Лекция 10

Выключатели напряжением свыше 1 кВ

1. Электрическая дуга
2. Способы воздействия на дугу.
3. Дугогасящие устройства в высоковольтных выключателях.
4. Назначение.
5. Требования к выключателям.
6. Классификация.
7. Достоинства и недостатки выключателей разных видов.

Электрическая дуга

При размыкании контактов выключателя ток не прерывается, а возникает дуга (образование дуги при размыкании металлических контактов возможно уже при токе $I \approx 0{,}5$ А, и напряжении $U \approx 15$ В).

Электрической дугой, точнее дуговым разрядом называют самостоятельный (не зависящий от внешнего ионизатора) разряд в газе.

Чтобы прервать ток дуга должна быть погашена (в цепях переменного тока благоприятные условия возникают каждый раз при подходе тока к нулю).

Процесс гашения дуги тесно связан с процессом восстановления напряжения на контактах выключателя от небольшого напряжения дуги до напряжения сети.

Если в течении всего переходного процесса потери энергии преобладают, дуга не возникает вновь и цепь будет прервана, в противном случае процесс повторится.

Функция выключателя состоит скорее не в том чтобы погасить дугу, а в том чтобы исключить возможность ее нового зажигания.

Способы воздействия на дугу

1. Увеличение длины дуги.
2. Охлаждение.
3. Разделение на части.
4. Применение газов, имеющих специфические свойства.
5. Применение вакуума.

Дугогасящие устройства в высоковольтных выключателях

- Дугогасящие устройства газового дутья
- Дугогасящие устройства с разделением дуги на короткие дуги
- Дугогасящие устройства с использованием глубокого вакуума

Выключатели – это электрические аппараты, предназначенные для отключения и включения цепей при любых режимах работы электроустановок.
К выключателям высокого напряжения условно относят выключатели с номинальным напряжением более 1 кВ.

Требования, предъявляемые к выключателям заключаются в следующем:

1. Надежность в работе и безопасность для окружающих.
2. Возможно малое время отключения.
3. По возможности малые габариты и масса.
4. Простота монтажа.
5. Бесшумность работы.
6. Сравнительно невысокая стоимость.

Требование надежности является одним из важнейших требований, поскольку от надежности выключателей зависит надежность работы энергосистемы, следовательно, и надежность электроснабжения потребителей. Срок службы выключателя составляет не менее 20 лет.
Требование быстродействия следует понимать как возможно малое время отключения цепи при КЗ. Время отключения исчисляется от момента подачи команды на отключение до погасания дуги во всех полюсах.

Выключатели ВН по способу гашения дуги

По виду установки

- **Опорные**, то есть имеющие основную изоляцию на землю опорного типа.
- **Подвесные**, то есть имеющие основную изоляцию на землю подвесного типа.
- **Настенные**, то есть укрепленные на стенах закрытых распредустройств.
- **Выкатные**, то есть имеющие приспособления для выкатки из ячеек распредустройств.
- **Встраиваемые** в комплектные распределительные устройства.

По назначению

- **Сетевые выключатели** на напряжения от 6 кВ и выше, применяемые в электрических цепях (кроме цепей электрических машин и электротермических установок) и предназначенные для пропускания и коммутирования тока в нормальных условиях работы цепи, а также для пропускания в течение заданного времени и коммутирования тока в заданных ненормальных условиях, таких как условия короткого замыкания
- **Генераторные выключатели** на напряжения от 6 до 20 кВ, применяемые в цепях электрических машин (генераторов, синхронных компенсаторов, мощных электродвигателей) и предназначенные для пропускания и коммутаций тока в нормальных условиях, а также в пусковых режимах и при коротких замыканиях.
- **Выключатели на напряжение от 6 до 220 кВ для электротермических установок**, применяемые в цепях крупных электротермических установок (например, сталеплавильных, руднотермических и других печей) и предназначенные для пропускания и коммутаций тока в нормальных условиях, а также в различных эксплуатационных режимах и при коротких замыканиях.
- **Выключатели специального назначения.**

По категориям размещения и климатическому исполнению

- **пять категорий размещения** (вне и внутри помещений с различными условиями обогрева и вентиляции);
- **шесть климатических исполнений** (У, ХЛ, ТВ, ТС, Т и О) в зависимости от географического места установки.

Масляные выключатели появились в конце 19 века и приблизительно до 1930 г. являлись единственным видом отключающего аппарата в сетях высокого напряжения. Различают масляные выключатели двух видов – баковые и маломасляные.

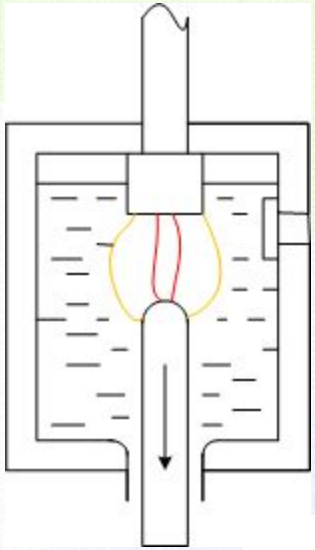
Баковый масляный выключатель.

В выключателях этого вида дугогасительные устройства полюсов помещены в заземленный бак, наполненный маслом, которое используется в качестве газогенерирующего вещества, а также для изоляции контактной системы от заземленного бака.

Такие выключатели используются в сетях 6-220 кВ.

Для повышения коммутационной способности и уменьшения размеров выключатели оснащаются гасительными камерами различного исполнения. Используемые ранее выключатели без гасительных камер, у которых дуга свободно горит в масле, имели малую отключающую способность и большие размеры, поэтому широкого распространения в энергосистемах не получили.

Этапы гашения дуги

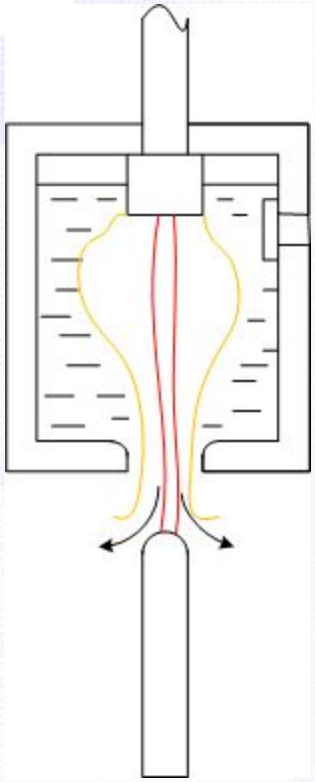


Первый этап

После размыкания контактов дуга горит в замкнутом пространстве, создавая за счет разложения масла значительные давления.

Это так называемый «режим замкнутого пузыря».

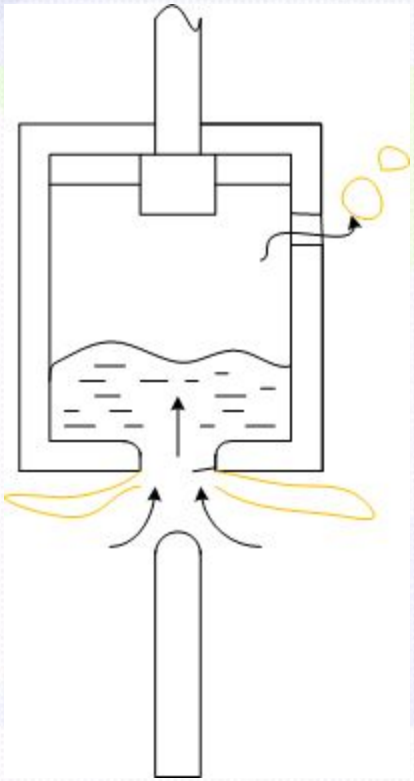
В течение этого этапа в результате выделяющейся в дуге энергии в замкнутом объеме создается (аккумулируется) высокое давление (до 10 МПа), которое используется на следующем этапе гашения дуги;



Второй этап

Второй этап наступает с момента начала истечения газопаровой смеси из области замкнутого объема через рабочие каналы, открываемые при перемещении подвижного контакта за пределы предкамерного объема.

Завершается процесс распада столба дуги и восстановления электрической прочности межконтактного промежутка;



Третий этап

Происходит удаление из камеры оставшихся после гашения дуги горячих газов, продуктов разложения масла и заполнение внутренней полости камеры свежим маслом.

На этом этапе происходит подготовка камеры для последующего ее включения и нового отключения.

Основные преимущества баковых выключателей:

- простота конструкции,
- высокая отключающая способность,
- пригодность для наружной установки,
- возможность установки встроенных трансформаторов тока.

Недостатки баковых выключателей:

- взрыво- и пожароопасность;
- необходимость периодического контроля за состоянием и уровнем масла в баке и на вводах;
- большой объем масла, что обусловливает большую затрату времени на его замену,
- необходимость больших запасов масла;
- непригодность для установки внутри помещений;
- непригодность для выполнения быстродействующего АПВ;
- большая затрата металла, большая масса, неудобство перевозки, монтажа и наладки.

Маломасляные выключатели.

В маломасляных выключателях масло служит только в качестве газогенерирующего материала, создающего условия для гашения дуги. Для изоляции токоведущих частей используют фарфор, стеклопластик, текстолит и другие изоляционные материалы. Они используются в электрических сетях 6-220 кВ. Все они оснащены гасительными камерами того или иного исполнения.

Каждый разрыв цепи снабжается отдельной камерой с дугогасительным устройством, обычно выполненным с поперечным дутьем. В отключенном положении подвижный контакт находится выше уровня масла для повышения электрической прочности разрыва, т.к. малый объем масла из-за загрязненности продуктами разложения теряет свои диэлектрические свойства.

Для удержания паров масла при гашении дуги от уноса вместе с продуктами разложения в конструкции предусмотрены маслоотделители. При больших номинальных токах применяются две пары контактов (рабочие и дугогасительные). Рабочие контакты находятся снаружи выключателя, а дугогасительные внутри. При помощи регулирования длины дугогасительных контактов обеспечивается отключение сначала рабочих контактов (без появления дуги), а затем - дугогасительных.

Достоинства маломасляных выключателей по сравнению с баковыми:

- Имеют меньшую массу и габаритные размеры.
- ДУ всегда готово к работе независимо от наличия сжатого воздуха.
- Осмотр и ремонт дугогасительных камер и контактов возможен без слива масла, что обеспечивает удобство эксплуатации.

Недостатки маломасляных выключателей по сравнению с баковыми:

- Менее надежны в работе, чем баковые.
- Ограниченное количество операций из-за быстрого загрязнения масла.
- Номинальный ток отключения ниже, чем у баковых.
- Не допускают установки встроенных трансформаторов тока.
- Трудность осуществления подогрева масла.

Благодаря своим преимуществам маломасляные выключатели нашли широкое распространение в установках с напряжением 6-10 кВ.

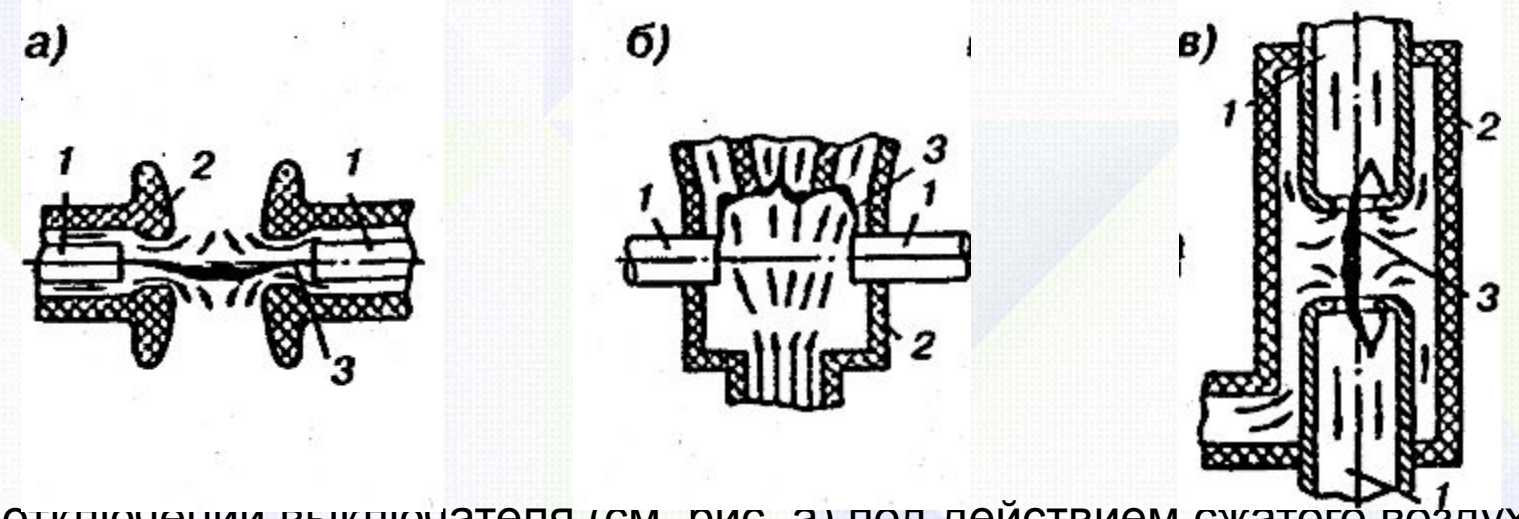
При напряжении 10-220 кВ масляные выключатели вытесняются вакуумными и элегазовыми.

Воздушные выключатели.

В выключателях данного вида гашение дуги происходит в продольном потоке воздуха при давлении 2 – 4 МПа и выше. Воздушные выключатели с номинальным напряжением от 110 кВ до 1150 кВ проектируются сериями и собирают из унифицированных частей, из которых важнейшим является дугогасительный модуль с двумя разрывами, рассчитанный на некоторое условное напряжение порядка 110-250 кВ в зависимости от давления воздуха. Чтобы обеспечить равномерное распределение напряжения между разрывами при любой частоте восстанавливающегося напряжения, целесообразно применение емкостных делителей напряжения.

Воздушные выключатели, чувствительные к скорости восстанавливающегося напряжения, обычно снабжают также шунтирующими резисторами, включенными параллельно каждому разрыву. При этом в каждом разрыве необходимы небольшие гасительные устройства для отключения сопровождающегося тока.

Воздушные выключатели используются на напряжение 20-1150 кВ.



При отключении выключателя (см. рис. а) под действием сжатого воздуха контакты 1 расходятся на необходимое для гашения дуги 3 расстояние и одновременно возникает интенсивное дутье. Поток воздуха внутри трубчатых изоляторов удаляет из дугового промежутка продукты горения дуги, представляющие собой хорошо проводящую среду. Их место занимает свежий неионизированный воздух, обладающий высокой электрической прочностью. При прохождении тока через нуль дуга гаснет.

В камере поперечного дутья (см. рис. б) поток воздуха направлен поперек контактов 1 и дуга 3 вытесняется из межконтактного промежутка в отдельные отсеки камеры и растягивается в зигзагообразную линию. Камеры поперечного дутья 2 применяются в выключателях до 20 кВ.

На рис. в показана камера 2 с продольным и частично радиальным дутьем, возникающим при проникновении воздушного потока внутрь трубчатого контакта 1. При этом поток воздуха сдувает дугу 3 с торцов трубчатого контакта внутрь, где она растягивается и гасится. Камеры такого типа применяются в выключателях 35-500 кВ.

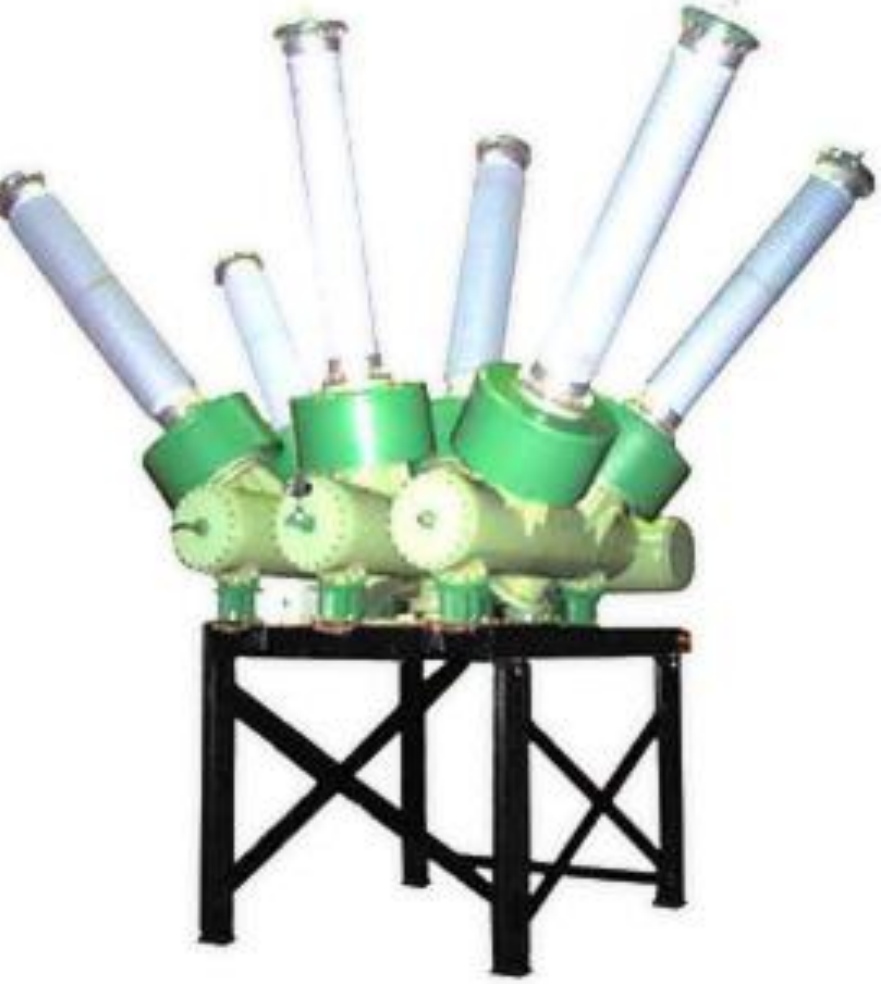
Воздушные выключатели имеют следующие достоинства:

- взрыво- и пожаробезопасность,
- быстродействие и возможность осуществления быстродействующего АПВ,
- высокая отключающая способность,
- надежное отключение емкостных токов линий,
- малый износ дугогасительных контактов,
- легкий доступ к дугогасительным камерам,
- возможность создания серий из крупных узлов,
- пригодность для наружной и внутренней установки.

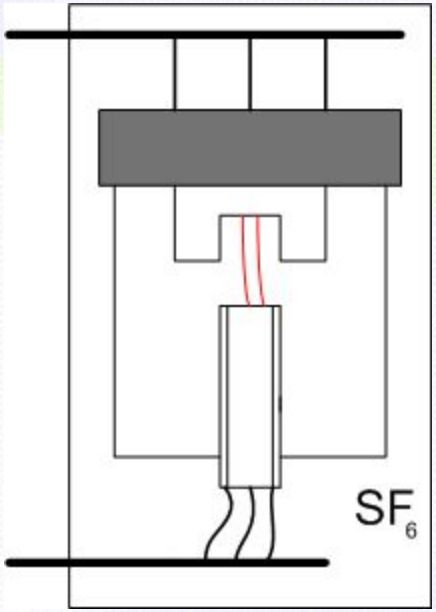
Недостатками воздушных выключателей являются:

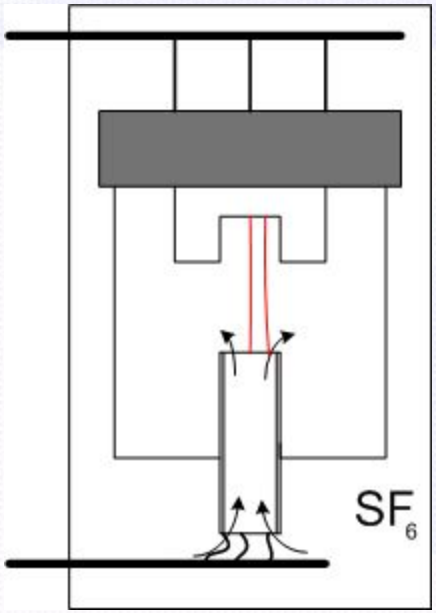
- необходимость компрессорной установки,
- сложная конструкция ряда деталей и узлов,
- относительно высокая стоимость,
- трудность установки встроенных трансформаторов тока.

Элегазовые выключатели



В элегазовых выключателях дугогасящей средой является элегаз. Элегаз(SF_6 – шестифтористая сера) представляет собой инертный газ, плотность которого превышает плотность воздуха в 5 раз. Электрическая прочность элегаза в 2 – 3 раза выше прочности воздуха; при давлении 0,2 МПа электрическая прочность элегаза сравнима с прочностью масла.
В элегазе при атмосферном давлении может быть погашена дуга с током, который в 100 раз превышает ток, отключаемый в воздухе при тех же условиях.
Исключительная способность элегаза гасить дугу объясняется тем, что его молекулы улавливают электроны дугового столба и образуют относительно неподвижные отрицательные ионы. Потеря Электронов делает дугу неустойчивой, и она легко гаснет. В струе элегаза, т.е. при газовом дутье, поглощение электронов из дугового столба происходит еще интенсивнее.
Элегазовый выключатель представляет собой замкнутую систему без выброса газа наружу.





При размыкании главных контактов ток проходит по цепи дугогасительных контактов .
При расхождении дугогасительных контактов в дугогасительной камере возникает электрическая дуга;
эта дуга вращается под воздействием магнитного поля, создаваемого катушкой ; избыточное давление, появившееся в результате повышения температуры элегаза в дугогасительной камере, создаёт газовый поток, который затягивает дугу в полый дугогасительный контакт и гасит её, когда значение тока проходит через ноль. Таким образом, процесс гашения дуги происходит в ограниченной зоне (дугогасительной камере), отделённой от главных контактов.

Достоинства элегазовых выключателей:

- пожаро- и взрывобезопасность,
- быстрота действия,
- высокая отключающая способность,
- малый износ дугогасительных контактов,
- возможность создания серий с унифицированными узлами,
- пригодность для наружной и внутренней установки.

Недостатки:

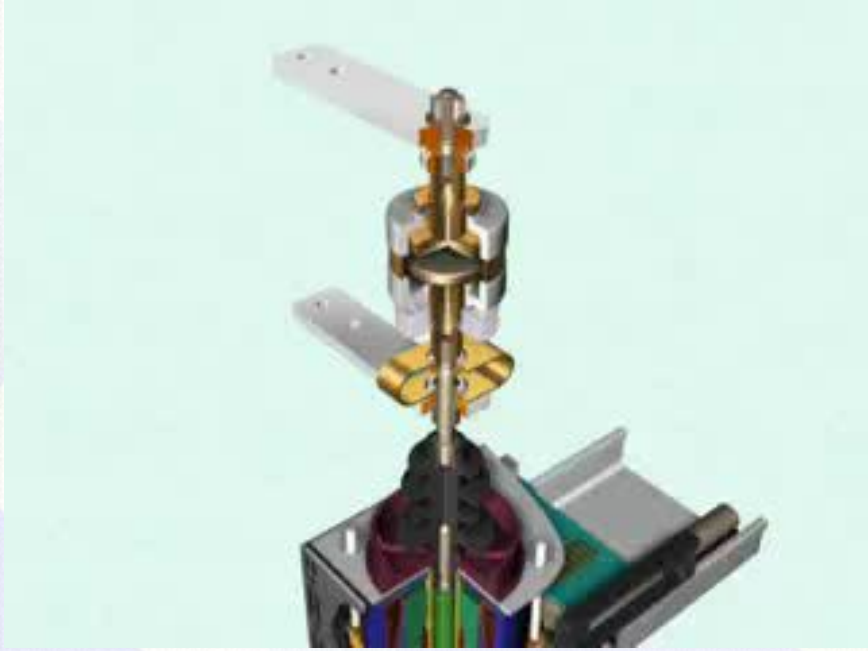
- необходимость специальных устройств для наполнения, перекачки и очистки SF_6,
- относительно высокая стоимость SF_6,
- экологические проблемы эксплуатации.

Элегазовые выключатели применяются на напряжение 6-750 кВ

Вакуумные выключатели

Электрическая прочность вакуума значительно выше других сред, применяемых в выключателях. Объясняется это увеличением длины среднего свободного пробега электронов, атомов, ионов и молекул по мере уменьшения давления. Процесс восстановления электрической прочности промежутка между контактами при отключении тока протекает в вакууме значительно быстрее, чем в газах.

Вакуумные выключатели разработаны на напряжение до 220 кВ.



В момент размыкания контактов в вакуумном промежутке коммутируемый ток инициирует возникновение электрического разряда — вакуумной дуги, существование которой поддерживается за счет металла, испаряющегося с поверхности контактов в вакуумный промежуток. Плазма, образованная ионизированными парами металла, проводит электрический ток, поэтому ток протекает между контактами до момента его перехода через ноль. В момент перехода тока через ноль дуга гаснет, а оставшиеся пары металла мгновенно (за 7—10 микросекунд) конденсируются на поверхности контактов и других деталей дугогасящей камеры, восстанавливая электрическую прочность вакуумного промежутка. В то же время на разведенных контактах восстанавливается приложенное к ним напряжение

Достоинства

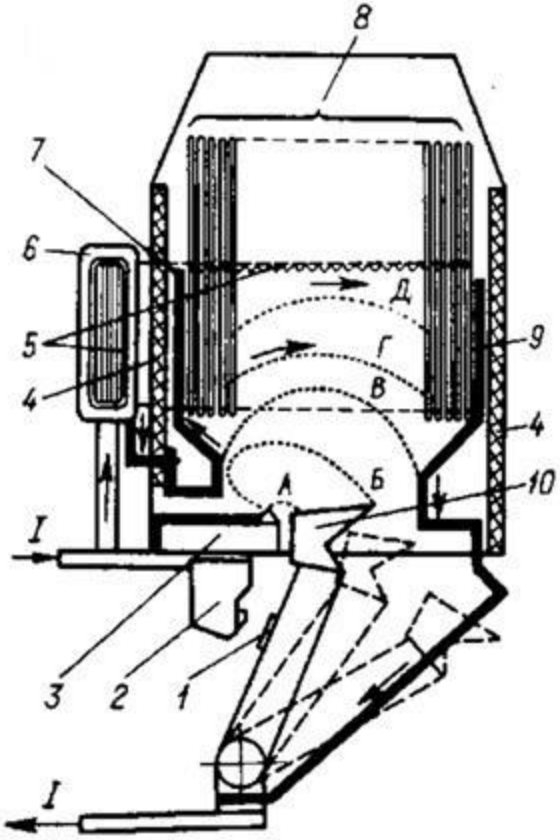
- простота конструкции;
- надежность;
- высокая коммутационная износостойкость;
- малые размеры;
- пожаро- и взрывобезопасность;
- отсутствие шума при операциях;
- отсутствие загрязнения окружающей среды;
- удобство эксплуатации;
- малые эксплуатационные расходы.

Недостатки

- сравнительно небольшие номинальные токи и токи отключения;
- возможность коммутационных перенапряжений при отключении малых индуктивных токов;
- небольшой ресурс дугогасительного устройства по отключению токов короткого замыкания.

Электромагнитные выключатели

Электромагнитные выключатели занимают особое место среди других выключателей переменного тока. Область их применения ограничена напряжением 10-15 кВ. Действие выключателей основано на газовом дутье. Дуга, образующаяся на контактах, втягивается магнитным полем в гасительную камеру. Последняя состоит из ряда керамических дугостойких, инертных (в отношении выделения газа) пластин с V-образными вырезами, разделенных небольшими воздушными промежутками. Благодаря этому длина дуги значительно увеличивается(до 1 – 2 м), а сечение ее в узких вырезах пластин вынужденно уменьшается. Дуга приходит в тесное соприкосновение с холодными поверхностями пластин, обладающих высокой теплопроводностью. Это ведет к увеличению потерь энергии и градиента напряжения. Сопротивление дуги быстро увеличивается, а ток уменьшается до тех пор, пока дуга не погаснет.



На рис. представлена схема контактной и дугогасительной систем электромагнитного выключателя. Контактная система состоит из основных *1* и *2* и дугогасительных *3* и *10* контактов, последние имеют дугостойкие напайки. Дугогасительная система состоит из изоляционной камеры *4* и охватывающего камеру П-образного магнитопровода *5,* на среднюю часть которого надета дугогасительная катушка 6. Внутри камеры размещен пакет дугогасительных керамических пластин *8,* расположенных на небольшом расстоянии друг от друга. В нижней части пластины имеют вырезы, постепенно сужающиеся кверху. Пластины образуют постепенно сужающуюся зигзагообразную щель. По бокам пакета укреплены дугогасительные рога.

Рог 7 электрически соединен только с дугогасительной катушкой. Второй конец катушки присоединен к неподвижному контакту. Рог 9 соединен с подвижным контактом. При замкнутых контактах катушка не обтекается током. Возникающая при размыкании контактов дуга движется сначала под действием только электродинамических сил контура (положения А и Б) и перебрасывается этими силами на рога 7 и 9. При этом в контур тока включается дугогасительная катушка, и созданное ею магнитное поле загоняет дугу в решетку (положения *В, Г* и *Д),* где и происходит ее гашение. Многие дугогасительные устройства имеют пламегасительные решетки.

Преимущества:

- пожаро- и взрывобезопастны,
- обладают высокой отключающей способностью,
- дугогасительное устройство имеет малый износ
- Возможны частые коммутации

Недостатки:

- имеют довольно сложную дугогасящую камеру,
- малая пригодность для открытых распределительных устройств,
- ограничения по величине номинального напряжения.