

53-54 Высокое напряжение, гашение дуги, ограничение перенапряжений

Высоким называется напряжение большее или равное 1000В.

В чём его принципиальное отличие от низкого? Дело в том – чтобы убило напряжение 220/380 В нужно прикоснуться к токоведущей части. Чтобы убило напряжение 1000 В и выше достаточно приблизиться. Произойдёт пробой воздушного промежутка и поражение электрическим током.

Зачем нужно высокое напряжение?

Зачем для передачи электроэнергии на большое расстояние нужно такое высокое напряжение, заставляющее строить высокие башни-опоры и гигантские изоляторы? Почему бы не передавать электричество при низком безопасном напряжении?

Для заданной мощности электроэнергии, потребляемой конечными потребителями (нагрузка сети), сила тока в линиях электропередачи с ростом напряжения понижается. Уменьшение силы тока сокращает потери электроснабжения в линии электропередачи. Передаваемая мощность

$$P = UI,$$

где P — мощность в ваттах, U — напряжение в вольтах, а I — сила тока в амперах. Из неё следует, что на данном уровне мощности сила тока обратно пропорциональна напряжению:

$$I = P/U.$$

Потери электроснабжения (т. е. потери мощности) в линии электропередачи пропорциональны квадрату силы тока. Эти потери — мощности, которые не доходят до конечных потребителей; они уходят на нагрев проводов. Это соотношение описывается следующей формулой:

$$P = I^2R,$$

где P — мощность в ваттах, I — сила тока в амперах, а R — сопротивление провода в омах. Конструкторы не могут изменить сопротивление провода или мощность нагрузки сети, но они могут довести до максимума напряжение, минимизируя таким образом «лишний» ток, который вынуждена нести линия передачи для обеспечения потребности сети.

Предположим, напряжение, подаваемое в сеть, повышается десятикратно, а потребительские нагрузки в сети постоянны. Рост напряжения уменьшает силу тока в десять раз, и в результате потери мощности сокращаются в $(1/10)^2$, т. е. в сто раз! Разумеется, использовать повышающий трансформатор в одном месте проще и дешевле, чем протягивать на многие километры провода, тяжесть которых (без трансформатора) оказывалась бы в сто раз больше.

Классификация сетей по напряжению:

от 750 кВ и выше (1150 кВ, 1500 кВ) - Ультравысокое,
750 кВ, 500 кВ, 330 кВ - Сверхвысокое,
220 кВ, 110 кВ - ВН, Высокое напряжение,
35 кВ - СН-1, Среднее первое напряжение,
20 кВ, 10 кВ, 6 кВ, 1 кВ - СН-2, Среднее второе напряжение,
0,38 кВ, 0,22 кВ, 0,11 кВ и ниже - НН, Низкое напряжение.

Высоковольтное оборудование – это особый вид электрических устройств и механизмов, выполняющих коммутацию, преобразование, а также распределение электроэнергии с высокой величиной напряжения, выше 1000 Вольт. Некоторое такое оборудование применяется для проверки электрической прочности изоляции силового электрооборудования.

К высоковольтному оборудованию предъявляются довольно серьезные требования, это также касается его обслуживания, ремонта и эксплуатации. Работа с высокими напряжениями должна быть максимально безопасной для человека.

Все высоковольтное оборудование можно разделить на две основные группы:

- 1 **Источники электроэнергии высокого напряжения.** Это всевозможные генераторы электроэнергии, электростанции, работающие по разным принципам (гидро-, а также теплового преобразования).
- 2 **Распределительные подстанции,** служащие для доставки и распределения напряжения между потребителями, а также изменения его величины. Также этой группе относятся и **электрические машины,** работающие на напряжении выше 1000 Вольт.

Высоковольтное оборудование имеет свои особенности, в основном связанные с возникновением устойчивой дуги между расходящимися контактами

Варианты гашения дуги в высоковольтных выключателях

При горении дуги в высоковольтном выключателе в ней одновременно протекают два противоположных процесса: ионизации и деионизации. Если скорость образования ионов вследствие термической и ударной ионизации равна скорости исчезновения ионов вследствие рекомбинации и диффузии, в дуге будет существовать баланс ионов, и она будет устойчивой. Следовательно, успешность отключения тока короткого замыкания и гашение дуги в выключателе зависят от скорости протекания двух процессов: восстановления электрической прочности дугового промежутка и восстановления напряжения на контактах выключателя. При этом чтобы дуговой промежуток не был повторно пробит восстанавливающимся напряжением, необходимо как можно быстрее устранить из него заряженные частицы, т.е. деионизировать его. Существует несколько вариантов достижения этого, которые будут рассмотрены далее.

Газовоздушное дутьё

Поток газов, направленный вдоль или поперёк дуги существенно снижает её температуру. При дутье в ствол дуги попадают молекулы газа, возникает диффузия и охлаждение дуги. Генерация или подача газов в различных выключателях организована по-разному. В воздушных выключателях из специальных баллонов со сжатым воздухом поступает холодный воздух. В масляных выключателях газ возникает при разложении масла электрической дугой. При автогазовом дутье, чаще используемом в выключателях нагрузки, газ генерируется при разложении твёрдых материалов.

Гашение электрической дуги в масле

В масляных выключателях контакты находятся в масле. Возникающая, при размыкании контактов электрическая дуга, разлагает масло, при этом сама дуга оказывается в газовом пузыре, состоящем из углеводородов, водорода и паров масла. Водород и высокое давление в пузыре способствуют деионизации дуги, и её охлаждению. Кроме того движение газов, растягивание дуги в дугогасительной камере повышают дугогасящий эффект.

Гашение дуги в вакууме

Электрическая прочность вакуума (высокоразрежённого газа) во много раз превышает электрическую прочность воздуха в обычных условиях. Это свойство нашло применение в вакуумных выключателях. После размыкания контактов в дугогасящей камере вакуумного выключателя при первом прохождении тока через ноль дуга гаснет, электрическая прочность промежутка восстанавливается.

Гашение дуги в газах высокого давления

Хотя и воздух, при давлении выше 2 МПа, имеет достаточно высокую электрическую прочность, что дает возможность проектировать выключатели с гашением дуги в среде воздуха под давлением. Но, большее распространение в электроэнергетике получили элегазовые выключатели, в которых в качестве дугогасящей среды используется элегаз (SF₆ - шестифтористая сера). Он имеет более высокие, чем воздух, электрическую прочность и дугогасящие свойства. Элегазовые выключатели нашли широкое применение в современных электроустановках, практически всех классов напряжения.

Магнитное дутьё, как вариант гашение дуги

Магнитное дутьё применяется в электромагнитных выключателях. Щелевая дугогасящая камера из жаропрочного материала – основной элемент электромагнитных выключателей. Магнитное дутьё, как правило, создается с помощью электромагнита, который включается последовательно в контур дуги. За счет него электрическая дуга в выключателе растягивается, охлаждается и гаснет.

Многократный разрыв цепи электрической цепи

Этот способ гашения дуги, как правило, применяется одновременно с вышеперечисленными, при коммутации высоких напряжений, когда отключение больших токов становится нетривиальной задачей. За счет многократного разрыва дуги с помощью нескольких дугогасящих устройств, достигается кратное снижение напряжения в каждом из них. Равномерное распределение напряжения на каждый разрыв достигается за счет активных сопротивлений или емкостей, включаемым параллельно основным контактам выключателя.

Ограничители перенапряжений (ОПН) - аппараты современного поколения, пришедшие на смену вентильным разрядникам, предназначенные для защиты электрооборудования от коммутационных и грозовых перенапряжений.

Ограничитель перенапряжения нелинейный (ОПН) — это элемент защиты без искровых промежутков. Активная часть ОПН состоит из прессованного оксида цинка ZnO , при подаче напряжения он ведёт себя как множество последовательно соединенных варисторов. Принцип действия ОПН основан на том, что проводимость варисторов нелинейно зависит от приложенного напряжения. При отсутствии перенапряжений ОПН не пропускает ток, но как только на участке сети возникает перенапряжение, сопротивление ОПН резко снижается, чем и обуславливается эффект защиты от перенапряжения.

После окончания действия перенапряжения на выводах ОПН, его сопротивление опять возрастает. Переход из «закрытого» в «открытое» состояние занимает единицы наносекунд (в отличие от разрядников с искровыми промежутками, у которых это время срабатывания может достигать единиц микросекунд). Кроме высокой скорости срабатывания ОПН обладает еще рядом преимуществ. Одним из них является стабильность характеристики варисторов после неоднократного срабатывания вплоть до окончания указанного времени эксплуатации, что, кроме прочего, устраняет необходимость в эксплуатационном обслуживании.

Конструктивно ОПН представляет собой высоконелинейное сопротивление (варистор), заключённый в высокопрочный герметизированный полимерный или фарфоровый корпус. При возникновении волн перенапряжения сопротивление варисторов изменяется на несколько порядков (от мегомов до десятков Ом) с соответствующим возрастанием тока от миллиампер при воздействии рабочего напряжения до тысяч ампер при воздействии волны перенапряжения.



Разрядники длинно-искровые петлевые РДИП-10 и разрядники мультикамерные РМК-20



Разрядник РДИП-10-IV-УХЛ1 является разрядником первого поколения. Современной альтернативой данного устройства является разрядник мультикамерный второго поколения РМК-20-IV-УХЛ1, обладающий рядом технических и эксплуатационных преимуществ, таких как: уменьшенные габариты и вес, способность гасить большие токи КЗ (до 1,2 кА), расширенный диапазон рабочего напряжения, антивандальное исполнение, наличие Аттестации в ПАО "Россети".

РДИП-10 и РМК-20 предназначены для защиты воздушных линий электропередачи напряжением 6-10 и 6-20 кВ трехфазного переменного тока с защищёнными и неизолированными проводами от индуктированных грозовых перенапряжений и их последствий, и рассчитан для работы на открытом воздухе при температуре окружающего воздуха от минус 60°С до плюс 50°С в течение 30-и лет.

Схема установки разрядников на ВЛ - по одному разряднику на опору с последовательным регулярным чередованием фаз.

Достоинства и преимущества разрядников

- Не только устраняют пережог проводов, но и предотвращают отключение ВЛ вследствие грозовых индуктированных перенапряжений.
- Устраняют последствия грозовых перекрытий, не причиняя ущерба оборудованию линий и подстанций в отличие от дугозащитных рогов, которые искусственно переводят однофазное замыкание в

двухфазное, создавая тем самым мощный электродинамический удар по оборудованию.

- Экономят ресурс срабатывания высоковольтных выключателей.
- Защищают электрические сети от дуговых перенапряжений, сопутствующих однофазным замыканиям на землю, вызванным грозовыми перенапряжениями.
- Не подвержены разрушающему воздействию токов молнии и сопровождающих токов дуговых замыканий, как нелинейные ограничители перенапряжений или трубчатые и вентильные разрядники, поскольку эти токи протекают вне конструкции разрядника.
- Не находятся под рабочим напряжением и не требуют обслуживания.
- Не обуславливают никаких специальных требований по снижению сопротивлений заземления опор, на которых они установлены.

Таблица сравнения РДИП-10 и РМК-20

Характеристики	РДИ П-10	РМК-20
Импульсное 50%-ное разрядное напряжение, кВ (чем оно меньше, тем лучше координация разрядника с изолятором, даже при нарушении воздушного промежутка)	100	85
Возможность использования на ВЛ 6-10-15-20 кВ	6-10	6-10-15-20
Сопровождающий ток, который может погасить разрядник, А	600-800	1200
Выдерживаемый импульсный ток 8/50 мкс, не менее, кА	20	20

Возможность использования на ВЛ с СИП или голым проводом, на всех видах опор и изоляции	да	да
Возможность монтажа под напряжением	нет	да
Масса изделия, кг	2,55	1,00
Объем упаковки (10 шт. в коробке), м. куб.	0,16	0,02
Компактная жесткая конструкция, наименее подверженная нарушению воздушного промежутка в процессе эксплуатации	нет	да
Степень загрязнения по ГОСТ 9920	IV	IV
Повреждение элементов разрядника при срабатывании	нет	нет
Гарантийный срок, лет	5	5
Срок службы, лет	30	30
Наличие проектов и рекомендаций «НТЦ Электроэнергетики»	да	да
Качество (Сертификаты и Декларации, Россия)	да	да
Контроль качества и испытания каждого изделия на производстве	да	да
Стоимость	РМК дешевле	

Принцип работы **разрядника РДИП-10-4 УХЛ1** основан на использовании эффекта скользящего разряда, который обеспечивает большую длину импульсного перекрытия по поверхности разрядника, и предотвращении за счет этого перехода импульсного перекрытия в силовую дугу тока промышленной частоты. При возникновении на проводе ВЛ индуктированного грозового импульса искровой воздушный промежуток S между проводом ВЛ и металлической трубкой **разрядника РДИП-10-4 УХЛ1** пробивается, и напряжение прикладывается к изоляции между металлической трубкой и металлическим стержнем петли, имеющим потенциал опоры. Под воздействием приложенного импульсного напряжения вдоль поверхности изоляции петли от металлической трубки к зажиму крепления **разрядника РДИП-10-4 УХЛ1** развивается скользящий заряд

Вследствии эффекта скользящего разряда вольт-секундная характеристика **разрядника РДИП-10-4 УХЛ1** расположена ниже, чем вольт-секундная характеристика изолятора, т.е. при воздействии грозового перенапряжения **разрядник РДИП-10-4 УХЛ1** перекрывается, а изолятор нет. После прохождения импульсного тока молнии разряд гаснет, не переходя в силовую дугу, что предотвращает возникновение короткого замыкания, повреждение провода и отключение ВЛ.

Принцип работы **разрядника РМК-20-IV-УХЛ1**

Основными элементами **РМК-20** являются: мультикамерная система (МКС), несущий стеклопластиковый стержень и узел крепления разрядника к стержню изолятора. Разрядник устанавливается на металлический стержень изолятора с искровым воздушным промежутком $S = 3-6$ см между верхним концом разрядника и проводом. При воздействии грозового перенапряжения сначала пробивается искровой воздушный промежуток, а затем – МКС разрядника.

Условное обозначение разрядника РМК-20-IV УХЛ1

Р – Разрядник

МК – Мультикамерный

20 - класс напряжения сети, кВ

IV - категория длины пути утечки

УХЛ - климатическое исполнение по ГОСТ 15150-69

1 - категория размещения по ГОСТ 15150-69

Установка РМК на опору ЛЭП

Для защиты от индуктированных перенапряжений разрядники устанавливаются по одному на опору с чередованием фаз, аналогично порядку установки длинно-искрового разрядника РДИП-10. При этом токи промышленной частоты, сопровождающие многофазные замыкания, вызванные грозовыми перенапряжениями, протекают по контурам, включающим в себя сопротивления заземления опор. Эффективность гашения сопровождающих токов тем выше, чем меньше они по величине, а наличие сопротивлений заземления опор в контуре замыкания благоприятным образом влияет на снижение величины сопровождающих токов.

Таким образом, разрядники РМК-20 и РДИП-10 могут выполнять одинаковые функции и являются взаимозаменяемыми для линий 6-10 кВ.

Сравнение РМК-20 и РДИП-10

Мультикамерный разрядник РМК содержит в себе все положительные свойства своего предшественника - длинно-искрового разрядника РДИП.

РМК применим:

- для высоковольтных линий с любыми видами опор: металлическими, железобетонными, деревянными;
- с любыми видами изоляторов: штыревыми, натяжными, подвесными, фарфоровыми, стеклянными, полимерными;
- с любым типом проводов, как изолированными, так и неизолированными;

Срок службы РМК – не менее 30 лет, гарантия производителя – 5 лет.

В дополнение к приведенным выше достоинствам РМК (по сравнению с РДИП) имеет еще несколько конкурентных преимуществ:

- Вес и габариты РМК значительно меньше, чем у РДИП, это упрощает его транспортировку и хранение.
- Малые габариты и конструкция способствуют легкому монтажу, даже под напряжением, при использовании специального

кронштейна крепления и зажима на проводе (на ВЛ 6 кВ с неизолированным проводом – без зажима).

- **Возможность эксплуатации на ВЛ 6 кВ, 10 кВ, 15 кВ и 20 кВ.**
- Значительно снижены ветровые и гололедные нагрузки.
- Имеет защиту от посадки птиц на изделие, т.е. исключает возможность нарушения искрового промежутка.
- Улучшена координация с изолятором даже при нарушении воздушного промежутка.
- Гашение сопровождающего тока до 1,2 кА;
- Низкая стоимость.

РМК-20 прошёл все необходимые испытания и сертифицирован. С начала 2009 года на ВЛ установлено более 100 000 изделий РМК-20.

Возможные модификации РМК, РМКЭ

- РМК-20-IV-УХЛ1
- РМК-10-IV-УХЛ1/АВ
- РМК-10-III-УХЛ1
- РМКЭ-10-IV-УХЛ1 для защиты ВЛ от отключений и повреждений, возникающих в результате воздействия индуктированных перенапряжений, обратных перекрытий и **прямых ударов молнии.**
- РМКЭ-20-IV-УХЛ1
- РМКЭ-35-IV-УХЛ1