

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации

ФГБОУ ВО Брянский ГАУ

Кафедра “Электроэнергетики и автоматики”

Кисель Ю.Е.

СИЛОВЫЕ КОММУТАЦИОННЫЕ АППАРАТЫ

Методические указания к лабораторным работам
для студентов очного и заочного обучения
направления подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника

Брянская область
2019

ББК 621.316.544.1 (076)

УДК 31.26

К 44

Кисель, Ю. Е. Силовые коммутационные аппараты: методические указания к лабораторным работам для студентов очного и заочного обучения направления подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника / Ю. Е. Кисель. – Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2019. – 37 с.

Методические указания являются руководством к лабораторным работам по курсу “Силовые коммутационные аппараты” для бакалавров всех направлений дневного и заочного обучения. В процессе выполнения лабораторных работ студенты изучают устройство и технические характеристики силовых коммутационных электрических станций подстанций. В методические указания содержат необходимые данные для оформления отчета и вопросы к защите лабораторных работ.

Рецензенты: к.т.н., доц. Безик В.А.

Рекомендовано методической комиссией факультета энергетики и природопользования Брянского государственного аграрного университета, протокол №10 от 31 мая 2019 года.

© ФГБОУ ВО «Брянский ГАУ», 2019

© Ю.Е. Кисель, 2019

Содержание

Указания по технике безопасности	4
Лабораторная работа №1. Вакуумные выключатели	5
Лабораторная работа №2. Изучение методов гашения дуги	9
Лабораторная работа №3. Масляные выключатели	17
Лабораторная работа №4. Электромагнитные выключатели	31
Литература	36

УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, прослушавшие инструктаж по технике безопасности, ознакомившиеся с настоящими указаниями и прошедшие собеседование с преподавателем.

В лаборатории при проведении работ применяется напряжение 220/127 В переменного тока и 220 В постоянного тока. Питающее напряжение подается на стенды только преподавателем или лаборантом.

При проведении работ запрещается:

- пользоваться неисправными приборами, аппаратами, соединительными проводами;
- включать схему без разрешения преподавателя;
- производить изменения в схеме, находящейся под напряжением;
- касаться токоведущих частей, находящихся под напряжением;
- оставлять схему под напряжением во время перерывов в работе и после окончания испытаний.

ВАКУУМНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ

Цель работы – изучить конструкцию и принцип работы вакуумного выключателя ВВТЭ-10-10/630 У2, принцип гашения электрической дуги в вакуумных выключателях, особенности гашения электрической дуги в вакууме; основные достоинства и недостатки вакуумных выключателей.

Оборудование и приборы

Выключатель ВВТЭ – 10–10/630У2

Краткие теоретические сведения

Современные вакуумные выключатели рассчитаны на отключение токов в пределах от 1 кА до 31,5 кА.

Процесс отключения в вакуумном выключателе протекает следующим образом: в момент расхождения контактов площадь их соприкосновения уменьшается, плотность тока резко возрастает, металл контактов плавится и испаряется в вакууме. При этом между контактами образуется проводящий мостик, состоящий из паров металла электродов. Загорается так называемая вакуумная дуга, которая гаснет при первом же переходе тока через нуль. Электрическая прочность восстанавливается очень быстро, так как малая плотность газа в дугогасительной камере выключателя обуславливает исключительно высокую скорость диффузии электрических зарядов из ствола дуги. Уже через 10мкс после перехода тока через нуль электрическая прочность вакуума достигает своего полного значения 100 МВ/м. Если к этому времени раствор контактов окажется достаточным для того, чтобы электрическая прочность межконтактного промежутка стала больше восстанавливающегося напряжения, дуга погаснет окончательно. Иначе произойдет повторный пробой промежутка и повторное зажигание дуги.

При отключении вакуумным выключателем малых токов (несколько десятков ампер) может произойти преждевременное снижение тока до нуля, до естественного перехода тока через нуль (срез тока), что объясняется очень быстрой деионизацией межконтактного промежутка. Срез тока сопровождается, как и в других выключателях, перенапряжением.

Исходя из работы вакуумного выключателя, для его надежной работы и увеличения его срока службы весьма существенной является износостойкость контактов, которые распыляются во время горения дуги. При очень сильном распылении металла контактов может образоваться такое количество паров металла, что гашение дуги окажется невозможным. Опыт показал, что наиболее сильное распыление

наблюдается у контактов из латуни и меди. Тугоплавкие металлы, такие, как вольфрам или молибден, распыляются сравнительно мало. С увеличением отключаемого тока распыление металла контактов растёт, причем быстрее, чем увеличивается ток. Таким образом, для повышения отключающей способности вакуумного выключателя для контактов необходимо применять наиболее тугоплавкие материалы.

Дугогасительная камера вакуумного выключателя представляет собой герметичный сосуд из металла и стекла, в котором поддерживается вакуум 10^{-4} Па. Корпус камеры может быть изготовлен не только из стекла, но и из других изоляционных материалов, которые вакуумно – плотно свариваются с металлом. Вакуумная камера КДВ на напряжение 10 кВ имеет зазоры между контактами 4 – 10 мм, поэтому габариты её малы, а скорости срабатывания высокие. Погасание электрической дуги удается получить при первом же прохождении тока через нуль, т.е. через 0,02 с, однако при отключении относительно большого тока случается, что погасание дуги происходит не при первом, а при втором или третьем подходе тока к нулю.

Рабочие контакты имеют вид полых усечённых конусов с радиальными прорезями. Такая форма контактов при размыкании создает радиальное электродинамическое усилие, действующее на возникающую дугу и заставляющее перемещаться её на дугогасительные контакты.

Контакты представляют собой диски, разрезанные спиральными прорезями на три сектора, по которым движется дуга. Материал контактов подобран так, чтобы уменьшить количество испаряющегося металла. Вследствие глубокого вакуума происходит быстрая диффузия заряженных частиц в окружающее пространство и при первом переходе тока через нуль дуга гаснет.

Наружное поверхность изоляторов имеет ребра для увеличения пути утечки по изоляции. Ход подвижного контакта камеры составляет 12 мм, средняя скорость хода при отключении 1,7 – 2,3 м/с, при включении 0,6 – 0,9 м/с, допустимый износ контактов - 4 мм.

При размыкании контактов выключателя число проводящих контактных точек уменьшается. Последняя точка вытягивается в расплавленный металлический мостик, быстро нагревается под действием тока и испаряется. В образовавшемся облаке возникает дуговой разряд. При горении вакуумной дуги происходит расплавление металла контактов, часть которого оседает на экранах, защищающих внутренние поверхности оболочки камеры от загрязнения. С увеличением тока эрозия быстро возрастает и является основной причиной, ограничивающей увеличение отключаемого тока. На ток отключения существенно влияет, материал контактов, его чистота, скорость размыкания контактов и состояние вакуума.

При включении вакуумного выключателя и сближении его главных контактов ещё до соприкосновения происходит пробой вакуумного промежутка и образуется электрическая дуга, поэтому медленное сближение контактов приводит к дополнительному, нежелательному выделению тепла, расплавлению металла контактов и их свариванию.

Вибрация контактов внутри камеры также недопустима, она приводит к распылению и разбрызгиванию металла, это уменьшает контактную поверхность, ухудшает их рабочие поверхности и увеличивает слой напыленного металла на внутренней поверхности оболочки. Это приводит к уменьшению электрической прочности и сокращению срока службы камеры.

Редкие отказы в гашении дуги в вакуумном выключателе, которые могут иметь место из-за механических или технологических дефектов, не приводят к серьезным разрушениям всего выключателя или близко расположенного другого оборудования КРУ.

Вакуумные выключатели имеют высокий коммутационный ресурс. Межреви-зионные интервалы вакуумных выключателей определяются механической стойкостью привода. Срок службы камеры очень велик, 100 – 250 тыс. операций.

На основе рассмотренной выше вакуумной дугогасительной камеры КДВ созданы выключатели на напряжение 10-110 кВ с поминальным током до 3200 А и током отключения до 31,5 кА.

В выключателях с поминальным напряжением 110 кВ и выше применяются несколько дугогасительных камер, включенных последовательно. Для равномерного распределения напряжения между ДУ необходимо устанавливать емкостные делители.

На рисунке 1.1 показан вакуумный выключатель ВВТЭ – 10–10/630УГ, предназначенный для коммутации электрических цепей 10 кВ в нормальных и аварийных режимах, встраиваемый в ячейки КРУ.

На раме 8 с помощью изоляционных каркасов 11 укреплены три дугогасительные вакуумные камеры 6. Вывод подвижного контакта 5 с помощью гибкой связи 4 соединен с верхним контактным ножом 1, укрепленным на изоляционной балке 2, неподвижный контакт камеры связан с нижним ножом 7. Электромагнитный привод 13 через систему тяг и изоляционную плиту 14 связан с подвижными контактами. Конечное контактное нажатие обеспечивают пружины 3.

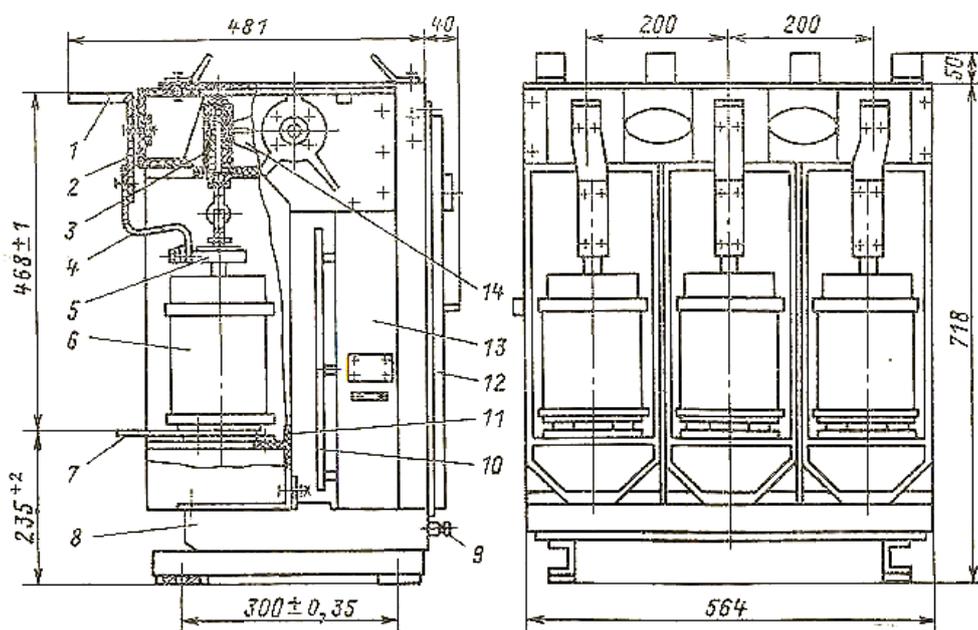


Рисунок 1.1– Вакуумный выключатель ВВТЭ-10-10/630 У2

Стальная перегородка 10 предназначена для защиты постоянных магнитов, находящихся в приводе, от влияния электромагнитных полей главных цепей выключателя. Выключатель закрыт передней крышкой 12 с окнами для наблюдения за механическим указателем включенного и отключенного положений и счетчиком числа цикла ВО. Заземление осуществляется с помощью болта 9. Рассмотренный

выключатель рассчитан на 2000 операций ВО при номинальном токе и 50 операций при токе КЗ 10 кА. Полное время отключения 0,05 с.

Преимущества и недостатки вакуумных выключателей

Вакуумные выключатели созданы на напряжения 6 – 110 кВ и, благодаря своим преимуществам, вытесняют воздушные и масляные выключатели.

Преимущества вакуумных выключателей:

- отсутствие необходимости в замене и пополнении дугогасящей среды, компрессорных установок и масляного хозяйства;
- высокая износостойкость при коммутации номинальных токов и токов КЗ;
- минимум обслуживания, снижение эксплуатационных затрат (почти в 2 раза по сравнению с существующими), срок службы 25 лет;
- быстрое восстановление электрической прочности $(10 \div 50) \cdot 10^3$ В/мкс;
- полная взрыво – и пожаробезопасность;
- надежная работа в случае, когда в процессе отключения малого тока в цепи возникает ток КЗ (дугогасящие устройства масляных выключателей обычно разрываются);
- широкий диапазон температур окружающей среды, в котором возможна работа выключателей;
- повышенная устойчивость к ударным и вибрационным нагрузкам;
- произвольное рабочее положение вакуумного выключателя;
- бесшумность, чистота, удобство обслуживания, обусловленные малым выделением энергии в дуге;
- отсутствие загрязнения окружающей среды;
- сравнительно малые массы и габаритные размеры и небольшие динамические нагрузки на конструкцию и фундамент;
- высокое быстродействие;
- возможность организации высокоавтоматизированного производства.
- Недостатками вакуумных выключателей являются:
- трудности разработки и изготовления, связанные с созданием специальных контактных материалов, сложностью вакуумного производства, склонностью материалов контактов к сварке в условиях вакуума;
- сравнительно небольшие номинальные токи и токи отключения, возможность коммутационных перенапряжений;
- при массовом производстве стоимость вакуумных выключателей всего на 5 – 15% больше стоимости маломасляных.
- большие капитальные вложения, необходимые для наладок массового производства.

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Изучить принцип гашения электрической дуги в вакуумных выключателях.
2. Изучить особенности гашения электрической дуги в вакууме;
3. Основные достоинства и недостатки вакуумных выключателей;
4. Конструкция и принцип работы вакуумного выключателя ВВТЭ-10-10/630 У2.

Лабораторная работа № 2

ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДОВ ГАШЕНИЯ ДУГИ

Цель: ознакомление с методами анализа динамики и структуры производства, энергоресурсов и разработки топливно-энергетического баланса.

Подготовка к работе:

1. Пройти инструктаж по технике безопасности на рабочем месте.
2. Ознакомиться с описанием работы.
3. Выполнить практическую часть лабораторной работы: изучить имеющееся оборудование, сделать характеристику и описание.

1. Пояснения к работе

Условия возникновения и горения дуги

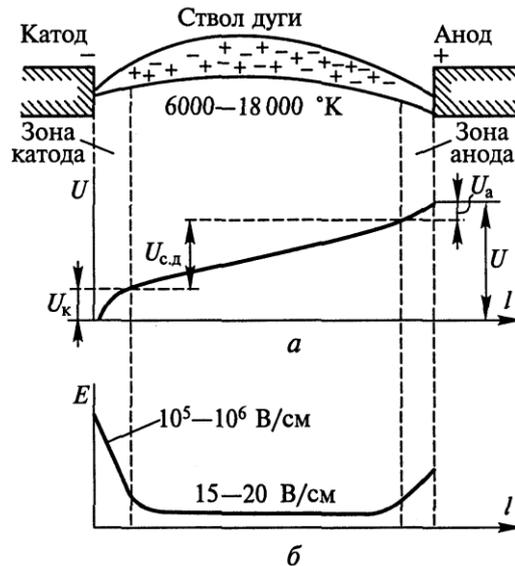


Рисунок 2.1 - Распределение напряжения U (а) и напряженности T (б) в стационарной дуге постоянного тока

При замыкании контактов в цепи высокого напряжения возникает электрический разряд в виде дуги (рис.2.1). В дуге различают околокатодное пространство, ствол дуги и околоанодное пространство. Все напряжение распределяется между этими областями. Около катода наблюдается высокая напряженность электрического поля (10^5-10^6 В/см). При таких высоких напряженностях происходит ударная ионизация. 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. Образовавшиеся в результате ионизации свободные электроны

и ионы составляют плазму ствoла дуги. В ствoле дуги проходит большой ток и создается высокая температура.

Высокие температуры в ствoле дуги приводят к интенсивной термоионизации, которая поддерживает большую проводимость плазмы. Чем больше ток в дуге, тем меньше ее сопротивление, поэтому требуется меньшее напряжение для горения дуги, т. е. дугу с большим током погасить труднее.

Если дуга погашена теми или иными способами, то напряжение между контактами выключателя должно восстановиться до напряжения питающей сети. Однако поскольку в цепи имеются индуктивные, активные и емкостные сопротивления, возникает переходный процесс, появляются колебания напряжения, амплитуда которых может значительно превышать нормальное напряжение. Для отключающей аппаратуры важно, с какой скоростью восстанавливается напряжение.

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

Гашение дуги

В коммутационных аппаратах необходимо не только разомкнуть контакты, но и погасить возникшую между ними дугу.

В цепях переменного тока ток в дуге каждый полупериод проходит черв 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. Это объясняется тем, что при снижении тока энергия, подводимая к дуге, уменьшается, следовательно уменьшается температура дуги и прекращается термоионизация. Длительность бестоковой паузы невелика (от десятков до нескольких сотен микросекунд), но играет важную роль в гашении дуги. Если разомкнуть контакты в бестоковую паузу и развести их с достаточной скоростью на большое расстояние, чтобы не произошел электрический пробой, то цепь будет отключена очень быстро.

Во время бестоковой паузы интенсивность ионизации сильно падает, так как не происходит термоионизации. В коммутационных аппаратах, кроме того, принимаются искусственные меры охлаждения дугового пространства и уменьшения числа заряженных частиц.

Резкое увеличение электрической прочности промежутка после перехода тока через нуль происходит главным образом за счет увеличения прочности околокатодного пространства.

Задача гашения дуги сводится к созданию таких условий, чтобы электрическая прочность промежутка между контактами была больше напряжения между ними.

В отключающих аппаратах до 1 кВ широко используются следующие способы гашения дуги.

Способы гашения дуги в коммутационных аппаратах до 1 кВ.

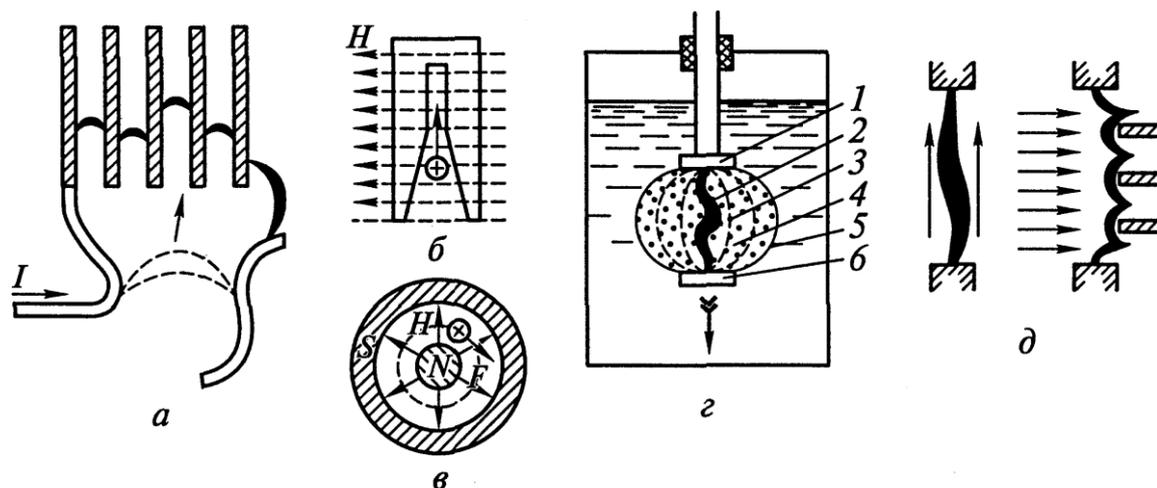


Рисунок 2.2 - Способы гашения дуги: а – деление длинной дуги на короткие; б – затягивание дуги в узкую щель дугогасительной камеры; в – вращение дуги в магнитном поле; г – гашение дуги в масле: 1 – неподвижный контакт; 2 – ствол дуги; 3 – водородная оболочка; 4 – зона газа; 5 – зона паров масла; 6 – подвижный контакт; д - газоздушное дутье.

В отключающих аппаратах до 1 кВ широко используются следующие способы гашения дуги (рис.2.2).

Удлинение дуги при быстром расхождении контактов: чем длиннее дуга, тем большее напряжение необходимо для ее существования. Если напряжение источника окажется меньше, то дуга гаснет.

2. Деление длинной дуги на ряд коротких дуг.

Гашение дуги в узких щелях. Если дуга горит в узкой щели, образованной дугостойким материалом, то благодаря соприкосновению с холодными поверхностями происходит интенсивное охлаждение и диффузия заряженных частиц в окружающую среду. Это приводит к быстрой деионизации и гашению дуги.

Движение дуги в магнитном поле. Электрическая дуга может рассматриваться как проводник с током. Если дуга находится в магнитном поле, то на нее действует сила, определяемая по правилу левой руки. Если создать магнитное поле, направленное перпендикулярно оси дуги, то она получит поступательное движение и будет затянута внутрь щели дугогасительной камеры.

В радиальном магнитном поле дуга получит вращательное движение. Магнитное поле может быть создано постоянными магнитами, специальными катушками или самим контуром токоведущих частей

Быстрое вращение и перемещение дуги способствует ее охлаждению и деионизации.

Последние два способа гашения дуги (в узких щелях и в магнитном поле) применяются также в отключающих аппаратах напряжением выше 1 кВ.

Основные способы гашения дуги в аппаратах выше 1 кВ.

Гашение дуги в масле. Если контакты отключающего аппарата поместить в масло, то возникающая при размыкании дуга приводит к интенсивному газообразованию и испарению масла. Вокруг дуги образуется газовый пузырь, состоящий в основном из водорода (70-80%); быстрое разложение масла приводит к повышению давления в пузыре, что способствует ее лучшему охлаждению и деионизации. Водород обладает высокими дугогасящими свойствами; соприкасаясь непосредственно со стволем дуги, он способствует ее деионизации. Внутри газового пузыря происходит непрерывное движение газа и паров масла. Гашение дуги в масле широко применяется в выключателях.

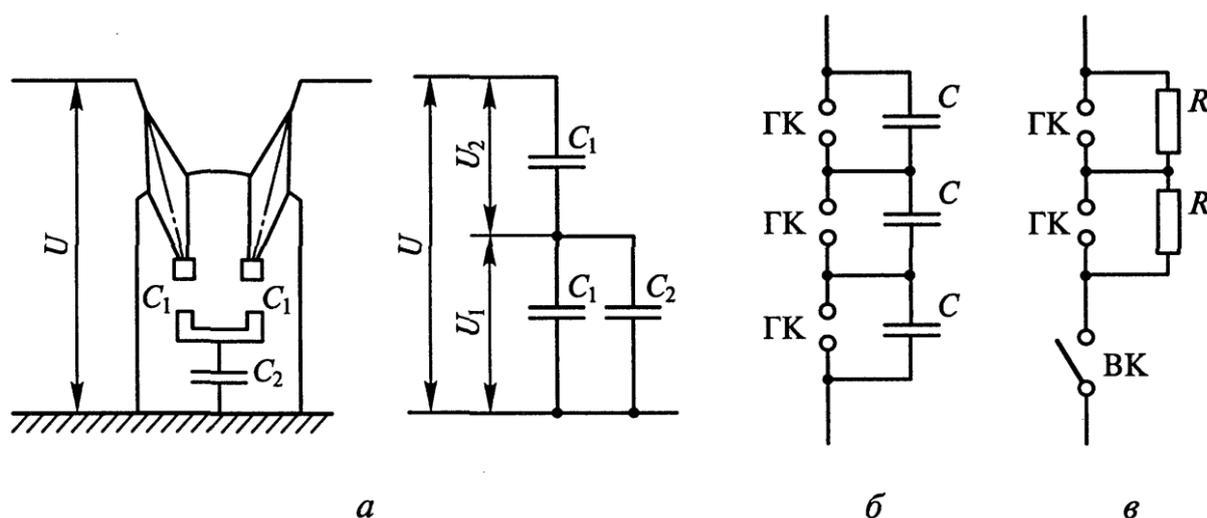


Рисунок 2.3 - Распределение напряжения по разрывам масляного выключателя (а), емкостные делители напряжения (б), активные делители напряжения (в)

2. Газовоздушное дутье. Охлаждение дуги улучшается, если создать направленное движение газов – дутье. Дутье вдоль или поперек дуга способствует проникновению газовых частиц в ее ствол, интенсивной диффузии и охлаждению дуги. Газ создается при разложении масла дугой (масляные выключатели) или твердых газогенерирующих материалов (автогазовое дутье). Более эффективно дутье холодным неионизированным воздухом, поступающим из специальных баллонов со сжатым воздухом (воздушные выключатели).

Многократный разрыв цепи тока. Отключение большого тока при высоких напряжениях затруднительно. Это объясняется тем, что при больших значениях подводимой энергии и восстанавливающегося напряжения деионизация дугового промежутка усложняется. Поэтому в выключателях высокого напряжения применяют многократный разрыв дуги в каждой фазе (рис.2.3). Такие выключатели имеют

несколько гасительных устройств, рассчитанных на часть номинального напряжения. Число разрывов на фазу зависит от типа выключателя и его напряжения. В выключателях 500-750 кВ может быть 12 разрывов и более. Чтобы облегчить гашение дуги, восстанавливающееся напряжение должно равномерно распределяться между разрывами. Для выравнивания напряжения параллельно главным контактам выключателя GK включают емкости или активные сопротивления.

Гашение дуги в вакууме. Высокоразреженный газ обладает электрической прочностью, в десятки раз большей, чем газ при атмосферном давлении. Если контакты размыкаются в вакууме, то сразу же после первого прохождения тока в дуге через нуль прочность промежутка восстанавливается и дуга не загорается вновь. Эти свойства вакуума используются в некоторых типах выключателей.

5. Гашение дуги в газах высокого давления. Воздух при давлении 2 МПа и более также обладает высокой электрической прочностью. Это позволяет создавать достаточно компактные устройства для гашения дуги в атмосфере сжатого воздуха. Еще более эффективно применение высокопрочных газов, например шестифтористой серы SF₆ (элегаза). Элегаз обладает не только большей электрической прочностью, чем воздух и водород, но и лучшими дугогасящими свойствами даже при атмосферном давлении. Элегаз применяется в выключателях, отделителях, короткозамыкателях и другой аппаратуре высокого напряжения.

Гашение дуги в масляных выключателях

В масляных выключателях контакты размыкаются в масле, однако вследствие высокой температуры дуги, образующейся между контактами, масло разлагается и дуговой разряд происходит в газовой среде. Приблизительно половину этого газа (по объему) составляют пары масла. Остальная часть состоит из водорода (70%) и углеводородов различного состава. Газы эти горючи, однако в масле горение невозможно из-за отсутствия кислорода. Количество масла, разлагаемого дугой, невелико, но объем образующихся газов велик. Один грамм масла дает приблизительно 1500 см³ газа, приведенного к комнатной температуре и атмосферному давлению.

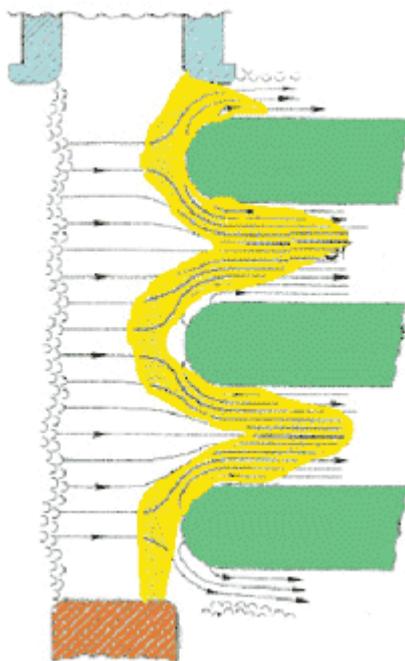


Рисунок 2.4

Гашение дуги в масляных выключателях происходит наиболее эффективно при применении гасительных камер, которые ограничивают зону дуги, способствуют повышению давления в этой зоне и образованию газового дутья сквозь дуговой столб (рис.2.4).

Гашение дуги в элегазовых выключателях

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 (рис.2.5).

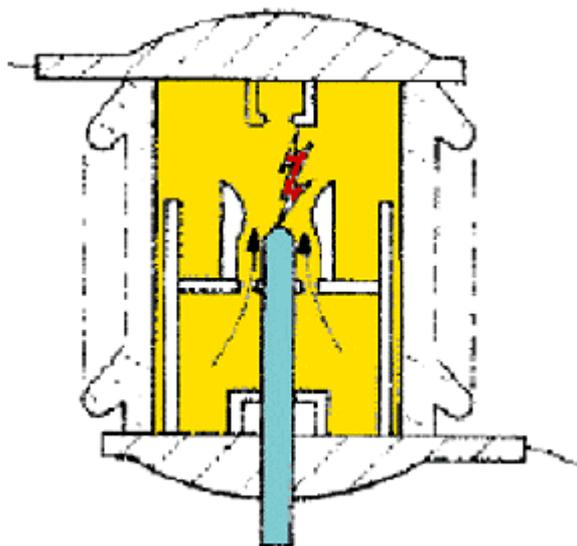


Рисунок 2.5

В элегазе при атмосферном давлении может быть погашена дуга с током, который в 100 раз превышает ток, отключаемый в воздухе при тех же условиях. 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 поглощение электронов из дугового столба происходит еще интенсивнее.

В элегазовых выключателях применяют автопневматические дугогасительные устройства, в которых газ в процессе отключения сжимается поршневым устройством и направляется в зону дуги. Элегазовый выключатель представляет собой замкнутую систему без выброса газа наружу.

Гашение дуги в вакуумных выключателях

Электрическая прочность вакуумного промежутка во много раз больше, чем воздушного промежутка при атмосферном давлении (рис.2.6). Это свойство используется в вакуумных дугогасительных камерах. Рабочие контакты имеют вид полых усеченных конусов с радиальными прорезями. Такая форма контактов при размыкании создает радиальное электродинамическое усилие, действующее на возникающую дугу и заставляющее перемещаться ее через зазоры на дугогасительные контакты.

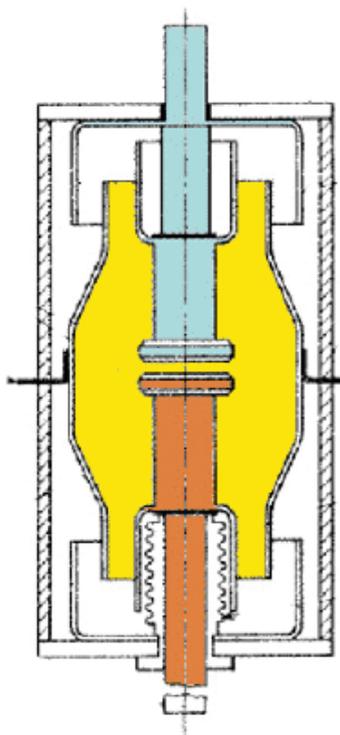


Рисунок 2.6

Контакты представляют собой диски, разрезанные спиральными прорезями на три сектора, по которым движется дуга. Материал контактов подобран так, чтобы уменьшить количество испаряющегося металла. Вследствие глубокого вакуума про-

исходит быстрая диффузия заряженных частиц в окружающее пространство и при первом переходе тока через нуль дуга гаснет. Подвод тока к контактам осуществляется с помощью медных стержней. Подвижный контакт крепится к верхнему фланцу с помощью сильфона из нержавеющей стали. Сильфон служит для обеспечения герметичности вакуумной камеры. Металлические экраны служат для выравнивания электрического поля и для защиты керамического корпуса от попадания паров металла, образующихся при гашении дуги.

Магнитное дутье, как вариант гашение дуги

Магнитное дутье применяется в электромагнитных выключателях. Щелевая дугогасящая камера из жаропрочного материала – основной элемент электромагнитных выключателей. Магнитное дутье, как правило, создается с помощью электромагнита, который включается последовательно в контур дуги. За счет него электрическая дуга в выключателе растягивается, охлаждается и гаснет (рис.2.7).

Контрольные вопросы:

1. Условия возникновения и гашения дуги.
2. Способы гашения дуги до 1 кВ.
3. Способы гашения дуги выше 1 кВ.
4. Необходимость гашения дуги.

Лабораторная работа №3

МАСЛЯНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ

Цель работы: изучить назначение, устройство, принцип действия, технические характеристики, область применения масляных выключателей.

Оборудование и приборы: многообъемный (баковый) масляный выключатель типа С-35, дугогасительные устройства выключателей типов У-110, малообъемные выключатели типов ВМГ-10.

Краткие теоретические сведения

Выключатель – это коммутационный аппарат, предназначенный для включения и отключения электрической цепи в различных режимах:

- длительная нагрузка,
- перегрузка,
- короткое замыкание (КЗ),
- холостой ход,
- несинхронная работа.

По конструкции различают основные типы выключателей:

- **масляные многообъемные выключатели** (Баковые выключатели с открытой дугой, Баковые выключатели с гасительными камерами);
- **масляные малообъемные выключатели (с одним дугогасительным разрывом на полюс, с двумя дугогасительными разрывами на полюс).**

Конструктивными частями всех выключателей являются: корпус, изоляционная конструкция, приводной механизм, токоведущие части, контактная система (подвижные и неподвижные контакты) с дугогасительным устройством (ДУ) или, за редким исключением, без такового (выключатель с открытой дугой).

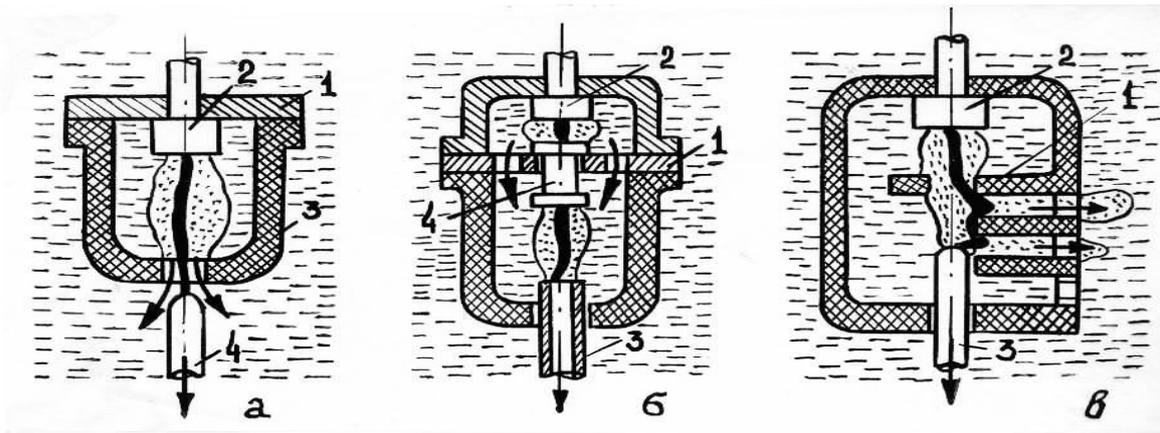
В масляном выключателе (МВ) контакты замыкаются и размыкаются в изоляционном (трансформаторном) масле, которое вследствие высокой температуры электрической дуги между контактами (до 18000°K в створе дуги) испаряется и разлагается на газы (1 г масла дает приблизительно 1500 см^3 газов).

По принципу действия ДУ разделяются на две основные группы:

- с автодутьем, в которых высокое давление и большая скорость движения паров масла и газов в зоне дуги создаются за счет энергии дуги;
- с принудительным масляным дутьем, у которых масло в зону дуги нагнетается с помощью специальных гидравлических устройств.
- Наиболее эффективными и простыми являются ДУ первой группы.

- Различают следующие типы ДУ с автодутьем:
- простая гасительная камера, в которой газомасляное дутье происходит только после выхода подвижного контакта из отверстия в нижней части камеры;
- ДУ с принудительным газомасляным дутьем еще до выхода подвижного контакта из ДУ, в которых используется направленное продольное, поперечное или встречно-поперечное дутье.

На рисунке 3.1 показаны различные ДУ масляных выключателей с автодутьем (простая дугогасительная камера, камера продольного дутья, камера поперечного дутья).



а – простая дугогасительная камера; б – камера продольного дутья;
в – камера поперечного дутья

Рисунок 3.1 – Типы ДУ

Камера первого типа представляет собой (рис. 3.1 а) корпус из металла (с изолированными стенками) или из специальной пластмассы с большой механической прочностью, в верхней части 1 которого закрепляется неподвижный контакт 2, а в нижней 3 имеется отверстие для подвижного контакта 4 цилиндрической формы. В камере такого типа газомасляное дутье происходит только после выхода подвижного контакта из отверстия в камере.

Камеры второго типа разделены (рис. 3.1 б, в) на две части с помощью изоляционных перегородок 1. В камере продольного дутья (см. рис. 3.1 б) при отключении МВ вначале возникает дуга (генерирующая) между неподвижным контактом 2 и промежуточным 4, создающая давление в камере. После размыкания промежуточного 4 и подвижного 3 контактов между ними также возникает дуга (гасимая), гашение которой осуществляется газомасляным потоком из верхней части камеры через отверстия, и через полость трубчатого подвижного контакта 3 в бак МВ. В ДУ с поперечным дутьем (см. рис. 1.1 в) выход газомасляного потока в бак МВ происходит после того, как подвижный контакт 3, по мере его движения вниз, откроет попе-

речные щели (отверстия) в камере. ДУ с масляным дутьем позволяют существенно повысить надежность работы МВ, увеличить их токи отключения и номинальные напряжения.

Конструкции масляных многообъемных выключателей

В масляных баковых выключателях масло служит для гашения дуги и для изоляции токоведущих частей. При напряжении до 10 кВ (в некоторых типах выключателей до 35 кВ) МВ имеет один бак, в котором находятся контакты всех трех фаз, при большем напряжении для каждой фазы предусматривают отдельный бак.

Основные преимущества баковых МВ: простота конструкции, высокая отключающая способность, пригодность для наружной установки.

Недостатки баковых МВ: взрыво- и пожароопасность, необходимость периодического контроля за состоянием и уровнем масла в баке и вводах; большой объем масла и связанные с этим большие габариты и масса МВ.

Баковые выключатели с открытой дугой

МВ серии ВМБ (В - выключатель, М – масляный, Б – баковый) и ВМЭ (В – выключатель, М – масляный, Э – экскаваторный) на номинальный ток отключения 1,25 кА относятся к МВ с открытой дугой (без ДУ).

Баковый МВ типа ВМЭ-6-200 на номинальное напряжение 6 кВ, номинальный ток 200 А и номинальный ток отключения 1,25 кА (рис. 3.2). Стальной бак 1 выключателя подвешен к литой чугунной крышке 2 с помощью болтов. На стенках бака 1 имеются изоляционные покрытия 13. Через крышку 2 проходят 6 фарфоровых изоляторов 3, на нижних концах которых закреплены неподвижные рабочие контакты 4 в виде медных скоб. Подвижные рабочие контакты 5 находятся на контактном мосту (траверсе) 6. Дугогасительными подвижными контактами являются латунные угольники 7, расположенные на траверсе 6, дугогасительными неподвижными – медные пластинки 8 с латунными наконечниками. Движение подвижным контактам передается с помощью изолирующей тяги от приводного механизма, расположенного под крышкой 2 выключателя.

Во включенном положении МВ траверса поднята и контактный мост 6 замыкает цепь между неподвижными контактами. При этом отключающая пружина 9 сжата. МВ во включенном положении удерживается защелкой привода, с которым он связан валом 10.

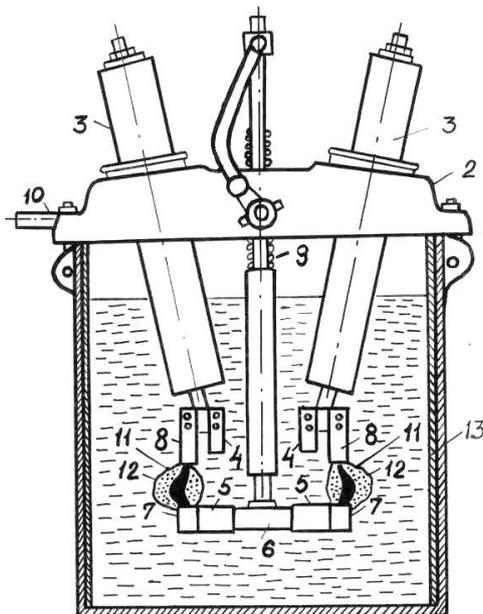


Рисунок 3.2 – Масляный баковый выключатель ВМЭ-6-200

При отключении автоматически или вручную освобождается защелка и под действием пружины 9 траверса 6 быстро опускается вниз, при этом сначала размыкаются рабочие контакты 4 и 5, затем дугогасительные контакты 7 и 8. При этом образуются разрывы в двух точках на каждом полюсе МВ. Возникшие дуги 11 испаряют и разлагают масло. Давление внутри пузырей 12 достигает 0,5-1 МПа, что повышает деионизирующую способность газов. Дуги гаснут через 0,08 - 0,1 с. После гашения дуг, пузыри 12 поднимаются вверх, под крышку 2, где после залива масла в бак 1 остается воздушная подушка (примерно 20-30 % объема). Воздушная подушка уменьшает силу удара в крышку МВ, обусловленного высоким давлением в процессе гашения дуги. Увеличение объема воздушной подушки является недопустимым, поскольку при низком уровне масла газы попадут под крышку 2 неохлажденными, что может вызвать взрыв смеси водорода с воздухом.

Выключатели серии ВМЭ управляются ручными маховичными приводами типа ПМ.

Баковые выключатели с гасительными камерами

На электрических станциях и подстанциях находятся в эксплуатации баковые МВ с ДУ на напряжения 6-220 кВ.

Основные серии масляных баковых выключателей:

- МКП (М - масляный, К - камерный, П - подстанционный) - на напряжения 35,110 кВ;
- У (серия “Урал”) - на напряжения 35-220 кВ;
- С - на напряжение 35 кВ.

На рисунке 3.3 показан полюс бакового МВ типа У - 110 - 2000 – 50 на номинальное напряжение 110 кВ, номинальный длительный ток 2000 А и номинальный ток отключения 50 кА.

МВ имеет три бака 2 цилиндрической формы. На крышке бака смонтированы маслонаполненные вводы 9, коробки приводных механизмов 8, предохранительный клапан, коробки со встроенными трансформаторами тока 7, и патрубки для заливки масла. На каждом баке имеются лазы для доступа внутрь бака и к устройству для подогрева (в зимнее время) масла, расположенному под днищем бака. Изнутри стенки бака в несколько слоёв изолированы древеснослоистым пластиком и фиброй 6. Приводной механизм сочленён с изолирующей тягой 5, перемещающейся в вертикальном направлении.

Два ДУ 4 с шунтирующими резисторами (для выравнивания напряжений между разрывами ДУ, и для уменьшения скорости восстанавливающегося напряжения на контактах МВ), закреплены на нижних концах вводов 9.

На днище бака установлено льдоулавливающее устройство 1, предотвращающее всплытие замерзшего конденсата.

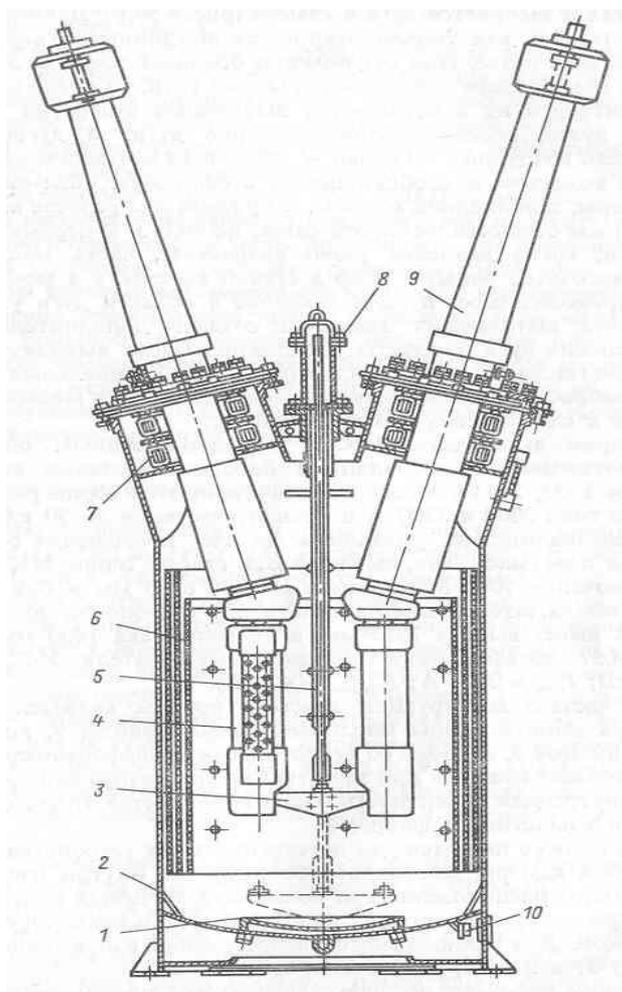


Рисунок 3.3 – Масляный баковый выключатель У-110-2000-50

В изоляционном корпусе 1 ДУ (см. рис. 3.4) закреплены по две камеры 2 поперечного дутья, соединенные посредством перемычки 3 с токоснимающими контактами 4. В корпусе 1 закреплены торцевые неподвижные контакты 5 и 6. Подвижная контактная система состоит из корпуса 7, в который ввернуты правый цилиндрический подвижный контакт 8 и изоляционный стержень 9, в верхней части которого закреплен подвижный контакт 10.

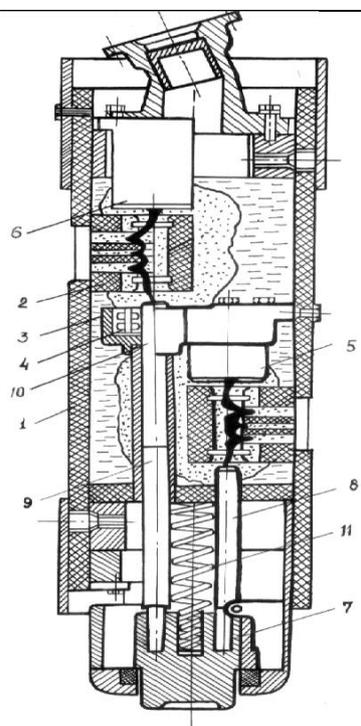


Рисунок 3.4 – Дугогасительное устройство выключателя У-110

При включении МВ подвижная траверса 3 (рис.3.4) поднимается и входит (рис. 4) в соприкосновение с корпусом 7 (контактная система вне ДУ). При последующем движении корпуса 7 вместе с ним поднимаются подвижные контакты 8 и 10, и входят, соответственно, в неподвижные контакты 5 и 6, осуществляя замыкание цепи МВ.

При отключении МВ подвижная траверса 3 (рисунок 3.4) вместе с контактами 8 и 10 (рис. 4) опускается, происходит размыкание подвижных контактов 8 и 10 с неподвижными контактами 5 и 6, и возникновение двух дуг (в каждом ДУ), которые гасятся в камерах 2. Ходу подвижных контактов способствует пружина 11.

Шунтирующие резисторы (рис. 3) уменьшают ток через контактную систему, расположенную вне ДУ, и облегчают тем самым гашение дуг на этих контактах непосредственно в баке.

МВ управляются электромагнитными или пневматическими приводами.

Конструкции масляных малообъемных выключателей

Масло в этих выключателях в основном служит дугогасящей средой и только частично изоляцией между разомкнутыми контактами. Изоляция токоведущих ча-

стей друг от друга и от заземленных конструкций осуществляется фарфором или другими твердыми изолирующими материалами.

Дугогасительные контакты МВ находятся в стальном бачке (горшке). Мало-масляные выключатели напряжением 35 кВ и выше (выпускаются они на напряжения до 220 кВ включительно) имеют фарфоровые корпуса.

Наибольшее применение получили МВ горшкового типа с одним или двумя стальными бачками (горшками) на полюс.

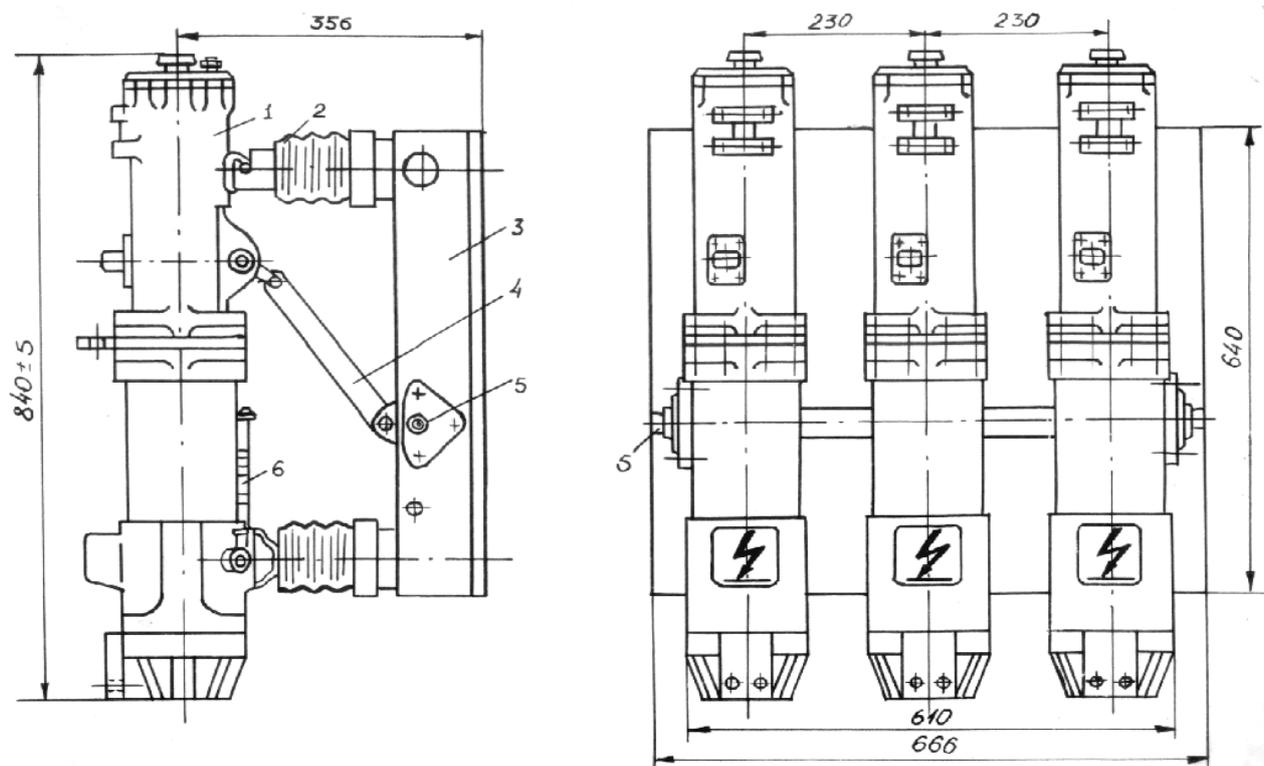
Основные преимущества малообъемных МВ: небольшое количество масла; относительно малая масса; более удобный, чем у баковых МВ, доступ к дугогасительным контактам; возможность создания серии МВ на разное напряжение с применением унифицированных узлов.

Недостатки малообъемных МВ: взрыво- и пожароопасность, хотя и значительно меньшая, чем у баковых МВ; относительно малая отключающая способность; необходимость периодического контроля, доливки и относительно частой замены масла в бачках.

Малообъемные выключатели с одним дугогасительным разрывом на полюс

К МВ горшкового типа с одним разрывом на полюс относятся МВ серий ВМП (В – выключатель, М – масляный, П – подвесной) и ВМГ (В – выключатель, М – масляный, Г – горшковый).

МВ типа ВМП-10У (цифра 10 обозначает напряжение 10 кВ, буква У - для районов с умеренным климатом) состоит из трёх бачков 1, каждый из которых смонтирован (подвешен) на двух опарных изоляторах 2, закреплённых на стальной раме 3, устанавливаемой вертикально на каркасе распределительного устройства, главным образом, комплектного. Полюс выключателя (рис. 3.5) состоит из прочного изоляционного цилиндра (бачка) 5 из стеклоэпоксидного пластика. Торцы цилиндра армированы металлическими фланцами.

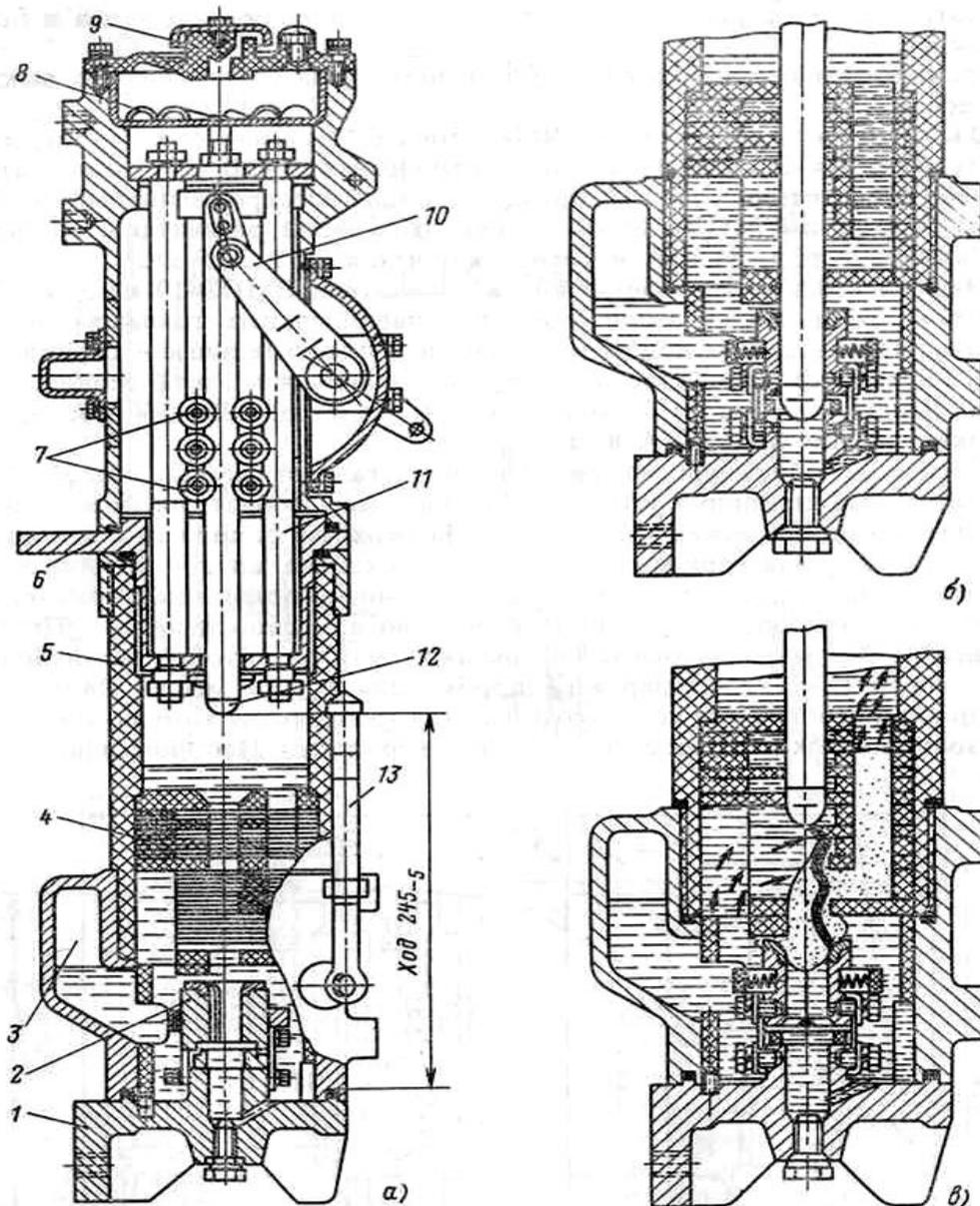


1 – корпус выключателя; 2 – опорный изолятор; 3 – стальная рама; 4 - изоляционная тяга; 5 – вал выключателя; 6 – маслоуказатель.

Рисунок 3.5 – Малообъёмный масляный выключатель ВМП-10

На верхнем фланце цилиндра 5 укреплен корпус 3 из алюминиевого сплава (рис.3.6), внутри которого расположены: приводной механизм 10, подвижный контактный стержень (контакт) 12, роликовое токосъемное устройство (роликовый токосъемный контакт) 7 с направляющими 11 и маслоотделитель 8. Нижний фланец из силумина закрывается крышкой 1, внутри которой вмонтирован розеточный (неподвижный) контакт 2. У МВ типа ВМП-10 имеются два вывода: верхний 6 и нижний 1 (крышка 1 является одновременно нижним выводом полюса МВ). Для слива масла в крышке 1 имеется отверстие, закрываемое маслоспускной винтовой пробкой.

Внутри цилиндра 5 над розеточным контактом 2 расположена гасительная камера 4, собранная из изоляционных пластин с фигурными отверстиями.



а – положение «отключено»; б – положение «включено»;
в – процесс отключения

Рисунок 3.6 – Разрез полюса выключателя ВМП-10

Набором пластин создаются: центральное отверстие для подвижного контакта 12, три поперечные щели на разной высоте и вертикальные отверстия для выхода паров масла и газов. В верхней части гасительной камеры имеются масляные карманы. Количество масла в выключателе типа ВМП-10 – 4,5 кг. Уровень масла находится несколько выше гасительной камеры. Контроль за уровнем масла в цилиндре осуществляется по маслоуказателю 13. Качество масла должно отвечать обычным требованиям к изоляционному маслу.

Во включенном положении подвижный контакт 12 находится в розеточном контакте 2. При отключении МВ его привод, присоединённый к раме, освобождает отключающую пружину, усилие которой передаётся валу МВ, в результате чего вал

поворачивается, движение его передаётся изоляционной тяге, а от неё – приводному механизму 10 и контакту 12, который движется вверх. При размыкании контактов 12 и 2, между ними возникает электрическая дуга, испаряющая и разлагающая масло (рисунок 1.6 в). В первые моменты времени контакт 12 закрывает поперечные щели в гасительной камере 4, поэтому давление резко возрастает и часть масла заполняет буферный объём 3, сжимая в нем воздух. Как только контактный стержень 12 открывает первую поперечную щель, начинается поперечное дутьё газами и парами масла. При переходе тока через нулевое значение, давление в газопаровом пузыре снижается и сжатый воздух буферного объёма 3, действуя подобно поршню, нагнетает масло в область дуги, обеспечивая дополнительное дутьё в моменты времени, когда интенсивность газообразования уменьшается. При дальнейшем движении контактного стержня 12 длина дуги увеличивается. Открываются вторая и третья поперечные щели, и дуга гаснет. Пары масла в верхней части бачка конденсируются и масло стекает вниз. Газы выходят из бачка через отверстие в маслоотделителе 8 и крышке 9 (рисунок 3.6 а), закрываемой колпачком. В крышке 9 имеется маслониливное отверстие с винтовой пробкой.

При отключении больших токов дуга гаснет в нижней части за счёт интенсивного поперечного дутья. При отключении малых токов дуга поперечным дутьём паров и газов не гасится, а поэтому тянется за стержнем 12 и в верхней части камеры испаряет масло в масляных карманах, создавая дополнительное встречно-радиальное дутьё, а затем при выходе стержня 12 из камеры – продольное дутьё. Время гашения дуги при отключении больших токов не превосходит 0,015-0,025 с.

Отключающая способность выключателей серии ВМП составляет от 20 до 31,5 кА, номинальный продолжительный ток от 630 до 3200 А.

Малообъёмные выключатели с двумя дугогасительными разрывами на полюс

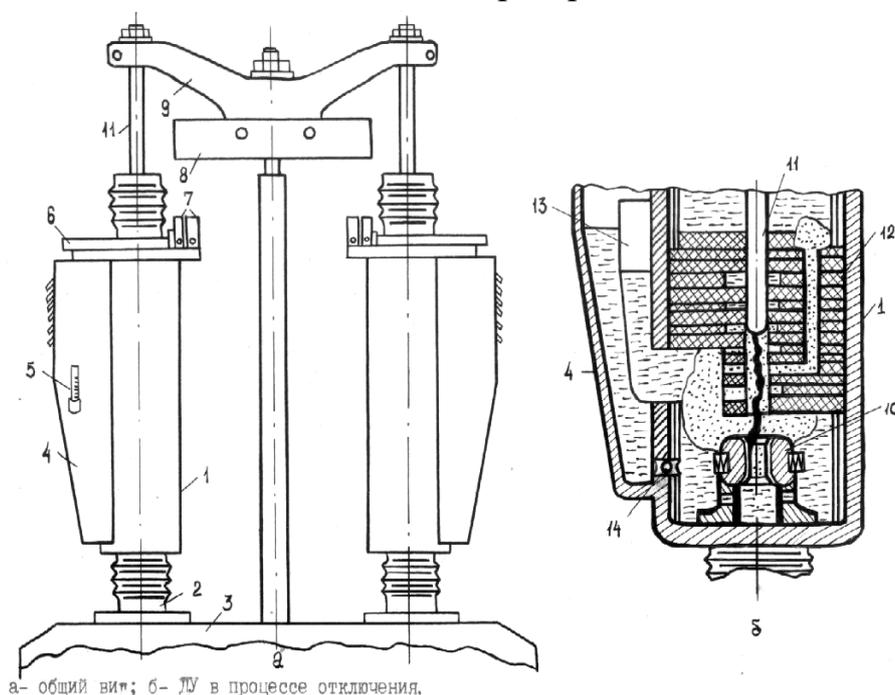
К таким МВ относятся МВ серий МГГ (М – масляный, Г – горшковый, Г – генераторный), МГ (М – масляный, Г – генераторный), ВГМ (В – выключатель, Г – генераторный, М – масляный). Эти выключатели выполняются на большие номинальные токи (ВГМ – на токи до 11200 А) и большую отключающую способность (МГГ – на токи 45 и 63 кА, ВГМ – на ток 90 кА).

МВ таких серий имеют на полюс по две пары контактов (рабочие и дугогасительные), при этом рабочие контакты предусматривают снаружи, а дугогасительные – внутри металлического бачка (горшка). Наличие рабочих и дугогасительных контактов связано с тем, что при больших номинальных токах нельзя обойтись контактами, выполняющими одновременно роль рабочих и дугогасительных.

Использование двух бачков на полюс, а, следовательно, двух дугогасительных разрывов, обеспечивает повышенную отключающую способность МВ. На рисунке 3.7 показаны конструктивные схемы полюса и ДУ выключателя МГГ-10.

Металлические бачки 1 закреплены на опорных изоляторах 2, установленных на металлической сварной раме 3. Внутри рамы 3 расположены приводной рычажный механизм и отключающие пружины. В каждом бачке 1 имеются дугогасительные контакты и камера поперечного дутья. К бачкам 1 приварены дополнительные резервуары 4, соединённые с нижними частями горшков 1 через шариковые клапаны. Уровень масла в выключателе контролируется с помощью маслоуказателей 5.

В МВ имеются два контура: главный и дугогасительный. Ток главного контура (см. рис.3.7 а) проходит по контактному угольнику 6, крышкам бачков 1, неподвижным 7 и подвижным 8 контактам, и по траверсе 9.



а – общий вид; б – ДУ в процессе отключения

Рисунок 3.7 – Малообъёмный масляный выключатель МГГ-10

Ток дугогасительного контура проходит от контактного угольника 6 по стенкам бачков 1, в розеточный контакт 10 (рис. 3.7 б), затем по дугогасительному подвижному контакту 11 первого бачка, по траверсе 9 (рис. 3.7 а) через дугогасительный подвижный контакт второго бачка, и по его стенкам - к крышке и контактному угольнику этого бачка. Когда МВ включен, большая часть тока проходит по главному контуру вследствие меньшего сопротивления этой цепи.

При отключении МВ первыми размыкаются рабочие контакты, затем - дугогасительные. Образовавшаяся дуга (рисунок 1.7 б) испаряет и разлагает масло. В первые моменты времени поперечные каналы в гасительной камере 12 перекрыты подвижным контактом 11, давление в нижней части бачков 1 увеличивается, и воздух

в буферном объёме 13 сжимается. По мере движения контакта 11 вверх открываются поперечные каналы в камере 12 и начинается интенсивное поперечное дутьё. Время гашения дуги – 0,025-0,04 с.

В верхней части каждого бачка 1 имеется отверстие, через которое образовавшиеся при гашении дуги газы попадают в маслоотделитель, расположенный в резервуаре 4, и затем выбрасываются через отверстия наружу, а масло стекает в резервуар 4 и проходит в бачок 1 через шариковые клапаны 14 (рисунок 1.7 б), которые препятствуют его обратному движению при гашении дуги.

При включении МВ первыми замыкаются дугогасительные контакты, затем - рабочие, на которых дуги не образуются.

Для управления МВ используется электромагнитный привод типа ПЭ-21

Программа работы

Изучить:

- назначение и конструкцию выключателей и их основных узлов (контактную систему, дугогасительное устройство, изоляцию между фазами, между токоведущими частями и заземленными частями, между размыкаемыми контактами в отключенном положении выключателей);

- электрическую схему при различных положениях выключателя (во включенном положении, в процессе отключения (гашения дуги), в отключенном положении);

- взаимодействие всех элементов во время работы выключателя;

- процесс гашения дуги в дугогасительном устройстве;

- основные технические параметры выключателей (номинальные напряжения, номинальные рабочие токи и токи отключения, времена включения и отключения, параметры динамической и термической стойкости);

- особенности каждого из типов выключателей и области их применения.

Содержание отчета

Каждый студент по данной работе составляет индивидуальный отчет по за данному преподавателем типу выключателя (см. таблицу 3.1).

Таблица 3.1

Вариант задания	Тип выключателя
1	С-35
2	У-110
3	ВМПЭ-10
4	ВКЭ-10
5	МГГ-10
6	ВМТ-110
7	ВМТ-220

Отчет содержит следующие разделы.

1. Цель работы.
2. Конструкция выключателя (схематично):
 - общий вид с указанием основных элементов;
 - дугогасительное устройство (основные элементы, потоки масла и газов на разных этапах гашения дуги);
 - контактная система (положение подвижных и неподвижных контактов на разных этапах отключения выключателя).
3. Электрическая схема с указанием путей протекания тока на разных этапах процесса отключения.
4. Основные технические параметры (в форме таблицы) с указанием диапазона значений для заданного типа выключателя.
5. Расшифровка условного обозначения заданного выключателя.
6. Отличительные особенности выключателя по сравнению с другими.
7. Область применения выключателя.

Вопросы для самостоятельной подготовки

1. Что такое выключатель? Для чего он предназначен?
2. Какова особенность масляных многообъемных и малообъемных выключателей? Чем они отличаются друг от друга, от других типов выключателей?
3. Каковы основные достоинства и недостатки баковых масляных выключателей?
4. Каковы основные достоинства и недостатки малообъемных масляных выключателей?
5. Перечислить основные элементы баковых масляных выключателей.
6. Перечислить основные элементы малообъемных масляных выключателей.
7. Чем определяется уровень масла в масляных выключателях?
8. Как выполнена изоляция токоведущих частей относительно друг друга, относительно земли и между размыкаемыми контактами в отключенном положении в многообъемных масляных выключателях и как выполнена эта изоляция в малообъемных масляных выключателях?
9. По каким конструктивным признакам можно судить о величинах номинального напряжения, номинального тока, номинального тока отключения?
10. Как устроены дугогасительные камеры в многообъемных и в малообъемных масляных выключателях?
11. Как организовано поперечное и продольное дутье в дугогасительных камерах при гашении дуги? Какие физические явления для этого используются?
12. Как устроена контактная система в выключателях С-35, У-110, МКП-220? Почему принята такая их конструкция?

13. Чем отличается контактная система малообъемных масляных выключателей на номинальные токи до 2 кА от выключателей на номинальные токи выше 2 кА?

14. Как происходит отключение выключателей? В какой последовательности размыкаются контакты в выключателях? Для чего выбрана такая последовательность?

15. Для чего предназначены активные сопротивления, встроенные в выключатели серий У и МКП?

16. В какой момент времени и за счет чего гаснет дуга в масляных выключателях?

17. Чем отличаются процессы отключения больших и малых токов?

18. Каковы причины взрывов многообъемных выключателей? Что делается для предотвращения взрывов? Чем определяется уровень масла в баке выключателя?

19. С какой целью подогревается масло в масляных выключателях?

20. Какие типы масляных выключателей в настоящее время выпускаются отечественной промышленностью?

Лабораторная работа №4

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ

Цель работы: изучить назначение, устройство, принцип действия, технические характеристики, область применения электромагнитных и вакуумных выключателей.

Техническое обеспечение: вакуумный выключатель типа ВВТЭ-10 и вакуумный контактор типа КВТ-10.

Краткие теоретические сведения

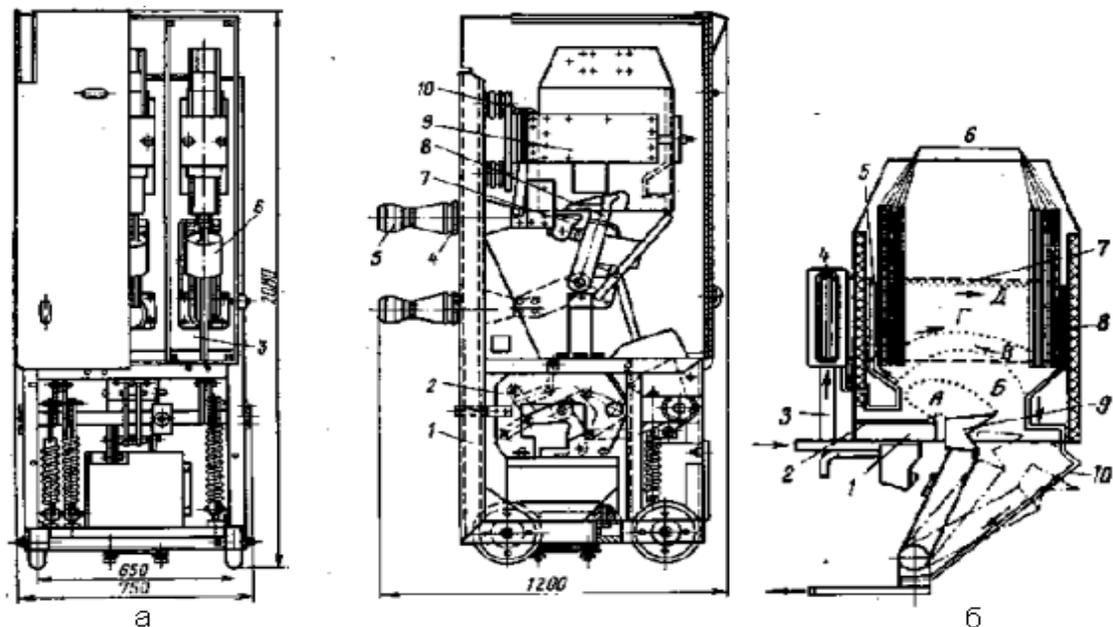
Электромагнитные выключатели для своей работы не требуют масла или сжатого воздуха, могут выполнять большое количество включений и отключений без ревизии и находят применение на напряжениях 6-20 кВ при частых коммутациях электрической цепи. Они гарантируют низкий уровень коммутационных перенапряжений и имеют меньшее обгорание контактов. Кроме того, эти выключатели обеспечивают чистоту обслуживания, обусловленную отсутствием масла, а отсюда - снижение расходов на обслуживание и эксплуатацию. Быстродействие выключателя при отключении больших токов дает соответствующее уменьшение вредных воздействий (термических и динамических) токов на элементы электроустановок.

Повышенная износостойкость дугогасящей части выключателей обеспечивает большое допустимое число коммутационных операций без ревизий. Эти преимущества позволили найти широкое применение этим выключателям.

Принцип работы и конструкция выключателя ВЭМ-6

Принцип работы электромагнитных выключателей основан на гашении электрической дуги в дугогасительной камере, содержащей пакет керамических пластин, в который дуга затягивается поперечным магнитным полем, возбужденным током дуги. Дуга, возникающая при размыкании дугогасительных контактов, под действием электродинамических сил контура тока и тепловых конвекционных потоков поднимается вверх и входит в дугогасительную камеру, постоянно увеличивая свое сопротивление.

Выключатель ВЭМ – 6 (рис. 4.1) установлен на тележке и предназначен для ячеек КРУ.



а – общий вид; б – дугогасительная камера

Рисунок 4.1 - Выключатель вакуумный ВЭМ-6

Вакуумный выключатель ВЭМ-6 (рисунок 4.1, а) состоит из сварного основания 1, пружинного привода 2, трех полюсов, трех съемных дугогасительных камер 9, изоляционного кожуха. Он имеет рабочие и дугогасительные контакты, расположенные на открытом воздухе.

Токоведущие стержни находятся внутри проходных изоляторов 4, отлитых из эпоксидной смолы. На нем устанавливаются подвижный розеточный контакт шкафа КРУ с одной стороны, а с другой – корпуса главного неподвижного 7 и подвижного контакта выключателя 8. Подвижный контакт вращается на опорном изоляторе с помощью изоляционной тяги.

На стальной раме 1 с помощью изоляторов укреплены дугогасящее устройство 9 и катушка магнитного дутья 10. Дугогасительная камера состоит из пакета, собранного из пластин циркониевой керамики, склеенных между собой в единый блок. Каждая пластина пакета в нижней части имеет \wedge -образный вырез, вершина которого смещена от середины пластины с чередованием смещения в разные стороны в каждой паре пластин. Такое чередование образует лабиринт, в который затягивается электрическая дуга при отключении. Пакет устанавливается между боковыми пластинами и колодками, упирается в распорки и закрыт керамическими плитами. В верхней части камеры имеется выхлопное устройство, состоящее из ряда вертикально расположенных изоляционных пластин, предназначенных для предотвращения перекрытия щелей по горячим газам, образующимся в процессе отключения. По краям пакета помещены медные рога, по которым перемещается основание дуги в процессе отключения.

Кожух служит для изоляции полюсов друг от друга и выхлопных газов от металлических частей шкафа КРУ. Он состоит из трех изоляционных коробов, соединенных между собой. На выключателе кожух фиксируется распорками и болтами и опирается на основание.

Для передачи движения подвижным контактам полюсов от вала выключателя служит изоляционная тяга. Поршневое устройство служит для создания воздушного потока с целью перебрасывания дуги на дугогасительный рог.

Процесс отключения выключателя

При отключении сначала размыкаются рабочие, затем - дугогасительные контакты, между которыми возникает дуга. Под действием электродинамических сил контура и воздушного потока, созданного поршневым устройством, дуга перебрасывается на передний дугогасительный рог и включает в цепь катушку магнитного дутья. Создается магнитное поле, которое, взаимодействуя с током дуги, перемещает её со скоростью 30 м/с внутрь дугогасительной камеры. При движении вверх дуга удлиняется, попадая в лабиринтовые щели камеры. Соприкасаясь со стенками камеры, дуга охлаждается и через 0,01 – 0,02 с гаснет.

На рисунке 4.1 показаны различные положения, которые занимает электрическая дуга, поднимаясь по камере от положения А до положения Д. Одно её основание задерживается на металлокерамической напайке неподвижного дугогасительного контакта, а второе перемещается по верхней кромке подвижного дугогасительного контакта (положения «А», «Б»). Постепенно удлиняясь, дуга перебрасывается с подвижного контакта на правый рог и занимает положение «В».

Создается интенсивное магнитное поле, пронизывающее камеру перпендикулярно плоскости, в которой двигается дуга. Это магнитное поле взаимодействует с током дуги. Усилие воздействия магнитного поля на дугу направлено всегда в сторону затягивания дуги в камеру, где она занимает последовательно положения «Г» и «Д». Дуга приобретает зигзагообразную форму и отдает тепло керамическим пластинам. Благодаря этому сопротивление дуги увеличивается и, при очередном переходе тока через нуль, дуга гаснет. Горячие газы, образующиеся при горении дуги, выходят вверх по узким щелям между пластинами, охлаждаясь до такой степени, что выброса пламени из камеры не наблюдается.

При отключении малых токов (до 1000 А) напряженность магнитного поля, создаваемого катушками электромагнитов, весьма мала и не может обеспечивать быстрое вытягивание дуги в камеру. Для улучшения гашения дуги таких токов служит поршневое устройство.

Выключатели этого типа выпускается на напряжение 6 – 10 кВ, номинальный ток до 3200 А и ток отключения до 40 кА и имеют исполнения: ВЭМ – 6, ВЭ – 6, ВЭС – 6, ВЭЭ – 6, ВЭ – 10, ВЭЭС – 6.

Достоинства электромагнитных выключателей:

- полная взрыво – и пожаробезопасность;
- малый взнос дугогасительных контактов (до 40 отключений тока величиной 34 кА без ревизии и ремонта);
- пригодность для работы в условиях частых включений и отключений;
- относительно высокая отключающая способность.

Недостатки электромагнитных выключателей:

- сложность конструкции дугогасительной камеры с системой магнитного дутья;
- ограничений верхний предел номинального напряжения (не более 15 – 20 кВ);
- ограниченная пригодность для наружных установок.

Порядок выполнения работы

Изучить:

– назначение и конструкцию выключателей и их основных узлов (контактную систему, дугогасительное устройство, изоляцию между фазами, между токоведущими частями и заземленными частями, между размыкаемыми контактами в отключенном положении выключателей);

– электрическую схему при различных положениях выключателя (во включенном положении, в процессе отключения (гашения дуги), в отключенном положении);

– взаимодействие всех элементов во время работы выключателя;

– процесс гашения дуги в дугогасительном устройстве;

– основные технические параметры выключателей (номинальные напряжения, номинальные рабочие токи и токи отключения, времена включения и отключения, параметры динамической и термической стойкости);

– особенности каждого из типов выключателей и области их применения.

Содержание отчета

Каждый студент по данной работе составляет индивидуальный отчет по заданному преподавателем типу выключателя (см. таблицу 4.1).

Таблица 4.1

Вариант задания	Тип выключателя
1	ВЭМ-10Э
2	ВЭ-10
3	ВЭ-6
4	ВВТЭ-10
5	КВТ-10

Отчет содержит следующие разделы.

1. Цель работы.
2. Конструкция выключателя (схематично):
 - общий вид с указанием основных элементов;
 - дугогасительное устройство (основные элементы, их взаимодействие, воздействие магнитных полей на электрическую дугу на разных этапах ее гашения);
 - контактная система (положение подвижных и неподвижных контактов на разных этапах отключения выключателя).
3. Электрическая схема с указанием путей протекания тока на разных этапах процесса отключения.
4. Основные технические параметры (в форме таблицы) с указанием диапазона значений для заданного типа выключателя.
5. Расшифровка условного обозначения заданного выключателя.
6. Отличительные особенности выключателя по сравнению с другими.
7. Область применения выключателя.

Вопросы для самостоятельной подготовки

1. Что такое выключатель? Для чего он предназначен?
2. Какова особенность электромагнитных и вакуумных выключателей? Чем они отличаются друг от друга, от других типов выключателей?
3. Как выполнена изоляция токоведущих частей относительно друг друга, относительно земли и между размыкаемыми контактами в отключенном положении электромагнитных выключателей и как выполнена эта изоляция в вакуумных выключателях?
4. Как устроена контактная система в электромагнитных и вакуумных выключателях? Почему принята такая их конструкция? В какой последовательности размыкаются контакты в выключателях серий ВЭМ-10Э, ВВТЭ-10, КВТ-10? Для чего выбрана такая последовательность?
5. Какова величина зазора между контактами вакуумного выключателя в отключенном положении?
6. Как устроены дугогасительные устройства в электромагнитных и в вакуумных выключателях?
7. Как организовано магнитное дутье в электромагнитных выключателях при гашении дуги? Какие физические явления для этого используются?
8. Как и с какой целью в конструкции электромагнитного выключателя предусмотрено воздушное дутье?
9. Почему между размыкаемыми контактами при отключении вакуумных выключателей возникает дуга?
10. Какие физические явления используются для гашения дуги в вакуумных выключателях?

11. Для чего нужны металлические экраны в вакуумных выключателях?
12. В какой момент времени и за счет чего гаснет дуга в электромагнитных и в вакуумных выключателях?
13. Почему при отключении малых индуктивных токов вакуумными выключателями возможны коммутационные перенапряжения?
14. Каковы основные достоинства и недостатки электромагнитных выключателей?
15. Каковы основные достоинства и недостатки вакуумных выключателей?
16. Какова область применения электромагнитных и вакуумных выключателей?
17. Какие типы электромагнитных и вакуумных выключателей в настоящее время выпускается отечественной промышленностью?

ЛИТЕРАТУРА

1. Электрическая часть станций и подстанций: учеб. для вузов / А.А. Васильев, И.П. Крючков, Е.Ф. Неяшкова, М.Н. Околович; под ред. А.А. Васильева. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1990. 576 с.
2. Электрическая часть электростанций: учебник для вузов / под ред. С.В. Усова. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Энергоатомиздат, 1987. 616 с.
3. Рожкова Л.Д. и Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций: учебник для техникумов. М.: «Энергия», 1987.
4. Устройство комплектное распределительное (КРУ) К-104-М: Техническое описание и инструкция по эксплуатации. М.: Изд-во Московский завод "Электрощит", 1991. 98 с.
5. Электротехнический справочник: в 3-х т. Т. 2. Электротехнические устройства / Под общ. ред. проф. МЭИ В.Г. Жукова и др. 6-е изд., испр. и доп. М.: Энергоиздат, 1981. 640 с.
6. Чунихин А.А. Электрические аппараты: общий курс: учебник для вузов. 3-е изд. М.: Энергоатомиздат, 1988. 270 с.
7. Справочник по электрическим аппаратам высокого напряжения / под ред. В.В. Афанасьева. Л.: Энергоатомиздат, 1987. 544 с.
8. Электрические аппараты высокого напряжения / под ред. Г.Н. Александрова. Л.: Энергоатомиздат, 1989. 344 с.
9. Родштейн Л.А. Электрические аппараты: учебник для техникумов. 4-е изд. Л.: Энергоатомиздат, 1989. 304 с.
10. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций: справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: учебное пособие для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1989. 608 с.

Учебное издание

Кисель
Юрий Евгеньевич

СИЛОВЫЕ КОММУТАЦИОННЫЕ АППАРАТЫ

Методические указания
к лабораторным работам для студентов очного и заочного обучения
направления подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника

Редактор Осипова Е.Н.

Подписано к печати 19.12.2019 г. Формат 60x84. 1/16.
Бумага печатная. Усл. п. л. 2.15. Тираж 25 экз. Изд. №6592.

Издательство Брянского государственного аграрного университета
243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ