

99 Высоковольтные выключатели, разъединители, предохранители и реакторы. Гашение дуги

Электрические аппараты высокого напряжения используются в электроэнергетических системах (объединённых и автономных) для осуществления всех необходимых изменений схем выдачи мощности и электроснабжения потребителей в нормальном эксплуатационном режиме и в аварийных условиях, обеспечения непрерывного контроля за состоянием систем высокого напряжения, ограничения возникающих в процессе эксплуатации перенапряжений и токов короткого замыкания (КЗ), а также для компенсации избыточной зарядной мощности линий в нормальных и аварийных режимах. Иными словами с помощью электрических аппаратов высокого напряжения осуществляется управление энергетическими системами в самом широком смысле этого понятия.



По функциональному признаку аппараты высокого напряжения подразделяются на следующие виды:

- коммутационные аппараты (выключатели, выключатели нагрузки, разъединители, короткозамыкатели, отделители); измерительные аппараты (трансформаторы тока и напряжения, делители напряжения);
- ограничивающие аппараты (предохранители, реакторы, разрядники, нелинейные ограничители перенапряжений); компенсирующие аппараты (управляемые и неуправляемые шунтирующие реакторы).

Коммутационные аппараты используются для формирования необходимых схем выдачи мощности от электростанций, её передачи на расстояние и схем электроснабжения потребителей.

Выключатели предназначены для включения и отключения токоведущих элементов электроэнергетических систем в нормальных (отключение рабочего тока) и аварийных (отключение тока КЗ) режимах и тем самым для предотвращения развития аварий в электроэнергетических системах. В связи с такой ответственной ролью выключателей к ним предъявляются весьма жесткие требования. Они должны обеспечивать многократно (тысячи раз) коммутацию (включение и отключение) токоведущих цепей при номинальном токе (либо при меньших токах). Во включенном положении выключатели должны выдерживать в течение срока службы (25 лет) воздействие рабочих напряжения и тока. При возникновении КЗ выключатель должен выдержать воздействие тока КЗ и обеспечить отключение поврежденного участка сети в течение нескольких полупериодов промышленной частоты.

Из сказанного следует, что выключатель должен иметь очень высокий коэффициент готовности: при малой продолжительности процессов коммутации (несколько минут в году) постоянно должна быть обеспечена готовность к осуществлению коммутаций.

В эксплуатации используются различные типы выключателей. Наиболее распространены масляные выключатели, в которых дугогасительной средой является минеральное масло. Они изготавливаются для распределительных устройств (РУ) напряжением до 220 кВ включительно.

Для РУ напряжением 110 кВ и выше (вплоть до 1150 кВ) наиболее широко используются воздушные выключатели, где гашение дуги осуществляется потоком сжатого воздуха. Однако в последнее время они вытесняются элегазовыми выключателями, в которых в качестве дугогасящей среды используется электроотрицательный газ — шестифтористая сера (элегаз). Такие выключатели создаются для герметичных распределительных устройств (ГРУ), а также для наружной установки. Использование элегаза в качестве дугогасящей среды обусловлено его высокими изоляционными и дугогасящими свойствами. Это позволяет создать более совершенные выключатели с меньшим числом дугогасительных разрывов, с меньшими габаритами и более надежные в эксплуатации.

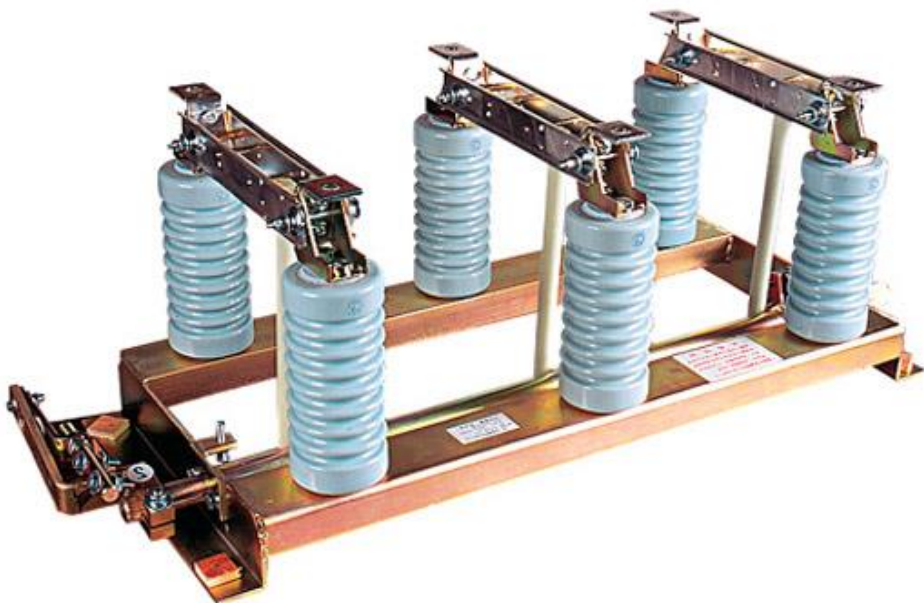
В последнее время интенсивно развиваются конструкции вакуумных выключателей, в которых контактная система помещена в вакуумную камеру. Такие выключатели изготавливаются на напряжение до 35 кВ включительно. Их отличительная особенность — погасание дуги при первом же переходе тока через ноль (после расхождения контактов) и в связи с этим чрезвычайно большой ресурс — до тысяч операций и более.

На напряжение 6 и 10 кВ наиболее распространены электромагнитные выключатели, в которых дуга горит в воздухе при атмосферном давлении и в результате воздействия сильного магнитного поля удлиняется настолько, что отдача тепла от ствола дуги (усиленная специальными мерами) превосходит его поступление и дуга распадается.

Выключатели нагрузки применяются, как правило, в цепи генераторного напряжения на очень большие номинальные токи 20 — 30 кА, когда отключение токов КЗ осуществляется выключателями высокого напряжения за повышающими трансформаторами. В этом случае ток электродинамической стойкости достигает сотен тысяч ампер. Кроме того, выключатели нагрузки применяются на тупиковых подстанциях небольшой мощности, в кольцевых линиях, когда применение выключателей оказывается неэкономичным.

Существенно меньшие токи, отключаемые выключателями нагрузки, определяют значительное упрощение их конструкции и

снижение массогабаритных показателей по сравнению с выключателями.



Разъединители применяются для коммутации обесточенных с помощью выключателей участков токоведущих систем, для переключения присоединений распределительных устройств с одной ветви на другую без перерыва тока и для коммутации очень малых токов ненагруженных силовых трансформаторов и коротких линий.

Например, при подготовке выключателя к ремонту он должен быть отделён от смежных элементов токоведущих систем, находящихся под напряжением, с помощью разъединителей. При этом разъединители отключают небольшой ток, определяемый напряжением сети и емкостью токоведущих элементов выключателя и подводящей ошиновки. **Разъединители открытой установки создают видимые разрывы токоведущей системы**, обеспечивающие безопасность выполнения работ на выключателе.

Отделитель служит для отключения обесточенной цепи высокого напряжения за малое время (не более 0,1 с). Он похож на разъединитель, но **снабжен быстродействующим приводом**.



Короткозамыкатель служит для создания КЗ в цепи высокого напряжения. По конструкции он сходен с заземляющим устройством разъединителя, но **снабжён быстродействующим приводом**.

Короткозамыкатели и отделители устанавливаются на стороне высшего напряжения РУ мало ответственных потребителей, когда с целью экономии площади и стоимости выключатели предусмотрены только на стороне низшего напряжения. **При повреждении в РУ** и токе КЗ, недостаточном для работы защиты на отправном конце питающей линии, **короткозамыкатель заземляет линию**. При этом увеличивается ток КЗ, что обеспечивает надежное срабатывание защиты и отключение **линии** с отправного конца выключателем. После этого отключаются выключатель повреждённой трансформаторной группы на стороне низшего напряжения и затем отделитель этой же группы на стороне высшего напряжения. Таким образом,

поврежденная трансформаторная группа оказывается изолированной от сети, что обеспечивает возможность повторного включения выключателя на отправном конце питающей линии и восстановление питания потребителей поврежденной трансформаторной группы в результате их подключения между шинным выключателем к неповрежденной трансформаторной группе.

Короткозамыкатели и отделители обладают большим быстродействием для ограничения длительности аварийного режима в системе.



Ограничивающие аппараты подразделяются на аппараты ограничения тока и напряжения.

К токоограничивающим аппаратам относятся высоковольтные предохранители и реакторы. Плавкие предохранители высокого напряжения предназначены для защиты силовых трансформаторов, воздушных и кабельных линий; конденсаторов, электродвигателей и трансформаторов напряжения.

Токоограничивающие предохранители с мелкозернистым наполнителем применяются на напряжение 3 — 35 кВ и номинальные токи 2 — 1000 А, с током отключения 2,5 — 63 кА. Выхлопные предохранители переменного тока, где гашение дуги происходит при переходе тока через нуль, применяются на напряжение 6 — 220 кВ и номинальные токи 2 — 200 А.

Токоограничивающие реакторы представляют собой катушку индуктивности без сердечника, включаемую последовательно в

токоведущую цепь. Реактор выбирается из условия ограничения тока КЗ в цепях 6 — 10 кВ до уровня, при котором обеспечиваются динамическая и термическая стойкость коммутационных аппаратов (когда их параметры недостаточны для работы без реакторов), а также термическая стойкость защищаемых кабелей. Менее распространены токоограничивающие реакторы в сетях 110 — 220 кВ. При малых токах (вплоть до номинального) падение напряжения на реакторе обычно не превосходит 3 — 10% номинального напряжения. При КЗ на фидере, защищаемом реактором, напряжение на соседнем фидере не должно уменьшаться более чем на 25 %.

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 высоколинейное 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.



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 вышперечисленными, 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.