

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МАСЛЯНЫХ, ВАКУУМНЫХ И ЭЛЕГАЗОВЫХ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Колоколов Павел Владимирович

магистрант, Рязанский государственный радиотехнический университет, РФ, г. Рязань

Борисовский Андрей Петрович

научный руководитель, канд. техн. наук, доц., Рязанский государственный радиотехнический университет, РФ, г. Рязань

В высоковольтной системе выключатель играет роль самой ответственной составляющей. Эта самая важная роль выключателя заключается в том, что он всегда должен четко выполнять свою функцию в случае аварии. Аварийная ситуация усугубляется, если выключатель выходит из строя, вследствие чего появляются тяжелые разрушения и большие материальные потери, которые связаны с неполным отпуском электроэнергии и остановкой работы крупных предприятий. В наши дни крупные предприятия эксплуатируют в энергосистемах множество разновидностей и типов выключателей: масляные, воздушные, вакуумные, элегазовые. Самой важной и актуальной по сей день задачей таких предприятий является повышение уровня эффективности использования оборудования, а также повышение уровня энергосбережения [1].

К выключателям различных типов существует ряд обязательных требований, которые заключаются в следующем [2]:

- надежность в работе и безопасность для окружающих;
- быстроедействие – возможно малое время отключения;
- удобство в обслуживании;
- простота монтажа;
- очень низкий уровень шума работы;
- сравнительно невысокая стоимость.

В связи с вышеизложенными требованиями для оценки характеристик оборудования необходимо провести анализ энергоэффективности различного типа оборудования для сравнения надежности и эксплуатационных затрат.

Высоковольтные выключатели различных типов подходят для использования при работе с разным напряжением и номинальным током нагрузки. Можно использовать любой из типов выключателей с требуемым номинальным током, током отключения, то есть максимальным значением силы тока короткого замыкания, и другими характеристиками.

Применяемые в наши дни выключатели соответствуют вышеизложенным требованиям в той или иной степени. Тем не менее, создатели выключателей пытаются добиться того, чтобы характеристики этого важного оборудования максимально соответствовали необходимым требованиям.

Масляные выключатели. В данном виде выключателей дуга гасится испарениями масла, при этом контакты находятся в емкости с маслом. Масляные выключатели отличаются от других видов относительно несложной конструкцией, сравнительно низкой себестоимостью, а также высокой отключающей способностью. Масляные выключатели классифицируются на две разновидности – баковые и маломасляные. Методы деионизации дугового промежутка в этих

выключателях одинаковы. Различие заключается лишь в изоляции контактной системы от заземленного основания и в объеме масла.

До недавнего времени *баковые выключатели* следующих типов: ВМ-35, С-35, а также выключатели серии У с напряжением от 35 до 220 кВ можно было увидеть в эксплуатации. В наши дни баковые выключатели, устанавливаемые наружным методом, не выпускаются, так как имеют ряд существенных недостатков:

- высокий уровень пожаро- и взрывоопасности;
- необходимость регулярного контроля над состоянием и уровнем масла в баке и вводах;
- большой объем масла, что требует большие затраты времени на его замену;
- невозможность использования внутри помещений.

Маломасляные выключатели. Данная разновидность выключателей -горшковые - получила широкое распространение в закрытых и открытых распределительных устройствах всех показателей напряжений. Масло в таком оборудовании, в основном, служит дугогасящей средой и только частично изоляцией между разомкнутыми контактами. Изоляцией токоведущих частей друг от друга и от заземленных конструкций служит фарфор или иные изолирующие материалы в твердом агрегатном состоянии. Контакты выключателей для внутренней установки находятся в стальном бачке, по-другому, – горшке, отсюда сохранилось название выключателей «горшковые». Наиболее широкое используются выключатели на 6-10 кВ подвешного типа (ВМГ-10, ВМП-10). В этих выключателях корпус крепится на фарфоровых изоляторах к общей раме для всех трех полюсов. В каждом полюсе предусмотрен один разрыв контактов и дугогасительная камера.

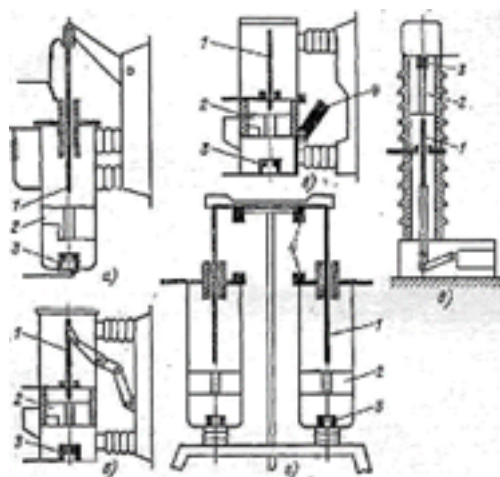


Рисунок 1. Схемы конструкции выключателей маломасляного типа

1 - подвижный контакт; 2 - дугогасительная камера; 3 - неподвижный контакт; 4 - рабочие контакты

При высоких значениях номинальных токов нельзя ограничиться только одной парой контактов, выполняющих роль рабочих и дугогасительных, по этой причине предусматривают рабочие контакты снаружи выключателя, а дугогасительные – внутри горшка. Два дугогасительных разрыва при высоких значениях отключаемых токов имеются на каждый полюс. Согласно такой конструкции выполняются выключатели серий МГТ и МГ на напряжение до 20 кВ включительно.

Выключатели маломасляного типа также содержат ряд недостатков:

- пожаро- и взрывоопасность, однако в несколько меньшей степени, по сравнению с баковыми выключателями;
- трудность установки встроенных трансформаторов тока;
- необходимость периодического контроля, доливки, относительно частой замены масла в дугогасительных бачках;
- отсутствие возможности реализации быстродействующего АПВ;
- относительно малая отключающая способность [3].

Воздушные выключатели. В данном оборудовании гашение дуги производится сжатым воздухом при давлении 2-4 МПа. Изоляция токоведущих частей и дугогасительного устройства производится с помощью фарфора или иными изолирующими твердыми материалами. У воздушных выключателей различные схемы конструкции, различаемые друг от друга:

- способом создания изоляционного промежутка между контактами в отключенном положении;
- номинальным напряжением;
- методом подачи сжатого воздуха в дугогасительное устройство [4].

В выключателях, рассчитанных на большие номинальные токи, имеются контуры - главный и дугогасительный, аналогично маломасляным выключателям МГ и МГГ. Если выключатель находится во включенном состоянии, большая часть тока проходит по основным открытым контактам 4. При переключении выключателя в неактивное состояние основные контакты размыкаются первыми, вследствие чего весь ток проходит по дугогасительным контактам, находящимся в камере 2. К тому времени, как эти основные контакты разомкнутся, в камеру подается мощный поток сжатого воздуха из резервуара 1, который гасит дугу. Такое дутье бывает продольным или поперечным.

Выключатели, созданные по конструктивной схеме с открытым отделителем, используются для внутренней установки на ток до 20000 А и напряжение 15 и 20 кВ (серия ВВГ). В этом типе выключателей после отключения отделителя 5 прекращается подача сжатого воздуха в камеры и дугогасительные контакты замыкаются.

Применяемые на подстанциях конструктивные схемы выключателей воздушного типа, в основном, характеризуются:

- системой управления выключателем;
- методом создания изоляционного промежутка между контактами выключателя, находящегося в нерабочем состоянии;
- наличием делителей напряжения, шунтирующих резисторов и некоторыми другими особенностями;
- методом подачи сжатого воздуха в дугогасительные устройства.

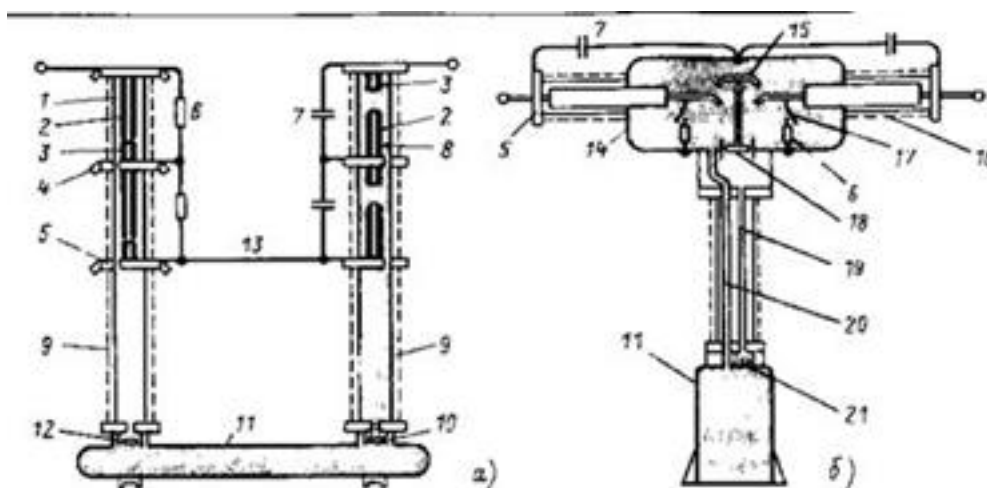


Рисунок 2. Схемы конструкции выключателей воздушного типа на напряжение 110 кВ

а - серия ВВШ (ВВН); б - серия ВВБ; 1 - дугогасительная камера; 2 - подвижный контакт; 3 - неподвижный контакт; 4 - выхлопной клапан; 5 - фланец; 6 - резистор; 7 - емкостный делитель напряжения (в новых конструкциях выключателей на 110 кВ не применяется); 8 - отделитель; 9 - фарфоровый опорный изолятор; 10 - дутьевой клапан отделителя; 11 - резервуар сжатого воздуха; 12, 18 - дутьевые клапаны дугогасительной камеры; 13 - трубчатая шина; 14 - металлическая камера; 15 - траверса с подвижными контактами 16 - фарфоровая рубашка; 17 - дополнительный контакт; 19 - импульсный воздухопровод; 20 - основной воздухопровод; 21 - клапаны включения и отключения.

Выключатели воздушного типа характеризуются некоторыми соответствующими недостатками, а именно:

- необходимостью дополнительного электрического обогрева в распределительном шкафу и в шкафах управления полюсов при понижении температуры ниже 5°C;
- увеличением подачи воздуха на вентиляцию в период активных осадков в виде дождя.

Однако, по сравнению с масляными выключателями, воздушные имеют особое достоинство – они достаточно быстродейственны. Тем не менее, они более сложные и обладают высокой ценовой стоимостью.

Элегазовые выключатели. В выключателях элегазового типа при их отключении газовая волна отводит тепло из дуги и позволяет добиться ее полного исчезновения при прохождении тока через нуль. Поток деионизированного элегаза между контактами восстанавливает диэлектрическую прочность промежутка, исключая повторное зажигание дуги. Сложность управляющего механизма и его стоимость определяют, необходимо ли в данном случае дутье. Новейшие открытия в области гашения электрической дуги в элегазе ориентированы на уменьшение или полное исключение этого дополнительного фактора стоимости. Возникшая в вакууме дуга гаснет при первом же прохождении тока через нуль, на стенках дугогасительной камеры в течение нескольких микросекунд оседают пары металлического материала, вследствие чего диэлектрическая прочность в вакуумных выключателях очень быстро восстанавливается до изначального значения. Внутренние составляющие типовой дугогасительной вакуумной камеры можно увидеть на рисунке 3. В данных выключателях используется электропрочный газ SF₆, получивший название «элегаз», он представляет собой инертный газ, по плотности превышающий плотность воздуха в 5 раз. Электрическая прочность элегаза в 2-3 раза превышает прочность воздуха, а при давлении 0,2 МПа электрическая прочность элегаза можно сравнить с прочностью масла.

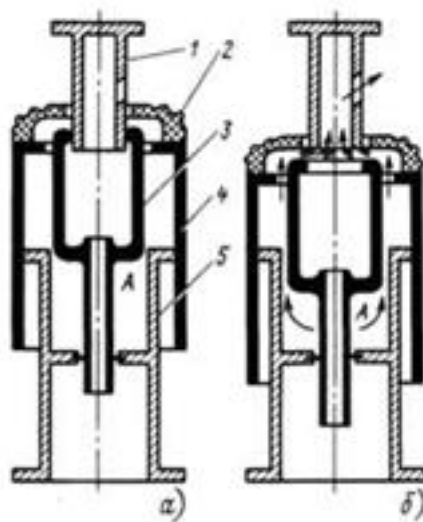


Рисунок 3. Автопневматическое дугогасительное устройство элегазового выключателя 110кВ

а - в положении «включено»; б - в положении «отключено». Подвижные части зачернены, неподвижные заштрихованы.

Автоматические выключатели элегазового типа широко используются благодаря своим отличительным характеристикам, а именно:

- простая конструкция дугогасительной камеры, которая при этом не требует дополнительных камер;
- надёжность при сравнительно невысокой стоимости;
- высокая сопротивляемость воздействиям электрического тока;
- максимально пониженный уровень шума.

В условиях одинакового атмосферного давления и в элегазе, и в воздухе дуга с током может быть погашена, при этом ток дуги в элегазе может быть выше в 100 раз. Особая способность элегаза гасить дугу объясняется тем, что его молекулы активно взаимодействуют с электронами дугового столба и образуют относительно неподвижные ионы с отрицательным значением. В результате потери электронов дуга становится нестабильной, именно поэтому она достаточно легко гаснет. В струе элегаза, то есть при поступлении газового потока, поглощение электронов из дугового столба происходит более интенсивно.

Вакуумные выключатели. В оборудовании данного типа гашение дуги осуществляется в вакуумной дугогасительной камере (ВДК). Электрическая прочность вакуума значительно выше прочности других сред, которые применяют в выключателях. Отличительными достоинствами выключателей вакуумного типа можно считать:

- высокая коммутационная износостойкость;
- простота конструкции;
- пожаро- и взрывобезопасность;
- компактные размеры;
- малые эксплуатационные расходы.
- надёжность;
- уровень шума при операциях, близкий к нулю;
- комфорт при использовании;
- отсутствие вреда для окружающей среды;

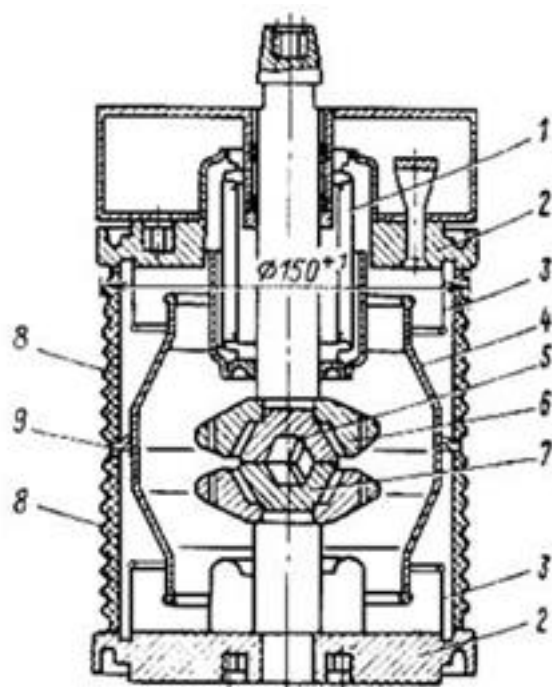


Рисунок 4 . Вакуумная дугогасительная камера в разрезе на 10 кВ

1 - сильфон; 2 - фланец; 3 - электростатический экран, имеющий потенциал ввода; 4 - электростатический экран, находящийся под свободным потенциалом; 5 - подвижный контакт; 6 - дугогасящий электрод; 7 - неподвижный контакт; 8 -

керамический изолятор камеры; 9 - металлическая прокладка.

Одними из наиболее перспективных направлений развития коммутационных аппаратов являются вакуумные выключатели. Полупроводниковые выключатели занимают область наименьших напряжений и отключаемых токов. Их использование можно оправдать только тогда, когда требуется чрезвычайно частое оперирование. Из-за относительно невысоких параметров тиристоров неизбежно приходится соединять их в параллельные и последовательные цепочки, что повышает стоимость выключателя и делает схему контроля над ним более сложной.

К недостаткам полупроводниковых выключателей можно отнести также достаточно большие потери тепла в тиристорах. В сетях напряжений классов среднего уровня (до 35 кВ) выключатели вакуумного типа в ближайшее время будут считаться основным видом коммутационных аппаратов, хотя на сегодняшний день серьёзную конкурирующую роль здесь играют выключатели элегазового типа. По техническим характеристикам такие выключатели, в основном, сравнительно равноценны, но выключатели вакуумного типа имеют значительно большие преимущества в установках с частыми коммутациями.

В результате долгого наблюдения при эксплуатации выключателей двух различных типов — воздушных и маломасляных — можно сделать вывод, что они оба подходят для всего диапазона мощностей и напряжений короткого замыкания. И тот, и другой вид оборудования внутри конкретного диапазона напряжения отличается своими характерными преимуществами, вытекающими из экономических и технических факторов.

Если сравнить вакуумные выключатели с элегазовыми, то можно сделать вывод, что первые

из них по своим прочностным электрическим свойствам значительно хуже, чем вторые. Поэтому элегаз шире используется в качестве дугогасительной среды и изоляционного материала.

Следует также отметить тот факт, что токи – номинальные и отключения – у выключателей элегазового типа выше, чем у выключателей вакуумного типа. Отдавая предпочтение элегазу, можно добиться, в результате, более компактного размера электрооборудования, а также возможности предоставить больше места для его устройства. Необходимо брать во внимание тот факт, что кратность коммутационных перенапряжений при активном использовании вакуумного оборудования несколько больше, чем для иных типов выключателей. Этот фактор особенно значим для предприятий, занимающихся переработкой нефти и нефтепродуктов, где коммутации электродвигателей скважин, особенно нужно взять во внимание погружные электродвигатели, производились выключателями вакуумного типа и могли в результате спровоцировать повреждение изоляции при отсутствии необходимых мер защиты.

К таким мерам защиты относится заводская комплектация ограничителей перенапряжений каждого отдельного выключателя вакуумного типа. Это ведет к повышению стоимости производства и эксплуатации такого оборудования, вывод о чем был сделан при анализе их характеристики.

В заключении следует обратить внимание на то, что выбор того или иного выключателя зависит от ряда факторов, а именно:

- необходимое значение номинального напряжения;
- номинальные токи отключения;
- влияние на окружающую среду;
- стоимость электрического аппарата;
- габариты электрического аппарата и так далее.

Список литературы:

1. Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. N 261 – ФЗ “Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации”. Собрание законодательства Российской Федерации, 2009, №48 – 61 с.
2. Электротехнический справочник. / Под общ. ред. Профессоров МЭИ Герасимова и др. – 10-е изд. – М.: Издательский дом МЭИ. 2009. 964 с.
3. Александров Г.Н. Теория электрических аппаратов : Учеб. для вузов / под ред. Г. Н. Александров. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Изд-во СПбГТУ. 2000. – 539 с.
4. Электрические и электронные аппараты. Выключатели высокого напряжения : учебное пособие / Е. Н. Тонконогов ; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012.