том, что энергия дуги, возникающая при горении дуги на углеродном участке, примерно в 2,5 раза превышает энергию дуги, обеспечиваемую дуговым генератором.

Рис. 21:

Испытания с дуговым генератором



### Испытание на обнаружение параллельных пробоев

УЗДП должно срабатывать при параллельном дуговом пробое (характеризующемся более высокими токами по сравнению с последовательным), если число полуволн в периоде дуги 0,5 секунды соответствует значениям из таблицы 2 (стр. 19). Тест проводится с использованием цепи, изображенной на рисунке 22, в которой линейное сопротивление  $Z$  регулируется для получения различных значений испытательного тока. Испытательный аппарат имитирует короткое замыкание (с ненулевым сопротивлением из-за углеродного пути протекания тока), и им может быть:

- тот же образец кабеля, что и для испытаний на последовательную дугу
- аппарат ножевого типа (рис. 23) с использованием двух разных типов медного двухжильного кабеля, применяемого в бытовых условиях. Проводящий нож медленно опускается и разрезает изоляцию, создавая контакт с нулевым сопротивлением с одним из двух проводов и контакт с ненулевым сопротивлением на другом, в результате чего возникает дуга (непрерывная или перемежающаяся).

Напряжение источника равно номинальному значению напряжения УЗДП (120, 240 В), ток (измеренный специальным прибором) регулируется путём изменения длины кабеля до устройства перед ножом

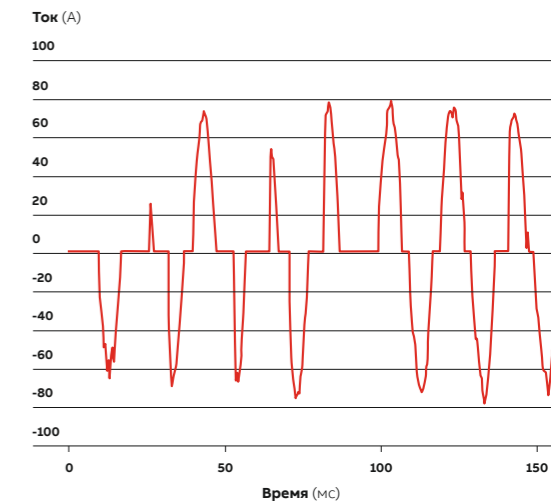
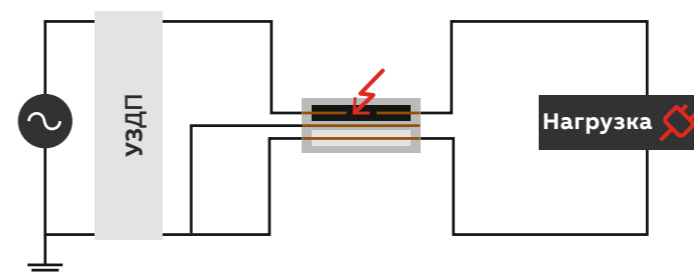
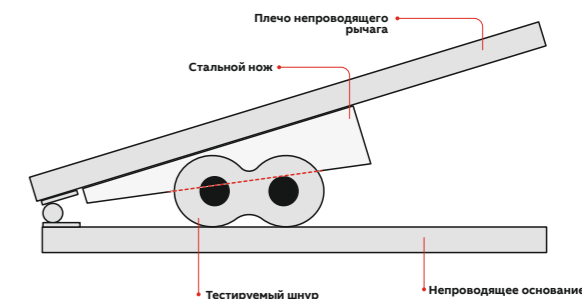


Рис. 24:

Кривая тока параллельной дуги в случае испытания аппаратом ножевого типа

(добавление резисторов в этом тесте не допускается). Тест пройден, если УЗДП срабатывает при происхождении до 8 полуволн дуги в течение 0,5 с. Тест не пройден, если в течение 0,5 с, с не менее чем 8 полупериодами, УЗДП не срабатывает. Тест неоднозначен и должен быть повторен, если УЗДП не срабатывает при длительности дуги менее 8 полупериодов за 0,5 с. На графике выше показан пример кривой тока при испытаниях с аппаратом ножевого типа (см. рис. 24). До и после каждого периода протекания тока может быть период без тока или с очень ограниченным током.

В случае параллельного дугового пробоя между фазным и защитным РЕ проводниками для проверки правильности работы устройства также выполняется еще один тест.



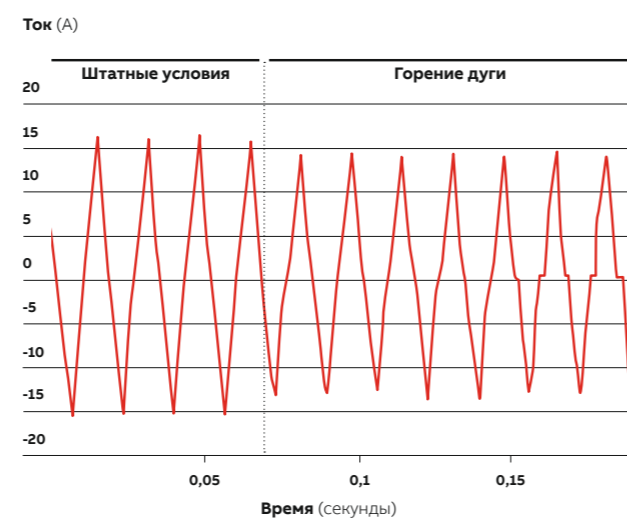
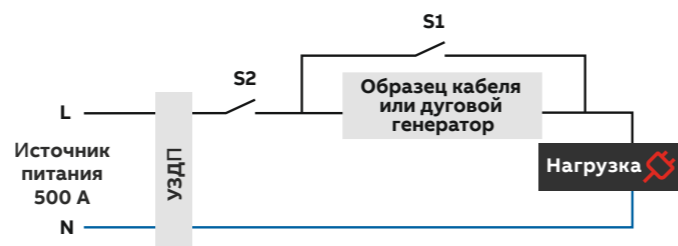
## Испытания на устойчивость к фоновым помехам

Корректность работы УЗДП также должна проверяться в тех случаях, когда кривые тока (например, фоновые помехи, создаваемые нагрузкой) можно «спутать» с кривыми, характерными для дугового пробоя (параллельного или последовательного). При этом, испытание на устойчивость к фоновым помехам выполняется с помощью дугового генератора, испытания на нежелательное срабатывание выполняются без дугового генератора. Задача испытаний в том, чтобы убедиться в эффективности работы устройства. Допустимо испытание на последовательный дуговой пробой с использованием дугового генератора или испытание с образцом кабеля, с предварительно сформированным карбонизированным проводящим путём. Как показано на рисунке 25, ограничение тока производится путём изменения активной нагрузки. Испытательным напряжением является номинальное напряжение УЗДП. Каждое УЗДП испытывают трижды при 2,5 А для номинального напряжения УЗДП 230 В и при 5 А для номинального напряжения УЗДП 120 В.

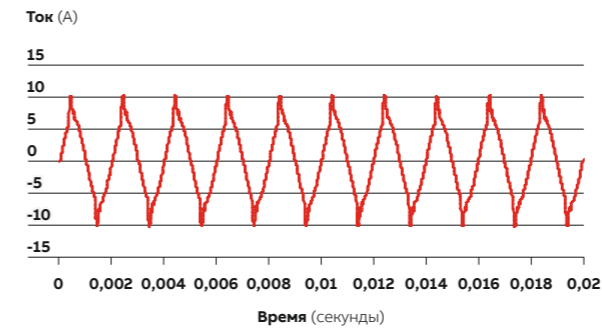
В испытаниях используют либо генератор дуги, либо обугленный образец кабеля. УЗДП испытывают с каждой из перечисленных ниже нагрузок, создающих фоновые помехи:

- пылесос
- источник питания с электронной коммутацией
- электродвигатель с пусковым конденсатором (например, воздушный компрессор)
- электронный тиристорный регулятор яркости ламп накаливания на 600 Вт (вольфрам) (230 В) или 1000 Вт (120 В), с учетом определенных рабочих циклов.
- две флуоресцентные лампы 40 Вт и дополнительная активная нагрузка с током в 5 А
- Галогеновые лампы по 12 Вт общей мощностью не менее 300 Вт, питаемые от электронного трансформатора, с дополнительной активной нагрузкой 5 А
- Электрический ручной инструмент (например, дрель) мощностью не менее 600 Вт

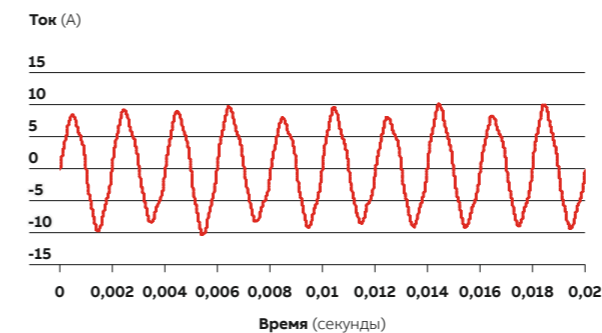
**Рис. 25:**  
Цепь для испытания устойчивости к фоновым помехам (регулирование или включение помеховой нагрузки)



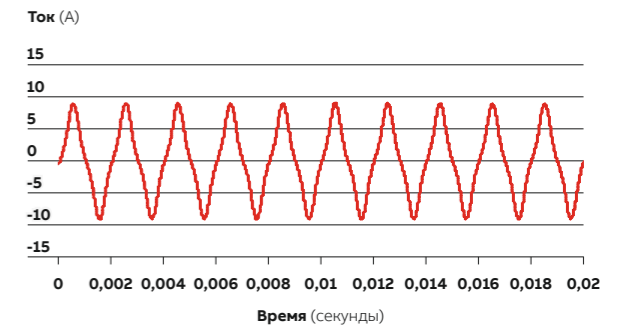
**Рис. 26:**  
Ток, потребляемый пылесосом (штатный режим), и дугой (горение дуги)



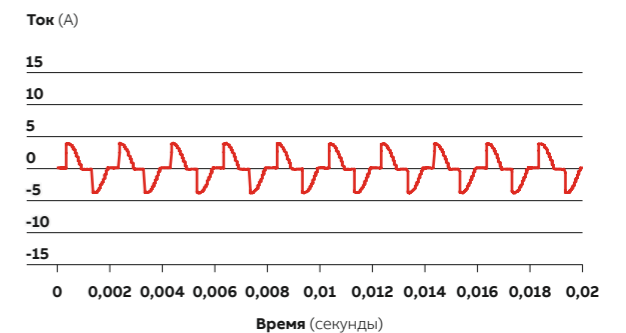
**Рис. 27:**  
Кривая тока для испытаний на устойчивость к фоновым помехам с двумя лампами 40 Вт



**Рис. 29:**  
Кривая тока для испытаний на устойчивость к фоновым помехам с регулятором 600 Вт



**Рис. 28:**  
Кривая тока для испытаний на устойчивость к фоновым помехам с воздушным компрессором



**Рис. 30:**  
Кривая тока для испытаний на устойчивость к фоновым помехам с пылесосом

При пересечении с нулем кривая дугового пробоя демонстрирует так называемые «плечи». Тем не менее, присутствие данных «плечей» на кривой тока — недостаточное условие для однозначной индикации наличия дугового пробоя. На рисунке 26, например, показаны последовательный дуговой пробой и работающий пылесос, можно отметить лишь небольшое снижение пиковых значений (последовательная дуга вносит дополнительное сопротивление в цепь, уменьшая амплитуду тока), а также появление «плечей» и резких бросков тока.

Однако УЗДП должно быть способно избегать аварийного отключения при наличии фоновых помех, создаваемых нагрузками и отключаться при дуговом пробое. Иногда, как показано на рисунках 27, 28, 29 и 30, обнаружение различий между кривыми дуги и нагрузки представляет трудность, но УЗДП S-ARC1 компании ABB разработано специально для решения данной задачи.

# Устройства защиты от дуговых пробоев S-ARC1 и DS-ARC1

S-ARC1 и DS-ARC1 — новые устройства защиты от дуговых пробоев 1P + N со встроенными АВ и АВДТ соответственно. Оба типа устройств поставляются с отключающей способностью в 6 и 10 кА. Новая линейка полностью совместима и является частью продуктового предложения System pro M compact®. УЗДП S-ARC1 и DS-ARC1 обеспечивают полную защиту от дуговых пробоев и повышения напряжения, снижая риск возникновения пожара.

Благодаря встроенному автоматическому выключателю устройство S-ARC1 имеет компактную конструкцию всего из двух модулей и обеспечивает дополнительную защиту от сверхтоков. Для защиты от токов утечки перед устройством должен быть установлен ВДТ.

За счёт встроенного АВДТ устройство DS-ARC1 имеет компактную конструкцию всего из трёх модулей и обеспечивает полную защиту от сверхтоков, токов дугового пробоя, и токов утечки, полностью защищая людей и оборудование.

В следующей таблице приведены основные характеристики S-ARC1 и DS-ARC1.

	S-ARC1	DS-ARC1
<b>Стандарты</b>	МЭК/EN 62606, МЭК/EN 60898-1	МЭК/EN 62606, МЭК/EN 61009-1, МЭК/EN 61009-2-1
<b>Полюса</b>	1+N	1P+N
<b>Модули</b>	2	3
<b>Тип</b>	—	A
<b>Чувствительность</b>	—	30 мА
<b>Характеристики срабатывания</b>	B, C	
<b>Номинальный ток <math>I_n</math></b>	6, 10, 13, 16, 20, 25, 32, 40 А	6, 10, 13, 16, 20 А
<b>Номинальный ток КЗ <math>I_{kn}</math></b>	6 кА, 10 кА (S-ARC1 M)	6 кА, 10 кА (DS-ARC1 M)
<b>Номинальная частота</b>	50/60 Гц	
<b>Номинальное напряжение</b>	230–240 В	
<b>Пороговое значение защиты от повышения напряжения</b>	275 В	
<b>Габариты (В × Г × Ш)</b>	85 × 69 × 35 мм	85 × 69 × 52,5 мм



**Рис. 31:**  
Устройства защиты от дуговых пробоев S-ARC1 и DS-ARC1

**Рис. 32:**  
Наклейка с обозначением состояний светодиода S-ARC1 и DS-ARC1

## Особенности изделия

- Простой монтаж. Подключение осуществляется как с использованием кабелей (до 25 мм<sup>2</sup>), так и шин (10 мм<sup>2</sup>) благодаря наличию отдельных клемм.

С помощью шин ABB System pro M compact® можно выполнить быструю установку всего в несколько этапов (Рис. 33, 34, 35).

- **Возможность подключения питания сверху или снизу.** Питание устройства через кабели или шины может осуществляться сверху или снизу. Это обеспечивает чрезвычайную гибкость при монтаже в различных условиях эксплуатации. Для правильной работы важно не перепутать нулевой и фазный проводники.

### Дополнительные аксессуары.

Функциональные возможности изделия могут быть расширены за счет быстрой и простой установки дополнительных аксессуаров System pro M compact®. Варианты конфигурации включают оснащение вспомогательным контактом, сигнальным контактом/вспомогательным переключателем, расцепителем с шунтирующей катушкой, расцепителями максимального и минимального напряжения. Также, для модели DS-ARC1, предлагается исполнение с дополнительным контактом нижнего монтажа (рис. 33).



2CSA423002D0202

- **Указатель положения контактов (CPI).** Удобная визуализация состояния контактов с помощью индикации зелёного/красного цвета, независимо от положения рычага УЗДП (зелёный: контакты разомкнуты, красный: контакты замкнуты).
- **Встроенная защита от повышения напряжения.** S-ARC1 и DS-ARC1 обеспечивают защиту от повышения напряжения более 275 В, снижая опасность возгорания из-за перегрева электрооборудования, вызванного длительным повышением напряжением (согласно EN 50550).
- **Светодиодная индикация.** S-ARC1 и DS-ARC1 оснащены светодиодом, упрощающим контроль функционирования устройства и поиск неисправностей сети, что позволяет сократить время простоя при техническом обслуживании в случае отключения:

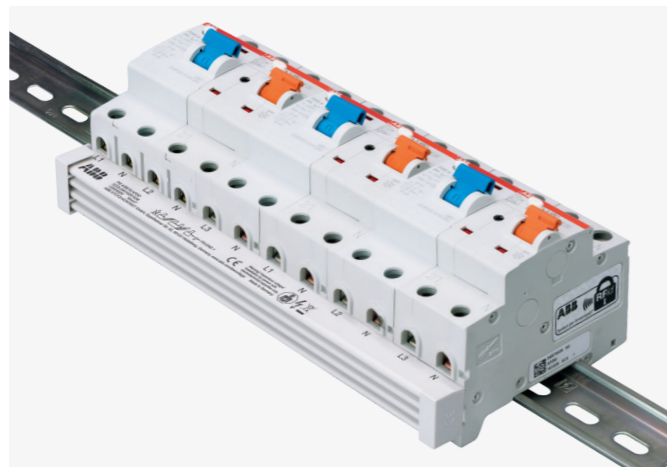
- Штатный режим работы (УЗДП включен): зелёный светодиод
- Значения цветов светодиода после отключения (после повторного включения):

Светодиодная индикация	
Зеленый (непрерывная работа)	Ручное отключение, кнопка тестирования, сверхток
КРАСНЫЙ мерцающий (1 мерцание в секунду в течение 5 секунд)	<b>Последовательная дуга.</b> Через 5 секунд светодиод должен загореться ЗЕЛЕНЫМ
КРАСНЫЙ мерцающий (2 мерцания в секунду в течение 5 секунд)	<b>Параллельная дуга.</b> Через 5 секунд светодиод должен загореться ЗЕЛЕНЫМ
КРАСНЫЙ мерцающий (3 мерцания в секунду в течение 5 секунд)	<b>Повышенное напряжение.</b> Через 5 секунд светодиод должен загореться ЗЕЛЕНЫМ

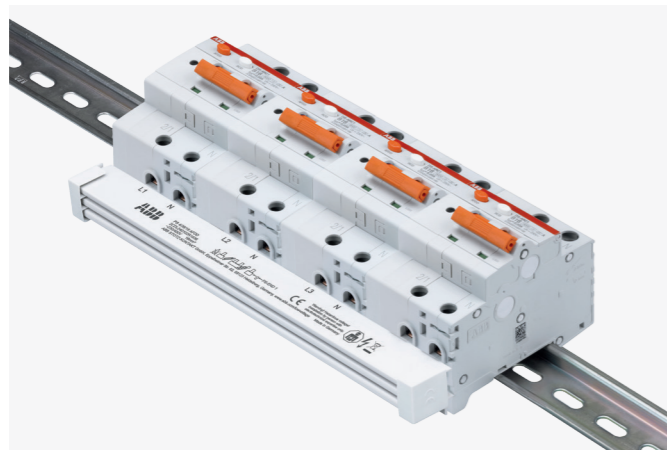
- Алгоритм внутренней самодиагностики и кнопка тестирования УЗДП для проверки корректности работы электронного блока устройства.
- Возможность вызова из памяти (и, при необходимости, очистки) последнего значения светодиодной индикации, связанного с отключением по дуговому пробую или с превышением напряжения, что позволяет сократить время технического обслуживания и упрощает поиск неисправностей. Память сохраняется и в случае отключения питания.
- Только для DS-ARC1: наличие индикатора замыкания на землю (синий флажок на рукоятки) для идентификации отключений по замыканию на землю.

- Значения состояния индикатора УЗДП также приводятся на наклейке внутри упаковки, как показано на рисунке 32.

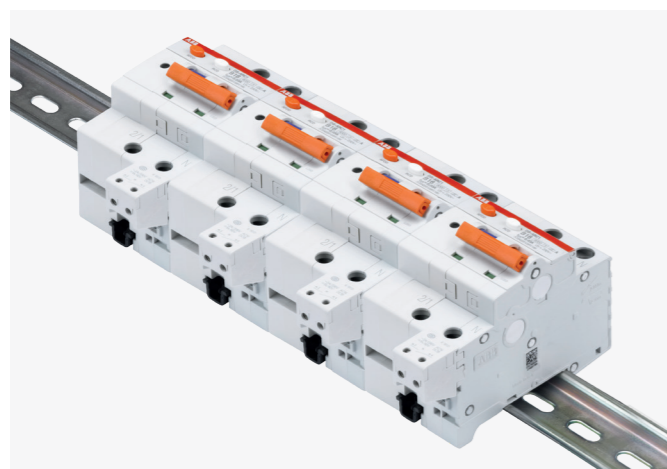
## Примеры монтажа S-ARC1 и DS-ARC1



—  
Рис. 33:  
Подключение  
S-ARC  
с 2-полюсным ВДТ  
с помощью шины



—  
Рис. 34:  
Подключение  
DS-ARC1  
с помощью шины



—  
Рис. 35:  
Подключение  
DS-ARC1  
со вспомогательным  
контактом для  
монтажа снизу

## Источники и литература

При составлении данного технического описания использовались следующие источники, ссылки и публикации, в которых содержится дополнительная информация.

Университет Манчестера: Стадии развития пожара (<http://www.mace.manchester.ac.uk/project/research/structures/strucfire/Design/performance/fireModelling/fireBehaviour/default.htm?p=>)

Статистика пожаров:  
firesafeeurope.eu (Европа), ifs-ev (Германия)

Carvou, E.; Mitchell, J.B.A.; Ben Jemaа, N.; Tian, S.; Belhaja, Z.;  
"AC Electrical Arcs with Graphite Electrodes,"  
Electrical Contacts (Holm),  
2011 IEEE 57th Holm Conference on ,  
vol., no., pp.1-6, 11-14 Sept. 2011

Университет Кассино и Южного Лацио:  
"Impianti elettrici per media e bassa tensione: Capitolo III  
Componenti dell'Impianto Elettrico, Apparecchi di Manovra"

Документ раздела по низковольтному  
распределительному оборудованию NEMA,  
Document, ABP 2-2011, Recommendations on AFCL/  
Home Electrical Product Compatibility

Comparing 240 Vrms to 120 Vrms  
Series Arcing Faults in Residential Wire,  
John J. Shea, Senior Member IEEE Eaton Corporation

ANIE Conference  
"Federazione ANIE – Associazione CSI Sottogruppo  
Apparecchi di protezione October/November 2016"

МЭК 23Е/742/CDV: 2012-02: МЭК 62606 изд. 1.0  
Общие требования к устройствам защиты при  
дуговом пробое (УЗДП)

МЭК 60364-4-42  
Защита для обеспечения безопасности.  
Защита от тепловых воздействий

VDE 0100-420

Ed Larsen: Arc Fault Circuit Interrupters,  
Presentation for IEC 23E / WG2,  
New Orleans -November, 2007

Пожары и пожарная безопасность в 2019 Г., статистический сборник  
Статистика пожаров и их последствий. ФГБУ ВНИИПО МЧС России, Москва 2020

### Дополнительная информация

Мы оставляем за собой право на внесение технических изменений или редактирование содержания настоящего документа без предварительного уведомления. В отношении заказов на поставку согласованные условия имеют преимущественную силу. Компания ABB не несет никакой ответственности за возможные ошибки или отсутствие информации в настоящем документе.

Мы оставляем за собой все права на данный документ, его содержание и иллюстрации. Любое воспроизведение, передача третьим лицам или использование его содержимого как полностью, так и частично запрещено без предварительного письменного согласия ABB AG.





—  
**Группа компаний АBB**  
Электрооборудование  
Структурное подразделение Building  
Products

[www.abb.com/lowvoltage](http://www.abb.com/lowvoltage)