

**С.Е. СОКОЛОВ
И.С. СОКОЛОВА**

ЭЛЕГАЗОВЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ

Учебное пособие

С.Е.Соколов, И.С.Соколова

ЭЛЕГАЗОВЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ



Учебное пособие

Алматы
АУЭС
2016

УДК 621.316.5 (075.8)
ББК 31.264Я73
С 594

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор кафедры электроэнергетики и автоматизации технологических процессов Каз НИТУ

Бекбаев А.Б.

Доктор технических наук, профессор,
кафедры электротехники, электроники и телекоммуникаций Каз НИТУ

Исембергенов Н.

Доктор технических наук, профессор
кафедры ЭАПУ АУЭС

Сагитов П.И.

Соколов С.Е., Соколова И.С.

С 594 Элегазовые выключатели: учебное пособие./ С.Е.Соколов, И.С.Соколова. - Алматы: АУЭС, 2016. - 86 с.: табл. 26, илл.71, библи.- 18.

В настоящем пособии сделана попытка обобщения имеющихся разрозненных материалов по элегазовым выключателям и многофункциональным устройствам на их базе. Рассмотрены физика возникновения электрической дуги в газах, особенности элегаза, как изоляционной и дугогасительной среды, а также способы и средства гашения дуги, особенности конструкции элегазового коммутационного оборудования ведущих производителей, представленных на мировом рынке и их эксплуатация.

Пособие предназначено для студентов и магистрантов по направлениям «Электрические станции и подстанции» и «Электроснабжение» специальности «Электроэнергетика».

УДК 621.316.5 (075.8)
ББК 31.264Я73

© АУЭС, 2016
© Соколов С.Е., Соколова И.С., 2016

Введение

До недавнего времени в распределительных устройствах напряжением 35 кВ и выше использовались масляные и воздушные выключатели.

Недостатки этих выключателей, также как основы теории горения и гашения дуги и конструктивные особенности, хорошо известны и описаны во многих учебниках и учебных пособиях.

Выполнив свою задачу, масляные и воздушные выключатели давно сняты с производства. На смену им пришли более совершенные и надежные вакуумные и элегазовые выключатели и комплектные распределительные устройства с элегазовой изоляцией. При этом вакуумные выключатели прочно заняли класс напряжений до 35 кВ включительно. На напряжениях 110 кВ – 220 кВ используются и вакуумные и элегазовые, конкурируя между собой, а в классе напряжений 200 кВ и выше элегазовым выключателям и КРУЭ альтернативы сегодня нет. Однако в отечественной учебной и технической литературе отсутствуют работы, в которых были бы рассмотрены основы теории и работы, особенности конструкции, состояние и перспективы развития вакуумного и элегазового коммутационного оборудования.

В настоящем пособии сделана попытка обобщения имеющихся разрозненных материалов по элегазовым выключателям и многофункциональным устройствам на их базе. Рассмотрены физика возникновения электрической дуги в газах, особенности элегаза, как изоляционной и дугогасительной среды, а также способы и средства гашения дуги, особенности конструкции элегазового коммутационного оборудования ведущих производителей, представленных на мировом рынке.

Представленные материалы ни в коей мере не претендуют на рекомендации по выбору оборудования той или иной фирмы, поскольку такой выбор зависит от большого количества факторов и должен быть сделан непосредственно заказчиком или проектировщиком конкретного объекта.

1 Электрическая дуга в газах

Размыкание электрической цепи при наличии в ней тока сопровождается электрическим разрядом между контактами. Если в отключаемой цепи ток и напряжение между контактами больше, чем критические для данных условий, то между контактами возникает дуга, продолжительность горения которой зависит от параметров цепи и условий деионизации дугового промежутка.

Образование дуги при размыкании медных контактов возможно уже при токе 0,4 А-0,5 А и напряжении 15 В.

В дуге различают околокатодное пространство, ствол дуги и околоанодное пространство (рисунок 1.1). Все напряжение распределяется между этими областями U_k, U_{cd}, U_a . Катодное падение напряжения в дуге постоянного тока 10 В-20 В, а длина этого участка составляет 10^{-4} см – 10^{-5} см, таким образом, около катода наблюдается высокая напряженность электрического поля (105 В/см-106 В/см).

При таких высоких напряженностях поля происходит ударная ионизация. Суть ее заключается в том, что электроны, вырванные из катода силами электрического поля (автоэлектронная эмиссия) или за счет нагрева катода (термоэлектронная эмиссия), разгоняются в электрическом поле и при ударе в нейтральный атом отдают ему свою кинетическую энергию. Если этой энергии достаточно, чтобы оторвать один электрон с оболочки нейтрального атома, то произойдет ионизация. Образовавшиеся свободные электроны и ионы составляют плазму ствола дуги [1,2,3,4]. Проводимость плазмы приближается к проводимости металлов.

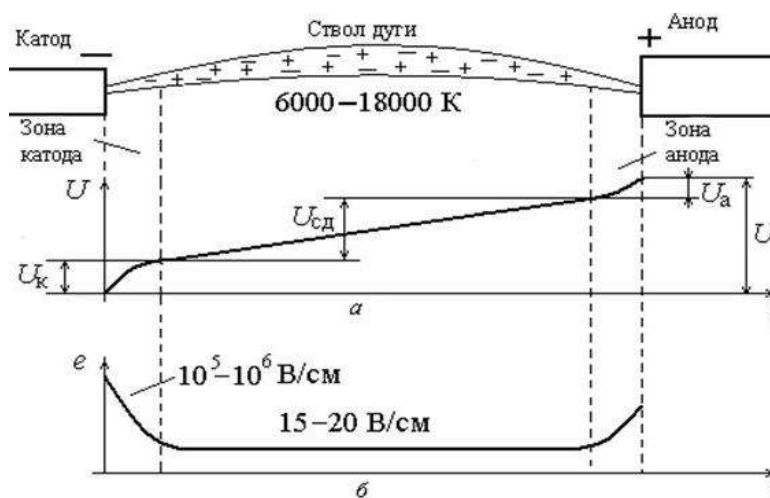


Рисунок 1.1- Расположение в стационарной дуге постоянного тока напряжения $U(a)$ и напряженности $E(b)$

В стволе дуги проходит большой ток и создается высокая температура. Плотность тока достигает 10 000 А/см² и более, а температура - от 6000 °К

при атмосферном давлении и 18000 °К при повышенных давлениях. Высокая температура в створе дуги приводит к интенсивной термоионизации, которая поддерживает большую проводимость плазмы. Чем больше ток в дуге, тем меньше ее сопротивление, а поэтому требуется меньшее напряжение для горения дуги, т. е. дугу с большим током погасить труднее.

Таким образом, дуговой разряд начинается за счет ударной ионизации и эмиссии электронов с катода, а после зажигания дуга поддерживается термоионизацией в створе дуги.

Без применения специальных мер дуга может гореть продолжительное время, что вызывает негативные последствия в коммутируемых цепях и повреждение самого коммутационного аппарата (оплавление контактов, разрушение дугогасительных камер и т.д.).

При переменном токе напряжение источника питания и ток в цепи меняется синусоидально и напряжение на дуге непостоянно. При малых токах напряжение возрастает до величины напряжения зажигания U_z , затем, по мере увеличения тока в дуге и роста термической ионизации напряжение падает. В конце полупериода, когда ток приближается к нулю, дуга гаснет при напряжении гашения U_r . Если не приняты меры для деионизации промежутка, то в следующий полупериод процесс повторяется.

Ток в дуге каждый полупериод проходит через нуль. В эти моменты дуга гаснет самопроизвольно, но в следующий полупериод она может возникнуть вновь.

Как показывают осциллограммы, ток в дуге становится близким нулю несколько раньше естественного перехода через нуль (рисунок 1.2,а). Это объясняется тем, что при снижении тока энергия, подводимая к дуге, уменьшается, следовательно, уменьшается температура дуги и прекращается термоионизация.

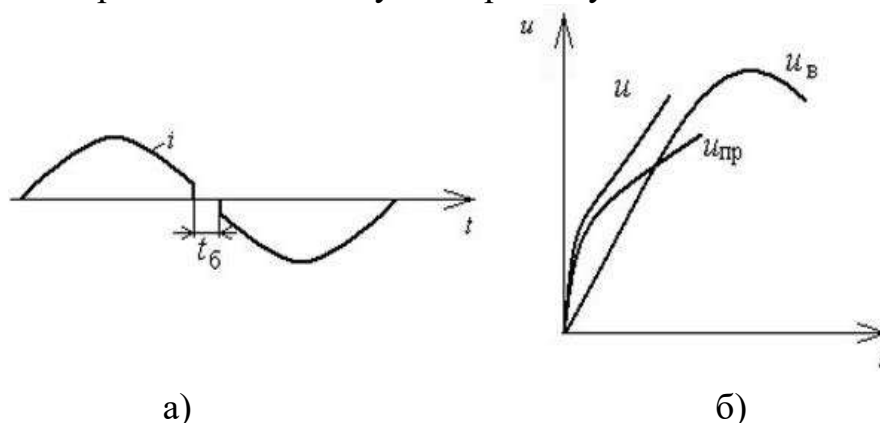
Длительность бестоковой паузы $t_{\text{п}}$ невелика (от десятков до нескольких сотен микросекунды), но играет важную роль в гашении дуги. Во время бестоковой паузы интенсивность ионизации сильно падает, так как не происходит термоионизации.

Кроме того, принимаются искусственные меры охлаждения дугового пространства и уменьшения числа заряженных частиц. Эти процессы приводят к увеличению электрической прочности промежутка $u_{\text{пр}}$ (рисунок 1.2,б).

Резкое увеличение электрической прочности промежутка после перехода тока через нуль происходит, в основном, за счет увеличения прочности околокатодного пространства (в цепях переменного тока это 150 В-250В).

Одновременно растет восстанавливающееся напряжение $u_{\text{в}}$. Если в любой момент $u_{\text{пр}} > u_{\text{в}}$ промежуток не будет пробит и дуга не загорится

после перехода тока через нуль. Если в какой-то момент $u_{\text{пр}} = u_{\text{в}}$, то произойдет повторное зажигание дуги в промежутке.



- а) — погасание дуги при естественном переходе тока через нуль;
 б) — рост электрической прочности дугового промежутка при переходе тока через нуль.

Рисунок 1. 2- Условия гашения дуги переменного тока

Таким образом, задача гашения дуги сводится к созданию таких условий, чтобы электрическая прочность промежутка между контактами $u_{\text{пр}}$ была больше напряжения между ними $u_{\text{в}}$.

Процесс нарастания напряжения между контактами отключаемого аппарата может носить различный характер в зависимости от параметров коммутируемой цепи.

При отключении цепи с преобладанием активного сопротивления напряжение восстанавливается по апериодическому закону. Если в цепи преобладает индуктивное сопротивление, то возникают колебания, частоты которых зависят от соотношения емкости и индуктивности цепи. Колебательный процесс приводит к значительным скоростям восстановления напряжения, а чем больше скорость $du_{\text{в}}/dt$, тем вероятнее пробой промежутка и повторное зажигание дуги. Поскольку скорость восстановления напряжения определяется источником питания, то важнейшей характеристикой выключателей является скорость восстановления электрической прочности промежутка, которая определяется эффективностью деионизации.

На рисунке 1.3 приведена часть осциллограммы гашения дуги при чисто активной нагрузке ($\cos \varphi = 1$). Поскольку сопротивление дуги активное, то напряжение $u_{\text{д}}$ меняет свой знак вместе с током. Кривая $u_{\text{д}}$ имеет седлообразную форму, так как с увеличением тока, протекающего через дугу, сопротивление ее уменьшается, а, следовательно, уменьшается и напряжение, необходимое для ее поддержания. В момент погасания дуги при нулевом значении тока дуговой промежуток обладает некоторой электрической прочностью, характеризующийся отрезком $0, a_1$, которая зависит от типа ДУ,

среды, в которой горит дуга, расстояния между контактами и ряда других факторов.

Вследствие этого, немедленного нового зажигания дуги после перехода тока через нуль не последует.

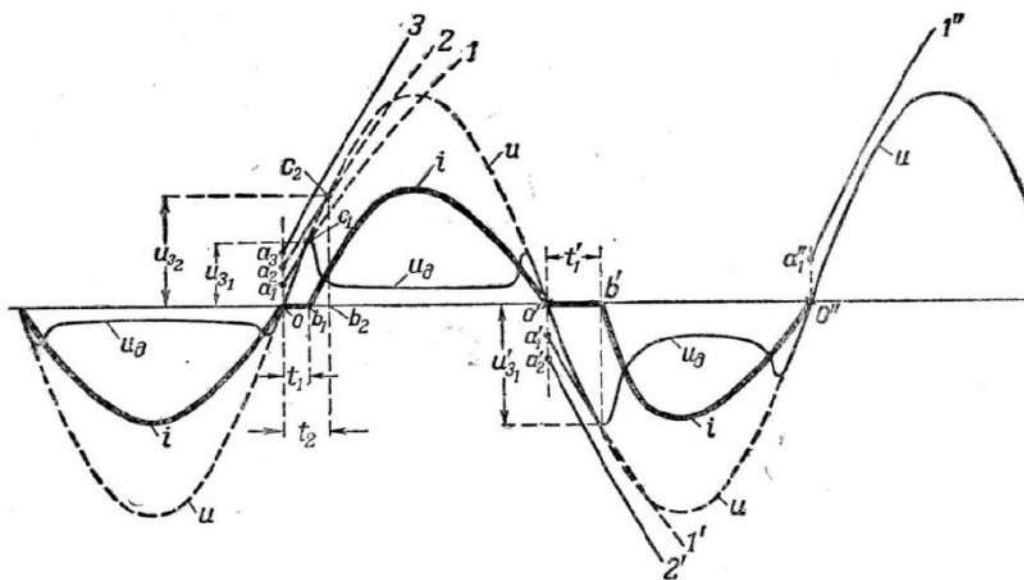
Далее нарастание электрической прочности дугового промежутка происходит по кривой 1, характер которой и ее наклон к оси абсцисс зависят от типа ДУ, примененного в данном выключателе.

Чем совершеннее ДУ, то есть, чем энергичнее деионизация промежутка между контактами, тем круче кривая изменения электрической прочности промежутка (например, кривые 2 и 3).

Одновременно возрастает и напряжение на дуговом промежутке (по синусоиде u). Пересечение этих кривых (точка c_1) соответствует моменту пробоя дугового промежутка и новому зажиганию дуги. Напряжение u_{31} является напряжением зажигания дуги. Таким образом, в течение времени t_1 дуга не горит.

После погасания в момент $0'$ она не горит в течение времени $t_1' > t_2$ что объясняется большей величиной электрической прочности промежутка (кривая 1) при новом, большем расстоянии между контактами. При этом увеличилось и напряжение зажигания дуги $u_{31}' > u_{31}$.

После погасания дуги в момент $0''$ дуга больше не возникает, так как электрическая прочность промежутка (кривая 1'') остается все время больше напряжения на дуговом промежутке. Процесс отключения закончен.



u - напряжение сети; i - ток, протекающий через дугу; u_d - напряжение на дуге.

Рисунок 1.3- Процесс отключения цепи переменного тока при активной нагрузке $\cos \varphi = 1$

Если обеспечить более высокую скорость деионизации, то электрическая прочность дугового промежутка будет изменяться по кривым 2 и 2'. При этом после погасания дуги она восстанавливается через время t_2 и при значительном большем напряжении зажигания u_{32} .

После погасания в момент O' она уже не восстанавливается, так как электрическая прочность промежутка (кривая 2') все время остается больше напряжения, восстанавливающегося на контактах выключателя. Применением ДУ с еще более энергичной деионизацией (кривая 3) можно достичь окончательного погасания в момент O . Таким образом, усиливая деионизацию дугового промежутка применением специальных ДУ, можно сократить время существования дуги в выключателе.

На рисунке 1.4 приведена осциллограмма отключения цепи переменного тока при индуктивной нагрузке, что соответствует отключению цепи при КЗ. Обозначения те же, что и на рисунке 2.

Если при отключении активной нагрузки напряжение на контактах восстанавливалось по синусоиде промышленной частоты, то при отключении отстающего тока восстанавливающееся напряжение на контактах выключателя изменяется по некоторой кривой u_b . В момент перехода тока через нуль (момент O) напряжение на дуговом промежутке равно напряжению погасания дуги u_n , а напряжение источника u_2 (генератора) имеет противоположное направление и близко к максимальному значению u_m . Электрическая прочность промежутка мгновенно восстанавливается до значения Oa и далее увеличивается по некоторой кривой 1.

Новый, повторный пробой промежутка между контактами выключателя и зажигание дуги возможно при условии, что напряжение на дуговом промежутке будет равно напряжению зажигания дуги. Если бы после погасания дуги напряжение на дуговом промежутке u_b мгновенно изменилось по направлению и величине и стало равным мгновенному значению напряжения источника u_2 , то повторное зажигание дуги произошло бы немедленно ($u_2 > Oa$).

В действительности мгновенное значение напряжения на дуговом промежутке невозможно вследствие наличия в сети некоторой индуктивности и емкости. Действительно, всякое изменение напряжения на дуговом промежутке сопровождается одновременным изменением напряжения и на емкости сети (например, в простейшем случае $u_c = u_b$), вследствие чего, в сети появляется ток, вызывающий потерю напряжения в сопротивлении сети.

По мере заряда емкости ток, а, следовательно, и потери напряжения в сети уменьшаются – напряжение на дуговом промежутке восстанавливается. Как только это восстанавливающееся напряжение достигает значения, равного напряжению зажигания дуги (моменты b и b' рисунок 3), дуга вновь зажигается и горит до следующего перехода тока через нуль, после чего описанные явления повторяются. Если восстанавливающееся напряжение остается меньше пробивного (кривая $a''-1''$), то дуга не восстанавливается и процесс работы выключателя заканчивается (момент O'') [3,4].

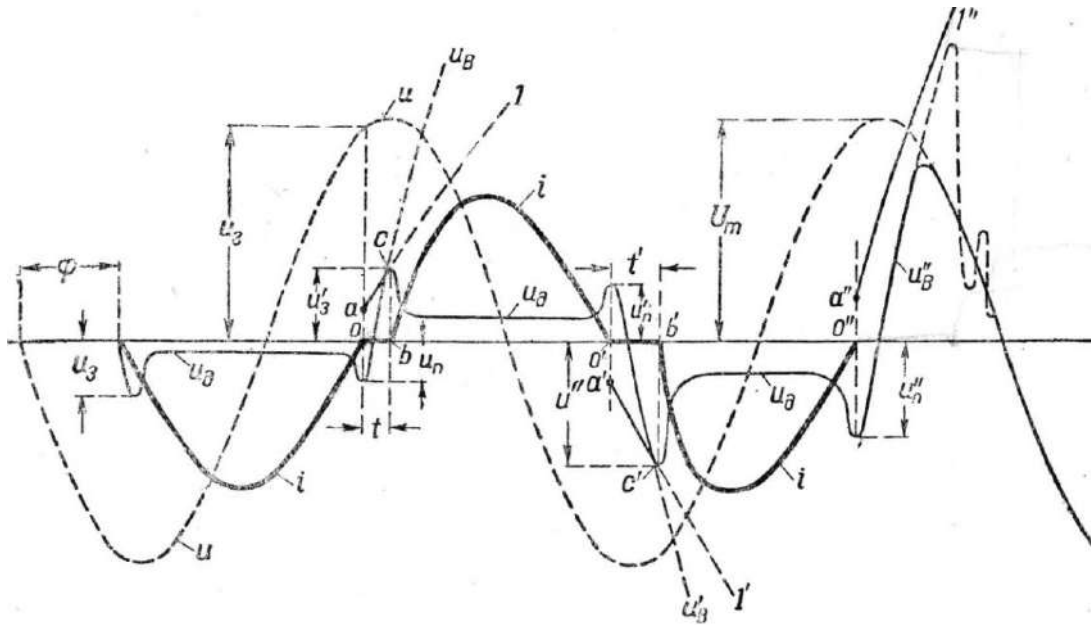


Рисунок 1.4- Осциллограмма отключения цепи переменного тока при индуктивной нагрузке

Скорость восстановления напряжения на дуговом промежутке зависит от L и C сети. С увеличением L и C сети скорость восстановления напряжения уменьшается. Чем больше скорость восстановления напряжения, тем меньше паузы тока t , t' и т.д. Следовательно, с увеличением скорости восстановления напряжения общая длительность горения дуги в выключателе увеличивается.

Восстановление напряжения может проходить аperiodически или по колебательному закону. Во втором случае условия гашения дуги сложнее, так как при слабом затухании амплитуда восстанавливающегося напряжения может достигать двойной амплитуды напряжения промышленной частоты до коммутации. Скорость восстановления напряжения в бестоковую паузу при этом зависит от вида КЗ, конструкции дугогасящего устройства и ряда других причин. Ориентировочно ее можно оценить как

$$\left(\frac{\partial u_B}{\partial t}\right)_{\text{ср}} = \frac{u_0}{\left(\frac{\pi}{2}\right)} \sqrt{LC} = \frac{2u_0}{(\pi\omega_0)},$$

где u_0 - мгновенное значение напряжения на контактах при переходе тока через нуль;

ω_0 - частота колебаний напряжения, определяемая параметрами L и C коммутируемой цепи.

Для снижения скорости восстановления напряжения стремятся снизить частоту собственных колебаний цепи ω вплоть до перевода переходного

процесса в апериодический. Для этой цели используют включение параллельно дуговому промежутку шунтирующих резисторов.

Применяемые в выключателях методы гашения дуги направлены на повышение скорости нарастания электрической прочности промежутка в бестоковой паузе. Большинство из них базируются на увеличении теплоотдачи от столба дуги, а, следовательно, на снижении ее температуры и повышении скорости деионизационных процессов. К таким методам, в первую очередь, относятся методы, связанные с увеличением длины дуги.

При этом, однако, повышается напряжение горения и выделяющаяся в дуге энергия. Поэтому чрезмерный рост длины дуги обычно вызывает обратный эффект. Для компенсации этого явления в выключателях часто используют несколько разрывов на полюс. Требуемая длина дуги в простейших выключателях обеспечивается ходом траверсы с контактами. В более современных выключателях используется дутье, которое осуществляется в специальных дугогасительных камерах.

Применяются различные способы создания дутья:

- электромагнитное дутье, которое возникает при взаимодействии тока дуги с другими токами;
- магнитное дутье – при взаимодействии с магнитным полем, создаваемым специальными устройствами;
- механическое дутье – за счет продувки камеры газами (продольное или поперечное).

Кроме увеличения длины дуги дутье создает условия для усиленной диффузии ионов из разрядного промежутка и интенсивного охлаждения дуги за счет ее контакта со стенками камер.

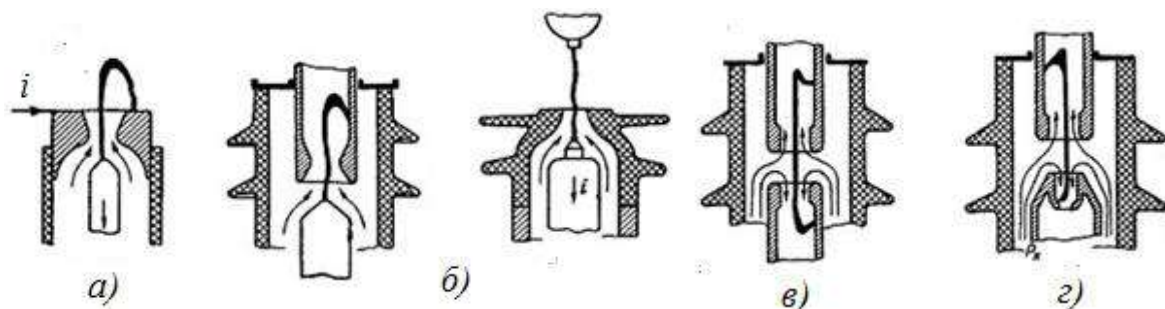
Ускорению процессов гашения дуги способствует выбор среды, в которой она горит.

В качестве жидкой среды применяют масло. При испарении 1 г масла образуется около 1500 см^3 газа, который состоит из паров масла (до 50% по объему), водорода и углеводородов различного состава.

Водород обладает большой теплопроводностью, а значит, высокой охлаждающей способностью и высокой электрической прочностью. Кроме того, успешному гашению дуги способствует высокое давление, создающееся в газовом пузыре.

В воздушных выключателях напряжением от 220 кВ до 500 кВ и выше используется сжатый воздух с давлением 2-4 МПа. Увеличение давления вызывает рост электрической прочности воздуха, что способствует ускорению гашения дуги.

В основном используются камеры с продольным дутьем (рисунок. 1.5), которые представляют собой сопла, при включенном положении закрываемые подвижным контактом с коническим наконечником.



а - одностороннее дутье через металлическое сопло; *б* - одностороннее дутье через изоляционное сопло; *в* - двустороннее симметричное дутье; *г* - двустороннее несимметричное дутье.

Рисунок 1.5 - Способы образования дутья в воздушных выключателях.

Несмотря на известные существенные недостатки воздушных выключателей, они успешно работали в сетях высокого и сверхвысокого напряжения.

В настоящее время на смену воздушным выключателям пришли элегазовые, где используется шестифтористая сера SF_6 , обладающая высокими изоляционными и дугогасительными свойствами [5,6].

2 Физические и химические свойства элегаза

Элегаз (сокращенное от электрический газ) является электроотрицательным газом из-за способности его молекул захватывать свободные электроны и превращаться в тяжелые и малоподвижные отрицательно заряженные ионы. Этот процесс имеет наибольшую эффективность при подходе тока к нулю и приводит к рекомбинации положительно и отрицательно заряженных ионов, что обеспечивает эффективное гашение дуги.

По сравнению с воздухом элегаз обладает существенными преимуществами [4.5.6]:

- электрическая прочность в 2,5 раза выше, чем у воздуха (при давлении 0,2 МПа электрическая прочность элегаза приближается к прочности трансформаторного масла);

- высокая удельная объемная теплоёмкость почти в 4 раза выше, чем у воздуха, что позволяет увеличить нагрузку токоведущих частей и уменьшить массу меди в выключателе;

- номинальный ток отключения камеры продольного дутья с элегазом в 5 раз выше, чем камеры воздухом;

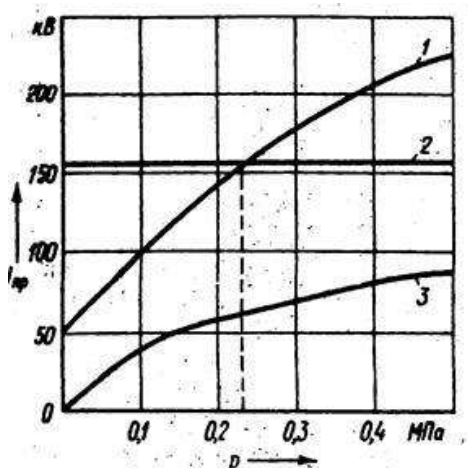
- малая напряжённость электрического поля в столбе дуги, благодаря чему сокращается эффект термодинамической закупорки сопла. Это позволяет

увеличить расстояние между контактами, повысить напряжение на каждом контактном промежутке и допустимую скорость восстановления напряжения;

- элегаз является инертным газом, не вступающим в реакцию с кислородом и водородом, слабо разлагается дугой. Элегаз нетоксичен, хотя некоторые продукты разложения опасны.

Недостатком элегаза является высокая температура сжижения. Так, например, при давлении 1,31 МПа переход элегаза из газообразного состояния в жидкое происходит при температуре 0 °С.

Элегаз обладает высокими дугогасительными свойствами, что позволяет при высокой отключающей способности выключателей существенно сократить их размеры, а также создать герметизированные (полностью закрытые) комплексные распределительные устройства. Основные характеристики элегаза по сравнению с трансформаторным маслом и воздухом приведены на рисунках 2.1 и 2.2 [7].



1-элегаз; 2 - трансформаторное масло; 3- воздух.

Рисунок 2.1 - Напряжение пробоя в различных средах



1 - в элегазе; 2 - в воздухе.

Рисунок 2.2 - Характер восстановления прочности промежутка

Синтез гексафторида серы впервые был произведен в Париже в 1900 г. Муассаном и Лебо [4,6]. Фтор, полученный электролизом, вступал во взаимодействие с серой, и в результате экзотермической реакции получался достаточно устойчивый газ. Со временем были определены физические и химические свойства газа, опубликованные Придо (1960), Шлумбом и Гемблом (1930), Клеммом и Хенкелем (1932 – 1935), Естом и Клауссоном (1933). В их работах особое внимание уделялось химическим и диэлектрическим свойствам газа.

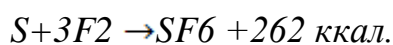
Первое исследование для целей промышленного применения было произведено компанией General Electric в 1937 году. Результаты этого исследования показали, что газ можно использовать в качестве изоляционной

среды в электроэнергетике. В 1939 году Томсон-Хьюстон запатентовал принцип применения газа SF₆ для изоляции кабелей и конденсаторов.

После Второй мировой войны стали появляться публикации по вопросам промышленного производства элегаза и его применению для изоляции электрооборудования.

В 1960 году для строительства электростанций в США и Европе было организовано серийное производства SF₆ и появились первые элегазовые выключатели и коммутационные аппараты высокого и сверхвысокого напряжения [6], а в 1966 году введена в строй первая подстанция с элегазовой изоляцией в районе Парижа.

Промышленный процесс производства SF₆ основан на синтезе гексафторида серы, при котором фтор, полученный при электролизе, взаимодействует с серой согласно экзотермической реакции



Во время этой реакции формируется некоторое количество фторидов серы, например SF₄, SF₂, S₂F₂, S₂F₁₀, а также примесей из-за присутствия влажности воздуха и угольных анодов, используемых для электролиза фтора.

Эти побочные продукты необходимо удалить, поскольку качество газа регламентируется Международной электротехнической комиссией МЭК 376, которая определяет допустимые концентрации примесей.

Элегаз один из самых тяжёлых известных газов. При атмосферном давлении и температуре 25 °С его плотность составляет 6,14 кг/м³, а теплопроводность 0,0136 Вт/м. Критическая точка характеризуется температурой 45,55 °С, плотностью 730 кг/м³, и давлением 3,78 МПа.

Скорость распространения звука равна 136 м/с, показатель преломления 1,000783, теплота образования –1221,66 кДж и удельная теплоёмкость 96,6 Дж/моль.

Плотность элегаза при 20 °С и 0,1 МПа (т.е. при атмосферном давлении) равна 6,139 кг/м³, что почти в пять раз выше, чем у воздуха, а молекулярная масса составляет 146,06. Он является бесцветным, не имеет запаха и может находиться в жидком состоянии только при повышенном давлении. До температуры, приблизительно равной 1200 °К, элегаз ведёт себя как идеальный газ. Объёмная удельная теплоёмкость в 3,7 раза больше, чем у воздуха. Теплопроводность ниже, чем у воздуха, но его полная теплоотдача, при учете конвекции практически такая же хорошая, как у водорода и гелия, и выше, чем у воздуха. Пик теплопроводности соответствует температуре распада молекулы элегаза при 2100 °К - 2500 °К.

В процессе распада поглощается значительное количество теплоты, испускаемой при преобразовании молекул на периферии дуги, ускоряя теплообмен между горячими и более холодными областями, что позволяет использовать это свойство для гашения дуги путём теплопередачи.

Диэлектрическая прочность SF₆ приблизительно в 2,5 раза выше, чем у воздуха при тех же условиях.

Превосходные электрические свойства SF₆ происходят вследствие электроотрицательного типа его молекулы. Газ имеет явную тенденцию к захвату свободных электронов, образуя малоподвижные тяжёлые ионы, вследствие чего, развитие электронных лавин становится очень трудным.

Вследствие низкой температуры распада и высокой энергии распада, SF₆ является идеальным газом для гашения дуги. Когда электрическая дуга охлаждается в SF₆, она остаётся проводящей до относительно низкой температуры и минимизирует прерывание тока перед переходом через ноль, что обеспечивает отсутствие перенапряжений.

Элегаз полностью удовлетворяет требованиям ковалентности серы. Шесть связей являются ковалентными, что объясняет исключительную стабильность этого соединения. Он не растворяется в воде. В отсутствие каталитических металлов не воспламеняется при нагревании до температуры до 500°C. Водород, хлор, кислород и кислоты не оказывают на него никакого воздействия. В чистом состоянии SF₆ не токсичен.

В электрической дуге температура может достигать 1500 °K и выше, и малая часть SF₆ при этом распадается. Эти твёрдые и газообразные продукты содержат, помимо фтора и серы, углерод, кремний, кислород, водород, вольфрам, медь и т.д.

Основные газообразные побочные продукты, фтористоводородная кислота - HF; диоксид углерода - CO₂; диоксид серы - SO₂; тетрафторид углерода - CF₄; тетрафторидкремния - SiF₄; фторид тионила- SOF₂; фторид двуокиси серы- SO₂F₂; дисерный декафторид - S₂F₁₀; тетрафторид серы - SF₄.

Некоторые из этих элементов образуются в чрезвычайно малых количествах, например S₂F₁₀, некоторые могут быть токсичными, но большинство из них легко абсорбируется такими материалами, как активированный оксид алюминия или молекулярные сетки.

Если адсорбент (молекулярная сетка или активированный оксид алюминия) присутствует в оборудовании в достаточном количестве, то уровень коррозии из-за продуктов распада элегаза (фтористоводородной кислоты, в частности) является незначительным.

Причина этого в том, что адсорбенты действуют настолько быстро, и эффективно, что коррозионные газы не успевают реагировать с другими присутствующими материалами. Чистый SF₆ не оказывает какого-либо вредного воздействия на окружающую среду, мутагенного или канцерогенного влияния на здоровье.

Уровни риска здоровью человека, оказываемого использованным SF₆, зависят от степени его распада, типов присутствующих продуктов распада, от растворения используемого SF₆ в окружающей среде и времени, в течение которого человек находится в среде, содержащий использованный SF₆.

3 Дугогасительные камеры элегазовых выключателей

Последние 30 лет при создании элегазовых выключателей в конструкции дугогасительных камер закладывались инновационные принципы дугогашения. Разработки велись в направлении интенсификации метода автодутья, который подтвердил свою состоятельность и используется в выключателях практически на все классы напряжения.

Снижение эксплуатационной энергии было достигнуто за счёт уменьшения энергии, используемой для сжатия газа, а также увеличения применения энергии дуги для создания давления, необходимого для гашения той же самой дуги и прерывания тока.

В элегазе при атмосферном давлении может быть погашена дуга с током в 100 раз превышающим ток, отключаемый в воздухе при тех же условиях.

Исключительная способность элегаза гасить дугу объясняется сильным сродством его с электронами. Молекулы газа улавливают электроны дугового столба и образуют относительно неподвижные отрицательные ионы. Потеря электронов делает дугу неустойчивой, и она легко гаснет. При обеспечении газового дутья, поглощение электронов из дугового столба происходит еще более интенсивно.

В элегазовых дугогасительных устройствах, в отличие от воздушных, газ, проходящий через сопло при гашении дуги, поступает не в атмосферу, а в замкнутый объем камеры, заполненный элегазом, при относительно небольшом избыточном давлении.

По способу гашения дуги в элегазе различают следующие типы дугогасительных устройств (ДУ):

- автокомпрессионные с дутьем в элегазе, создаваемым посредством компрессионного устройства (элегазовые выключатели с одной ступенью давления);
- в которых гашение дуги в дугогасительных устройствах обеспечивается вращением её по кольцевым контактам под действием поперечного магнитного поля, создаваемого отключаемым током (элегазовые выключатели с электромагнитным дутьем);
- с дугогасительным устройством продольного дутья, в котором предварительно сжатый газ поступает из резервуара с относительно высоким давлением элегаза (элегазовые выключатели с двумя ступенями давления);
- с дугогасительным устройством продольного дутья, в котором повышение давления элегаза происходит за счет разогрева газовой среды дугой отключения в специальной камере (элегазовые выключатели с автогенерирующим дутьем).

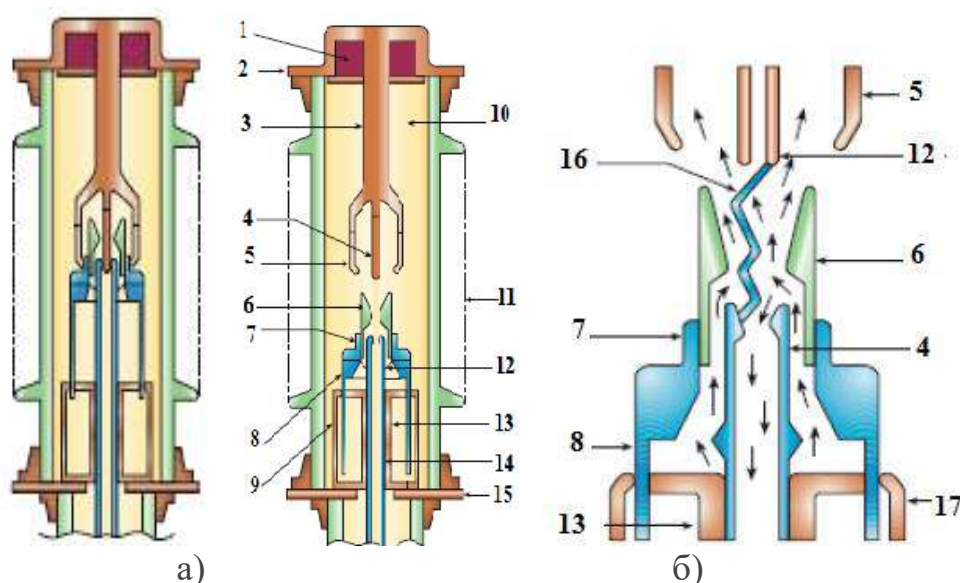
Принципиальная схема дугогасительного устройства с автопневматическим дутьем приведена на рисунке 3.1,а, б. Дугогасительная камера, наполненная элегазом под давлением, состоит из неподвижного контакта, сопла, подвижного контакта, компрессионного цилиндра и закрепленного плунжера.

При отключении (рисунок 3.1.б) подвижный контакт вместе с компрессионным цилиндром опускается вниз. В момент расхождения контактов между ними возникает электрическая дуга. Движение компрессионного цилиндра сжимает газ к закрепленному плунжеру, создавая мощный поток элегаза над дугой.

При достижении некоторого расстояния между контактами, за счет потока элегаза, электрическая прочность существенно увеличивается и дуга гаснет.

Надежность работы еще более увеличивается с использованием одиночного разрыва и противоположного движения элегаза с его распылением (рисунок 3.1.б) [8].

В современных элегазовых выключателях чаще применяются ДУ с одной ступенью давления поршневого типа с подвижным дутьевым цилиндром и неподвижным поршнем. Выключатель заполняется элегазом с единым уровнем давления: 0,4 МПа - 0,7 МПа. Повышение давления имеет только место в дутьевом цилиндре в процессе отключения на протяжении очень небольшого промежутка времени.



- 1 – абсорбент; 2 – верхний высоковольтный вывод; 3 – основа неподвижного контакта; 4 - дугоулавливатель подвижного контакта; 5 – неподвижный основной контакт; 6 – сопло фторопластовое; 7 – подвижный основной контакт; 8 – цилиндр компрессии; 9 – корпус подвижного контакта; 10 – элегаз; 11 – фарфор; 12 – дугоулавливатель подвижного контакта; 13 – плунжер; 14 - проводник; 15 – нижний высоковольтный вывод; 16 – дуга; 17 - корпус подвижного контакта.

Рисунок 3.1 - Разрез гасительного устройства элегазового выключателя и принцип гашения дуги

Современные конструкции ДУ обеспечивают создание повышенного давления в дутьевом цилиндре уже к моменту размыкания дугогасительных контактов и использование энергии дуги для формирования потока элегаза.

Применение энергии дуги для ее гашения позволяет снизить мощность привода по сравнению с поколениями автокомпрессионных элегазовых выключателей. Эффективное гашение тока КЗ и отключение малых токов без перенапряжений обеспечиваются оптимизацией геометрии дутьевого сопла и контактов. Для изготовления сопла применяют материалы с повышенной дугостойкостью.

Очередной прогресс в технологии дутья произошел с вводом клапана между камерами расширения и сжатия [9] (рисунок 3.2). Во время гашения малых токов клапан открывается под воздействием избыточного давления образованного в камере сжатия.

Гашение дуги производится так же, как и в автопневматических выключателях, благодаря сжатию газа с помощью поршня. В случае отключения высоких токов, энергия дуги вырабатывает излишнее давление в расширительной камере, которое ведет к закрытию клапана, таким образом, изолируя расширительную камеру от камеры сжатия. Необходимость излишнего давления для дугогашения обусловлена оптимальным использованием теплового эффекта и устранения эффекта засорения сопла каждый раз, когда поперечное сечение дуги значительно снижает выброс газа в сопло.

Для того чтобы избежать чрезмерного потребления энергии сжатием газа, клапан установлен на поршень так, чтобы ограничить излишнее давление в камере сжатия до значений, необходимых для отключения небольших токов короткого замыкания.

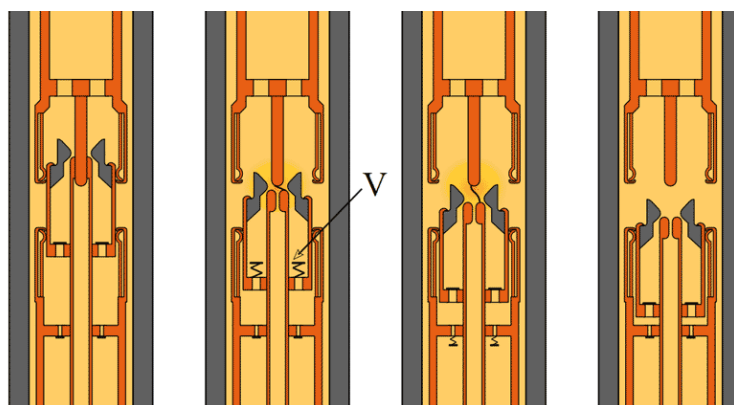


Рисунок 3.2

Снижение рабочей энергии также может быть получено за счет уменьшения кинетической энергии, потребляемой во время отключения.

Одним из таких способов является перемещение двух дугогасительных контактов в противоположных направлениях (рисунок 3.3), так, что скорость

перемещения дуги будет вдвое меньше чем в традиционной схеме с одним подвижным контактом.

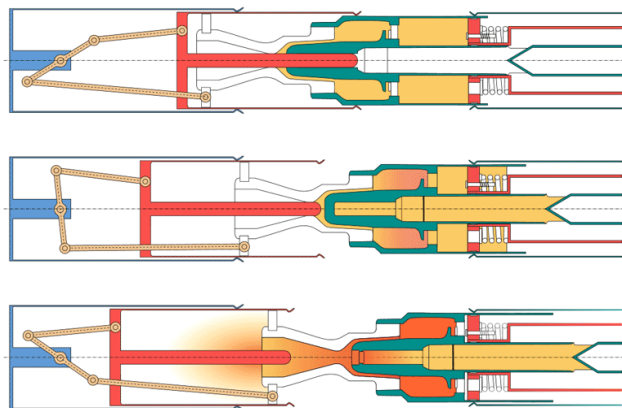


Рисунок 3.3

Двухподвижная технология позволяет снизить скорость отключения подвижных контактов в 2 раза. В принципе, кинетическая энергия могла бы быть снижена в 4 раза, если бы общая масса подвижных частей не была бы увеличена. Однако, поскольку полная масса подвижных частей стала больше, практическое снижение кинетической энергии близко к 60%. Общая энергия отключения также включает в себя энергию сжатия, которая практически одинакова для обеих технологий. Таким образом, уменьшение общей энергии отключения для этой технологии составляет порядка 30%, хотя точное значение зависит от применения и привода выключателя.

Применяющиеся ДУ позволяют отключать одним разрывом ток 63 кА при напряжении 245 кВ и 50 кА при напряжении 362 кВ. Многофазные ДУ обеспечивают токи отключения до 80 кА. Время отключения находится в диапазоне 35 - 50 мс. Главная токоведущая система ДУ обеспечивает пропускание номинальных токов длительной нагрузки 2000 А, 3150 А и 4000 А.

Основные достоинства элегазового оборудования определяются уникальными физико-химическими свойствами элегаза. При правильной эксплуатации элегаз не стареет и не требует тщательного ухода.

Элегазовому оборудованию также присущи: компактность; большие межревизионные сроки, вплоть до отсутствия эксплуатационного обслуживания в течение всего срока службы; широкий диапазон номинальных напряжений (6 кВ-1150 кВ); пожаробезопасность и повышенная безопасность обслуживания.

Элегазовые выключатели начали разрабатываться с 1980 г. В технически развитых странах элегазовые выключатели высокого и сверхвысокого напряжения (110 кВ-1150 кВ) практически вытеснили все другие типы аппаратов.

По конструкции различают колонковые и баковые выключатели.

Приводы выключателей обеспечивают включение, удержание во включенном положении и отключение. Вал привода соединяют с валом выключателя системой рычагов и тяг. Привод выключателя должен обеспечивать необходимую надежность и быстроту работы, а при электрическом управлении — наименьшее потребление электроэнергии.

В элегазовых выключателях применяют два типа приводов:

- пружинный привод, управляющим органом которого является кинематическая система рычагов, кулачков и валов;
- пружинно-гидравлический привод, управляющим органом которого является гидросистема.

К преимуществам элегазовых выключателей относятся гашение дуги в замкнутом объеме без выхлопа в атмосферу, относительно малые габариты и масса, быстрота действия, надежное отключение малых индуктивных и емкостных токов без среза и возникновения перенапряжений, малый износ дугогасительных контактов, бесшумная работа, возможность создания серий с унифицированными узлами и др.

К недостаткам элегазовых выключателей относятся высокие требования к качеству элегаза. Температурные недостатки SF₆, обуславливают необходимость подогрева и использования смесей элегаза с другими веществами, позволяющими работать элегазовым выключателям в условиях низких температур. Кроме этого необходимы специальные устройства для наполнения, перекачки и очистки SF₆.

4 Элегазовые выключатели компании Siemens

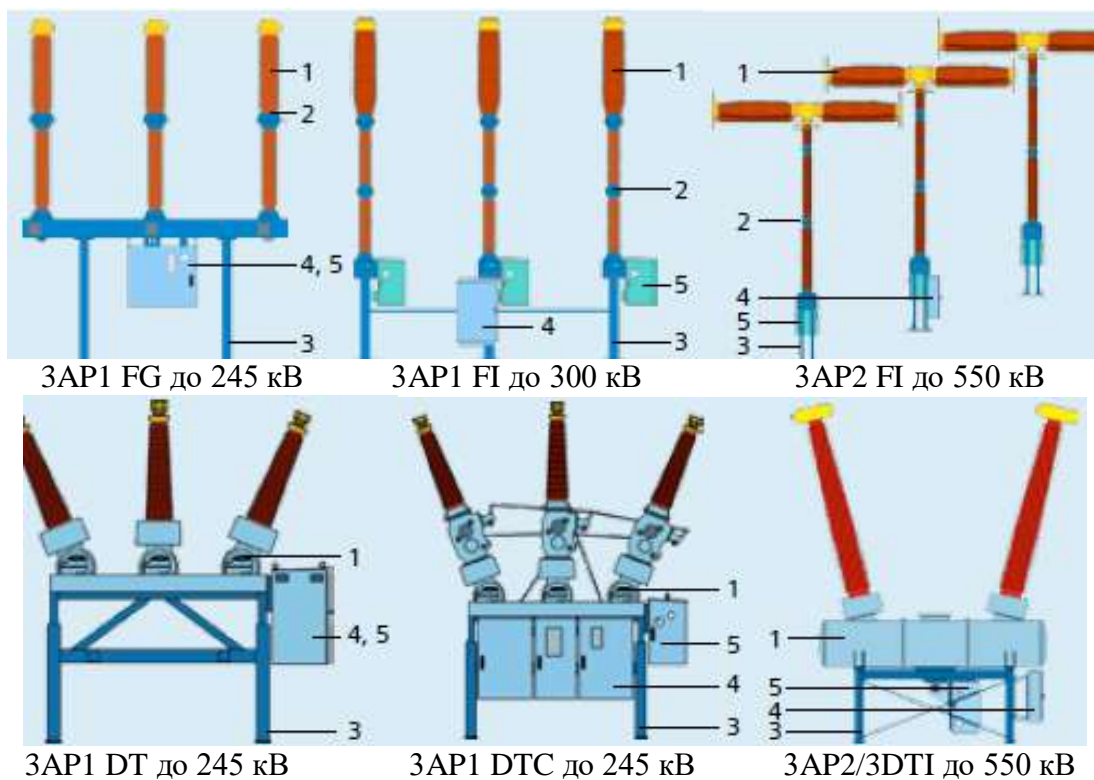
Одним их лидеров в разработке элегазовых выключателей является фирма Siemens, которая производит выключатели всех типов на напряжение до 1200 кВ.

Это колонковые выключатели LiveTank, баковые выключатели Dead Tank и гибридные коммутационные аппараты, объединяющие в себе разнообразные функции в компактной конструкции DeadTankKompakt (DTC) и выключатель разъединитель (DCB) [10].

Все выключатели созданы по модульному принципу, которой заключается в использовании одинаковых компонентов для серии, таких как гасительная камера, привод, элементы управления и изоляторы для всех исполнений. Модульный принцип построения отражен в маркировке выключателей по типам (рисунок 4.1).

На рисунках 4.1, 4.2, и 4.3 показаны типы (маркировка), линейка, области использования и основные технические данные колонковых элегазовых выключателей серии 3А компании Siemens.

Выключатели 3AP1 имеют по одной дугогасительной камере на полюс, выключатели 3AP2 на напряжение до 550 кВ имеют две дугогасительные камеры, а выключатели 3AP4 по четыре камеры на каждый полюс.



1-дугогасительная камера; 2-опорный изолятор; 3- опорная стойка;
4- шкаф управления; 5- шкаф привода.

Рисунок 4.1 -Модульный принцип построения элегазовых выключателей фирмы Siemens

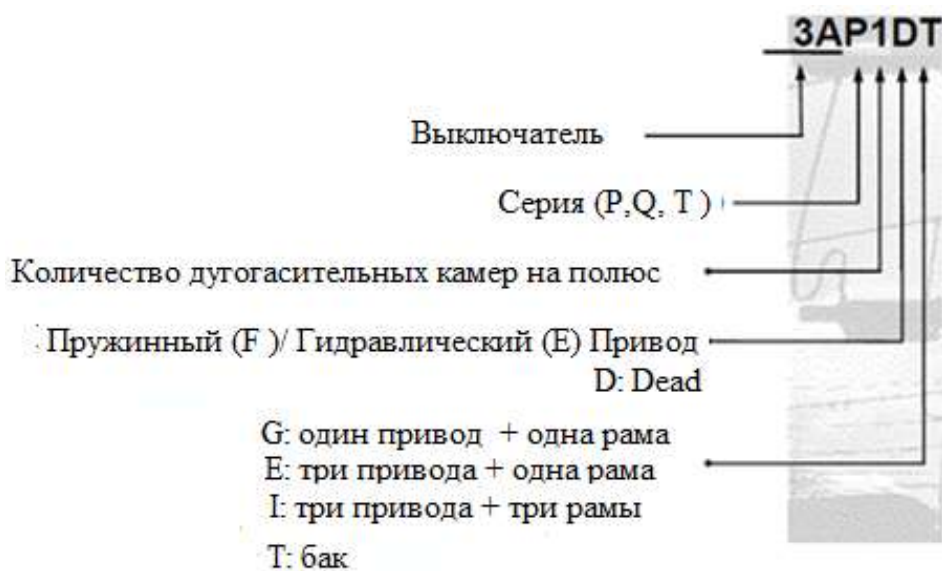


Рисунок 4.2-Типы (маркировка) элегазовых выключателей компании Siemens

Дугогасительные камеры выключателей LiveTank. не заземлены и в рабочем состоянии находятся под напряжением и оборудуются пружинными приводами с автокомпрессионными дугогасительными камерами. Выключатели могут оснащаться предвключенными резисторами (ЗАР5).

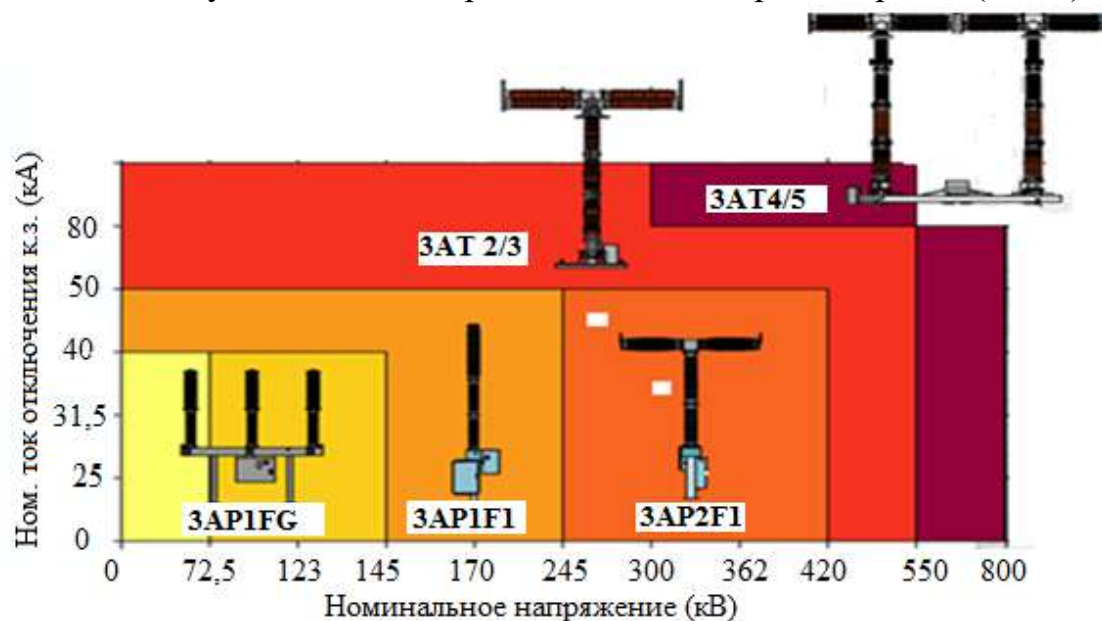


Рисунок 4.3-Линейка и области использования колонковых элегазовых выключателей


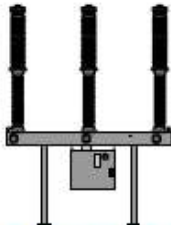




																		
Тип	3AP1/3AQ1						3AP2/3AQ2				3AT2/3				3AT4/5			
Ном. напряжение [кВ]	72,5	123	145	170	245	300	362	420	245	300	362	420	550	362	420	550	800	
Выдерживаемое перем. напряжение	140	230	275	325	460	460	520	610	460	460	520	610	800	520	610	800	1150	
Выдерж. напряжение грозового импульса	325	550	650	750	1050	1050	1175	1425	1050	1050	1175	1425	1550	1175	1425	1550	2100	
Выдерж. коммутаци- онное напряжение	-	-	-	-	-	850	950	1050	-	850	950	1050	1175	950	1050	1175	1425	
Ном. (раб.) ток до [А]	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	5000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	
Ном. ток отключения [кА]	40	40	40	40	50	50	50	50	80	63	63	63	63	80	80	63	63	

Рисунок 4.4 - Основные технические данные колонковых выключателей компании Siemens

Все выключатели серии 3А работают на основе гашения дуги автокомпрессией или динамической автокомпрессии с использованием тепловой энергии самой дуги. При напряжениях до 245 кВ выключатели серии 3АР работают на основе дугогасительной камеры с автокомпрессией, конструкция которой и принцип действия показан на рисунке 4.5.

В замкнутом состоянии рабочий ток проходит через главный контакт 4 и контактный цилиндр 5.

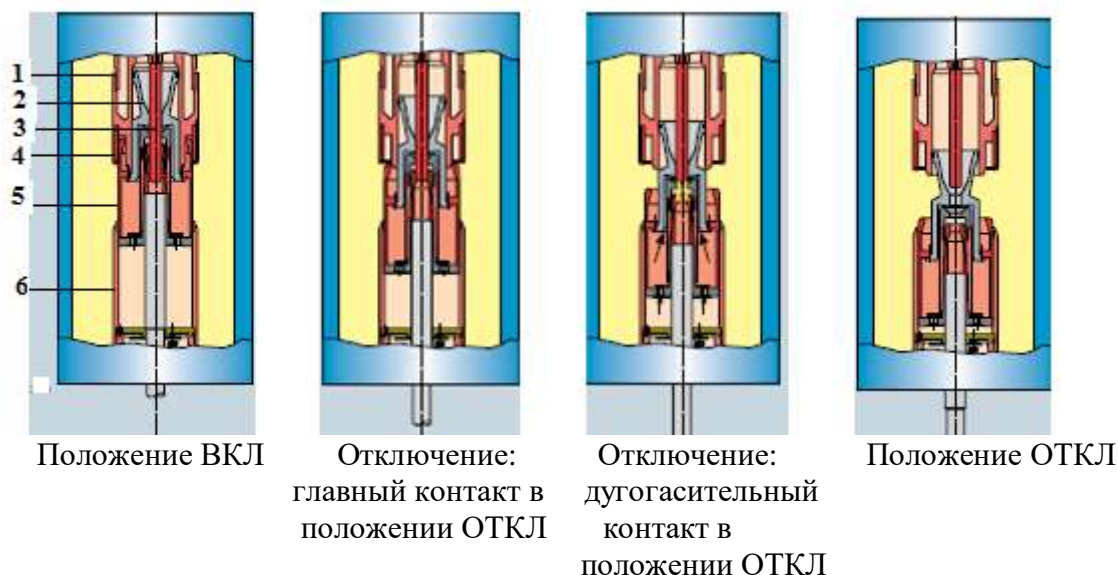
При отключении первым размыкается главный контакт 4, и ток начинает проходить по еще замкнутому дугогасительному контакту. Далее размыкается дугогасительный контакт 3 и между контактами возникает дуга. Одновременно контактный цилиндр 5 перемещается в цоколь 6, сжимая имеющийся в нем элегаз. Сжатие газа (компрессия) приводит к возникновению потока газа направленного через контактный цилиндр 5 и сопло 2 к дугогасительному контакту, в результате чего дуга гаснет.

В случае размыкая цепи с большими токами отключения (короткое замыкание) элегаз на дугогасительном контакте сильно нагревается, что приводит к росту давления в контактном цилиндре и далее поток газа под повышенным давлением проходит через сопло и дуга гаснет.

В выключателях серии 3А напряжением 245 кВ и выше используется принцип динамической автокомпрессии с подвижным контактом (рисунок 4.6).

При отключении происходит размыкание главного контакта, расположенного между контактной пластиной 7 и цилиндром нагрева 9.

Дугогасительный контакт, состоящий из подвижного вывода 5 и трубчатого контакта 8, еще замкнут, и ток проходит через него.



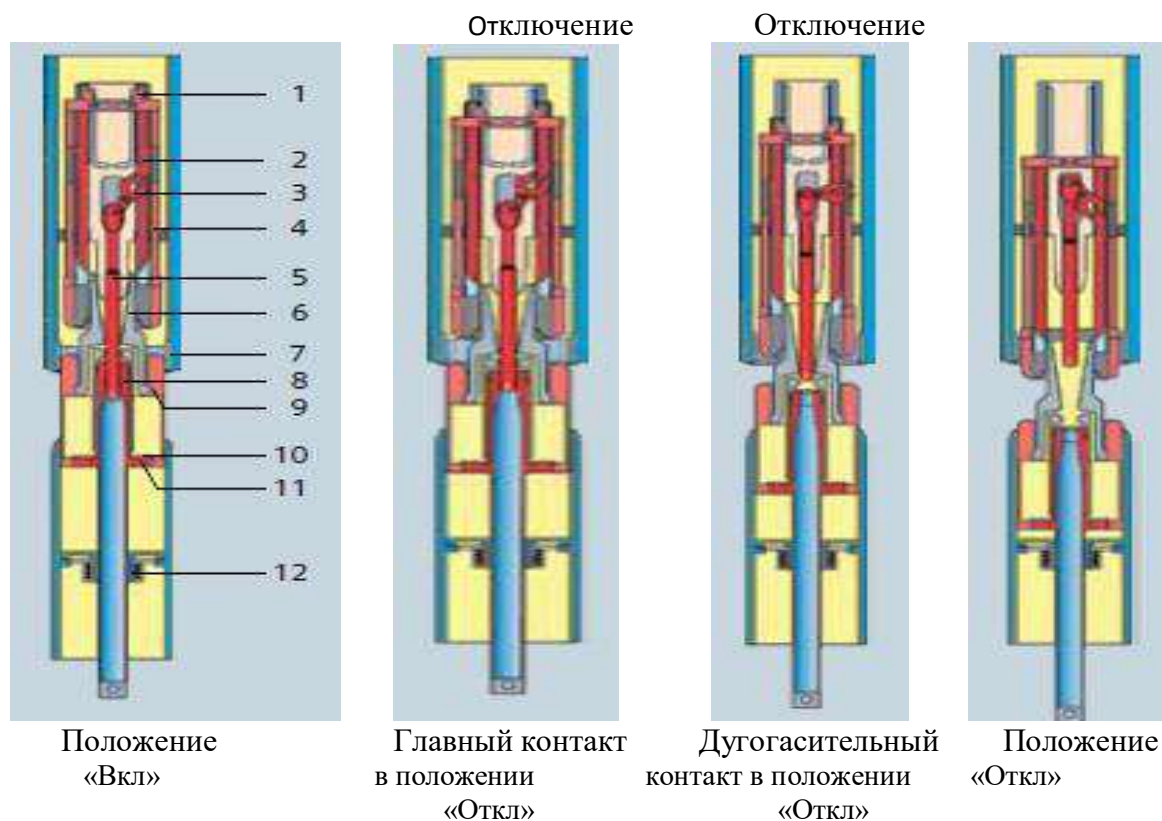
1 – контактодержатель; 2 – сопло; 3 – дугогасительный контакт; 4 – главный контакт; 5 - контактный цилиндр; 6 – цоколь.

Рисунок 4.5 - Конструкция и принцип действия дугогасительной камеры с автокомпрессией

Подвижный контакт 5 движется по направлению, противоположному движению трубчатого контакта 8с соединенными частями нагревательного цилиндра 9, сопла 6, соединительной тяги 4, контакта 2 поворотного рычага 3. Подвижный контакт толкается в направлении нагревательного цилиндра 9.

Далее размыкается дугогасительный контакт и возникает электрическая дуга. Одновременно нагревательный цилиндр перемещается, сжимая элегаз между поршнем 11 и клапанным блоком 12. Газ устремляется против направления движения подвижных элементов контактов через обратный клапан, состоящий из поршня 11 и клапанной пластины 10. Далее газ поступает в нагревательный цилиндр и затем через зазор между трубным контакстом 8 и дугогасительным соплом и гасит дугу.

При гашении токов короткого замыкания элегаз, находящийся в дугогасительной камере с подвижным контактом 5, нагревается энергией дуги и под высоким давлением устремляется в цилиндр нагрева 9.



- 1- рычаг; 2 –штифт; 3 – поворотный рычаг; 4 – шатун; 5 – подвижный вывод;
6 – сопло; 7 – контактная пластина; 8 – трубный контакт;
9 – цилиндр нагрева; 10 – клапанная пластина; 11 – поршень;
12 – клапанный блок.

Рисунок 4.6 -Конструкция и принцип действия дугогасительной камеры с динамической автокомпрессией

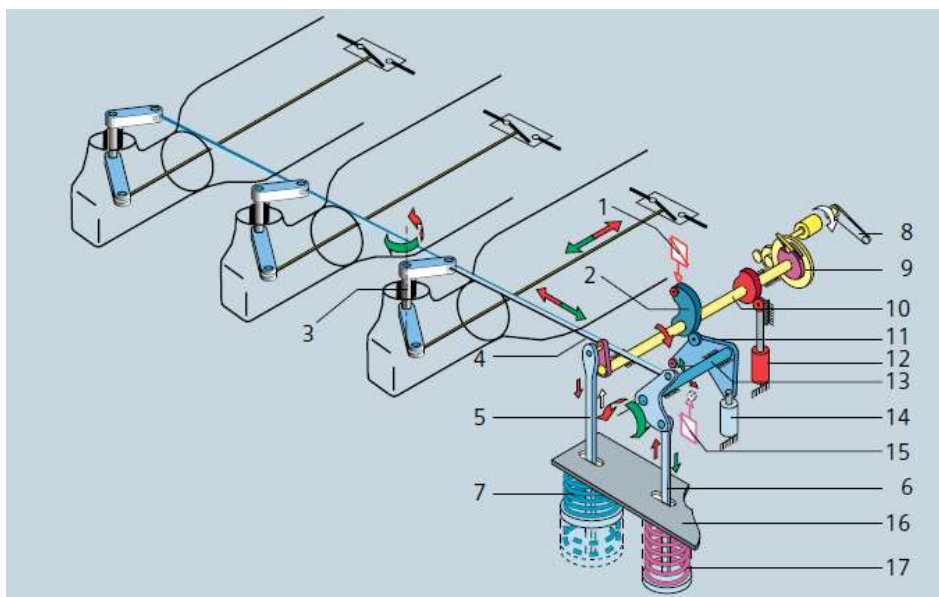
При переходе тока через нуль газ возвращается из цилиндра нагрева в сопло и гасит дугу.

При этом клапанная пластина 10 цилиндра нагрева 9 не допускает попадания газа под высоким давлением в компрессионную камеру между поршнем 11 и клапанным блоком 12.

Колонковые выключатели серии 3AP выдерживают высокие механические нагрузки, а особо прочные изоляторы и конструкция в целом придают им высокую сейсмическую устойчивость. Все основные компоненты производятся полностью на заводах компании Siemens, включая гасительные камеры и привод.

Выключатели серии 3AP 1/2 оборудуются пружинным приводом. Привод либо трехполусный на общей несущей раме (FG), либо однополусный на общей несущей раме (FE), либо однополусный на отдельной несущей раме (FI). Пружинный привод имеет малую энергоемкость и настолько компактен, что может быть размещен в шкафу управления

Конструкция и принцип действия пружинного привода показаны на рисунке 4.7. Пружины включения и отключения находятся в одном корпусе с исполнительным механизмом.



- 1-расцепитель включения; 2 – дисковый кулачек; 3 – поворотный механизм;
4 – приводная тяга; 5 – шатун пружины включения; 6 – шатун пружины отключения; 7 – пружина включения; 8 – рукоятка ручного управления;
9 – натяжной механизм; 10 – натяжной вал взвода пружины; 11 – роликовый рычаг; 12 – амортизатор (демпфер) включения; 13 – вал включения;
14 - амортизатор (демпфер) отключения; 15 – расцепитель отключения;
16 – корпус привода; 17 - пружина отключения.

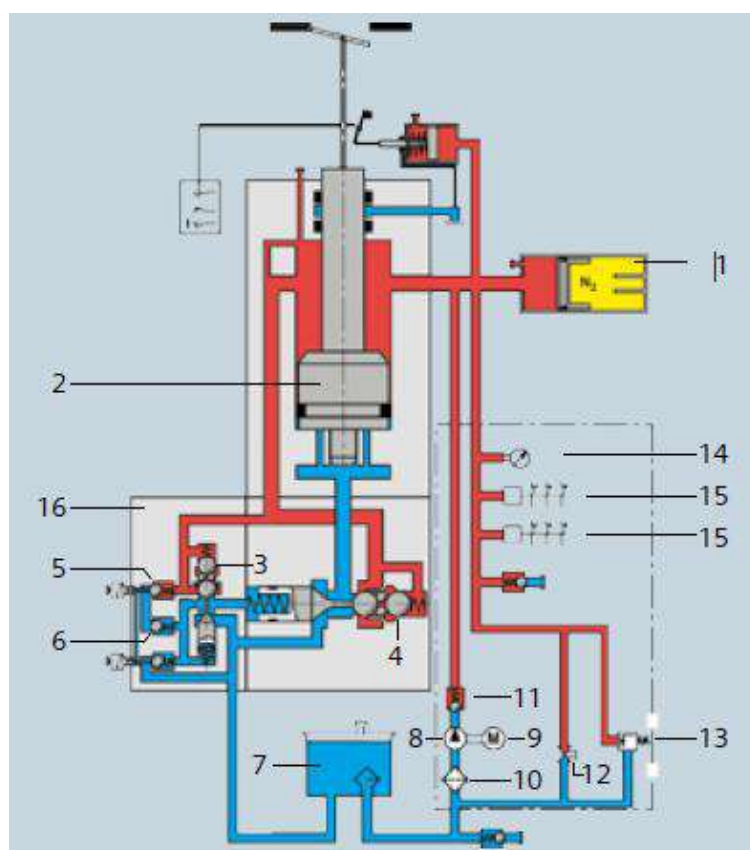
Рисунок 4.7- Конструкция и принцип действия пружинного привода

Количество подвижных деталей сведено к минимуму. Применение подшипников качения, не нуждающихся в техническом обслуживании, создает условия для надежной работы в течение десятилетий. При этом используются нечувствительные к вибрациям защелки и расцепление механической цепи взвода пружин для предотвращения постоянной нагрузки на электродвигатель.

В отличие от серии ЗАР выключатели серии ЗАТ (рисунок 4.8) снабжены электрогидравлическим приводом, обеспечивающим высокую мощность при коммутациях.

Электрогидравлический привод позволяет быстро и безопасно выполнять переключения при максимальных разрывных мощностях и при самых сложных коммутационных операциях, обеспечивает надежное сохранение коммутационных положений и возможность выполнения многократного АПВ.

Схема и принцип действия привода приведены на рисунке 4.8.



- 1 – гидравлический аккумулятор; 2 – приводной поршень;
 3 – управляющий клапан; 4 – главный клапан; 5 – включающая катушка;
 6 – выключающая катушка; 7 – масляный резервуар; 8 – масляный насос;
 9 – двигатель; 10 – фильтр; 11 – обратный клапан; 12 – уравнильный
 клапан; 13 – предохранительный клапан; 14 – манометр; 15 – реле давления;
 16 – компактный гидравлический привод.

Рисунок 4.8 - Схема и принцип действия электрогидравлического привода

При включении главный клапан 4 открывается электромагнитом. При этом обе поверхности дифференциального приводного стержня 2 оказываются под воздействием гидравлического аккумулятора 1. Усилия со стороны поршня с большой поверхностью перевешивают, что приводит к включению выключателя через тяги и штанги. Конструкция исключает возможность ложного отключения при падении давления

При отключении главный клапан 4 закрывается электромагнитом. На поверхность поршня с большой площадью перестает действовать давление, и, вследствие перепада давления между двумя сторонами поршня 2, он перемещается в положение выключения.

В выключателях этой серии используется система гашения дуги с двойным соплом, которая отличается постоянством характеристик гашения и электрической прочности.

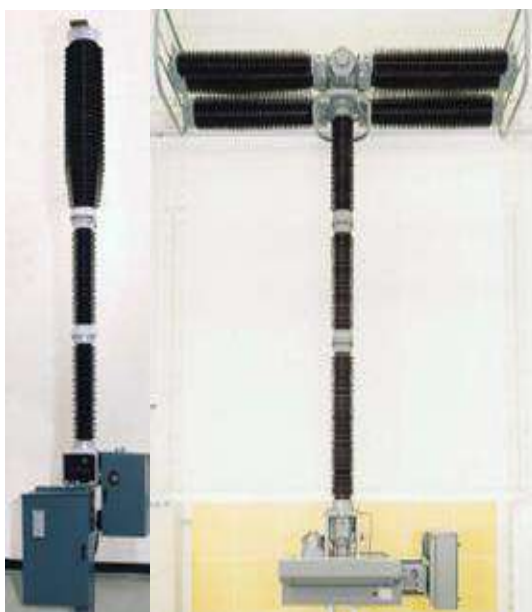
Двойное сопло устойчиво к коррозии и имеет длительный срок службы. Кроме этого система гашения с двойным соплом обеспечивает минимальный рост давления во время гашения и минимальную проводимость плазмы.

Двухсопловая система хорошо зарекомендовала себя при отключении малых индуктивных и емкостных токов и токов короткого замыкания.

На рисунке 4.9 показан внешний вид некоторых колонковых элегазовых выключателей, а в таблицах 4.1, 4.2 приведены технические характеристики выключателей серии 3AP и 3AT.



3AP1 FG 170 кВ.



3AP1 FI 245 кВ

3AT3 EI 550кВ



3AP4 FI 800 кВ

Рисунок 4.9 - Колонковые элегазовые выключатели компании Siemens

Таблица 4.1

Тип выключателя	3AP-1						3AP-2/3		3AP-4/5
Номинальное напряжение, кВ	72,5	123	145	170	245	300	420	550	800
Кол-во камер на полюс	1						2		4
Испыт. одноминутное напряжение промышл. частоты, кВ.	140	230	275	325	460	460	610	800	830
Испыт. напряжение грозового импульса, кВ.	325	550	650	750	1050	1050	1425	1550	2100
Испыт. напряжение коммутационного импульса, кВ.	-	-	-	-	-	850	1050	1175	1425
Номинальный ток, А	2500	4000	4000	4000	4000	4000	5000	5000	5000
Ном.кратковременный ток(1 мин), и ном. ток отключения, кА	31,5	40	40	40	50	40	63	63	63
Диапазон температура С	От +55 до - 55								

Таблица 4.2

Тип выключателя	3AT- 2/3					3AT- 4/5			
Номинальное напряжение,кВ	245	300	362	420	550	362	420	550	800
Количество дугогасительных камер на полюс	2					4			
Испыт.одноминутное напряжение пром. частоты, кВ.	460	460	520	610	800	450	520	620	830
Испыт. напряжение грозового импульса, кВ.	1050	1050	1175	1425	1550	1175	1425	1550	2100
Испыт. напряжение коммутационного импульса, кВ.	-	850	950	1050	1175	950	1050	1175	1425
Номинальный ток, А	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
Ном.кратковременный ток (1мин), и ном. ток отключения, кА	80	63	63	63	63	80	80	63	63
Диапазон температур,°С	От +55 до - 55								

Баковые выключатели серии 3AP1-DT для напряжений от 72,6 кВ до 362 кВ и 3AP2/3-DT для напряжений от 420кВ до 800 кВ имеют в своей основе испытанную модульную конструкцию, с дугогасительной камерой в металлической оболочке, с заземленным корпусом (DeadTank) и возможностью установки нескольких трансформаторов тока на один полюс.

Предусмотренная возможность подогрева позволяет использовать выключатели при температурах от -55°C до $+50^{\circ}\text{C}$

Линейка элегазовых баковых выключателей компании, области использования и основные технические характеристики приведены на рисунках 4.10 и 4.11.

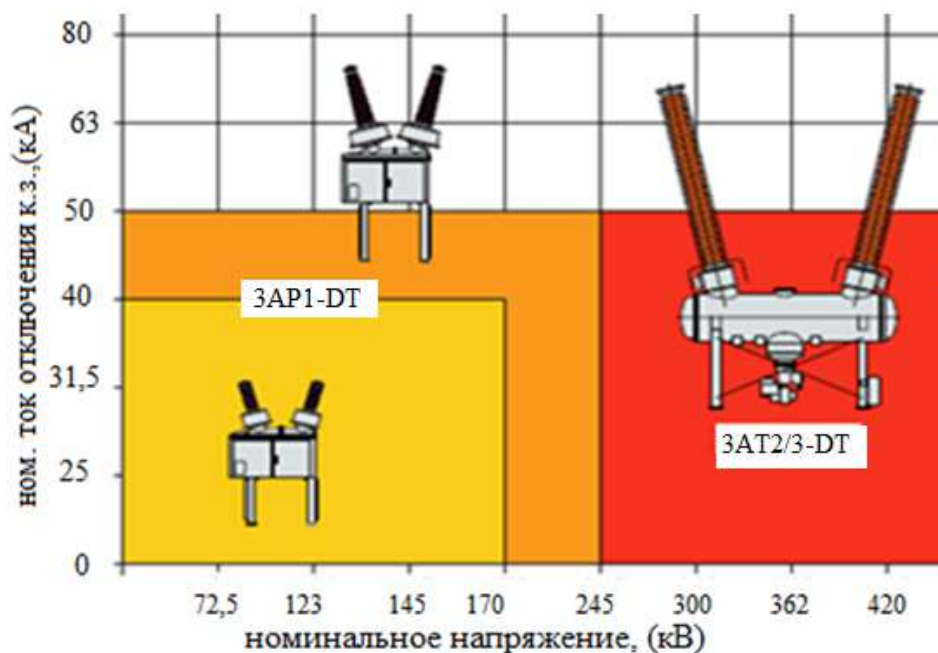
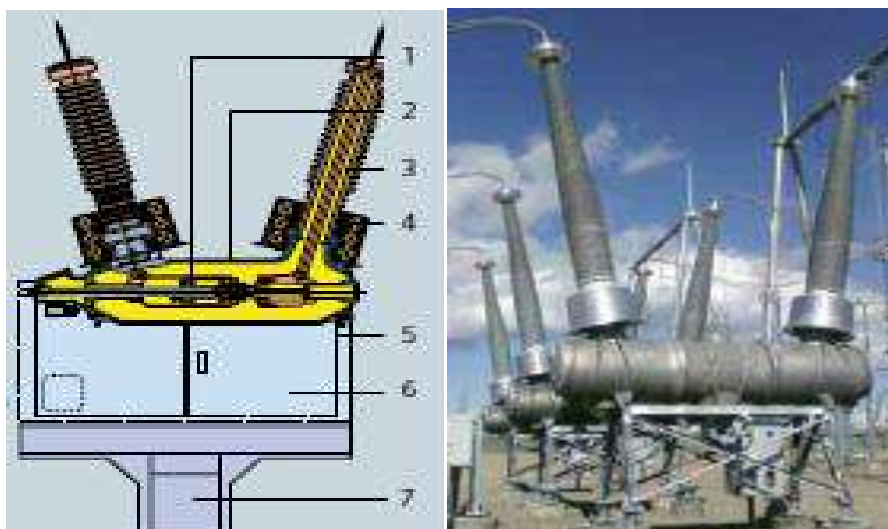


Рисунок 4.10 – Линейка и области применения элегазовых баковых выключателей компании Siemens

	3AP1-DT							3AT2/3-DT	
	38	48.3	72.5	121	145	169	242 / 300	550	
Ном. напряжение [кВ]									
Выдерживаемое перем. напряжение	80	105	160	260	310	365	425	860	
Выдерж. напряжение грозового импульса	200	250	350	550	650	750	900/1050	1800	
Выдерж. коммутационное напряжение [кВ]	-	-	-	-	-	-	- / 850	1300	
Ном. (раб.) ток до [А]	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	
Ном. ток отключения [кА]	40	40	40	50	50	50	50	50	

Рисунок 4.11 – Основные технические характеристики элегазовых баковых выключателей компании Siemens

На рисунке 4.12 показаны конструктивная схема и внешний вид бакового выключателя на 500 кВ 3AP DT 550 кВ, а в таблице 4.3 приведены основные технические характеристики выключателей серии 3AP DT.



1 – дугогасительная камера; 2 – металлический корпус; 3 – высоковольтные вводы; 4 – трансформаторы тока; 5 – база; 6 – шкаф управления с приводом; 7 – опорная стойка.

Рисунок 4.12- Разрез фазы и внешний вид выключателя 3AP DT 550 кВ.

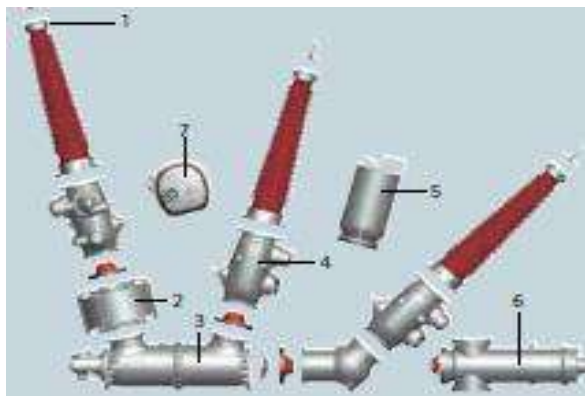
Таблица 4.3- Технические данные выключателей серии 3AP DT

Тип выключателя	3AP1					3AP2/3
Номинальное напряжение, кВ	72,5	123	145	245	362	550
Количество камер на полюс	1					2
Испытательное одноминутное напряжение промышленной частоты, кВ	140	220	275	460	520	800
Испытательное напряжение грозового импульса, кВ	325	550	650	1050	1380	1865
Испытательное напряжение коммутационного импульса, кВ	-				1095	1350
Номинальный ток, А	3150	3150	3150	3150	4000	4000
Номинальный ток отключения до, кА	40	40	63	63	63	63
Диапазон температур, °C	От – 55 до + 50					
Номинальные коммутационные циклы	O-0,3 с-CO 3 minCO или CO-15 с - CO					
Номинальные циклы отключения	3 цикла			2 цикла		
Первое обслуживание	25 лет					

На напряжение 145 – 245 кВ компания Siemens предлагает гибридную концепцию 3AP1 DeadTankKompakt (DTC) – компактное устройство с применением компонентов с элегазовой изоляцией. DTC представляет собой конструкцию, объединяющую в себе несколько устройств. Это баковый

выключатель с одним или двумя трансформаторами тока, один или несколько разъединителей, заземлитель и вводы для присоединения к сборным шинам.

Компоненты устройства 3AP1 DeadTankKompakt (DTC) на напряжение 245 кВ внешний вид и технические характеристики устройства на напряжение 145 кВ-245 кВ приведены на рисунке 4.13 и в таблице 4.4.



- 1 – ввод; 2- трансформатор тока; 3- силовой выключатель с автокомпрессией;
 4- трехпозиционный разъединитель и заземлитель;
 5 – трансформатор напряжения; 6 – модуль кабельных присоединений;
 7 – быстродействующий заземлитель.

Рисунок 4.13

Таблица 4.4 - Технические характеристики устройства 3AP1 (DTC)

Тип выключателя	3AP1 DTC	
Номинальное напряжение, кВ	145	245
Количество камер на полюс	1	
Испытательное одноминутное напряжение промышленной частоты, кВ	275	480
Испытательное напряжение грозового импульса, кВ	650	1050
Номинальный ток, А	3150	4000
Номинальный ток отключения до, кА	40	63
Диапазон температур, °C	От – 55 до + 55	
Номинальные коммутационные циклы	O-0,3 с-CO 3 minCO или CO-15с - CO	
Номинальные циклы отключения	2 цикла	
Первое обслуживание	25 лет	

На напряжения 145 кВ - 420 кВ компания Siemens предлагает новый коммутационный аппарат, совмещающий в себе функции выключателя и разъединителя 3APDCB, в котором отсутствует видимый разрыв, благодаря наличию разъединителя с элегазовой изоляцией и механической блокировке,

гарантирующей, что выключатель останется в отключенном положении, если устройство используется как разъединитель.

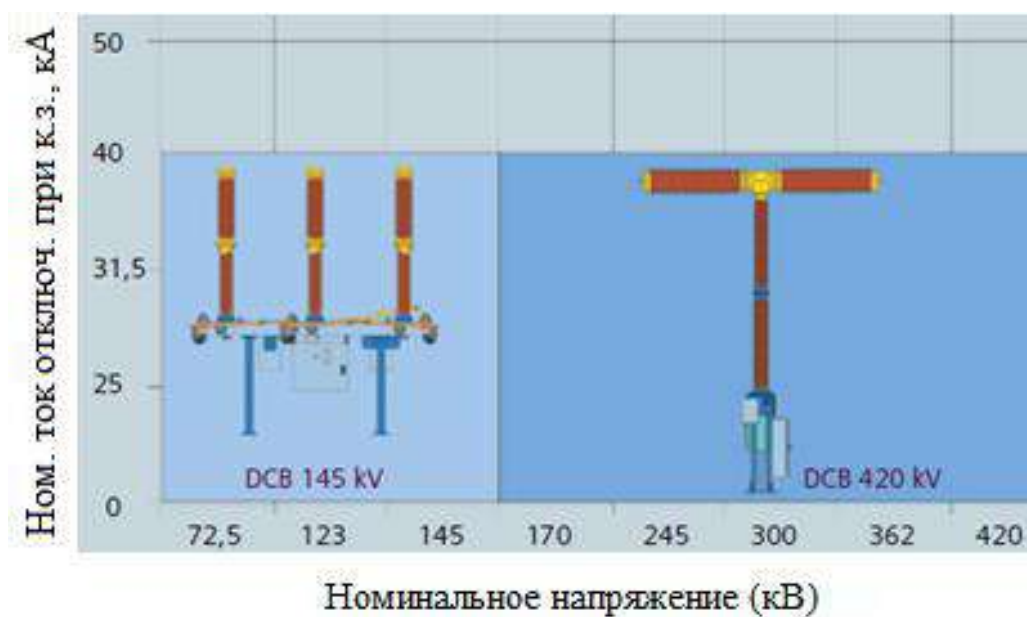
Внешний вид и область применения таких совмещенных коммутационных аппаратов показаны на рисунке 4.14.



а)



б)



в)

а) выключатель – разъединитель 3APDCB 145 кВ;

б) выключатель – разъединитель 3APDCB 420 кВ; в) линейка выключателей.

Рисунок 4.14

Технические данные совмещенных коммутационных аппаратов приведены в таблице 4.5.

Таблица 4.5

Тип выключателя	3AP1 DCB	3AP2 DCB
Номинальное напряжение, кВ	145	420
Количество камер на полюс	1	2
Испытательное одноминутное напряжение промышленной частоты, кВ	275 или 315	520 или 610
Испытательное напряжение грозового импульса, кВ	650 или 750	1425 или 16456
Номинальный ток, А	3150	4000
Номинальный ток отключения до, кА	31,5	49
Диапазон температур, °С	От – 40 до + 40	
Номинальные коммутационные циклы	О-0,3 с-СО 3 minCO или СО-15с - СО	
Номинальные циклы отключения	2 цикла	
Первое обслуживание	25 лет	

5 Элегазовые выключатели компании АВВ

5.1 Баковые элегазовые выключатели компании АВВ

Компания АВВ производит баковые выключатели серии РМ и колонковые выключатели серий НРL, LTD, PASS, COMPASS, а так же выключатель разъединитель DCB, и выключатели серии LTDCcompact [11].

На рисунке 5.1 показаны баковые элегазовые выключатели компании РМ- 800, РМ -550, РМI- 330, РМR-220 до 40 А, РМI-B-220 до 63 А и РМG-B-220 до 63 А.

Конструкции выключателей в целом аналогичны. Каждый полюс выключателя АВВ800 РМ состоит из трех последовательно соединенных компрессионных дугогасительных камер, пружинно-гидравлического привода и ТТ, собранных на заводе и установленных под крышкой выключателя. Блок зажимов ТТ расположен в шкафу управления.

Выключатель АВВ 500 РМ имеет две дугогасительные камеры, выключатель РМI 330– одну. Полное время отключения у всех выключателей серии – 0,04 сек. Выключатели имеют постоянный антиконденсационный подогрев шкафов управления, приводов, шкафов приводов и подогрев баков полюсов.

В зависимости от напряжения в баковых выключателях устанавливается одно, два или три дугогасительных устройств с автодутьем внутри каждого бака. Баки смонтированы на опорной раме из оцинкованной стали и заземлены. Расположенный на раме стальной шкаф управления защищен порошковым покрытием. Вводы, фарфоровые или полимерные, с увеличенной длиной пути утечки.

Каждый полюс имеет независимый пружинно - гидравлический привод, не требующий технического обслуживания. Заводка пружин автоматическая. Механизм привода самосмазывающийся и герметичный. Полюса монтируются на отдельных оцинкованных опорных конструкциях. Завершает

конструкцию свободностоящий шкаф управления, изготовленный из стали с порошковым покрытием, в котором находится все необходимое оборудование для управления и контроля.



PM-800



PM- 550



PMI 330



PMR -220



PMI-B - 220



PMG-B -220

Рисунок 5.1- Внешний вид баковых выключателей компании ABB

Управление одно и трехполюсное. Диапазон рабочих температур от + 40 °С до - 60 °С. Механический ресурс выключателей до 10 000 включений.

Технические характеристики выключателей серии РМ приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1

Тип выключателя	Наиб. рабочее напряжение, кВ	Номинал. ток отключения, кА	Номинальный ток, А	Ток динамической стойкости, кА	Апер. составляющая тока откл., %
550 РМ 40- 20 / 40- 30 / 40- 40	525	40	2000 / 3000 / 4000	100	60
550 РМ 50- 20 / 50- 30 / 50- 40	525	50	2000 / 3000 / 4000	125	60
550 РМ 63- 20 / 63-30 / 63-40	525	63	2000 / 3000 / 4000	150	60
362 РМІ 40-20 / 40-30 / 40-40	363	40	2000 / 3000 / 4000	100	60
362 РМІ 50-20/50-30/50-40	363	50	2000 / 3000 / 4000	125	60
242 РМR 40-20/30-40/40-40	252	40	2000 / 3000 / 4000	100	47
245 РМ 40-20В/40-30В/40-40В	252	40	2000 / 3000 / 4000	100	47
245 РМ 50-20В/50-30В/50-40В	252	50	2000 / 3000 / 4000	125	50
245 РМ 63-20В/63-30В/63-40В	252	63	2000 / 3000 / 4000	158	50

5.2 Колонковые элегазовые выключатели компании АВВ

Номенклатура, типы и номинальные данные колонковых выключателей компании АВВ приведены в таблице 5.2.

На рисунке 5.3 показан внешний вид колонковых выключателей компании АВВ типа LTB и HPL.

Выключатели LTB, предназначенные для классов напряжения 100 и 220 кВ, снабжены дугогасительным устройством типов «Puffer» и «Auto-Puffer», использующим для гашения энергию самой дуги, что значительно снижает количество энергии необходимой для работы привода.

В зависимости от напряжения и отключающей способности выключатели выполняются с одной, двумя и четырьмя разрывами на фазу.

Таблица 5.2

Номенклатура	Тип	$U_{\text{ном}}$, кВ	$I_{\text{ном}}$, А	$I_{\text{ном.откл}}$, кА
Выключатели серии LTB с автокомпрессионной камерой «Auto-Puffer», с моторно - пружинным или электромоторным приводом	LTBD1/B	170	3150	40
	LTB E1	245	3150	50
	LTB E2	550	4000	50
Колонковые выключатели серии HPL с компрессионной камерой «Puffer» с моторно- пружинным приводом	HPL B1	300	4000	63
	HPL B2	550	4000	63
	HPL B4	800	4000	63



а)



б)

Рисунок 5.3- Внешний вид колонковых элегазовых выключателей компании LTB 145 (а) и HPL 245(б)

Конструктивные особенности и принцип действия дугогасительного устройства типа «Puffer» показаны на рисунке 5.4.

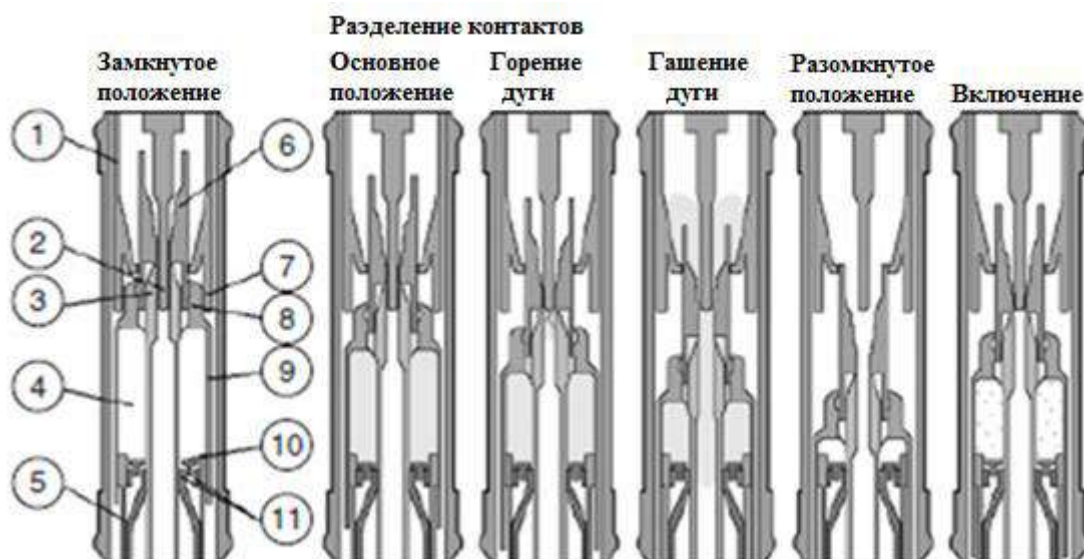
В нормальном положении контакты выключателя замкнуты и ток проходит от верхнего токопровода к нижнему через главные контакты и компрессионный цилиндр.

При отключении подвижные части главного и дугогасящего контактов, а также компрессионный цилиндр и сопло сдвигаются в разомкнутое положение. Подвижные контакты, компрессионный цилиндр и сопло составляют один подвижный узел, то есть вся конструкция с одноходовым движением контактов.

Когда подвижный узел движется в направлении разомкнутого положения контактов, клапан заполнения закрывается и элегаз начинает сжиматься между подвижным компрессионным цилиндром и неподвижным поршнем.

Поскольку размыкание главных контактов происходит за время, достаточное до начала размыкания дугогасящих контактов, любая дуга будет

зажигаться только между дугогасящими контактами в объеме ограниченном геометрией сопла.



1-верхний токопровод; 2 –неподвижный дугогасящий контакт;
3 – подвижный дугогасящий контакт; 4 – компрессионный объем; 5 –нижний токопровод; 6 – сопло; 7 – главный неподвижный контакт; 8 – главный подвижный контакт; 9 – компрессионный цилиндр; 10 – клапан наполнения; 11 – неподвижный поршень.

Рисунок 5.4 - Конструктивные особенности и принцип действия дугогасительного устройства типа «Puffer»

При размыкании дугогасящих контактов между ними зажигается дуга, во время горения которой тело плазмы блокирует движение элегаза через сопло, в результате чего в компрессорном объеме продолжает увеличиваться давление газа до того момента, когда кривая тока проходит через нулевое значение и дуга становится слабой. В этот момент поток сжатого газа под большим давлением вырывается из компрессорного объема через сопло и гасит дугу.

В разомкнутом положении расстояние между неподвижным и подвижным контактами достаточно для того, чтобы выдержать нормированные уровни диэлектрической прочности промежутка.

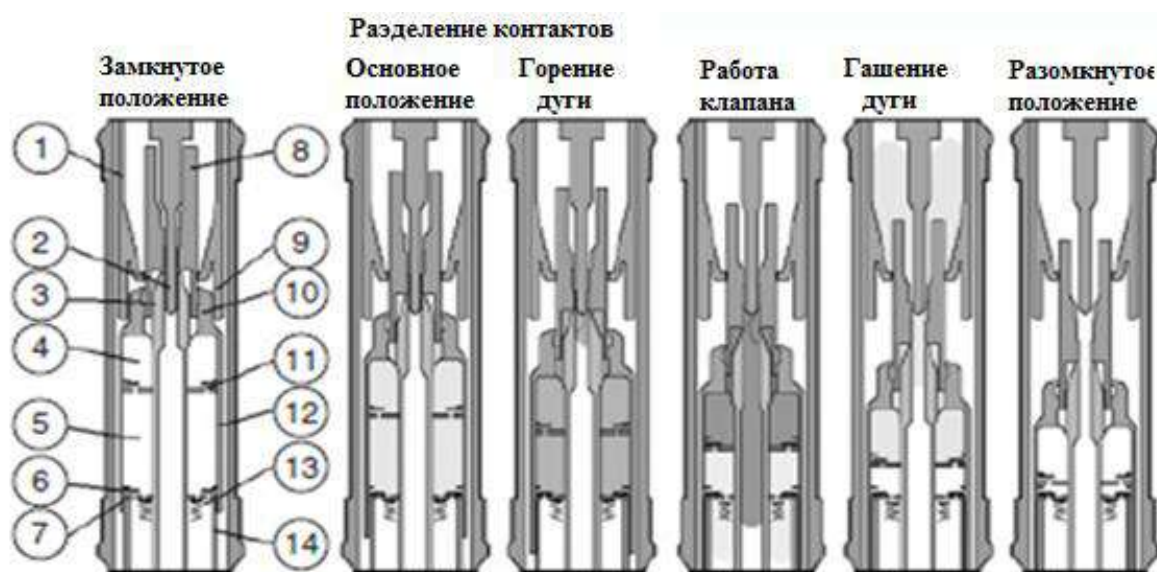
При включении клапан наполнения открывается и элегаз может свободно проходить в компрессионный объем.

Таким образом, при использовании компрессионного метода давление элегаза, необходимое для гашения дуги, создается чисто механическим путем и для выключателей требуется достаточно мощный привод для преодоления создаваемого газом давления в сжимаемом объеме и обеспечения определенной скорости движения контактов. Дугогасительные устройства типа «Puffer» особенно эффективны при отключении больших токов, в частности при отключении номинального тока к.з.

Конструктивные особенности и принцип действия дугогасительного устройства типа «Auto-Puffer», показаны на рисунке 5.5. В начале процесса отключения дугогасительное устройство «Auto-Puffer» работает также, как и рассмотренное выше компрессионное.

При горении дуга давление внутри как компрессионного так и автокомпрессионного объемов повышается как за температуры, так и за счет сжатия газа в общем пространстве между компрессионным цилиндром и неподвижным поршнем.

Давление газа в автокомпрессионном объеме продолжает повышаться до тех пор пока не станет достаточно высоким для того, чтобы закрыть специальный автокомпрессионный клапан. Весь элегаз теперь ограничен в замкнутом автокомпрессионном объеме и его давление может дополнительно повышаться за счет нагрева дугой.



1-верхний токопровод ; 2 –неподвижный дугогасящий контакт;
3 – подвижный дугогасящий контакт; 4 – автокомпрессионный объем;
5 –компрессионный объем; 6 –клапан наполнения; 7 – неподвижный поршень; 8 – сопло; 9 -главный неподвижный контакт; 10 –главный подвижный контакт; 11 –клапан автокомпрессии; 12 - компрессионный цилиндр; 13 – клапан сброса избыточного давления; 14 –нижний токопровод.

Рисунок 5.5- Конструктивные особенности и принцип действия дугогасительного устройства типа «Auto-Puffer».

В то же время, давление в нижнем компрессионном объеме достигает уровня для открытия клапана сброса избыточного давления. Поэтому газ из компрессионного объема уходит через клапан сброса избыточного давления, что снимает потребность в дополнительной энергии привода, необходимой, чтобы преодолеть сжатие газа при одновременном сохранении скорости расхождения контактов. При прохождении тока через нулевое значение и

ослабление дуги, поток сжатого газа вырывается из автокомпрессионного объема через сопло и сдувает дугу.

При отключении слабых токов автокомпрессионное устройство по существу аналогично компрессионным устройствам, так как создаваемое давление газа недостаточно для закрытия специального автокомпрессионного клапана. В результате верхний фиксированный автокомпрессионный и нижний компрессионный объемы формируют один общий объем сжатия и, в этом случае, давление элегаза, необходимое для прерывания дуги достигается обычным механически способом от энергии привода, то есть так же как в обычных компрессионных устройствах дугогашения.

В отличие от компрессионных устройств автокомпрессионные устройства требуют меньшей энергии привода для механического создания давления элегаза при отключении токов меньших номинального значения тока короткого замыкания примерно на 20%-30%.

Для выключателей с одним разрывом на фазу возможно как однополюсное, так и трех полюсное управление, а для выключателей с двумя и четырьмя разрывами только однополюсное.

Каждый полюс состоит из дугогасящего устройства, изолятора и корпуса механизма и монтируется на отдельной раме. Выключатель LTB145 D1 монтируется на общей раме. Для надежной герметизации и нейтрализации воздействия влаги выключатели снабжаются двойными O - образными и X-образными уплотнительными кольцами из нитрильного каучука, а в каждой дугогасительной камере помещается абсорбционный фильтр (диссикант). Для контроля плотности элегаза устанавливается монитор, представляющий собой реле давления с температурной компенсацией.

Все выключатели LTB способны отключать токи короткого замыкания в течение не более 40-60 мс. Благодаря оптимизированной конструкции контактов и скорости их движения и оптимальному гашению дуги при переходе тока через нулевое значение компания гарантирует отключение емкостных токов с низкой вероятностью повторных пробоев и отсутствие перенапряжений при коммутации индуктивных токов. Во избежание риска конденсации элегаза в условиях низких температур применяют смесь элегаза с азотом (N_2) или хладоном (CF_4).

Выключатели рассчитаны на срок эксплуатации до 30 лет или на 10 000 механических операций без нагрузки. При коммутации под нагрузкой количество операций до срока проведения обслуживания определяется в зависимости от тока отключения. Утечка элегаза не более 0,5% в год.

В стандартном исполнении выключатели поставляются с изоляторами из высококачественного фарфора коричневого цвета или с композитными изоляторами светло-серого цвета. По требованию заказчика возможна поставка с фарфоровыми изоляторами светло - серого цвета.

Для управления выключателями устанавливаются пружинные приводы собственной конструкции BLK для выключателей LTB145 D 1-110кВ с

трехполюсным управлением, BLG для выключателей LTB420 E2- 330 кВ с однополюсным управлением и FSA для выключателей LTB145 D 1-110кВ с однополюсным управлением.

В 2001 году компания внедрила цифровой сервопривод «MotorDrive» для выключателей LTB145 D 1-110кВ. Приводы выполняются во влагозащищенных и коррозионностойких корпусах.

Конструкция и принцип работы привода BLK показаны на рисунке 5.6. Силовой узел привода BLK представляет собой спиральную пружину включения, универсальный электродвигатель взвода пружины, быстродействующие виброустойчивые защелки включения и отключения, демпфирующее устройство для торможения контактной системы в конце операции отключения и маслonaполненный червячный редуктор. Кроме этого имеются вспомогательные контакты и концевые выключатели, механический указатель состояния пружины включения и клеммные блоки для внешних соединений. Также имеется блокировка от непреднамеренного срабатывания.

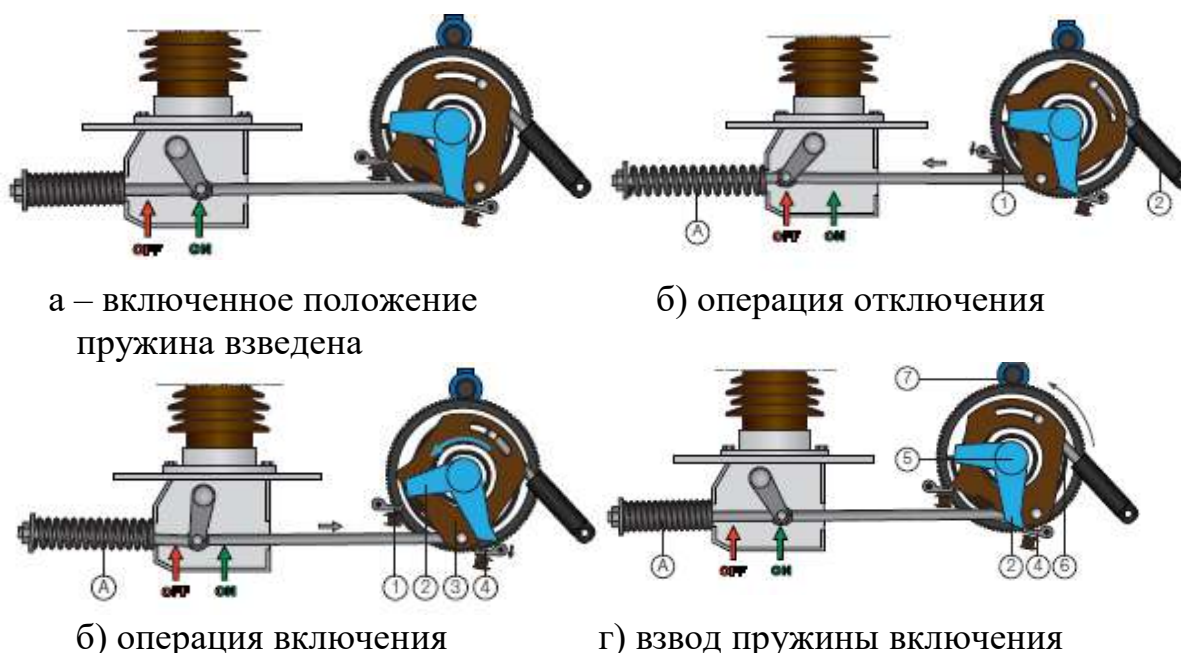


Рисунок 5.6 -Конструкция и принцип работы привода BLK

В нормальном рабочем положении выключателя (рисунок 5.6, а) его контакты замкнуты, а пружины включения и отключения взведены. В этом положении выключатель всегда готов выполнить операцию отключения или цикл АПВ в следующей последовательности О - 0,3 сек - В.

При отключении (рисунок 5.6, б) катушка отключения освобождает защелку 1 и пружина отключения (А) выполняет саму операцию. Демпфирующее устройство (2) замедляет движение контактов. При отключении вероятность отказа очень мала, поскольку выполнение операции зависит только от исправности защелки и пружины отключения.

При включении (рисунок 5.6, в) освобождается включающая защелка 4, приводной рычаг 2 переводит направляемый эксцентриком включающий рычаг 3 во включенное положение. Одновременно происходит и взвод отключающей пружины (А). В конечном положении включающий рычаг 3 фиксируется отключающей защелкой 1. Под действием направленного эксцентриком рычага 3 приводной рычаг 2 освобождается и продолжает движение до устойчивого положения.

При взводе пружины включения (рисунок 5.6, г) после операции включения конечный выключатель подает питание на электродвигатель 7, который взводит пружину включения 6, а положение главного вала 5 и приводного рычага 2 фиксируется включающей защелкой. После полного взведения пружины включения конечный выключатель размыкает цепь включения электродвигателя.

Конструкция и принцип работы провода BLG показан на рисунке 5.7.

В нормальном рабочем положении (рисунок 5.7,а) выключатель (В) включен, его контакты замкнуты, а пружины включения (5) и отключения (А) взведены. Выключатель удерживается во включенном положении защелкой отключения (1), которая воспринимает усилие от взведенной пружины отключения. В таком состоянии привод готов для отключения и выполнения полного цикла АПВ О – 03 сек. – В.

При отключении (рисунок 5.7,б) катушка отключения освобождает защелку (1). Пружина отключения (А) перемещает подвижный элемент выключателя в отключенное положение. Рабочий рычаг (2) перемещается вправо и в конце хода упирается в диск с кулачком (3). Движение в конце хода амортизируется масляным демпфирующим устройством (4).

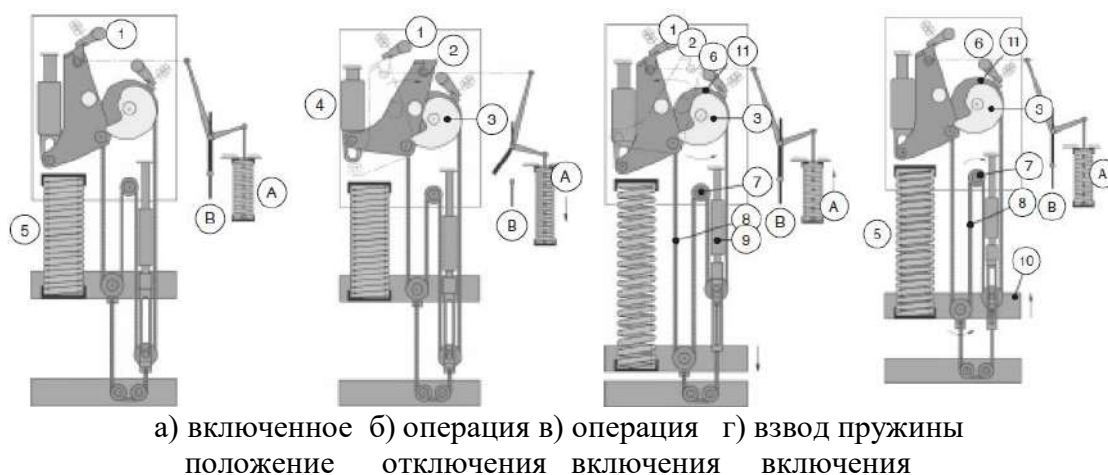


Рисунок 5.7 - Конструкция и принцип работы провода BLG

При включении (рисунок 5.7,в) катушка включения освобождает включающую защелку (6). Звездочка (7) фиксируется и не вращается вследствие чего, энергия запасенная во включающих пружинах передается через бесконечную цепь (8) на звездочку (11), укрепленную на диске с

кулачком. Кулачковый диск перемещает рабочий рычаг (2) влево, где он фиксируется в конечном положении отключающей защелкой (1). На последнем участке вращения кулачковый диск амортизируется демпфирующим устройством (9), а фиксирующая защелка на звездочке (11) снова возвращается в исходное положение, упираясь во включающую защелку (6).

При взводе пружины включения (рисунок 5.7,г) при включенном выключателе начинает работать электродвигатель, вращая звездочку (7). Звездочка (11), укрепленная на кулачковом диске (3) имеет упор, за который зацепляется включающая звездочка (6), после чего, ветви цепи (8) поднимают пружинный мостик (10). Включающая пружина (5) при этом сжимается и механизм снова приходит в нормальное рабочее положение.

Выключатели типа HPL на напряжения 35 кВ-750 кВ с компрессионным гашением дуги компания ABB производит с 1981 года. Конструкции выключателей в целом аналогичны выключателям типа LTB. Те же опорные изоляторы, те же гасительные камеры и опорные металлоконструкции, те же приводы и способы управления, одно - и трех полюсное, в зависимости от модификации, аналогичный монитор плотности газа.

Применение в выключателях на высокое напряжение двух и четырех разрывов на фазу предопределило Т - образное расположение гасительных камер и компоновку (рисунок 5.3).

Количество приводов в зависимости от модификации от одного до шести: один для выключателей на напряжение до 245 кВ при трехполюсном управлении; три для выключателей на напряжение 500 кВ при однополюсном управлении; шесть (по два на каждый полюс) для выключателей с однополюсным управлением на напряжением 800 кВ.

Основные характеристики выключателей HPL приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3- Основные характеристики выключателей типа HPL

Тип выключателя	HPL 72,5 B1	HPL 170 B1	HPL 245 B1	HPL 420 B2	HPL 550 B2	HPL 800 B4
Число разрывов на полюс	1	1	1	2	2	4
Номинальное напряжение, кВ	35	150	200	330	500	760
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	40,5	172	252	363	525	787
Испыт. напряж. пром. частоты относительно земли и между контактами, кВ	95	399	440	560	780	960
Испыт. напряж. грозового импульса, кВ: относительно земли между контактами	190 190	650 750	900 1050	1175 1380	1550 1550	2100 2199
Испыт. напряж. коммутационного импульса, кВ:						

относительно земли между контактами	-	-	-	960 1245	1230 1650	1425 2000
Удельная длина пути утечки, мм/кВ	25	25	25	25	25	25
Номинальный ток, А	4000	4000	4000	4000	4000	4000
Номинальный ток отключения, кА	50/63	50/63	50/63	50/63	50/63	50
Ток динамической стойкости, кА	160	160	160	160	160	128
Время протекания тока термической стойкости, с	3	3	3	3	3	3
Собственное время включения и отключения не более, мс	65/22	65/22	65/22	65/22	65/22	65/22
Полное время отключения, мс	40	40	40	40	40	40
Бестоковая пауза, с	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Номинальные циклы операций	O-0,3с-BO-180с-BO O-0,3с-BO-20с-BO O-180с-BO-180с-BO			O-0,3с-BO-180с-BO O-180с-BO-180с-BO		

5.3 Генераторные элегазовые выключатели компании ABB

В группе ABB компания ABB Switzerland производит генераторные выключатели [12] на токи отключения 100 кА, 160 кА и 200 кА при напряжениях 25 кВ и 27,5 кВ. Амплитудное значение сквозного тока КЗ и тока включения – 600 кА. Общий вид генераторного выключателя типа НЕС7/8 приведен на рисунке 5.8.

Генераторный выключатель НЕС7/8 – основа генераторного аппаратного комплекса, предназначенного для встраивания в экранированные токопроводы, в который, кроме генератора, входят: разъединитель, заземлители, измерительные трансформаторы тока и напряжения, ОПН, конденсаторы для защиты от перенапряжений. Выключатель управляется гидропружинным приводом.



Рисунок 5.8 – Генераторный выключатель НЕС7/8

Основание контактных пальцев изготавливается из пружинящего медного сплава, дугостойкий наконечник – из медно-вольфрамового

композиционного материала. Номинальный ток выключателя с естественным охлаждением составляет 24000 А, при принудительном воздушном охлаждении – 38000 А.

Конструкция контактов обеспечивает: достаточный запас материала с учетом реального износа контактов при отключении больших токов КЗ; высокую стойкость к механическим нагрузкам при коммутации токов и сквозных токах; оптимальное усилие прижатия контактов во всем рабочем диапазоне токов за счет сбалансирования сил отталкивания и притяжения; низкое омическое сопротивление и хороший теплоотвод.

5.4 Аппаратные модули компании АВВ на базе колонковых элегазовых выключателей

В традиционных схемах подстанций с обеих сторон выключателя, для обеспечения видимого разрыва и возможности вывода его в ремонт или на обслуживание, устанавливаются отдельные разъединители. Применение комбинированных коммутационных аппаратов позволяет проектировать подстанции без отдельно стоящих разъединителей, что уменьшает занимаемую площадь, снижает потребность в частом отключении шин и позволяет применять упрощенные схемные решения.

Существует два альтернативных решения для упрощения главных схем подстанций, и, что не менее важно, сокращения занимаемой площади.

Первое – это выкатные выключатели, входящие в состав комплектных ячеек, высокой заводской готовности. В этом случае выключатель монтируется на подвижной платформе, на которой расположены подвижные контакты, и приводится в отключенное и включенное положение с помощью двигательного привода, тем самым обеспечивая видимый разрыв и выполняя функцию разъединителя. Подвижные и неподвижные контакты, расположенные на шинах обслуживания не требуют.

Вторым решением является использование комбинированных выключателей, в которых собственные контакты выключателя находящиеся в дугогасительной камере выполняют и функции разъединителя. Надежная система автоблокировки в сочетании с интегрированным заземлителем с моторным приводом обеспечивает полную безопасность персонала.

К таким устройствам относятся коммутационный модуль LTB Компакт на напряжение 132 кВ-170 кВ, номинальным током 3150 А и номинальным током отключения 40 кА, комбинированные выключатели PASS и COMPASS, выключатели разъединители DCB, выпускаемые компанией АВВ.

Коммутационный модуль LTB Компакт на напряжение 132 кВ-170 кВ, номинальным током 3150 А и номинальным током отключения 40 кА, основой которого является смонтированный на выкатной раме стандартный элегазовый выключатель LTB 145 с трехфазным управлением и пружинным приводом BLK 222 показан на рисунке 5.9.

ЛТВ Компакт выполняет функции разъединителей, что позволяет обслуживать выключатель в снятом и полностью выкаченном положении.

Функции разъединителей выполняются путем выкатывания тележки с выключателем из неподвижных контактов.

Для перемещения тележки с выключателем используются стандартные приводы АВВ: моторный или ручной. Неподвижные контакты являются частью системы шин и не требуют обслуживания. ЛТВ Компакт выполняет все традиционные функции ячейки выключателя.

К дополнительному стандартному оборудованию могут быть установлены порталы для неподвижных контактов, трансформаторы тока, трансформаторы напряжения, кронштейны для монтажа трансформаторов тока и напряжения, заземлитель, ограничитель перенапряжений, устройство дистанционного контроля положения оборудования, реле сигнализации операций (включение/отключение) для коммутации конденсаторных батарей, реакторов, трансформаторов и длинных воздушных линий.

Технические характеристики модуля аналогичны техническим характеристикам выключателя ЛТВ.

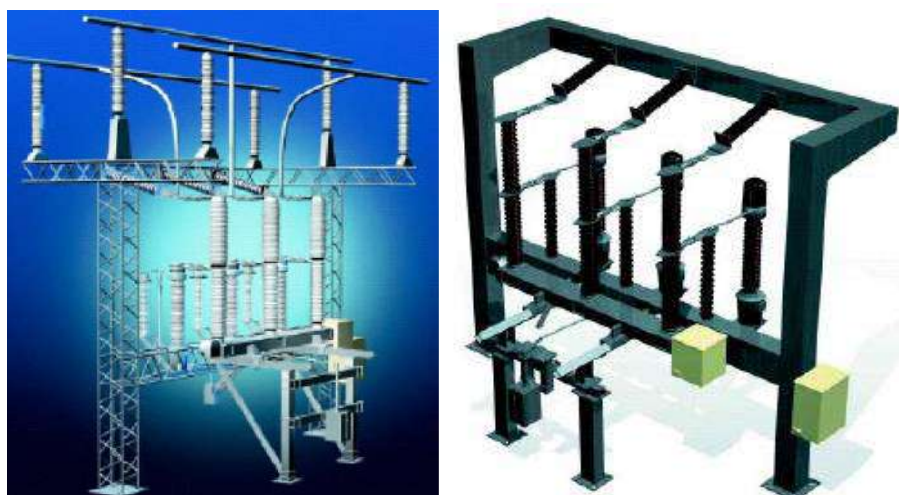
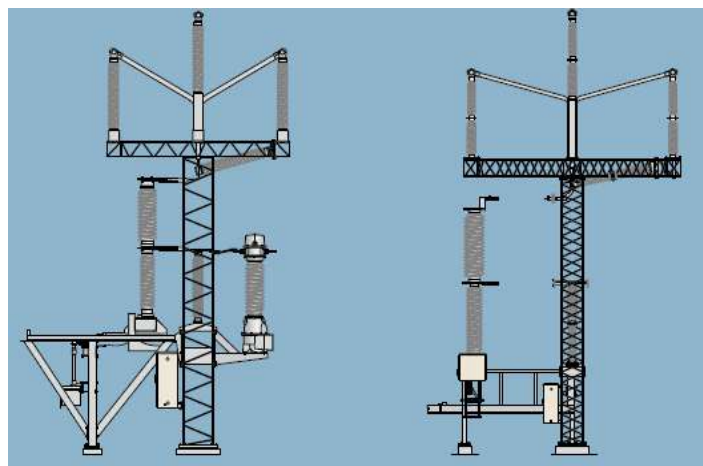


Рисунок 5.9 - Конструкция и внешний вид модуля ЛТВ Компакт.

Выкатные выключатели серии WCB (рисунок 5.10) напряжением 110 кВ-220 кВ представляют собой выключатели серий ЛТВ и НРЛ с приводами BLK и BLG, устанавливаемые на передвижной платформе. В состав такой коммутационной ячейки входят собственно выключатель, передвижная платформа, подвижные и неподвижные контакты. Кроме этого, могут быть установлены трансформаторы тока, жесткая ошиновка для установки на ОРУ, жесткая ошиновка для низкорамной ячейки для установки в ЗРУ, реле для синхронной коммутации.

Основные характеристики выключателей серии WCB приведены в таблице 5.4.



WCB LTB 145, WCB LTB 170

WCB LTB/ HPL 245

Рисунок 5.10 – Общий вид выкатных выключателей серии WCB

Таблица 5.4 – Основные характеристики выкатных выключателей WCB

Параметры	WCBLTB 145,	WCBLTB 170	WCBLTB/ HPL 245
Режим управления	Одно- и трехполюсное	Однополюсное	Однополюсное
Номинальное напряжение, кВ	110	150-220	330
Номинальный ток, А	3150	4000	4000
Номинальный ток отключения, кА	40	50	50
Температура окружающей среды, °C	-50/+40	-50/+40	-50/+40

Комбинированные выключатели на напряжение 110 кВ-330 кВ серии DCB на базе выключателей LTB и HPL сочетают в себе функции выключателя и разъединителя. Контакты выключателя в разомкнутом положении являются одновременно и контактами разъединителя. Такой выключатель заменяет собой традиционную схему разъединитель – выключатель- разъединитель, позволяя создавать простые и компактные подстанции и комплектуются интегрированным высоконадежным заземлителем с двигательным одно или трехполюсным управлением путем установки либо пружинных приводов типа BLK и BLG, так и новой электродвигательной системой MotorDrive.

Выключатели на 110 кВ-220 кВ имеют один разрыв на полюс, выключатели на 330 кВ – два. Номинальные параметры в части напряжений и токов аналогичны выключателям LTB и HPL. Механический ресурс выключателей не менее 10000 операций.

Для исключения возможности непреднамеренного оперирования выключателем и заземлителем предусмотрена система логической взаимоблокировки с функцией удаленного управления и возможности запираания на висячий замок. Индикаторы, механически связанные с контактами, надежно показывают положение выключателя и системы взаимоблокировки.

Общий вид и основные характеристики комбинированных выключателей серии DCB показаны на рисунке 5.11 и таблице 5.5.

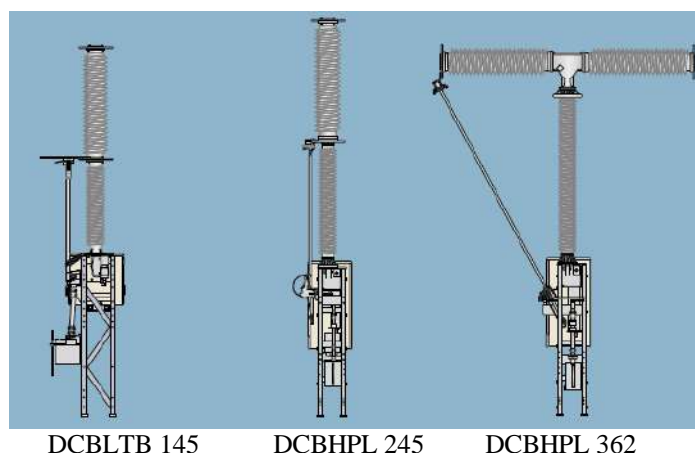


Рисунок 5.11 – Общий вид выкатных выключателей серии DCB

Таблица 5.5 – Основные характеристики выкатных выключателей серии DCB

Параметры	DCBLTB 145	DCBNPL 245	DCBNPL 362
Режим управления	Трехполюсное	Одно и трехполюсное	Однополюсное
Номинальное напряжение, кВ	110	150-220	330
Номинальный ток, А	3150	4000	4000
Номинальный ток отключения, кА	40	50	50
Температура окружающей среды, °С	-50/+40	-50/+40	-50/+40

5.5 Комплектные ячейки COMPASS и PASS

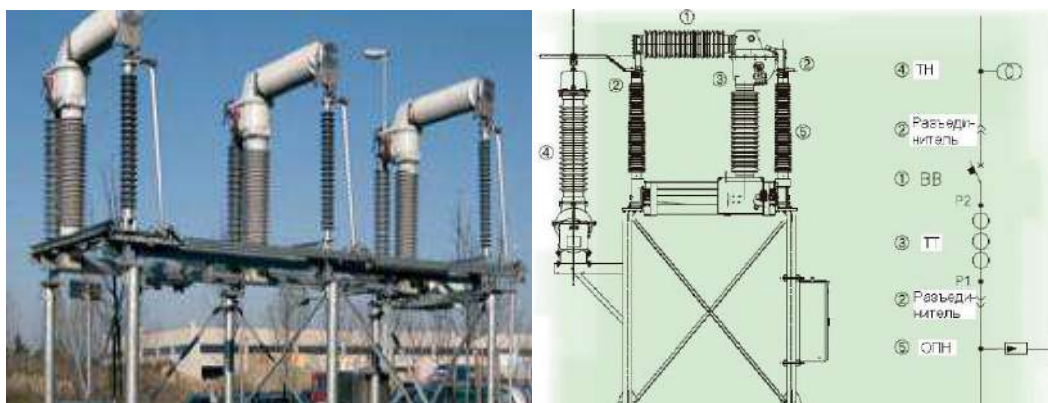
Основной продукцией итальянского филиала АИИ (г. Лоди) являются комплектные ячейки серии COMPASS и комплектные устройства на базе элегазовых выключателей серии PASS.

Термин «комплектное», в данном случае, подразумевает комбинацию традиционного и элегазового распределительного устройства, которое содержит все преимущества этих решений.

Под аббревиатурой COMPASS понимается компактная подстанция с воздушной изоляцией, содержащая все функции высоковольтного оборудования в одном модуле и на единой платформе.

Каждая фаза содержит высоковольтный выключатель с приводом с одно - или трехполюсным управлением, два разъединителя с собственными приводами (моторными или ручными), два заземлителя тоже с собственными приводами, трансформаторы тока и напряжения, ограничитель перенапряжений и шкаф управления.

Внешний вид, расположение оборудования и однолинейная схема ячейки COMPASS и основные технические характеристики приведены на рисунке 5.12 и таблице 5.6.



1 – выключатель; 2 – разъединитель; 3 – трансформатор тока;
4 – трансформатор напряжения; 5 – ОПН.

Рисунок 5.12 - Расположение оборудования ячейки COMPASS

Таблица 5.6 - Технические характеристики ячеек COMPASS

Тип ячейки	COMPASS 123	COMPASS 145	COMPASS 170
Номинальное напряжение, кВ	110	110	150
Испытательное напряжение грозового импульса, кВ: относительно земли и между фазами; между контактами	550 630	650 750	750 860
Испытательное одноминутное напряжение промышленной частоты, кВ ; Относительно земли и между фазами; Между контактами	230 265	275 315	325 375
Номинальный ток, А	1600-2000	1600-2000	1600-2000

Ячейки COMPASS предназначены для наружной и внутренней установки при температуре окружающей среды от +40 °С до – 50 °С, скорости ветра до 130 км/час и высоте над уровнем моря не более 1000 метров.

Комплектные элегазовые устройства серии PASS представляют собой выключатель, разъединители, кабельные кожухи, быстродействующие заземлители и трансформаторы напряжения. Все компоненты помещены в один бак и изолированы элегазом.

Устройства серии PASS выпускаются на классы напряжения 35 кВ, 110 кВ, 150 кВ, 220 кВ и на их основе можно реализовать практически любую схему распределительного устройства электрических станций и подстанций. PASS имеет все функции РУ с воздушной изоляцией и на классы напряжения

до 220 кВ и по размеру сопоставимо с традиционным баковым выключателем на тот же класс напряжения.

Аббревиатура PASS (PlagAndSwitchSystem) в переводе на русский язык «подключил разъемы и включай в работу». В то же время это можно расшифровать и как «PerformanceAndSaveSpace», «устройство, экономящее пространство».

Элегазовая ячейка PASS содержит все оборудование, необходимое для функционирования высоковольтного распределительного устройства и позволяет реализовать любые схемы соединения и позволяет выполнить любую компоновку подстанции. Основным достоинством ячеек является модульность конструкции и компактность. Все элементы ячейки, находящиеся под напряжением, заключены в заземленный алюминиевый корпус, заполненный элегазом или смесью элегаза и азота. В настоящее время ABB выпускает ячейки PASS трех типов: PASS MOO на напряжение 35 кВ; PASSMO на напряжение 110 кВ - 150 кВ; PASSMOS на напряжение 220 кВ.

На рисунке 5.13 показана структурная схема концепции PASS и ее компоненты.

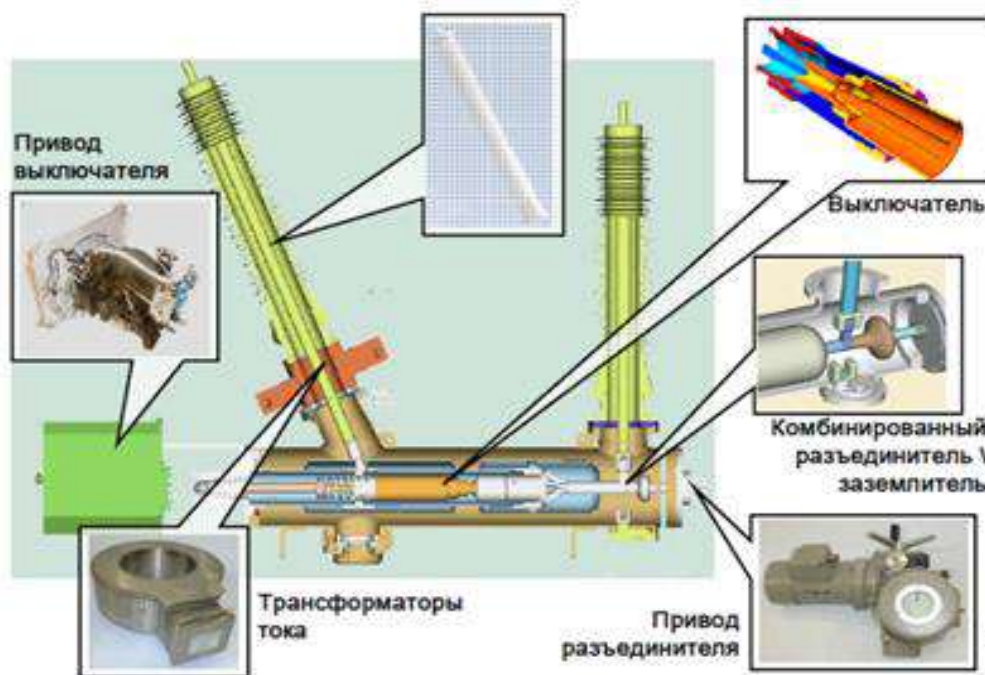
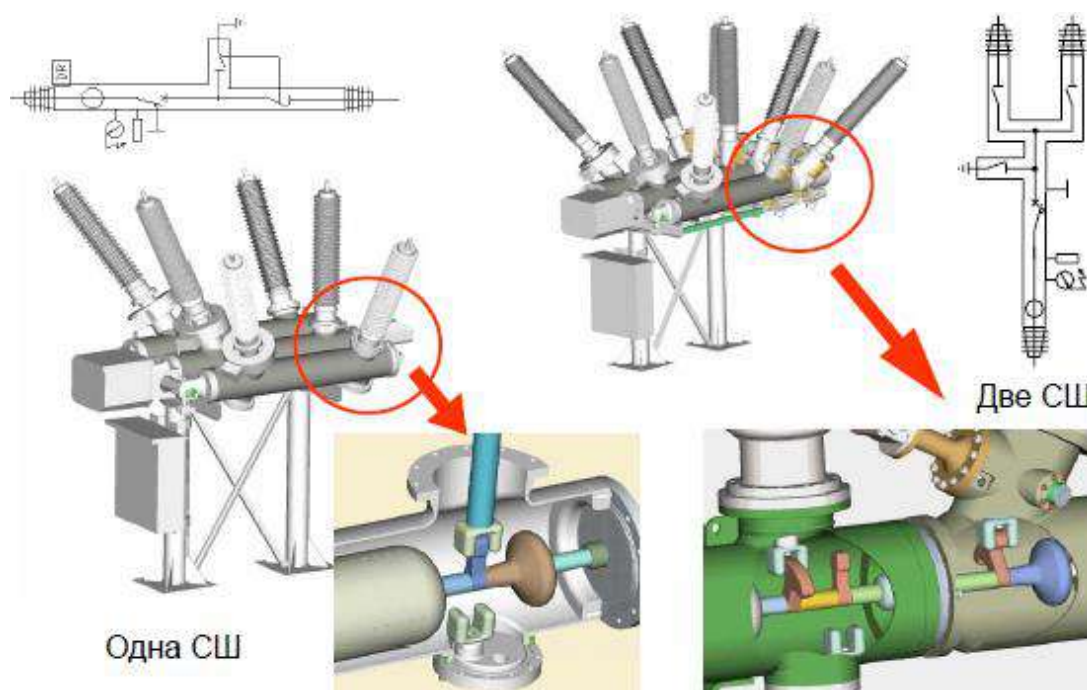


Рисунок 5.13 - Структурная схема концепции PASS

PASSMO обладает исключительной гибкостью и позволяет реализовать существующие типовые решения с одной системой сборных шин, с двумя системами сборных шин, схему проходной подстанции и схему с двумя выключателями на присоединение. На рисунке 5.14 приведены типовые схемы подключения стандартной ячейки PASS к одинарной и двойной системам сборных шин.

На рисунке 5.15 показан внешний вид ячейки PASSMO на напряжение 110-150 кВ. Эта ячейка была разработана в 1999 году и, благодаря своим

качествам, быстро завоевала лидирующие позиции на электротехническом рынке. В настоящее время во всем мире установлено более 2000 таких ячеек, как на открытых площадках, так и в помещениях и под землей, в том числе в пустыне Сахара и в тундре России.



1- комбинированные разъединители/заземлители;
2 – силовой выключатель; 3- трансформатор тока

Рисунок 5.14 – Схемы подключения ячейки PASS



Рисунок 5.15 – Внешний вид ячейки PASS MO

Ячейка PASS MO укомплектована выключателем и трехполюсным комбинированным разъединителем - заземлителем. Выключатель имеет одну

дугогасительную камеру, которая управляется пружинным приводом (рисунок 5.16).

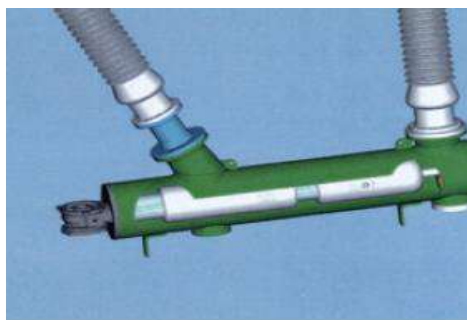


Рисунок 5.16

Принцип действия комбинированного разъединителя- заземлителя основан на круговом движении контактов. Подвижный контакт может иметь либо три фиксированных положения: подключен к сборной шине ячейки, отключен и заземлен, либо только два – подключен к сборной шине ячейки и отключен с одновременным заземлением. Разъединитель состоит из минимального числа деталей и может быть использован схемах с одной и двумя системами сборных шин.

Кроме того разъединители могут быть установлены со стороны всех вводов ячейки. Возможны любые комбинации. На рисунке 5.17, а, б показаны разъединитель – заземлитель ячейки с одной системой сборных шин (подвижный контакт подключен к сборной шине) и двойной комбинированный разъединитель для применения в схемах с двойной системой сборных шин (оба разъединителя показаны подключенными к различным шинам).

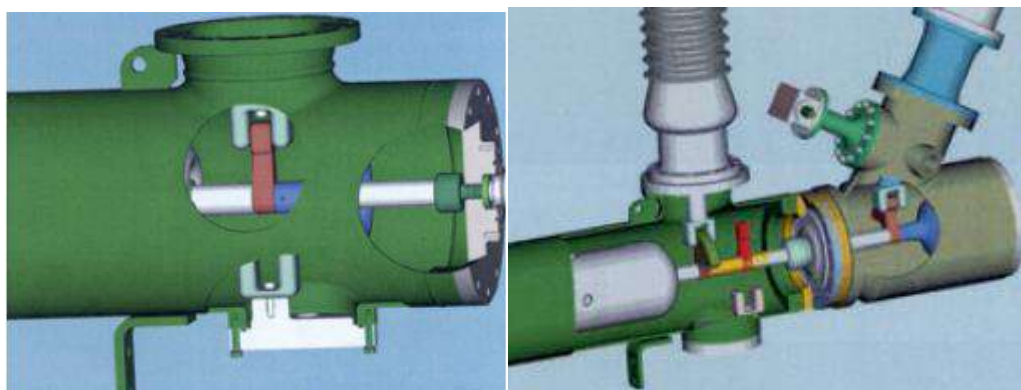


Рисунок 5.17

При всех вариантах исполнения положение всех разъединителей определяется по внешним указателям, механически связанным с валами разъединителей. Кроме того в корпусе ячейки имеются специальные окна, позволяющие визуально наблюдать положение контактов разъединителей.

Разъединители управляются моторными приводами. При отсутствии оперативного тока возможно ручное управление.

Внешние линии и силовые трансформаторы присоединяются к ячейкам PASS MO через полимерные вводы. Основой вводов служит стеклопластиковая труба, на которую нанесена оболочка из кремний органической резины, имеющей ребра, образующая внешнюю изоляцию.

Внутренний объем вводов сообщается с корпусом ячейки и заполнен элегазом. Алюминиевые фланцы насаживаются на трубу в горячем состоянии и дополнительно крепятся при помощи специального клея, что обеспечивает механическое соединение, надежно работающее при любых изменениях температуры. Такие вводы имеют малую массу, не требуют технического обслуживания и устойчивы к любым агрессивным средам.

Внутренняя изоляция ячейки обеспечивается элегазом. Все изоляционные промежутки сконструированы таким образом, что их электрические поля практически однородны, что позволяет наиболее эффективно использовать изолирующие свойства элегаза.

Практическое применение ячеек PASSMO показано на рисунке 5.18.



Ячейка с двумя системами СШ
в Норвегии



Ячейка с одной системой СШ
в Австралии

Рисунок 5.18 - Практическое применение ячеек PASSMO

Корпуса всех фаз одной ячейки являются сообщающимися сосудами, в которых устанавливается единая плотность элегаза, для контроля плотности которого, ячейка снабжена денсиметром, имеющим две пары контактов, срабатывающих при понижении давления. Для защиты от повышения давления выше критического ячейка снабжается металлической диафрагмой (разрывным диском). Количество элегаза в ячейке всего около двадцати пяти килограмм на три фазы.

Все аппараты PASS MO оснащены вспомогательными контактами, цепи которых выведены на клеммники в шкаф управления. На эти же клеммники выведены и вторичные обмотки трансформаторов тока и цепи

управления. Это позволяет при реконструкции подстанции связать ячейки с уже существующей системой управления и защиты.

В 2003 году компания ABB разработала ячейку PASSMOO на напряжение от 66 кВ до 100 кВ, которая является самостоятельной конструкцией и не является уменьшенной копией PASSMO. Она меньше и легче и имеет принципиально другие конструктивные решения, основным из которых является поворачивающаяся гасительная камера.

Такое решение обеспечивает установку подвижных контактов разъединителя - заземлителя на вращающихся частях камеры. При этом функции разъединителя - заземлителя осуществляются автоматически. Все аппараты ячейки заключены в единый модуль размеры и масса которого сопоставимы с отдельно стоящим выключателем. Ячейки PASSMOO могут быть использованы в схемах с одинарной и двойной системах сборных шин.

Последовательность переключений и принцип действия поворотной гасительной камеры показаны на рисунках 5.19, 5.20.

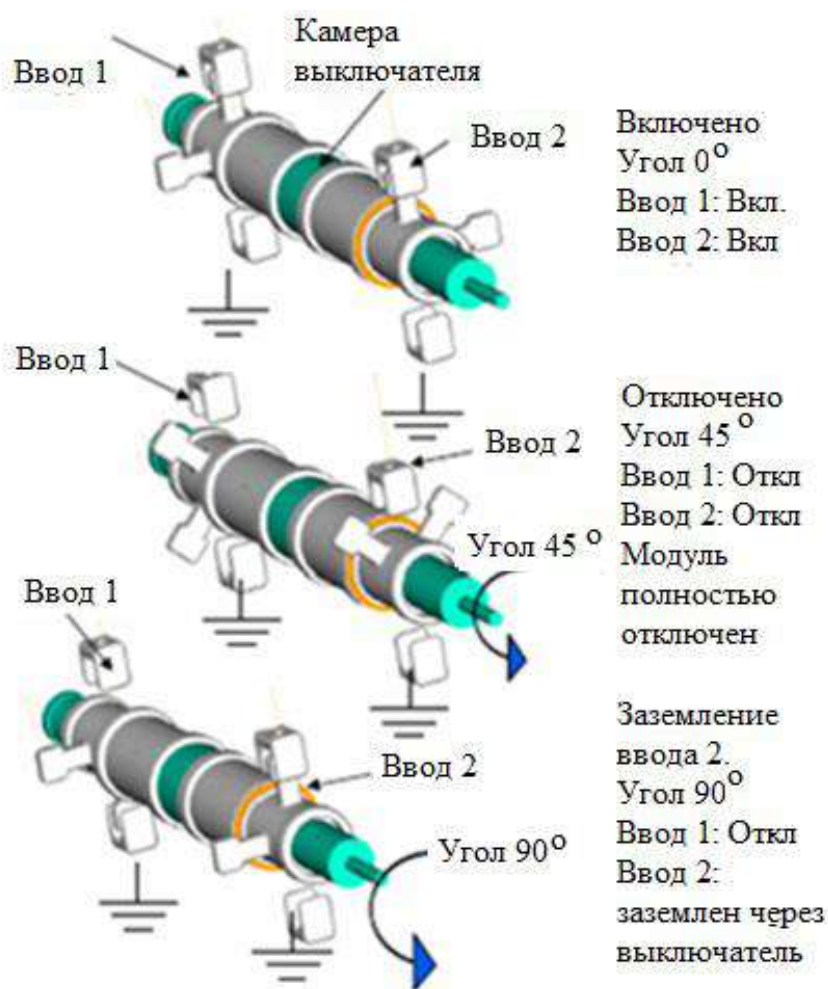
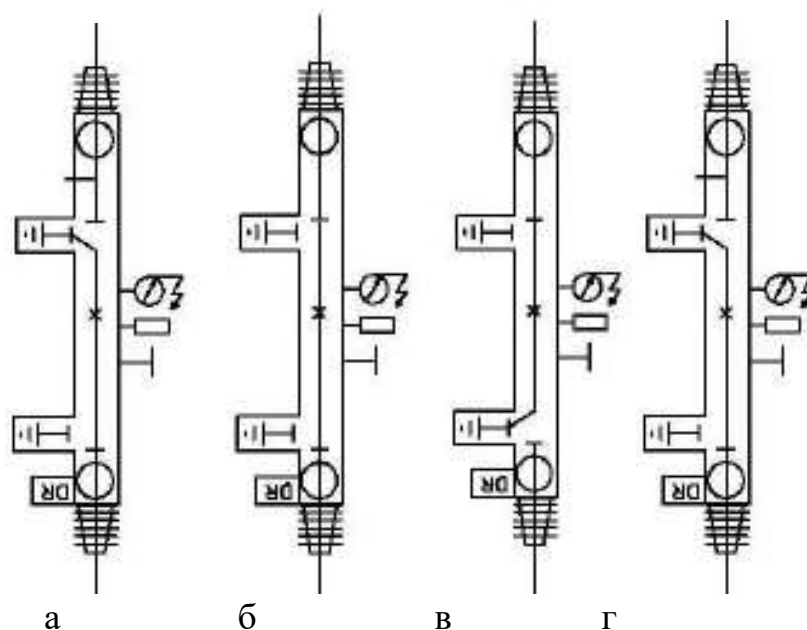


Рисунок 5.19



а) исходное состояние; б) номинальный режим; в) заземление линии;
г) заземление трансформатора.

Рисунок 5.20 – Положение вводов в различных исполнениях

Общий вид ячейки PASSMOO и ее использование приведены на рисунке 5.21.



Ячейка с одной системой СШ в Дании

Рисунок 5.21 - Внешний вид и пример применения PASSMOO

Одним из последних ноу - хау компании ABB является ячейка с поворотной камерой выключателя PASSMORS (рисунок 5.22).

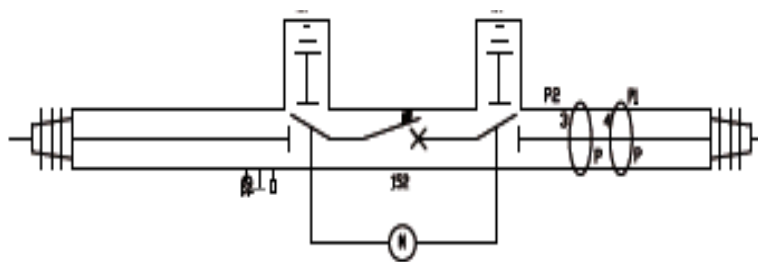


Рисунок 5.22

Основные преимущества таких ячеек заключаются в наличии разъединителя и заземлителя с обеих сторон, меньший вес и габариты, большая надежность и возможность многофункциональной компоновки. Принцип оперирования показан на рисунке 5.23.

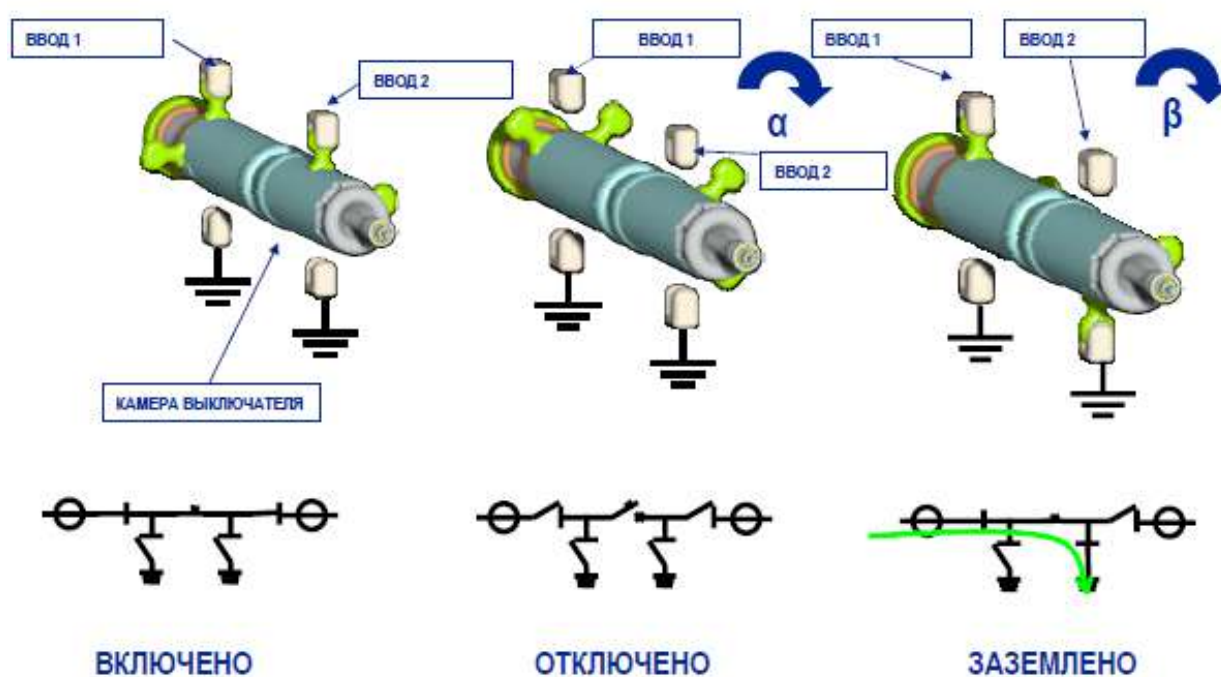


Рисунок 5.23 – Работа поворотной камеры выключателя

На рисунке 5.24 показан внешний вид и однолинейная схема ячейки с двумя системами сборных шин, и внешний вид и однолинейная схема ячейки с двумя выключателями.

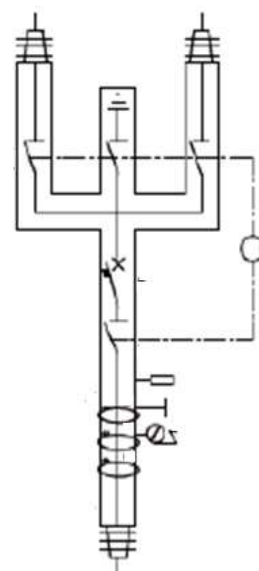


Рисунок 5.24 – Ячейка с двумя системами сборных шин

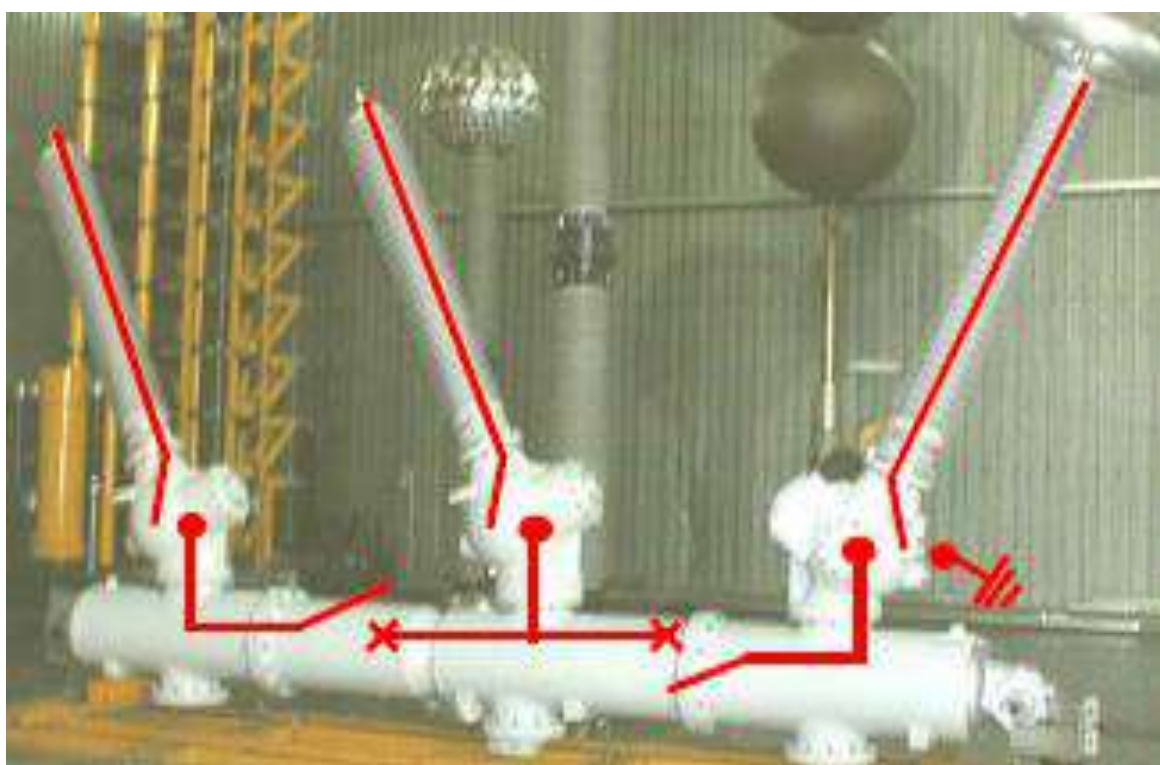


Рисунок 5.25- Ячейка с двумя выключателями

Таблица 5.7- Технические характеристики семейства PASS

	PASSMOO		PASSMO			PASSMOS
Ном. напряжение, кВ	72,5	100	125	145	170	245
Ном. ток, А	2000		3150			
Ток отключения, кА	31,5	20	40			
Исп.(1мии) напряжение переменного тока, кВ	140	185	230	275	325	850/1000
Испыт. напряжение грозового импульса, кВ	≤ 1000					
Диапазон температур, °C	+ 40, - 30					
Высота над уровнем моря, м	≤ 1000					
Относительная влажность, %	100					
Напор ветра, Pa	700					
Солнечное излучение, W/ м², кВт/м²	≤ 1000					
Сейсмостойкость(МЭК 60529), G	0,5					

6 Элегазовое коммутационное оборудование компании Alstom Crid (Areva)

Компания Alstom Crid (Areva) производит элегазовые выключатели на напряжение до 750 кВ. Это баковые выключатели серий DT и HFG на напряжение от 110 кВ до 500 кВ, колонковые выключатели серии GL на напряжение от 110 кВ до 750 кВ и генераторные выключатели серии FKG [13]. Линейка баковых выключателей внешний вид и технические характеристики приведены на рисунках 6.1, 6.2 и таблицах 6.1 и 6.2.


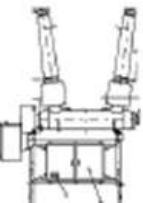
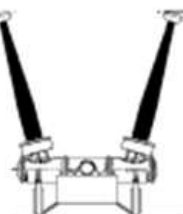
Уном, кВ I к.з., кА	110	220	330-600
31,5	DT1-145	HQF-1014 DT1-245	
40			
50		HQF-1012	
63			DT2-560
			

Рисунок 6.1-Линейка и области использования баковых элегазовых выключателей компании Alstom Crid



DT-550 F3



DT 1-145 F3



HGF-1012

Рисунок 6.2- Внешний вид баковых выключателей компании Alstom Crid

Таблица 6.1- Основные характеристики элегазовых баковых выключателей серии DT

Тип выключателя	DT1-145	DT1-245	DT2-550
Класс напряжения, кВ	110	220	500
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	145	260	550
Номинальный ток, А	1200	2000-5000	3000-4000
Номинальный ток динамической	108	170	170
Номинальный ток термической	25-40	40-63	40-63
Номинальный ток отключения, кА	25-40	40-63	40-63
Номинальный ток включения, кА	108	170	170
Полное время отключения, мс	50	45	42/33
Время включения, мс	65	104	98
Управление	1и 3 х полюсно	однополюсное	
Привод	пружинный		
Трансформаторы тока, шт. на полюс	до 6		
Температура окружающей среды, °С	-60 -+50		

Таблица 6.2 - Технические характеристики элегазовых баковых выключателей серии HGF

Тип выключателя	HGF-1012	HGF-1014
Класс напряжения, кВ	110	220
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	145	252
Номинальный ток, А	1200-4000	1200-4000
Номинальный ток динамической стойкости,	170	170
Номинальный ток термической стойкости,	31.5-63	40-63
Номинальный ток отключения, кА	31.5-63	40-63
Номинальный ток включения, кА	170	170
Полное время отключения, мс	42	45
Время включения, мс	96	104
Управление	Одно и трехтрехполюсное	
Привод	пружинный	

Трансформаторы тока, шт. на полюс	до 6
Категория размещения	наружная
Температура окружающей среды, °C	-60

Представляет интерес конструкция элегазового выключателя типа VOX-35 на напряжение 35 кВ, в котором элегаз используется как изолирующая среда, а коммутации осуществляются с помощью вакуумной гасительной камеры (рисунок 6.3).

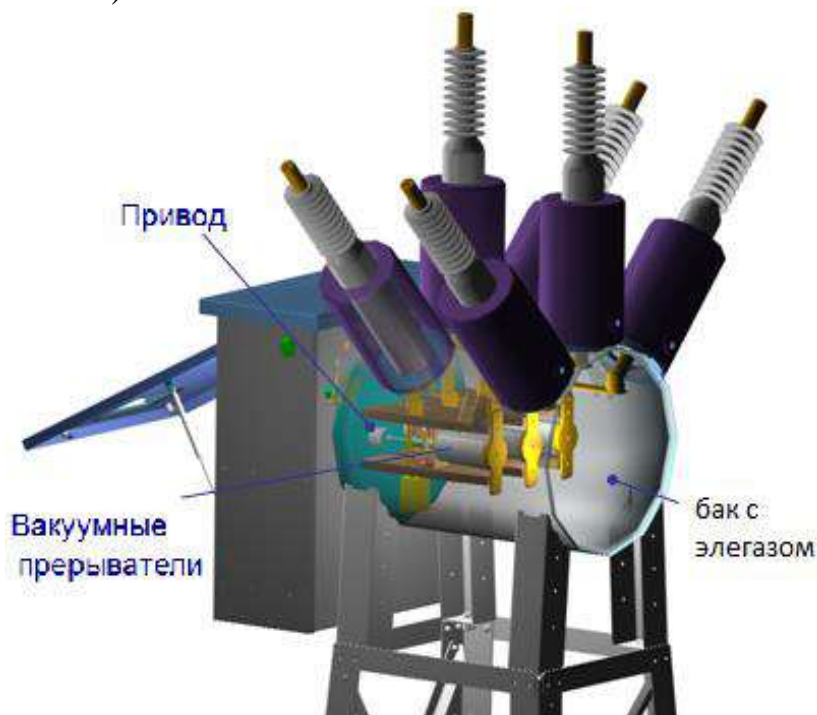


Рисунок 6.3- Выключатель VOX-35

Выключатели выполняются на номинальные токи 1250 А-200 А и токи отключения к.з. - 25 кА - 31,5 кА и предназначены для работы при температуре окружающей среды от -65°C до $+50^{\circ}\text{C}$. Время включения - 35 мс, время отключения - 45 мс. При этом и вакуумные камеры и изоляторы спроектированы, запатентованы и полностью изготавливаются на предприятиях компании Alstom Crid.

Что касается колонковых выключателей, то Компания Alstom Crid является одним из передовых разработчиков на напряжение 110-750 кВ.

Линейка колонковых выключателей компании Alstom Crid приведена на рисунке 6.4, а основные технические данные в таблице 6.3.







$\begin{matrix} U_H, \text{кВ} \\ I_{кз}, \text{кА} \end{matrix}$	110	220	330	400	500	750
40	GL 312					
50		GL 314	GL 315	GL 316	GL 317	GL 318
63		GL 314X	GL 315X	GL 316X	GL 317X	GL 318X
						

Рисунок 6.4 - Линейка и области использования колонковых элегазовых выключателей компании Alstom Crid

Таблица 6.3 - Основные технические характеристики колонковых выключателей серии GL

Тип выключателя	GL 312	GL 314	GL 314X	GL 315	GL 315X	GL 317	GL 317X	GL 318	GL 318X
Класс напряжения, кВ	110	220		330		500		750	
Наибольшее рабочее	145	252		363		550		800	
Номинальный ток, А	3150	4000							
Номинальный ток динамической стойкости,	100	125	160	125	160	125	160	125	160
Номинальный ток	40	50	63	50	63	50	63	50	63
Номинальный ток	40	50	63	50	63	50	63	50	63
Номинальный ток	100	125	160	125	160	125	160	125	160
Полное время отключения,	50	40	45	45	45	45	45	45	45
Время включения, мс	<70	100	110	110	110	110	110	110	110
Управление	1 и 3 х фазное			Пофазное					
Привод	Пружинный								
Последовательность операций	О-0.3с-ВО-3мин-ВОВО-15с-ВО								
Категория размещения	Наружная								
Температура окружающей среды, °С	+40-55								

Компания Alstom Crid производит и баковые генераторные выключатели типа FKG и PKG, общий вид и линейка которых приведены на рисунке 6.5.



$I_m, A \backslash I_{k3}, kA$	80	120	160	275
9600	FKG28/FKG2M			
10800		FKG1M		
13600		FKG1F		
17000			FKG1X	
21000			FKG1XP	
24000			FKG1XV	
28000			FKG1XW	
60000				PKG

Рисунок 6.5 - Общий вид и линейка баковых генераторных выключателей

Таблица 6.4- Основные характеристики генераторных элегазовых баковых выключателей серии FKG-25 FKG-2M

Тип генераторного выключателя	FKG-25 FKG-2M
Класс напряжения, кВ	20
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	24
Номинальный ток при стандартных условиях, А	9500
Номинальный ток термической стойкости, кА	80
Номинальный ток динамической стойкости, кА	220
Номинальный ток отключения, кА	63/80
Номинальный ток включения, кА	220
Полное время отключения, мс	60
Время включения, мс	115
Номинальный цикл отключения рабочего тока	СО-3мин-СО
Номинальный цикл отключения тока короткого замыкания	СО-30мин-СО
Температура окружающей среды, °С	-40

Кроме этого компания Alstom Crid производит гибридные коммутационные аппараты с элегазовой и воздушной изоляцией совмещающие функции выключателя и разъединителя.

7 Элегазовые выключатели компании CG Global(CG PowerSistems)

Компания CG Global, объединила в себе ряд европейских, азиатских и американских компаний с мировым именем таких как MSE и QEL (США), PTS (Великобритания), Sonomatra (Франция), Microsol (Ирландия), Ganz Transelektro (Венгрия), Pauwels Group (Бельгия), Cromton Greaves Ltd (Индия).

Подразделение компании CG PowerSistems (ранее CromtonGreavesLtd), занимающееся энергетикой, является одним из признанных производителей элегазовых выключателей. Само подразделение, CGPowerSistems находится в г. Мехелене (Бельгия), а производственные мощности на всех пяти континентах.

Начиная с 1983 года компания поставила во многие страны мира с различными эксплуатационными условиями более 17 000 выключателей типа SFM для наружной установки с пружинным приводом на напряжение 35 кВ-220 кВ (рисунок 7.1). Выключатели выпускаются с трехфазным и однофазным управлением и представляют собой полюс с фарфоровой изоляцией, состоящий из опорного изолятора и дугогасительной камеры, пружинного привода и опорной рамы с поддерживающими стойками [8].

Отличительным признаком выключателей является собственная конструкция дугогасительной камеры, в которой используется автокомпрессионный метод гашения. Конструкция и принцип действия дугогасительной камеры показаны на рисунке 3.1 в разделе 3 настоящего пособия.

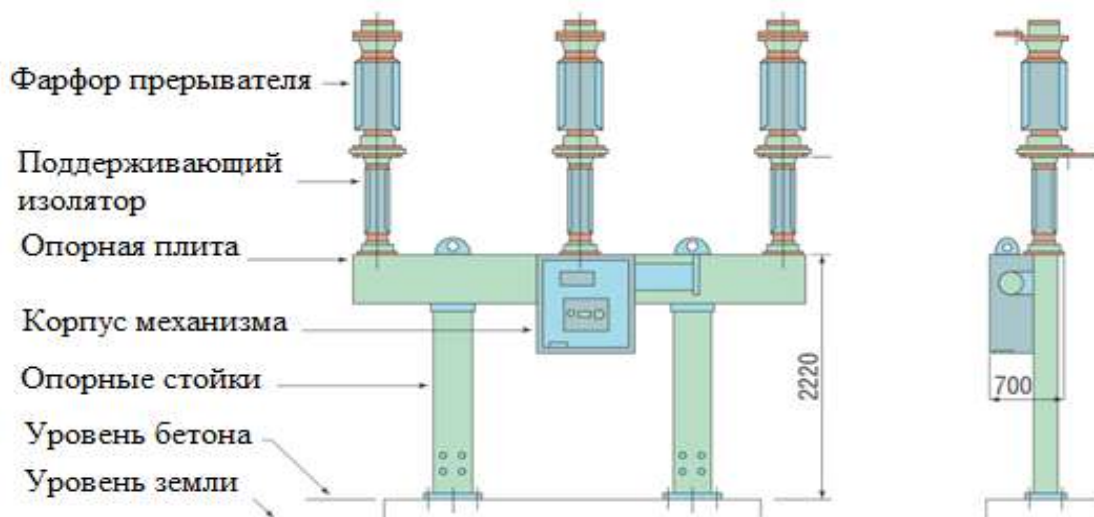
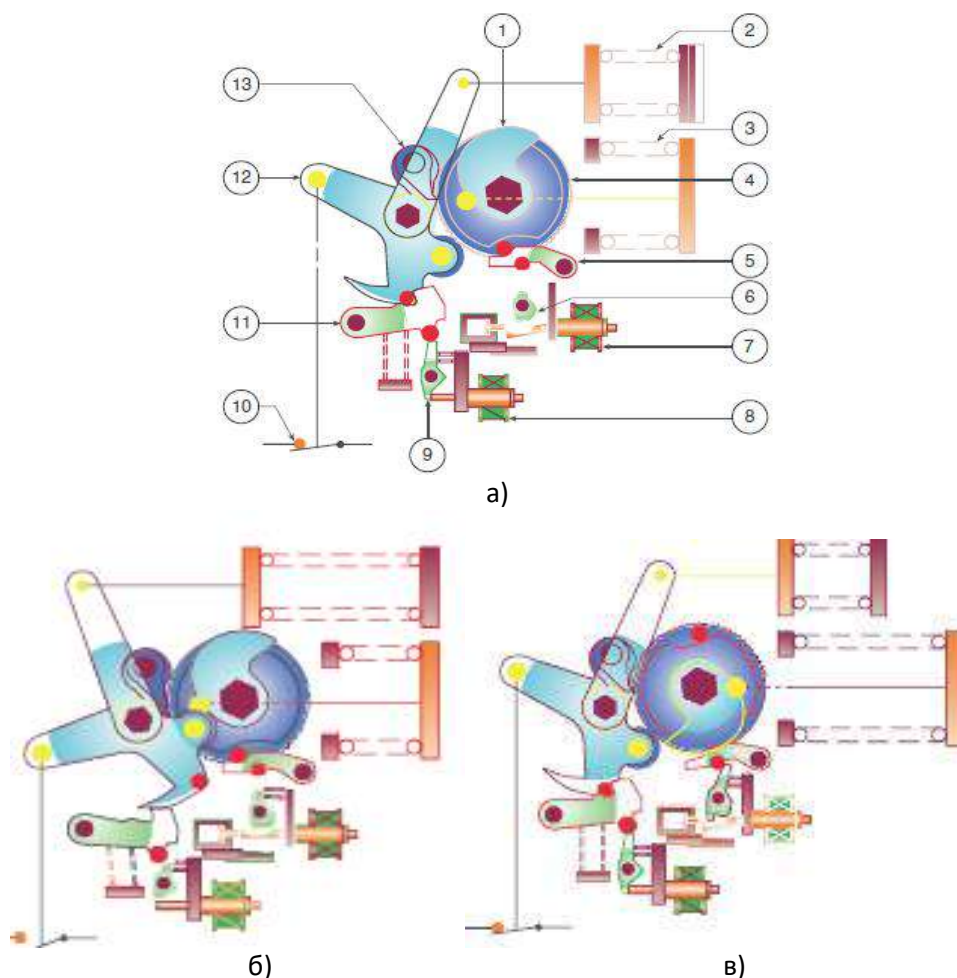


Рисунок 7.1- Общий вид выключателей серии SFM

Другой особенностью работы выключателей этой серии является собственная конструкция пружинного привода. Однако, как и в других выключателях, заводка пружин осуществляется либо при помощи электродвигателя, либо вручную.

Схема, конструкция и работа пружинного привода приведена на рисунке 7.2, где показаны: 1- кулачок: 2- пружина отключения: 3 – пружина включения: 4- храповое колесо: 5 – защелка фиксации включения: 6- защелка включения: 7 – электромагнит включения: 8 – электромагнит отключения: 9 – защелка отключения: 10 – контакты выключателя: 11 – защелка фиксации отключения: 12 - рычаг: 13 – храповик.

Пружинный привод состоит из двух пружин. Включающая пружина сжимается при помощи кулачка с храповым механизмом, которые управляются электродвигателем. На рисунке 7.2, а показан выключатель во включенном положении (включающая пружина взведена). Обе пружины (включающая и отключающая) находятся во взведенном состоянии во взведенном состоянии.



а) выключатель включен (пружина включения взведена);
 б) выключатель отключен; в) выключатель включен.

Рисунок 7.2- Схема и принцип работы пружинного привода

Пружина отключения создает крутящий момент на рычаге в направлении против часовой стрелки. При этом блокирующее устройство, которое называется «защелка фиксации отключения» предотвращает перемещение рычага.

Во время срабатывания электромагнита отключения рычаг освобождается от блокирующего устройства и вращается до момента достижения положения «ОТКЛЮЧЕНО».

На рисунке 7.2, б показан выключатель в отключенном положении. Пружина отключения находится в разряженном состоянии. Пружина включения создает крутящий момент на кулачке и храповом колесе в направлении против часовой стрелки. Во время подачи напряжения на электромагнит включения кулачок вращается в направлении против часовой стрелки, при этом рычаг вращается в направлении по часовой стрелке. Движение рычага приводит выключатель в положение «ВКЛЮЧЕНО» и одновременно заряжает пружину отключения. На рисунке 7.2, в показан выключатель во включенном положении (пружина включения заряжена).

Сразу же после включения выключателя подается напряжение на двигатель заводки пружины выключения. Пружина включения заводится с помощью храпового колеса, связанного с электродвигателем. После полной заводки пружины включения концевой выключатель отключает питание двигателя и защелка фиксации включения удерживает энергию сжатой пружины до момента следующего ее срабатывания.

Основные технические характеристики элегазовых выключателей типа SFM приведены в таблице 7.1.

Таблица 7.1 - Основные технические характеристики элегазовых выключателей типа SFM

Тип выключателя	Трехфазное управление			Однофазное управление		
	30-SFGP-40 A	120-SFM-32B	150-SFM-40B	120-SFM-32B	150-SFM-40B	200-SFM-40S
Номинальное напряжение, кВ	35	150	150	110	150	220
Наибольшее допустимое рабочее напряжение, кВ	40,5	145	172	145	172	252
Номинальный ток, А	3150					
Номинальный ток отключения, кА	40					
Зарядный ток отключения ВЛ, А	10	50	63	31,5	63	125
Зарядный ток отключения КЛ, А	50	160	160	140	160	250
Зарядный ток отключения КБ, А	250			400		
Номинальный ток несинхронного отключения, кА	10	10	10	10	10	10
Наибольший пик тока включения, не менее, кА	102	102	102	102	102	102
Длительность тока термической стойкости	3					
Испыт. одноминутное напряжение промышленной частоты, кВ	95	275	325	275	325	460
Испытательное напряжение грозового импульса, кВ	250	650	750	650	750	1050
Длительность коммутационного цикла	О-0,3 сек -ВО- 3 мин-ВО/ВО-15 сек - ВО					

Собственное время отключения , не более, мс	45	30	35	30	35	30
Полное время отключения, не более, мкс	65	60	60	60	60	45
Ресурс механической стойкости	10000 циклов					
Ресурс дугогасительной камеры при отключении ном.тока	5000 циклов					
Ресурс дугогасительной камеры при отключении тока к.з.	15 циклов					
Диапазон температур, С°	- 45 + 55					

8 Элегазовые выключатели Российских производителей

8.1 Элегазовые выключатели компании УЭТМ (г. Екатеринбург)

Компания «ЭНЕРГОМАШ» УЭТМ - г. Екатеринбург производит высоковольтные элегазовые баковые выключатели ВГБ-35, ВЭБ-110, ВЭБ-220, и колонковые выключатели ВГТ- 35, 110, 220, 330-750 и ВГК 220-500, в основном для внутреннего рынка и рынка стран СНГ [11].

Выключатели предназначены для коммутации цепей переменного тока в нормальных и аварийных режимах и работы в стандартных циклах АПВ при температуре окружающей среды от – 60°С до + 55 °С. Номенклатура изделий, номинальные данные и комплектация баковых выключателей приведены в таблице 8.1, а на рисунке 8.1 внешний вид некоторых типов.



Рисунок 8.1 - Внешний вид выключателей ВГБ-35 и ВЭБ 220

Таблица 8.1

Тип выключателя (серия)	U _{ном}	I _{ном}	I ном к.з.	Примечания (комплектация)
ВЭБ -110 1*-40/2500/УХЛ1* ВЭБ -110 V-40/2500/ УХЛ1*	110	2500	40	Пружинный привод ППрК. Диапазон рабочих температур: УХЛ1* от + 40 С до -60 С. Т1 – от +55 С до -10 С. Исполнение Т1 по спецзаказу. Исполнение ВЭБ 110 V с полимерными вводами
ВГБЭ -35-2,5/630/УХЛ1 ВГБЭ -35-12,5/630Т1	35	630	12,5	Привод ПЭМ-2 с питанием ЭО и контактора от источника постоянного тока. По заказу пружинная приставка, для первого включения при отсутствии питания оперативных цепей
ВГБЭ -35-2,5/630/УХЛ1 ВГБЭ -35-12,5/630Т1	35	630	12,5	Привод ПЭМ-2 с питанием ЭО и контактора от источника пост. тока, а ЭВ от источника переменного тока(в том числе зависимого) через встроенные выпрямители. Привод с расцепителями прямого действия. По заказу пружинная приставка, для первого включения при отсутствии питания оперативных цепей
ВГБЭП -35-2,5/630/УХЛ1 ВГБЭП -35-12,5/630Т1	35	630	12,5	Привод ПЭМ-Э с питанием от источника переменного тока через встроенные выпрямители, укомплектован расцепителями прямого действия. По заказу пружинная приставка, для первого оперативного включения при отсутствии питания оперативных цепей

Выключатель ВГБ-35 устанавливается на одной опоре с облегченным фундаментом и снабжен надежными дугогасительными устройствами, содержащими минимально возможное количество подвижных элементов и работающими на принципе вращения электрической дуги в магнитном поле, создаваемом током, протекающим через гасительное устройство.

Такой способ гашения гарантирует отсутствие перенапряжений даже при отключении малых индуктивных токов и отключение без повторных пробоев емкостных токов до 639 А.

В состав выключателя ВГБ-35 входят шесть вводов со встроенными трансформаторами тока. Подвижные контакты дугогасительного устройства расположенные под углом 120 °С жестко закреплены на концах трехлучевой изоляционной траверсы, установленной непосредственно на центральном поворотном валу бака выключателя.

Подогревающее устройство размещено под днищем бака. Единственное динамическое уплотнение размещено на центральном поворотном валу. Вал, установленный на подшипниках качения, уплотняется системой из четырех манжет и «жидкостного затвора». Выключатель снабжен европейским электроконтактным сигнализатором плотности газа с устройством температурной компенсации.

Высоковольтные вводы имеют комбинированную изоляцию. Основой ввода служит эпоксидная втулка с залитым центральным токоведущим стрежнем. Фланцы эпоксидных втулок устанавливаются на патрубки бака, герметизируя этот разъем.

На расположенной вне бака стороне втулки размещены блок встроенных трансформаторов тока закрытый кожух и фарфоровый изолятор. Полость между литой эпоксидной втулкой и фарфоровым изолятором загерметизирована и заполнена специальной густой изоляционной жидкостью (виниполом).

Выключатели ВГБ-35 комплектуются одним и четырех электромагнитных приводов: ПЭМ-1 с питанием электромагнитов от источника постоянного тока; ПЭМ-2 с питанием электромагнита отключения и контактора от источника постоянного тока, а электромагнита отключения от источника переменного тока; ПЭМ-3 с питанием электромагнитов и контактора от источника переменного тока; ПЭМ-4 с питанием электромагнитов от источника постоянного тока.

Все приводы могут комплектоваться пружинной приставкой, позволяющей выполнить оперативное включение при отсутствии питания вторичных цепей.

Выключатели ВЭБ 110-220 предназначены для эксплуатации в районах умеренным и холодным климатом, в среде не содержащей агрессивных газов при температурах от $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$, при относительной влажности воздуха от 70% при температуре $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ и до 100% при температуре $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, при гололеде с толщиной корки льда до 20 мм при скорости ветра до 15 м/сек, при отсутствии гололеда при скорости ветра до 40 м/сек.

Выключатели выпускаются в трехполюсном и однополюсном исполнении с пружинным приводом типа ППВ с универсальным электродвигателем.

В однополюсном исполнении используется один пружинный привод на полюс с дистанционным управлением одновременно тремя полюсами или каждым полюсом отдельно. В шкафу привода установлена автоматическая система включения и контроля работы подогрева. Автоматическая система управления также снабжена электроподогревом и сигнализацией о ее состоянии.

Полюсы, включающие в себя одноразрывные дугогасительные устройства, устанавливаются на опорной раме. Каждый полюс снабжен сигнализаторами плотности элегаза и устройствами электрообогрева. По выбору заказчика выключатели комплектуются высокопрочными

фарфоровыми или полимерными изоляторами, закупаемыми у ведущих зарубежных производителей.

На полюсах выключателей может быть установлено до 6 трансформаторов тока с возможностью пломбирования выводов вторичных обмоток. Выключатели могут быть укомплектованы системой диагностики и учета коммутационного ресурса.

Выключатель надежно отключает емкостные токи без повторных пробоев и сохраняет электрическую прочность в случае потери избыточного давления при 1,15 номинального фазного напряжения.

Основные технические характеристики ВЭБ 220 и ВГБ-35 приведены в таблице 8.2.

Таблица 8.2- Основные технические параметры ВЭБ 220 и ВГБ-35

Тип выключателя	ВЭБ 220	ВГБ-35
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	252	40,5
Номинальный ток, А	2500, 3150	630, 1000
Номинальный ток отключения, кА	50	12.5
Наибольший ток к.з., кА	125	35
Начальное действующее значение периодической составляющей, %	50	
Ток термической стойкости	50	12,5
Время протекания тока термической стойкости, сек	3	3
Номинальное относительное содержание аperiodической составляющей, %	47	32
Наибольший ток включения, кА	125	
Начальное действующее значение периодической составляющей, кА	50	
Ток ненагруженной линии, отключаемой без повторных пробоев, не более, кА	125	
Ток конденсаторной батареи, отключаемой без повторных пробоев, не более, кА	400	630
Минимальный ток отключения шунтирующего реактора, А	100	
Минимальная бестоковая пауза при АПВ, сек.	0,3	0,3

Номенклатура изделий, номинальные данные и комплектация колонковых выключателей приведены в таблице 8.3, а на рисунке 8.2 внешний вид некоторых типов.

Таблица 8.3

Тип выключателя (серия)	U _{ном}	I _{ном}	I _{ном} к.з.	Примечания
ВГТ-35 11*-50/3150У1 ВГТ-35 11*-50/3150ХЛ1	35	3150	50	Пружинный привод ППрК. Установочные и присоединительные размеры ВГТ-11 0и ВГТ 220 аналогичны размерам масляных выключателей серии ВМТ. Диапазон рабочих температур: У1 от + 40 до-45, ХЛ1 от + 40 до -55, Т1 от+55 до -10. Изготовление Т1 по спецзаказу
ВГТ-11011*- 40/2500У1 ВГТЗ-11011*-40/2500У1 ВГТ-11011*-40/2500ХЛ1 ВГТЗ-11011*-40/2500ХЛ1 ВГТ-11011*-40/2500Т1	110	2500 2500 2500 2500 2000	40 40 40 40 40	
ВГТ-22011*- 40/2500У1 ВГТЗ-22011*- 40/2500У1 ВГТ-22011*- 40/2500ХЛ1 ВГТЗ-22011*- 40/2500ХЛ1 ВГТ-22011*- 40/2500Т1	220	2500 2500 2500 2500 2000	40 40 40 40 40	
ВПК-22011*-31,5/3150У1	220	3150	31,5	
ВПК-50011*-40/3150У1	500	3150	40	
ВГУГ-22011*-50,/3150У1 ВГУГ-50011*-40/3150У1	220 500	3150 3150	50 40	
ВГТ-33011*- 40/3150У1 ВГТ-75011*- 40/3150У1	330 750	3150 3150	40 40	



ВГТ-35, 110, 220



ВГК-220, 500



ВГГ-330, 750

Рисунок 8.2 - Внешний вид элегазовых колонковых выключателей УЭТМ

Таблица 8.3.

Наименование параметра	ВГТ-35-50/3150У1	ВГТ-35-50/3150ХЛП	ВГТ3-35-50/3150У1	ВГТ3-35-50/3150ХЛП	ВГТ-110-40/3150У1	ВГТ-110-40/3150ХЛП	ВГТ3-110-40/3150У1	ВГТ3-110-40/3150ХЛП	ВГТ-220-40/3150У1	ВГТ-220-40/3150ХЛП	ВГТ3-220-40/3150У1	ВГТ3-220-40/3150ХЛП
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	40,5				126				252			
Ном. относит. содержание аperiodической сост., % не более	40											
Наибольший пик тока к.з., кА	50				40							
Ток термической стойкости и время его протекания, кА/с	50/3				40/3							
Наибольший ток включения, кА	127,5				102							
Ток ненагруженной линии, отключаемый без повторных пробоев, не более, кА	-				125							
Ток КБ, отключаемый без повторных пробоев: с глухозаземленной или изолированной нейтралью; с глухозаземленной нейтралью	0-600				0-300							
Индуктивный ток шунтирующего реактора, А	630				500							
Собственное время включения ,с	0,035											
Полное время отключения, с	0,055											
Максимальная бестоковая пауза, с	0,3											
Собственное время включения ,с	0,062											
Испытательное одноминутное напряжение f=50 Гц, кВ	95				230				440			
Испытательное напряжение грозового импульса , кВ: относительно земли; между контактами	190 190				450 550				900 1050			
Тип привода и количество	Пружинный, 1				Пружинный, 1				Пружинный,3			

К особенностям конструкции колонковых выключателей УЗТМ можно отнести использование в соединениях двойных уплотнений, надежные комплектующие ведущих зарубежных фирм, высокий коммутационный ресурс (в 2-3 раза выше, чем у лучших зарубежных аналогов), отсутствие возможности возникновения феррорезонанса, низкие динамические нагрузки на фундамент, полная заменяемость по установочным размерам с установочными размерами выключателей сети ВМТ, применение элегаза в смеси с тетрафторметаном (CF₆) и некоторые другие.

В целом же конструкции колонковых выключателей УЗТМ внешне мало чем отличается от конструкции выключателей других компаний. На

напряжения до 110 кВ это I- образные однополюсные колонки, на более высокие напряжения это Т-образные, или V – образные однополюсные колонки на отдельных или не общей рамах.

Для строительства и реконструкции распределительных устройств 35 кВ ООО «Эльмаш (УЗТМ)» производит блоки высокой готовности БВГ УЗТМ 35, представляющие собой смонтированные на одной раме выключатель, разъединители, трансформаторы тока, ОПНы. Блоки выполняются для выключателей линии, выключателей для двух и трех обмоточных трансформаторов, выключателей переемычки и других схемных решений. Эта разработка более компактная и мобильная альтернатива «рассыпным подстанциям» 35 кВ с отдельно устанавливаемым оборудованием. Внешний вид БВГ приведен на рисунке 8.3.



Рисунок 8.3- Общий вид блока высокой готовности УЭТМ

Серьезным недостатком всего элегазового оборудования УЗТМ является зависимость от поставок зарубежных комплектующих.

8.2 Элегазовые выключатели компании ЗЭТО (г. Великие Луки)

Компания ЗЭТО производит колонковые элегазовые выключатели серии ВГТ на напряжение 110 кВ и 220 кВ и баковый выключатель типа ВТБ на 110 кВ [11]. Внешний вид выключателя ВГТ 110 кВ показан на рисунке 8.4.

Выключатель состоит из трех полюсов на общей раме управляемых одним пружинным приводом. Стальные части и опорные металлоконструкции имеют антикоррозионное покрытие. Уровень утечки элегаза не более 0,5 % в год. В случае потери избыточного давления выключатель сохраняет электрическую прочность при напряжении 84 кВ. Привод имеет две ступени обогрева (антиконденсатную и основную). Комплектующие изделия и

приборы, в том числе высококачественные покрышки, закупаются у ведущих отечественных и зарубежных производителей.



Рисунок 8.4

Основные технические характеристики приведены в таблице 8.4.

Таблица 8.4 -Технические характеристики выключателя ВГТ-110

Наименование параметра	Значение			
Климатическое исполнение и категория размещения	У 1		УХЛ 1	
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	126			
Номинальный ток, А	3150 , 2000 , 3150, 2000			
Номинальный ток отключения, А	40			
Содержание апериодической составляющей, %	45			
Наибольший ток включения, кА	102			
Начальное действующее значение периодической составляющей, кА	40			
Наибольший ток электродинамической стойкости, кА	102			
Наибольший ток термической стойкости, кА	40			
Время протекания тока к.з., с	3			
Бесконтактная пауза при БАПВ не более, с	0,32			
Собственное время отключения не более, мс	38			
Ресурс выключателя по коммутационной стойкости до среднего ремонта (кол-во коммутаций)				
Отключений при токе 40кА	20			
Включения при токе 40 кА	10			
Отключений при токе 24кА	34			
Включения при токе 24 кА	17			
При токах номинальных и близких к нему в цикле «включение -произвольная пауза-отключение»	4200	10000	420	10000
Ресурс выключателя по механической стойкости	30000			
Срок службы до среднего ремонта, лет	25			
Масса, кг	1570			

Колонковый элегазовый выключатель ВГТ-220 (рисунок 8.5) по конструкции аналогичен выключателю ВГТ-110, а его некоторые технические характеристики приведены в таблице 8.5.

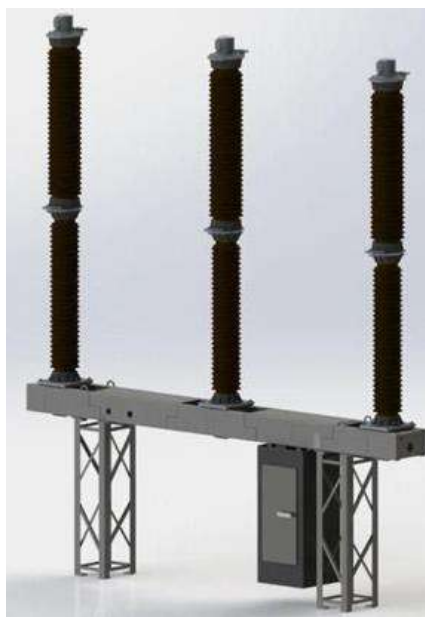


Рисунок 8.5 - Внешний вид колонкового выключателя ВГТ-220

Таблица 8.5-Технические характеристики ВГТ-220

Наименование параметра	Значение
Номинальное напряжение, кВ	220
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	252
Номинальный ток, А	4000
Номинальный ток отключения, кА	40
Собственное время отключения, мс, не более	25±2,5
Полное время отключения, мс, не более	60
Собственное время включения, мс, не более	100
Нормированный ток отключения ненагруженной воздушной линии, А	125
Ресурс по коммутационной стойкости до среднего ремонта, при номинальном токе отключения, количество операций О (В), не менее	15(8)
Ресурс выключателя по механической стойкости	10000
Срок службы до среднего ремонта, лет	25
Срок службы до списания, лет	40
Масса выключателя, кг	4080

Представляет интерес и конструкция компактного модуля КМ ОРУ 110 кВ на базе выключателя ВГТ-110 (рисунок 8.6), концепция которого позволяет выполнять ОРУ - 110 кВ в любой конфигурации (как по стандартным, так и по индивидуальным схемам [14].

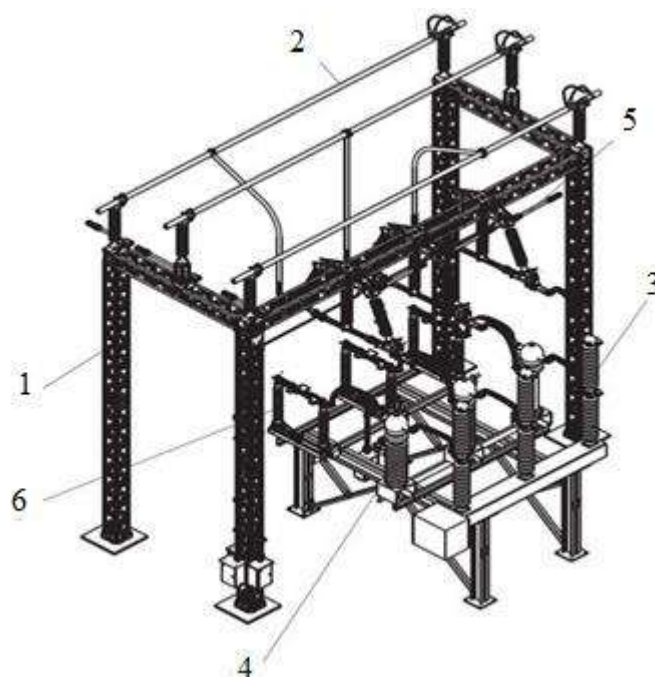


Рисунок 8.6 – Компактный модуль КМ ОРУ 110 кВ

Базовый модуль на напряжение 110 кВ состоит из опорных металлоконструкций - 1, элементов жесткой ошиновки с применением полимерных изоляторов типа ОСК-10-110 - 2, трехполюсного колонкового элегазового выключателя 3, однофазных трансформаторов тока - 4, разъединителя шинного - 5, разъединителя линейного - 6. Сборные шины выполнены на базе жесткой ошиновки оригинальной разработки.

Особенностью конструкции является подвесной шинный разъединитель, не требующий обслуживания, который позволяет создавать схемы ОРУ с одним выключателем на две рабочие системы шин. Применение модуля является более надежным решением, чем выкатной выключатель, совмещающий функции разъединителя (как у зарубежных аналогов).

На рисунке 8.7 показан внешний вид бакового выключателя ВТБ 110 кВ производства компании ЗЭТО. Полнос выключателя представляет собой металлический корпус, на котором установлены два фарфоровых изолятора, образующих высоковольтные вводы выключателя. Дугогасительное устройство размещено в корпусе полюса и одном из фарфоровых вводов. Внутри второго ввода полюса размещен блок трансформаторов тока. На верхнем фланце этого ввода размещено защитное устройство мембранного типа для обеспечения взрывобезопасности полюса в аварийной ситуации.

Для обеспечения работоспособности выключателя исполнения УХЛ в условиях низких температур (до минус 60 °С), предусмотрен подогрев каждого полюса. Для удобства демонтажа полюсов электрические цепи трансформаторов тока и подогревающих устройств выключателя снабжены

штепсельными разъемами, установленными в нижней части защитных кожухов.



Рисунок 8.7- Баковый выключатель ВТБ 110 кВ

Таблица 8.6 - Технические характеристики выключателя ВТБ 110 кВ

Наименование параметра	Значение
Номинальное напряжение, кВ	110
Номинальный ток, А	2000 или 3150
Номинальный ток отключения, кА	40
Собственное время отключения, не более, с	0,035
Полное время отключения, не более, с	0,06
Собственное время включения, не более, с	0,08
Ток отключения не нагруженной линии, А	31,5
Количество ТТ на полюс	до 9
Ресурс коммутационной стойкости при номинальном токе отключения. Количество операций О В, не менее	20- 15
Ресурс механической стойкости	10000

8.3 Элегазовые выключатели ООО «Евроконтракт - Высоковольтное оборудование», ООО «Евроконтракт - Высоковольтные аппараты» (г. Балашиха Московской обл.)

Компания ООО «Евроконтракт» производит элегазовые баковые и колонковые элегазовые выключатели напряжением 110 кВ-220 кВ с учетом климатических и территориальных особенностей России. Это баковые выключатели типа EKLW24-145 и колонковые выключатели типа EKLW25-145 и КРУЭ типа EKZF7A-145 и EKZF9-252 .

Внешний вид выключателей приведен на рисунке 8.8 [15].



Рисунок 8.8 - Внешний вид выключателей EKLW24-145 и EKLW25-145

Баковый выключатель EKLW24-145 – трехполюсного исполнения с пружинным приводом, предназначен для работы на открытом воздухе, в сетях 110 кВ. Он укомплектован простым, удобным пружинным приводом типа СТ20-І, и дугогасительным устройством автокомпрессионного типа усовершенствованной конструкции, использующим элегаз (SF₆) или смесь (SF₆+CF₄) в качестве дугогасящей среды и по быстродействию превосходящий многие мировые аналоги.

Принцип дугогашения показан на рисунке 8.9.



Рисунок 8.9- Принцип дугогашения

Смещение подвижного дутьевого цилиндра относительно неподвижного поршня, создает в дугогасительном устройстве реактивный поток элегаза,

направленный соплом в контактную зону для разрушения образовавшейся дуги. Энергия дуги фактически расходуется на нагрев порции элегаза, переносимой потоком в данный момент времени через область ее плазмы.

Колонковый выключатель EKLW25-145 – так же трехполюсного исполнения работы в сетях напряжением 110 кВ с заземленной нейтралью. Принцип дугогашения и дугогасительное устройство аналогичны.

Технические характеристики выключателей приведены в таблице 8.7.

Таблица 8.7

Тип выключателя	EKLW24-145	EKLW25-145
Номинальное напряжение, кВ	110	110
Номинальный ток, А	3150	3150
Выдерживаемое напряжение промышленной частоты в течение 1 мин, кВ., при разомкнутых контактах между фазами и относит. земли	275 + 85 275	315 275
Выдерживаемое напряжение полного грозового импульса, пик, кВ: при разомкнутых контактах; относительно земли	650 + 100 650	650 750
Ном. ток включения при КЗ, пиковое значение кА	102	80
Ном. кратковременно выдерживаемый ток, в течение 4 сек. кА	40	31,5
Допустимый ток электродинамической стойкости, пиковое значение кА	102	80
Номинальное время разрыва цепи мс	60	60
Ном. время собств. отключения мс	≤ 28	≤ 28
Ном. время собственного включения мс	≤ 150	≤ 150
Бестоковая пауза при АПВ мс	300	
Ресурс по механ. стойкости, цикл	≥ 10000	≥ 10000

8.4 Элегазовые выключатели ОАО «Электроаппарат» ЭА. (г. Санкт- Петербург)

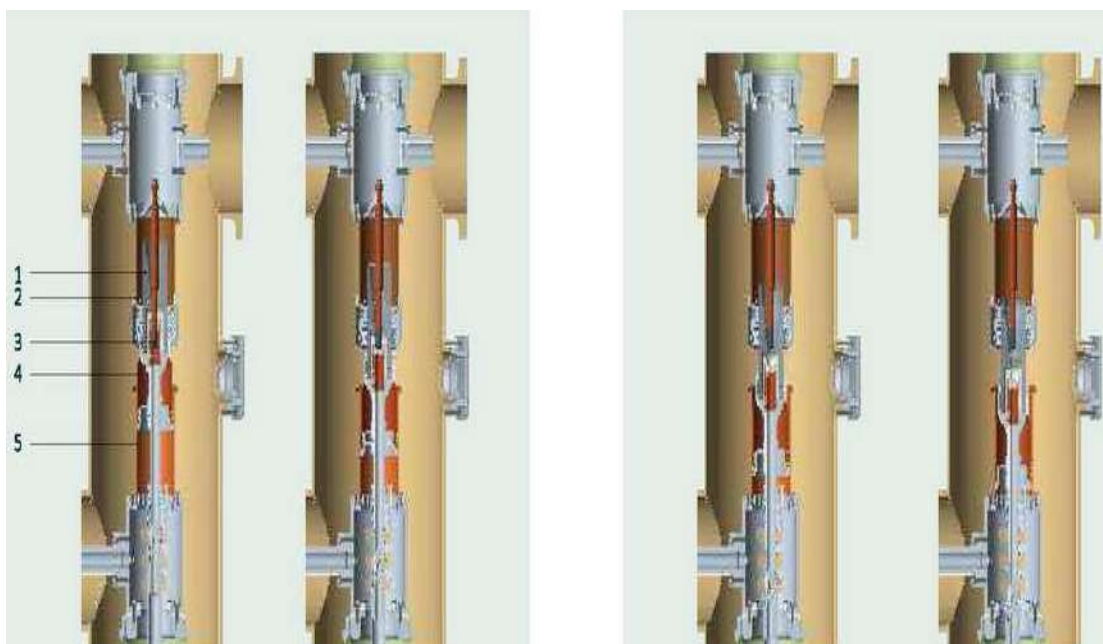
Первые элегазовые выключатели типа ВЭК-110 были изготовлены в России компанией «Электроаппарат» еще в 1978 году [16, 17].

С 1995 года был налажен выпуск баковых элегазовых выключателей серии ВГБ и ВГБУ, а с 2004 года предприятие выпускает колонковые выключатели серии ВГП, на дугогасительных камерах собственной разработки, используя автокомпрессионный способ гашения с термонакачкой.

Принцип гашения дуги и устройство дугогасительной камеры показаны на рисунке 8.10.

На первой стадии при размыкании главных контактов загорается дуга, которая начинает обдуваться сжатым газом через отверстия фторопластового сопла (а).

После достижения температуры газа определенного значения и следовательно, дальнейшего повышения давления открываются клапаны высокого давления и начинается интенсивный обдув контактов потоком газа, получающим энергию от самой дуги (б, в).



а) б) в) г)

1- сопло; 2 – главный неподвижный контакт; 3 – дугогасящие контакты;
4 – главный подвижный контакт; 5 – контактный цилиндр.

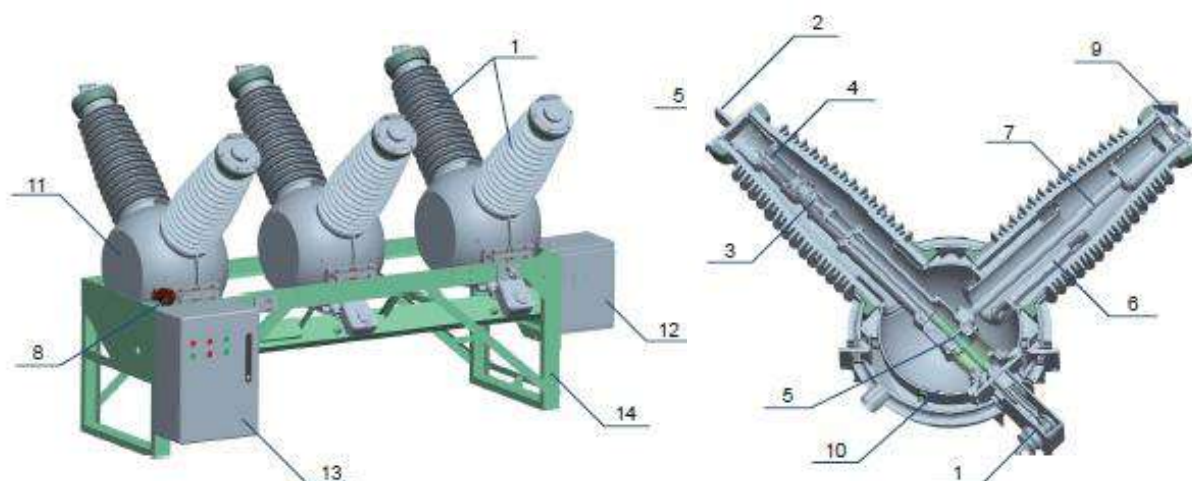
а) выключатель в положении «В» включено; б) выключение: главный контакт в разомкнутом положении; в) выключение: дугогасительный контакт в разомкнутом положении; г) выключатель в положении «О» отключено.

Рисунок 8.10 - Устройство дугогасительной камеры и принцип гашения дуги

Конструкция фазы выключателя приведена на рисунке 8.11.

Выключатель состоит из опорной рамы с покрытием из горячего цинка, на которой закреплены полюса, пружинный или пружинно - гидравлический привод и шкаф управления. В специальных коробах внутри рамы расположены пружина отключения и тяги механизма привода.

Полюс выключателя состоит из алюминиевого бака шарообразной или эллиптической формы, на котором крепятся изоляторы конической формы. В одном из изоляторов размещаются трансформаторы тока, в другом гасительная камера.



1-вводы; 2 – контактная пластина; 3 – дугогасительная камера;
 4 – неподвижный контакт; 5 – подвижный контакт; 6 – блок трансформаторов тока; 7 – токоведущий стержень; 8 – сигнализатор давления;
 9 – мембрана предохранительного устройства; 10 – бак; 11 – защитный кожух;
 12 гидропривод; 13 - шкаф аппаратный; 14 –рама.

Рисунок 8.11 – Общий вид и конструкция фазы выключателя серии ВБ

На выключателях климатического исполнения ХЛ, с рабочей температурой минус 60° С вокруг бака устанавливается система подогрева, теплозащита и специальные защищающие кожухи из высокопрочного композитного материала. Для контроля плотности газа на баке устанавливается сигнализатор давления с температурной компенсацией, уставки сигнализации которого выведены в шкаф управления.

Пружинный привод оснащен универсальным электродвигателем. Энергии, запасенной в пружинах, достаточно для проведения цикла БАПВ без подзаводки. Привод оснащен устройствами против прыгания и самопроизвольного срабатывания.

В шкаф управления заведены цепи управления, блокировок и сигнализации привода; измерительные и защитные цепи трансформаторов тока, цепи сигнализации датчика изменения плотности элегаза, цепи управления и сигнализации системы обогрева. Также установлены системы диагностики состояния выключателя, такие как счетчики коммутационного ресурса и система оценки эрозии контактов. Основной особенностью выключателей является возможность его эксплуатации в суровых климатических условиях резко-континентального климата и районах крайнего севера с температурой окружающей среды до - 60° С и ветровой нагрузке до 40 м/сек.

Технические характеристики выключателя ВБ - 110 приведены в таблице 8.8.

Таблица 8.8-Технические характеристики выключателя ВБ – 110

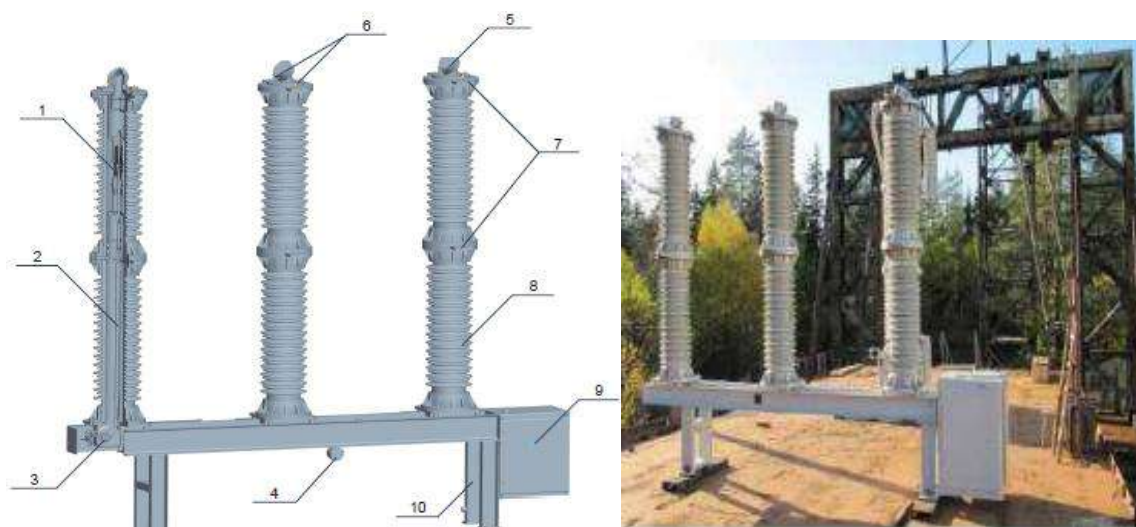
Наименование параметра	Значение
Номинальное напряжение , кВ	110
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	126
Номинальный ток, А	3150
Номинальный ток отключения, А	50
Наибольший пик тока включения, кА	125
Начальное действующее значение периодич. составляющей, кА	50
Ток электродинамической стойкости, кВ	125
Ток термической стойкости, кА	50
Время протекания тока термической стойкости, с	3
Испытательное напряжение промышленной частоты, кВ	230
Испытательное напряжение грозового импульса, кВ	520
Время бесоковой паузы при БАПВ, с	0,3
Собственное время включения, не более , с	0,08
Нормированный ток отключения ненагруженной линии, А	31,5
Ресурс выключателя по механической стойкости, циклов	10000

На рисунке 8.12 показана линейка элегазовых выключателей ОАО «Электроаппарат» а на рисунке 10.4 конструкция, внешний вид и габаритные размеры выключателей ВГП 110 и ВГП- 220. Конструкция традиционно Т-образная или I –образная с размещением гасительной камеры в верхнем изоляторе. Гасительная камера та же, что и в выключателях типа ВБ.

Соединение гасительной камеры с приводом осуществляется посредством тяги из высокопрочного стеклопластика. Полюса устанавливаются на раме, внутри которой находятся отключающая пружина и соединительные тяги. Количество опорных изоляторов соответственно 1 и 2.



Рисунок 8.12 – Линейка колонковых элегазовых выключателей ОАО «Электроаппарат»



1 – дугогасительное устройство; 2 – изоляционная штанга; 3 – поворотный механизм; 4 – сигнализатор давления; 5 – мембрана предохранительного устройства; 6 – рым болт; 7 – выводы; 8 – выводы; 9 – привод; 10 рама.

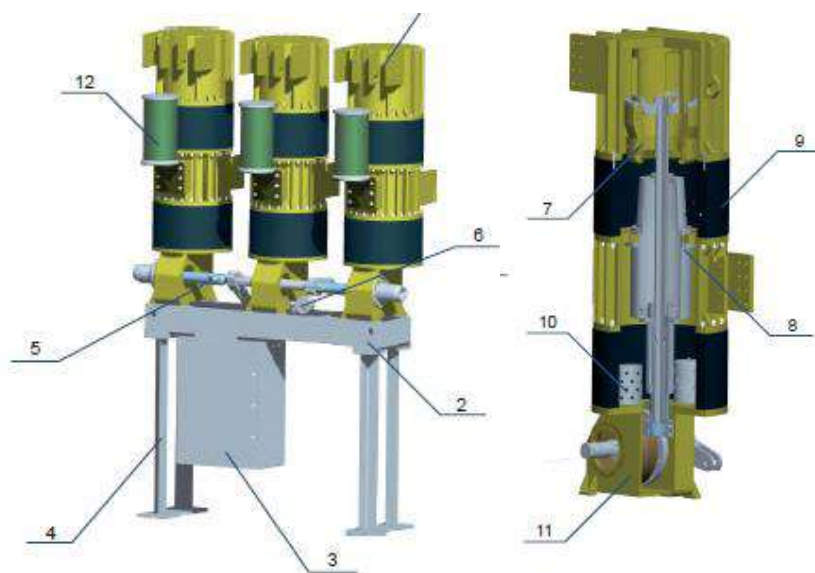
Рисунок 8.13– Устройство и внешний вид выключателя ВГП -110

Технические характеристики выключателей ВГП -110 и ВГП -220 приведены в таблице 8.9.

Таблица 8.9 - Технические характеристики выключателей ВГП -110 и ВГП -220

Тип выключателя	ВГП - 110	ВГП - 220
Наименование параметра	Значение	
Номинальное напряжение, кВ	110	220
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	126	252
Номинальный ток, А	3150	3150
Номинальный ток отключения, А	50	50
Наибольший пик тока включения, кА	125	125
Начальное действующее значение периодич. составляющей, кА	50	
Ток электродинамической стойкости, кВ	125	125
Ток термической стойкости, кА	50	50
Время протекания тока термической стойкости, с	3	3
Испытательное напряжение промышленной частоты, кВ	230	440
Испытательное напряжение грозового импульса, кВ	520	900
Время бестоковой паузы при БАПВ, с	0,3	03
Собственное время включения, не более, с	0,08	0,08
Нормированный ток отключения ненагруженной линии, А	31,5	125
Ресурс выключателя по механической стойкости, циклов	10000	10000

Кроме этого ОАО «Электроаппарат» производит элегазовые генераторные выключатели ВГТ – 20, которые полностью соответствуют и заменяют выключатели МГ – 20 (рисунок 8.14).



1 – полюс выключателя; 2 – рама; 3 – привод; 4 – стойка; 5 – тяга;
6 – сигнализатор плотности; 7 – неподвижный контакт; 8 – подвижный
контакт; 9 – изолятор; 10 – фильтр; 11 – передаточный механизм;
12 – конденсатор.

Рисунок 8.14 – Конструкция и внешний вид генераторного выключателя ВГТ -20

Заключение

Применение элегаза обеспечило создание компактного, надежного и изолированного от окружающей среды коммутационного оборудования нового поколения. Этому способствовало и большая электрическая прочность элегаза по сравнению с вакуумом.

Можно было бы считать, что элегаз является прекрасным изолятором и прекрасной дугогасительной средой для высоковольтного оборудования, если бы он не был так опасен для окружающей среды.

Дело в том, что в последние годы все более настойчиво обсуждается влияние элегаза на окружающую среду, в то время как вакуумные выключатели являются совершенно экологически чистыми аппаратами.

В нормальном состоянии это газ без цвета и без запаха, не воспламеняющийся и не токсичный. Однако при высокой температуре (более 177°C) элегаз распадается на составляющие, которые являются токсичными и коррозионными. Побочные продукты этого распада появляются при воздействии искрового разряда, частичного разряда, дуги выключения, и дуги короткого замыкания.

Эти побочные продукты, имеющие вид газа или мелкого порошка, способны вызвать у людей следующие состояния, раздражение глаз, носа и горла, отек легких, другие повреждения легких, ожоги кожи и глаз, заложенность носа, бронхиты. Порошок способен вызывать сыпь (источник: Web-сайт ЕРА www.epa.gov/electricpower-sf6).

Как было установлено на 3-й Сессии Конференции Участников ООН Рамочной Конвенции о климатических изменениях. Элегаз является одним из опасных нагретых газов на планете.

Тот факт, что элегаз представляет собой особую угрозу для мирового сообщества, основан на его стабильном молекулярном составе, так как этот газ неразрушим уже в течение 3200 лет. Это сильнодействующий парниковый газ, имеющий потенциал усиления глобального потепления в 23900 раз выше, чем у двуокиси углерода (CO₂). В атмосфере газ SF₆ сохраняется в течение 3200 лет. Поэтому, попав в атмосферу, он в течение очень долгого времени будет влиять на глобальное потепление. Один фунт (около 450 г) SF₆ производит такой же вклад в глобальное потепление, как и 11 тонн CO₂.

Хорошо известно, что все оболочки, в которых находится элегаз, могут протекать и, следовательно, шансы появления проблем с элегазовым оборудованием достаточно высоки. Именно по этим причинам все производители делают все возможное, чтобы не допустить попадания элегаза в окружающую среду. Кроме этого ужесточаются условия эксплуатации и соответствия международным стандартам [18].

Тем не менее, элегазовые выключатели и multifunctional устройства на их базе производятся во всех развитых и развивающихся странах и практически на все классы напряжения, начиная от 35 кВ и выше.

Сегодня элегазовому коммутационному оборудованию на напряжение 220 кВ и выше нет ни конкуренции, ни альтернативы, особенно, если иметь ввиду возможность создания комплектных распределительных устройств (КРУЭ) на эти классы напряжения.

Что касается элегазовых выключателей, то их конструкции и способы гашения дуги аналогичны, хотя у каждой фирмы имеются свои ноу-хау и усовершенствования в части компоновки, конструкции гасительных камер, дизайне и др.

Практически все фирмы производители считают характерными признаками и достоинствами своих выключателей дизайн, высокую сейсмическую устойчивость, применение баков из литого алюминия, наличие системы контроля плотности элегаза; наличие защиты от коррозии; наличие в шкафу привода пружинного механизма электромотора, обогревателей, системы управления и системы сигнализации и защиты; присоединение выводов трансформаторов тока к клеммникам, расположенным в отдельном отсеке шкафа привода, возможность управления приводом в случае потери источника электроэнергии и др.

Очевидно, от этих показателей зависит и цена, которая рассматривается только на стадии заключения контрактов на изготовление и поставку. Именно поэтому методика выбора того или иного выключателя не рассматривается в настоящем учебном пособии, поскольку этот вопрос должен решаться при конкретном проектировании либо заказчиком либо проектировщиком соответствующего объекта.

Список литературы

- 1 Электрическая часть станций и подстанций /под ред. А.А. Васильева. – М.: Энергия, 1980. – 608 с.
 - 2 Рожкова Л.Д. Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций.- М.: Энергоатомиздат. 1987.-648 с.
 - 3 <http://helpiks.org/1-99835.htm>
 - 4 http://www.eti.su/articles/visokovoltная-tehnika/visokovoltная-tehnika_599.html
 - 5 Кох Д. Свойства SF6 и его использование в коммутационном оборудовании среднего и высокого напряжения / Кох// SchneiderElectric. – 2006. – Вып. 2.
 - 6 Афонин В.В, Набатов К.А. Элегазовые выключатели распределительных устройств высокого напряжения. -Тамбов. Издательство ТГТУ. 2009.
 - 7 studopedia.su/3_47378_gashenie-dugi-v-elegaze.html
 - 8 http://cgglobal.com.ua/tms/files/Vysokovoltные-legazovye_vyklyuchateli.pdf
 - 9 <http://forca.ru/spravka/vysokovoltные-vyklyuchateli/sposoby-gasheniya-dugi-v-elegazovyh-vyklyuchatelyah.html>
 - 10 <http://www.energy.siemens.com/MX/pool/hq/power-transmission/high-voltage-products/circuit-breaker/PortfolioRU.pdf>
 - 11 <http://www.elektra500.ru/>
 - 12 <https://library.e.abb.com/public>(Новости электротехники, №2(20), 2003
 - 13(Areva)<http://www.elektra500.ru/>
 - 14 http://sf.kz/index.php?option=com_content&view
 - 15 <http://www.eurocontract.ru/>. Евроконтракт
 - 16 <http://www.ea.spb.ru/catalog/> Электроаппарат
 - 17 <http://www.ea.spb.ru/factory/>
 - 18 <http://forca.ru/stati/podstancii/znakomstvo-s-krue.html>
-

Содержание

	Введение	3
1	Электрическая дуга в газах	4
2	Физические и химические свойства элегаза	11
3	Дутогасительные камеры элегазовых выключателей	15
4	Элегазовые выключатели компании Siemens	19
5	Элегазовые выключатели компании ABB	32
5.1	Баковые элегазовые выключатели компании ABB	32
5.2	Колонковые элегазовые выключатели компании ABB	34
5.3	Генераторные элегазовые выключатели компании ABB	42
5.4	Аппаратные модули компании ABB на базе колонковых элегазовых выключателей	43
5.5	Комплектные ячейки COMPASS и PASS	46
6	Элегазовое коммутационное оборудование компании Alstom Crid (Areva)	56
7	Элегазовые выключатели компании CG Global (CG PowerSystems)	1
8	Элегазовые выключатели Российских производителей	63
8.1	Элегазовые выключатели компании УЗТМ (г. Екатеринбург)	63
8.2	Элегазовые выключатели компании ЗЭТО (г. Великие Луки)	70
8.3	Элегазовые выключатели ООО Евроконтракт Высоковольтное оборудование, ООО «Евроконтракт - Высоковольтные аппараты». (г. Балашиха Московской обл.).....	74
8.4	Элегазовые выключатели ОАО «Электроаппарат» ЭА. (г. Санкт Петербург)	76
	Заключение	82
	Список литературы	84

Учебное издание

Соколов Сергей Евгеньевич
Соколова Ирина Сергеевна

ЭЛЕГАЗОВЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ

Учебное пособие

Редактор Н.М.Голева

Подписано в печать 23. 09. 2016 г.
Тираж 100 экз. Формат 60х84 1/16
Бумага типографская №2
Уч.-изд.л. 5,25 Заказ № 21

Некоммерческое АО «АУЭС»
г.Алматы, ул.Байтурсынова, 126