

55-56 Высоковольтные выключатели, разъединители, предохранители и реакторы. Комплектные РУ

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.

Рассмотрим подробнее устройство вакуумного выключателя

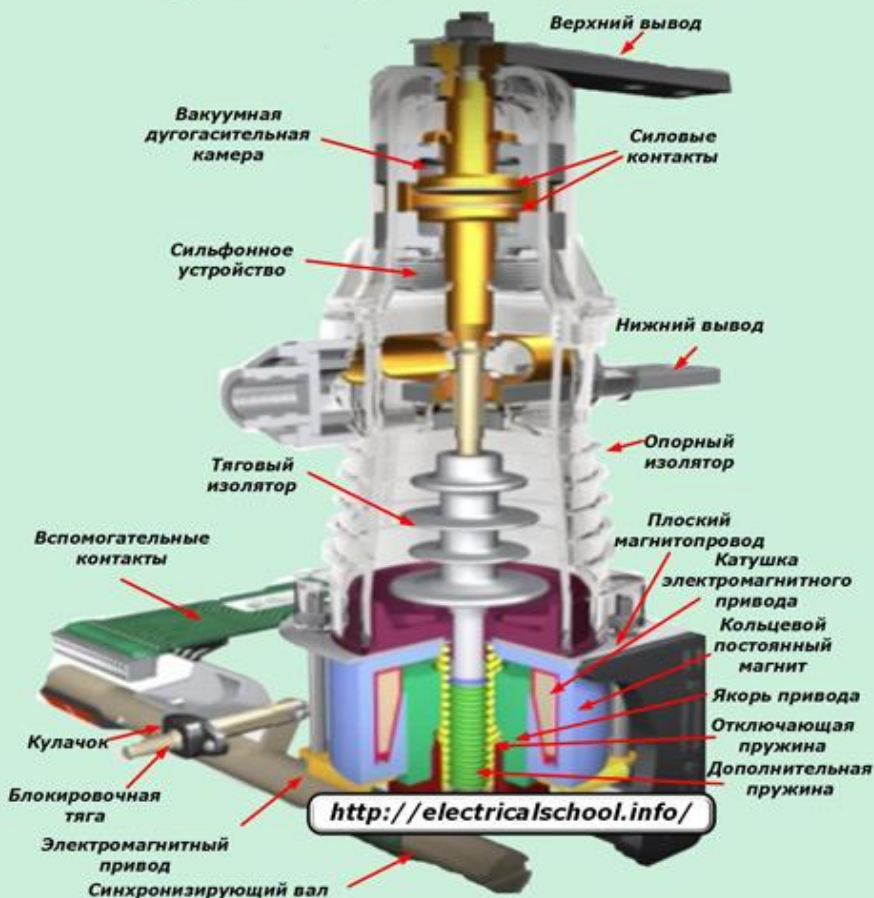
Внутри вакуумной дугогасительной камеры работают **силовые контакты**, прижимаемые между собой так, чтобы обеспечить минимальное переходное сопротивление и надежное прохождение токов, как нагрузки, так и аварии.

Верхняя часть контактной системы стационарно закреплена, а нижняя под действием усилия привода способна перемещаться строго в осевом направлении.

На картинке видно, что контактные пластины расположены в вакуумной камере и приводятся в движение тягами, управляемыми силами натяжения пружин и катушек электромагнитов. Вся эта конструкция расположена внутри системы изоляторов, исключающих возникновение токов утечек.

Стенки вакуумной камеры выполнены из очищенных металлов, сплавов и специальных составов керамики, **обеспечивающих герметичность рабочей среды** в течение нескольких десятилетий. Для исключения попадания воздуха при перемещениях подвижного контакта установлено сильфонное устройство.

Конструкция вакуумного выключателя



Якорь электромагнита постоянного тока способен двигаться на замыкание силовых контактов или их разрыв за счет смены полярности подаваемого на обмотку напряжения. Постоянный круговой магнит, встроенный в конструкцию привода, удерживает подвижную часть в любом сработавшем положении.

Система пружин обеспечивает создание оптимальных скоростей передвижения якоря при коммутациях, исключения дребезга контактов и возможностей пробоев конструкции стенок.

Внутри корпуса выключателя собрана кинематическая и электрическая схемы с синхронизирующим валом и дополнительными блок-контактами, обеспечивающими

возможности контроля и управления положением выключателя в любом состоянии.

forca.ru



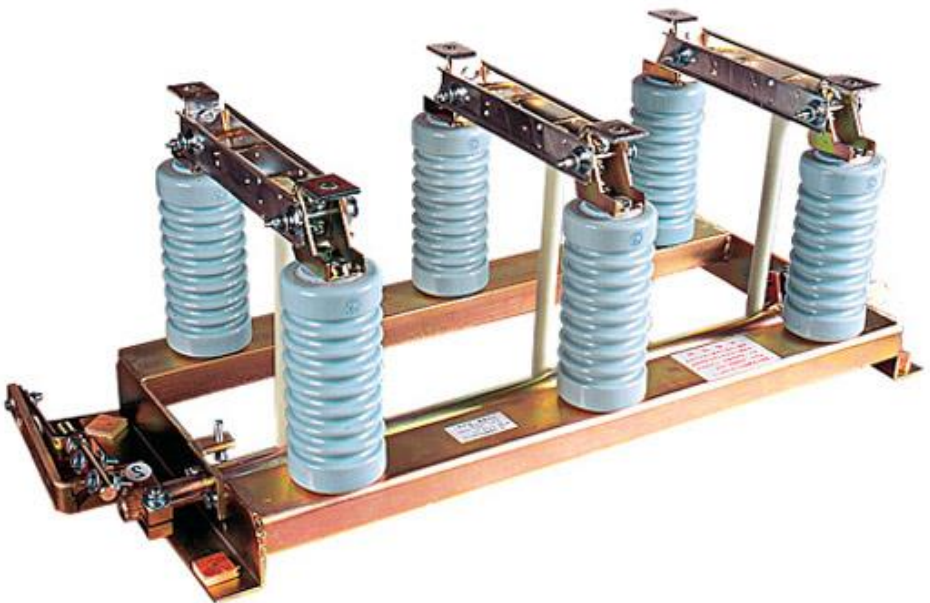
Вакуумный выключатель

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 повреждённой трансформаторной группы в результате их подключения между шинным выключателем к неповреждённой трансформаторной группе.

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



Измерительные — трансформаторы тока (ТТ) и напряжения (ТН) применяются для осуществления непрерывного контроля за этими параметрами электрической цепи в качестве датчиков сигнала её состояния, воспринимаемого устройствами защиты и автоматики. Применяются ТТ и ТН при высоких напряжениях и больших токах, когда непосредственное включение в первичные цепи контрольно-измерительных приборов, реле и приборов автоматики технически невозможно или недопустимо по условиям безопасности обслуживающего персонала. Измерительные

трансформаторы устанавливаются в открытых (ОРУ), закрытых (ЗРУ) и герметичных (ГРУ) распределительных устройствах и связываются контрольными кабелями с приборами устройств вторичной коммутации, которые размещаются на панелях щитов и пультов и на стенах в помещениях щитов управления, машинного зала и РУ. Основное требование к трансформаторам тока — обеспечение передачи информации со стороны высокого потенциала на потенциал земли с минимально возможными искажениями.

Наиболее распространенными в настоящее время являются электромагнитные ТТ и ТН, содержащие магнитопровод, первичную обмотку, включаемую непосредственно в цепь высокого напряжения последовательно (ТТ) либо параллельно (ТН), и одну или несколько вторичных обмоток. Номинальный ток вторичных обмоток ТТ составляет обычно 5 А, иногда 1 А, номинальное напряжение вторичных обмоток ТН составляет обычно 100 В.

Эти трансформаторы имеют очень небольшие погрешности в установившемся режиме: от долей процента до нескольких процентов в зависимости от класса точности. Однако в переходных режимах, связанных, например, с возникновением КЗ, погрешности измерения тока и напряжения могут достигать 10% и более прежде всего из-за насыщения стали сердечника.

В связи с этим в последнее время вместо электромагнитных ТН применяются емкостные делители, а вместо электромагнитных ТТ — оптико-электронные, в которых передача сигнала со стороны высокого потенциала на землю осуществляется по оптическому каналу с помощью волоконных световодов (ОЭТТ). Такие ТТ передают сигнал на устройства защиты и управления практически без искажения.

Однако, мощность передаваемого по оптическому каналу сигнала недостаточна для использования в обычных устройствах релейной защиты и автоматики. Поэтому использование ОЭТТ необходимо сочетать с применением микроэлектронных устройств и ЭВМ.

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 %.

Наиболее распространённым средством ограничения грозовых и внутренних перенапряжений являются разрядники. Эти аппараты состоят из нелинейных резисторов (варисторов) и искровых промежутков, автоматически подключающих блок варисторов к токоведущей цепи при превышении заданного уровня напряжения.

В настоящее время производятся варисторы с такой высокой степенью нелинейности вольт-амперной характеристики, что они могут быть подключены к токоведущим элементам без искровых промежутков. Протекающий по ним ток при номинальном напряжении составляет миллиамперы, а при повышении напряжения возрастает до тысяч ампер. Отсутствие искровых промежутков существенно упрощает конструкцию ограничителей перенапряжений, но порождает ряд новых проблем, связанных с необходимостью обеспечения надёжной работы аппарата при рабочем напряжении.

Компенсирующие аппараты.

В сетях сверхвысокого напряжения широкое распространение получили реакторы, включаемые между токоведущими элементами и землёй (шунтирующие реакторы). Они предназначены для компенсации избыточной зарядной ёмкости линий в режиме малых нагрузок (когда по линии передается мощность меньше натуральной). Поэтому при номинальной нагрузке линии реакторы отключены, а по мере уменьшения нагрузки они подключаются выключателями высокого напряжения.

Регулируемые реакторы обеспечивают возможность быстрого и плавного изменения потребляемой ими реактивной мощности без их отключения от линии. Такие реакторы в настоящее время находятся в стадии разработки. Регулирование тока в обмотке управления с помощью тиристоров позволяет плавно изменять ток в обмотке, подключенной к электрической сети (сетевой обмотке). В зависимости от применяемой системы управления может быть обеспечено различное быстродействие реактора. В частности, при управлении реактором по принципу трансформатора, время изменения тока от минимального (холостой ход) до максимального (номинальный ток) составляет 0,01 с.

Комплектные РУ

Комплектные РУ состояются из полностью или частично закрытых шкафов или блоков с встроенными в них аппаратами, устройствами защиты и автоматики, поставляемых в собранном или полностью подготовленном для сборки виде. Комплектные РУ выпускаются для внутренней (КРУ) и для наружной (КРУН) установки. Комплектные РУ 6 — 20 кВ в наибольшей степени отвечают требованиям индустриализации энергетического строительства. Поэтому они становятся самой распространенной формой исполнения РУ.

В последние годы получает широкое распространение новый тип комплектных РУ — герметичных, в которых все токоведущие элементы и аппараты (сборные шины, выключатели, разъединители, трансформаторы тока и напряжения) расположены внутри герметичной оболочки, заполненной сжатым высокопрочным газом (элегазом). Такие РУ полностью изготавливаются на заводе в виде отдельных ячеек, набор которых может изменяться в зависимости от схемы подстанции.

В настоящее время в России освоен серийный выпуск ячеек ГРУ на напряжение 110 и 220 кВ и серийный выпуск ГРУ на напряжение 330, 500, 750 и 1150 кВ.

Герметичные РУ предполагается использовать, прежде всего, в крупных городах с целью экономии площади и объема. Так, ГРУ 110 и 220 кВ могут быть размещены в подвальных помещениях жилых зданий. Целесообразно использование ГРУ на гидроэлектростанциях, где, как правило, недостаточно места для размещения ОРУ, а также в районах со сложными климатическими, метеорологическими и сейсмическими условиями и в районах с сильным загрязнением атмосферы.

Прогрессивное направление развития аппаратостроения — создание комплексов аппаратов — получило развитие и при создании аппаратных комплексов на генераторное напряжение. В единый комплекс объединяются все три аппарата, включаемые в рассечку токопровода от генератора до трансформатора: выключатель, разъединитель и ТТ. Такое объединение аппаратов приводит к существенному уменьшению объема, занимаемого аппаратами, повышает их технико-экономические характеристики, в том числе надёжность их работы.