

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
«Тольяттинский государственный университет»

**МАШИНОСТРОЕНИЯ**  
(институт)

Кафедра «Управление промышленной и экологической безопасностью»

**20.04.01 Техносферная безопасность**

(код и наименование направления подготовки, специальности)

**Управление пожарной безопасностью**

(направленность (профиль))

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

на тему Исследование эффективности технических устройств и методов  
обеспечения пожарной безопасности элегазового энергетического оборудования

Студент(ка)	<u>А.В. Маняжин</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Научный руководитель	<u>к.т.н., профессор М.И. Фесина</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Нормоконтролер	<u>С.В. Грачева</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)

Руководитель магистерской  
программы к.т.н., профессор М.И. Фесина \_\_\_\_\_  
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия) (личная подпись)

«26» мая 2016г.

**Допустить к защите**

Заведующий кафедрой д.п.н., профессор Л.Н.Горина \_\_\_\_\_  
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия) (личная подпись)

«26» мая 2016г.

Тольятти 2016

## РЕФЕРАТ

Отчет 88 с., 3 ч., 1 таб., 25 рис., 43 источника.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ И МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕГАЗОВОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Объектом исследования является энергетическое электрооборудование, содержащее элегаз.

Цель диссертационного исследования состоит в возможности и эффективности элегазового энергетического оборудования для пожарной безопасности энергетических объектов.

Выдвижение данной цели обусловило постановку следующих исследовательских задач:

1. Рассмотреть элегазовое оборудование как пожаробезопасное и сравнить с другим оборудованием применяемыми в энергетике.
2. Провести анализ токсической опасности элегазового оборудования.
3. Исследовать экономическую обоснованность применения элегаза в энергетическом оборудовании.

В результате исследования рассматривалось энергетическое оборудование с разнообразными веществами для дугогашения.

Научно-практическая значимость исследования.

Практическое значение диссертационного исследования заключено в возможности использования нового пожаро - безопасного энергетического оборудования с применением элегаза как дугогасящего вещества в энергетическом оборудовании.

## СОДЕРЖАНИЕ

РЕФЕРАТ	2
СОДЕРЖАНИЕ	3
ОПРЕДЕЛЕНИЯ	4
ОБОЗНОЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	6
ВВЕДЕНИЕ	8
1. СОСТАВ СООРУЖЕНИЙ ГЭС	14
2. КОММУТАЦИОННАЯ АППАРАТУРА	18
3. ВИДЫ, УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ	21
3.1 Выключатели автопневматические	22
3.2. Выключатели электромагнитные	23
3.3 Выключатели автогазовые	31
3.4 Выключатели масляные (баковые, маломасляные)	31
3.4.1 Выключатели баковые	31
3.4.2 Выключатели маломасляные	32
3.5 Выключатели воздушные	43
3.6 Выключатели вакуумные	58
3.7 Выключатели элегазовые	71
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	83
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	85

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящей магистерской диссертации применяют следующие термины с соответствующими определениями:

1. Элегаз, он же шестифтористая сера, он же гексафторид серы, он же SF<sub>6</sub>;
2. Электрическая прочность- характеристика диэлектрика, минимальная напряжённость электрического поля, при которой наступает электрический пробой;
3. Коэффициент теплового расширения- физическая величина, характеризующая относительное изменение объёма или линейных размеров тела с увеличением температуры на 1 К при постоянном давлении;
4. Дугогасящие среды - (масло, элегаз, вакуум), используемые в коммутационных аппаратах, обуславливают своеобразие процессов в дугогасительных устройствах, влияющих на перенапряжения;
5. Коммутация в переходных процессах - мгновенное изменение параметров электрической цепи;
6. Комплектное распределительное устройство - устройство, состоящее из полностью или частично закрытых шкафов или блоков со встроенными в них аппаратами, устройствами защиты и автоматики;
7. Подстанция - электроустановка, предназначенная для приема, преобразования и распределения электроэнергии, состоящая из трансформаторов или других преобразователей электроэнергии, устройств управления, распределительных и вспомогательных устройств;
8. Трансформаторная установка – электрическая высоковольтная установка (ЭВУ), имеющая электрические высоковольтные трансформаторы;
9. Блокировка - устройство, выполняющее недопущение работы электрооборудования под напряжением ;
10. Электрооборудование - оборудование для преобразования, производства, распределения, передачи, потребления и изменения параметров электрического тока, напряжения;

11. Электроустановка - установка, связанная одним процессом линиями и вспомогательным оборудованием.

## ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

1. МЧС – Министерство по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий;
2. ГОСТ – государственный стандарт;
3. МЭК – международная электротехническая комиссия;
4. ЛЭП – линия электропередачи;
5. РУ -электроустановка, служащая для приёма и распределения электрической энергии одного класса напряжения;
6. КРУ– комплексные распределительные устройства;
7. КРУН - комплектное распределительное устройство наружнойустановки;
8. ВВ - выключатели воздушные;
9. ВЭМ- выключатели электромагнитные;
10. RC-цепь — электрическая цепь, состоящая из конденсатора и резистора;
11. ОПН- ограничители перенапряжений;
12. ДГУ- дизель-генераторная установка;
13. ДУ -дугогасительные устройства;
14. КЗ – короткое замыкание;
15. ГРУ – герметизированное распределительное устройство;
16. ОРУ – открытое распределительное устройство;
17. К – кельвин единица термодинамической температуры в Международной системе единиц;
18. А – ампер единица измерения силы электрического тока в Международной системе единиц;
19. Па - единица измерения давления (механического напряжения) в Международной системе единиц;
20. АПВ - автоматическое повторное включение;
21. В – вольт единица измерения электрического потенциала, разности потенциалов, электрического напряжения и электродвижущей силы;
22. ВО - рабочий цикл (во взрывозащите);

23. ВЭВ – высоковольтный электрический выключатель;

24. ЭГС – энергогенерирующая станция.

## ВВЕДЕНИЕ

Бурное развитие науки и техники, производств с применением инновационных материалов, усиленное развитие всех отраслей промышленности, в технологических процессах которых используется большое количество пожаро- и взрывоопасных веществ, требует постоянного внимания к предупреждению и тушению пожаров. Тушение пожаров, спасение людей, оказавшихся в опасности, наряду с профилактическими мероприятиями – важнейшие задачи подразделений пожарной охраны. Пожары и все процессы, связанные с их возникновением и развитием, требуют целенаправленного управления, которое предполагает осуществление организационных, технических и экономических мер повышения роли правового регулирования отношений между соответствующими хозяйственными органами и органами, призванными обеспечивать пожарную охрану населённых пунктов и объектов, а также дальнейшее совершенствование их организации и деятельности.

Пожар представляет собой сложный физико-химический процесс, включающий помимо горения явления массо- и теплообмена, развивающиеся во времени и пространстве. Эти явления взаимосвязаны и характеризуются параметрами пожара: скорость выгорания, температурой и т.д. и определяются рядом условий, многие из которых носят случайный характер. Эти условия могут привести к взрывам, деформации и обрушению технологических аппаратов и установок, строительных конструкций, вскипание или выброс нефтепродуктов.

В настоящее время для пожарно-спасательной службы МЧС России основной задачей является безопасность людей, тушение пожаров повышению эффективности минимальным материальным ущербом. При тушении пожаров и ликвидации аварий на энергетических объектах имеется опасность поражения электрическим током людей.

Актуальность темы диссертационных исследований заключается в предупреждении возникновения пожаров и минимизации негативных последствий от пожаров на объектах энергетики, которые могут иметь



катастрофические последствия. Пожары на объектах электрооборудования могут серьезно повлиять на энергоснабжение потребителей, доходы сетевого электрогенерирующего и электрораспределяющего предприятия и его активы. Также пожары могут создать угрозу рабочему персоналу, аварийным бригадам, сотрудникам МЧС и людям случайно оказавшимся вблизи. Рассмотрение и анализ всех причин и последствий возникновения пожара, принятие соответствующих эффективных противопожарных мер, позволяют снизить риск их образования, минимизировать негативные последствия пожара и является одними из ключевых управленческих факторов для проектировании и эксплуатации нового или существующего оборудования в соответствии с техническим заданием на проектирование и эксплуатацию в полном соответствии с действующими нормативами регламентов безопасности, требованиями ГОСТ и международных стандартов таможенного союза, требований МЭК и заключается в обеспечении энергетической безопасности, как одной из важнейших составляющих национальной безопасности России. Все это обеспечивает относящейся устойчивостью энергетического сектора к внешним и внутренним экономическим, техногенным и природным угрозам, надежное топливопотребление и энергообеспечение, а также уменьшает ущерб, вызванный пожарами, различными авариями и чрезвычайными ситуациями. В последнее время в России происходит рост пожаров на энергетических объектах, что приводит к большому материальному ущербу и сопровождается травмами и гибелью людей (пожар Братской ГЭС, Красноярской ГЭС, Новосибирской ГЭС и др.). Главной причиной пожаров на энергетическом оборудовании является устаревшее энергетическое оборудование, увеличение потребления электрической энергии без наращивания мощностей энергетического оборудования, отсутствие контроля обслуживающими организациями и надзорными органами за состоянием электрооборудования, режимами работы в неблагоприятных условиях и др.

В качестве примеров возгораний на объектах энергетической отрасли можно отметить следующие:

12 мая 2010 года в результате сильного задымления на монтажной площадке Нижнекамской ГЭС у города Набережные Челны (Татарстан) один человек погиб и десять пострадали. Согласно сообщению от радиотелефониста пожарной части №184, задымлению предшествовал «звуковой» хлопок в зоне монтажной площадки. Все технические параметры работы электрической станции оставались при этом в норме, механических разрушений отмечено не было. Причина пожара произошла из-за утечки масловоздушной смеси и привела к взрыву трансформатора, что, в свою очередь, вызвало обрушение кровли здания и пожар.

12 сентября 2007 года на Новосибирской ГЭС произошел пожар на блочном силовом электротрансформаторе. Весь персонал был оперативно эвакуирован из здания ГЭС, никто не пострадал. Нагрузка станции, которая обеспечивает электроэнергией часть Советского и Ленинского районов Новосибирска, была снижена до нуля. Полностью потушить пожар удалось через два часа. Причиной аварии стало замыкание на одном из трансформаторов подстанции.

11 марта 2004 года на ГЭС-10, расположенной на реке Вуокса в городе Светогорске Выборгского района Ленинградской области, произошло короткое замыкание. Станция остановилась, шлюзы стало затоплять и возникла опасность подтопления города, в котором проживает около 15 тыс. человек. Аварийной службой шлюзы были подняты вручную, и угроза подтопления города исчезла. На снабжении города электроэнергией авария на ГЭС не отразилась, поскольку электрическая станция работала исключительно на экспорт электрической энергии. Причиной аварии стало замыкание на одном из трансформаторов подстанции.

10 октября 2001 г. Произошло землетрясение в Забайкалье. Возникла авария и пожар на подстанции Иркутской ГЭС. Через час пожар был ликвидирован. На энергоснабжении города и предприятий это не отразилось. Причиной аварии стало замыкание на одном из трансформаторов подстанции.

19 августа 2006 года на Бурейской ГЭС (Приамурье) вышел из строя блочный трансформатор 4-го гидроагрегата. Причиной аварии стало межвитковое

замыкание высоковольтной обмотки трансформатора. Вовремя сбой последовательно сработали все защиты. Трансформатор вывел из работы оперативный персонал, т. е. не последовало ни пожара, ни взрыва, пострадавших нет. Однако поломка привела к длительной, более месяца остановке гидроагрегата.

Одним из ключевых шагов в разработке нового и оценке возможной модернизации существующего оборудования объектов энергетики является определение возможных причин пожаров. Как только потенциальные пожарные опасности проектируемого или уже эксплуатируемого оборудования идентифицированы, тогда меры профилактики и противопожарной защиты могут быть соблюдены, что позволяет устранить полностью или существенно снизить риск возникновения пожара.

Есть широкий диапазон типов и причин пожаров, которые могут произойти на энергетическом оборудовании. Типы пожаров зависят от конкретного вида и технических особенностей оборудования и используемых устройств. Пожары с связанные с энергетическим оборудованием, использующим трансформаторное масло, применяемого в качестве изоляции или средства гашения дуги, охлаждаемые водородом синхронные компенсаторы, маслонаполненные кабели.

Находящиеся под напряжением, электрические кабели, оборудованные горючей изоляцией и оболочкой, могут быть главной опасностью возникновения загорания и пожара. Они представляют собой комбинацию причины возникновения электрической искры в качестве источника воспламенения. Повреждение изоляции электрического кабеля может привести к интенсивному тепловыделению, способному зажечь изоляцию кабеля, которая может продолжать гореть и выделять тепло, а также большое количество ядовитого дыма. Еще более опасны в этом отношении маслонаполненные кабели. Пожароопасность эксплуатируемого оборудования с изоляцией, содержащего трансформаторное масло, такого как электротрансформаторы, реакторы,

выключатели, содержащих в больших объемах горючую жидкость, которая может легко воспламениться при соответствующем повреждении оборудования.

Необходимо отметить, что в настоящее время нарастает количество выпускаемых аппаратов, которые используют в качестве огнетушащего технологического вещества дугогасительной среды элегаз вместо до сих пор применяемых масляных и воздушных выключателей.

Задачей представленных научно-технических исследований является изучение и систематизация знаний (достигнутых технических результатов) использования элегаза в качестве эффективного технического приёма обеспечения повышенной безопасности эксплуатации электроэнергетических установок за счёт применения элегаза взамен альтернативного использования технических устройств, содержащих масляные и воздушные выключатели.

Анализ технических характеристик элегаза и его свойства. Заурядные характеристики элегаза открыли в СССР, начало применения элегаза также происходило в СССР. Советский ученый Б. М. Гохберг изучал характеристики и электрические свойства газов, в том числе и элегаза.

Проанализировав все данные Б. М. Гохберг предложил применять элегаза в виде изоляционной среды электрооборудования высокого напряжения. В 1942 году в СССР Б. М. Гохберг получил свидетельство на изобретение «Высоковольтный аппарат с элегазом».

Элегаз имеет следующие экологические характеристики: потенциал разрушения озонового слоя  $ODP = 0$ , потенциал глобального потепления  $GWP = 24\ 900$ , входит в число так называемых «новых газов» Киотского протокола.

Киотский протокол — международное соглашение, принятое в Киото (Япония) в декабре 1997 года в дополнение к Рамочной конвенции ООН об изменении климата (РКИК). Оно обязывает развитые страны и страны с переходной экономикой сократить или стабилизировать выбросы парниковых газов.

В Париже Киотский протокол заменили Соглашением об изменении климата

Представители почти двух сотен стран мира договорились о сокращении на своих территориях выбросов парниковых газов.

Переговоры делегаций 196 стран шли около двух недель. Их результатом стала Рамочная конвенция ООН об изменении климата, которая станет заменой Киотского протокола.

Страны договорились, что их общей целью будет сдержать глобальное потепление на планете к 2100 году на уровне 1,5-2 градусов. В этом случае последствия в виде засух, наводнений и других природных катаклизмов коснутся 300-500 миллионов человек. Если же потепление достигнет 3 градусов, количество людей, живущих в зоне риска, увеличится до трех миллиардов.

## 1. СОСТАВ СООРУЖЕНИЙ ГЭС

На примере Жигулевской ГЭС в данной диссертационной работе рассматривается энерготехническое оборудование применяемое на гидроэлектростанциях, которое может послужить причиной аварий и пожаров. Гидроэлектростанция (ГЭС) — сооружения и оборудование, которые преобразуют водный поток в электрическую энергию. ГЭС представляет собой всевозможные гидротехнические сооружения, которые преобразуют напор воды в механическую энергию вращения, затем она преобразуется в электрическую энергию. Электрогенерирующие станции (ЭГС) (ГЭС, ТЭЦ, АЭС) состоят из комплекса основных сооружений и оборудования, в которые входят: гидротурбины, оборудование для управления и контроля, электрическая трансформаторная подстанция, открытые и закрытые распределительные устройства, оборудование для вспомогательных целей, площадка для монтажа, сборки и ремонта оборудования ЭГС [1] (рис. 1).



Рисунок 1 – Состав типичного энергетического оборудования и строительных сооружений ЭГС

Рабочее технологическое оборудование ЭГС по функциональному назначению делится на несколько групп рис 2.

- Гидросиловое оборудование: гидротурбины и гидрогенераторы.

- Механическое оборудование: затворы, решетки для удержания мусора, механизмы для подъема грузов, Оборудование для санитарно-техническое нужд, предназначено для отопления, вентиляции, пожаротушения, водоснабжения и канализации.
- Электротехническое оборудование: генераторы (электрическая часть), повышающие электрические трансформаторы, коммутационная аппаратура.

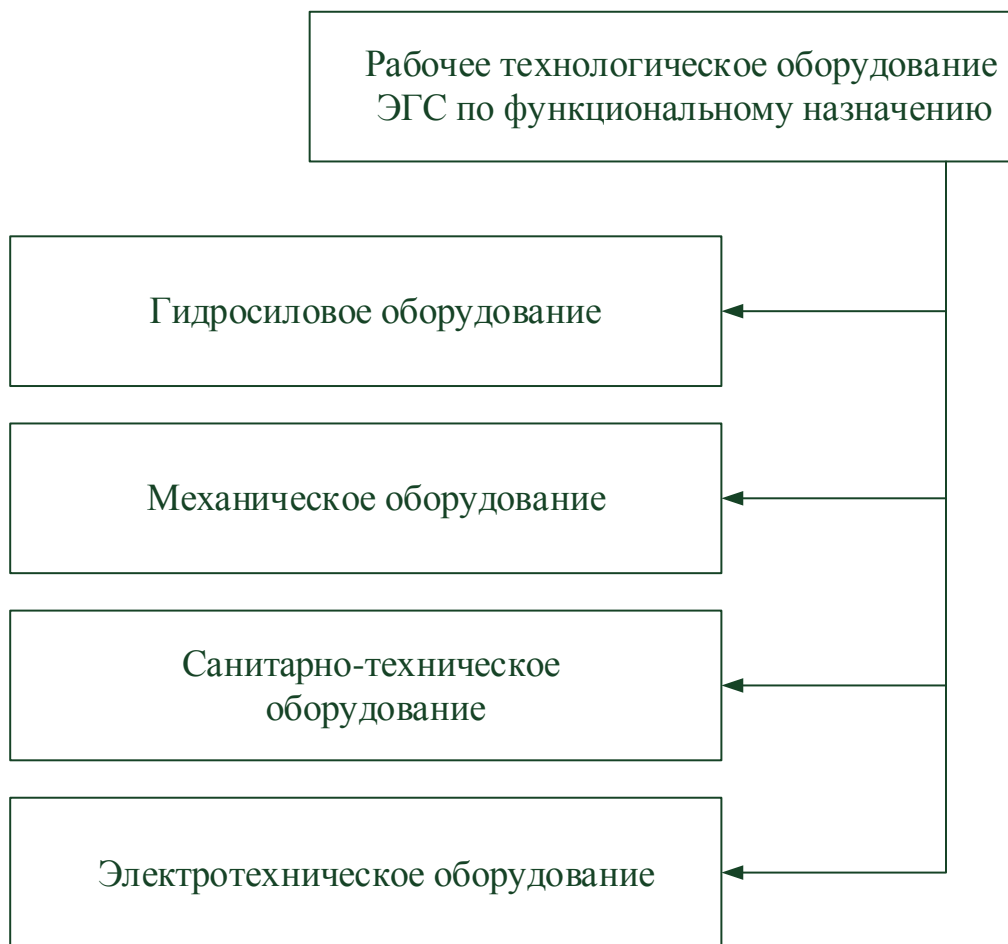


Рисунок 2 - Блок-схема состава типичного рабочего технологического оборудования ЭЭС различного функционального назначения

Электрооборудование делится на три группы по рабочему напряжению: оборудование генераторного напряжения (6,3 – 15,7 кВ), повышенного напряжения (35 – 750 кВ) и пониженного напряжения (0,38 – 6,3 кВ). Как правило аварии и пожары происходят на электротехническом оборудовании, это как



правило приводит к большому материальному ущербу, а также к гибели людей. (таблица 1).

Таблица 1 - Источники и типы пожаров на подстанциях.

<b>Типы и источники огня</b>	<b>Проценты</b>
Высоковольтные электрические выключатели масляные	15.2
Электрические трансформаторы тока	13.8
Электрические силовые трансформаторы	8.9
Искрообразующие работы (сварка, резка и шлифовка)	9.7
Электрические высоковольтные трансформаторы напряжения	7.3
Электрические генераторы	7.4
Поджоги	5.0
Курение в неполюженном месте	7.2
Молния	3.7
Легковоспламеняющиеся жидкости (хранение или работа)	4.1
Другое	14.8

Из таблицы 1 видно, что причины пожаров в основном является электротехническое оборудование – 52,6 %.

## 2. КОММУТАЦИОННАЯ АППАРАТУРА

Электротехническое оборудование применяемое в настоящее время в России, и которое используют ЭГС, по техническим характеристикам является устаревшим и не безопасным. Однако энергетическая политика руководства страны направлена на модернизацию и замену энергетического оборудования на более современное, безопасное, экологически и экономически приемлемое. Другими словами, оборудование должно быть современным, высокотехнологичным и безопасным. К безопасности предъявляются особые требования – в условиях производства всегда высок риск возникновения аварий, пожаров [9]. Одной из причин пожаров на электротехническом оборудовании является образование электрической дуги. Электрическая дуга появляется из электрического разряда во время размыкания электрической цепи. Электрическая дуга возникает на контактах при условии, что напряжение выше 10 В, а ток в цепи 0,1А и более. При высоком напряжении и токе температура достигает 10...14 тыс. °С внутри дуги, в следствии чего токоведущие части и контакты плавятся. Электрическая дуга образуется при расхождении контактов, вначале уменьшается контактное давление и контактная поверхность, вырастает переходное сопротивление, образуются перегревы контактов и проводки, в результате которые образуют термоэлектронную эмиссию, при повышении в контактах электрического оборудования температуры, возрастает скорость движения электронов. При электрических напряжениях 110 кВ и больше, дуга достигает нескольких метров. Вследствие этого электрическая дуга, особенно в мощных силовых электрических цепях, на электрическом напряжении больше 1 кВ является большой опасностью, но и электрическом напряжении ниже 1 кВ опасность не уменьшается. В следствии этого электрическую дугу нужно максимально быстро погасить в электрических цепях на напряжении как больше, так и меньше 1 кВ. На Жигулевской ГЭС в виде сооружений имеются подстанции с напряжением от 110 до 550 кВ. Эти подстанции являются одними из наиболее подходящих для образования электрической дуги в силовых цепях.

Для выполнения переключений части схемы, а также отключения электротехнического оборудования в случае аварий и пожаров применяется коммутационная аппаратура - выключатели и разъединители. Коммутационная аппаратура - это электрические устройства, осуществляющие включение, выключение и переключение электрических цепей, приборов и сетей, а также для управления работой различных электротехнических установок и защиты их отдельных элементов при нарушении нормальных режимов работы. По назначению коммутационная аппаратура делится на две группы (рис. 3): непосредственного и дистанционного включения. Аппаратура непосредственного включения электрических цепей - это кнопочные выключатели, переключатели, рубильники. Эту аппаратуру приводит в действие непосредственно обслуживающий персонал. Аппаратура, служащая для дистанционного включения, выключения или переключения электрических цепей (контакторы, магнитные пускатели, реле, высоковольтные выключатели). Аппараты этой группы приводятся в действие датчиков или защитной аппаратуры и могут быть установлены на существенном расстоянии от служебных помещений. Основными узлами аппаратов являются контактные соединения, высоковольтные выключатели с дугогасительными устройствами, электромагнитная система. Для предотвращения образования электрической дуги и возникновения пожаров на электротехническом оборудовании рассмотрим высоковольтные выключатели с дугогасительными устройствами [1].

Высоковольтный электрический выключатель (ВЭВ) — коммутационный аппарат, применяется для аварийных включений и отключений электрических цепей и энергетического оборудования в системе ЭЭС в рабочем положении или аварийных ситуациях, управление происходит в ручном, дистанционном или автоматическом режиме.

Основными частями ВЭВ являются, контактная дугогасительная система, части по которым проходит электрический ток, корпус и приводной механизм.



Рисунок 3 – Структурный состав коммутационной аппаратуры электрического оборудования типичной ЭЭС

### 3. ВИДЫ, УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

ВЭВ по способу гашения дуги подразделяются на автопневматические, автогазовые, воздушные, элегазовые, электромагнитные, масляные и вакуумные. Перечень используемых видов технических устройств ВЭВ приведен на рис. 4.



Рисунок 4 – Виды технических устройств ВЭВ, используемых в электротехническом оборудовании ГЭС

### 3.1 Выключатели автопневматические

Электрическая дуга в автопневматических ВЭВ гасится потоком сжатого воздуха, который создает поршень, движущийся вместе с подвижным контактом. Устройство автопневматического ВЭВ изображено на (рис. 5). Неподвижный контакт 2 находится внутри дугогасительной камеры 1, обладающей изоляционным соплом 5, в сопло проходит подвижный контакт и поршень 6 начинают перемещаться синхронно. Перед выходом подвижного контакта 4 из отверстия сопла доступ воздуха из камеры заблокирован, и в камере создается избыточное давление. Затем подвижной контакт выходит из отверстия сопла, в это время поршень нагнетает воздух, воздух начинает выходить из дугогасительной камеры, происходит продольное дутье и электрическая дуга 3 гасится.

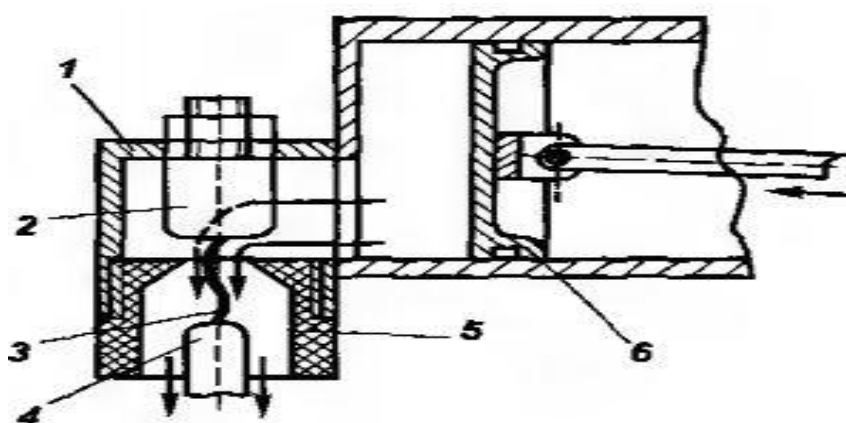


Рисунок 5 - Выключатель автопневматический

Способ гашения при помощи автопневматического ВЭВ имеет преимущество в том, что не ему не нужна дорогая компрессорная установка и резервуары для сжатого воздуха снабженного схемами для пневматического дутья. Это разрешает получать конструктивно простые и недорогие автопневматические ВЭВ. Но при автопневматическом способе гашения электрической дуги избыточное давление составляет не более 3...7 МПа. В результате этого недостатка сфера применения автопневматических ВЭВ ограничена напряжением 5~25 кВ, а мощность отключения составляет 1-600 МВт. Автопневматические ВЭВ в рабочем состоянии могут производить до 30...35

включений-отключений в час. Так как они ограничиваются малым напряжением, использование этих выключателей на подстанциях ГЭС не представляется возможным.

### 3.2. Выключатели электромагнитные

Область применения электромагнитных ВЭВ ограничена электрическим напряжением, которое составляет 5—30 кВ. Однако электромагнитные ВЭВ такого типа обширно применяются в КРУ. Номинальный ток электромагнитных ВЭВ достигает значений в 3300 А, а номинальный ток отключения 50 кА. Если сравнивать электромагнитные ВЭВ с масляными ВЭВ и воздушными ВЭВ, затраты на эксплуатацию и обслуживание этого типа выключателей небольшие.

Работа и принцип действия электромагнитного ВЭВ заключается в том, что магнитное поле влияет на электрическую дугу, затем происходит удлинение электрической дуги и она попадает в дугогасительную камеру (рис. 6,7) узкощелевого типа, там электрическая дуга контактирует со стенками камеры, и охлаждается [10].

Гашение электрической дуги в узкощелевом дугогасителе электромагнитного ВЭВ являются существенно более легкими, в отличие от других типов ВЭВ.

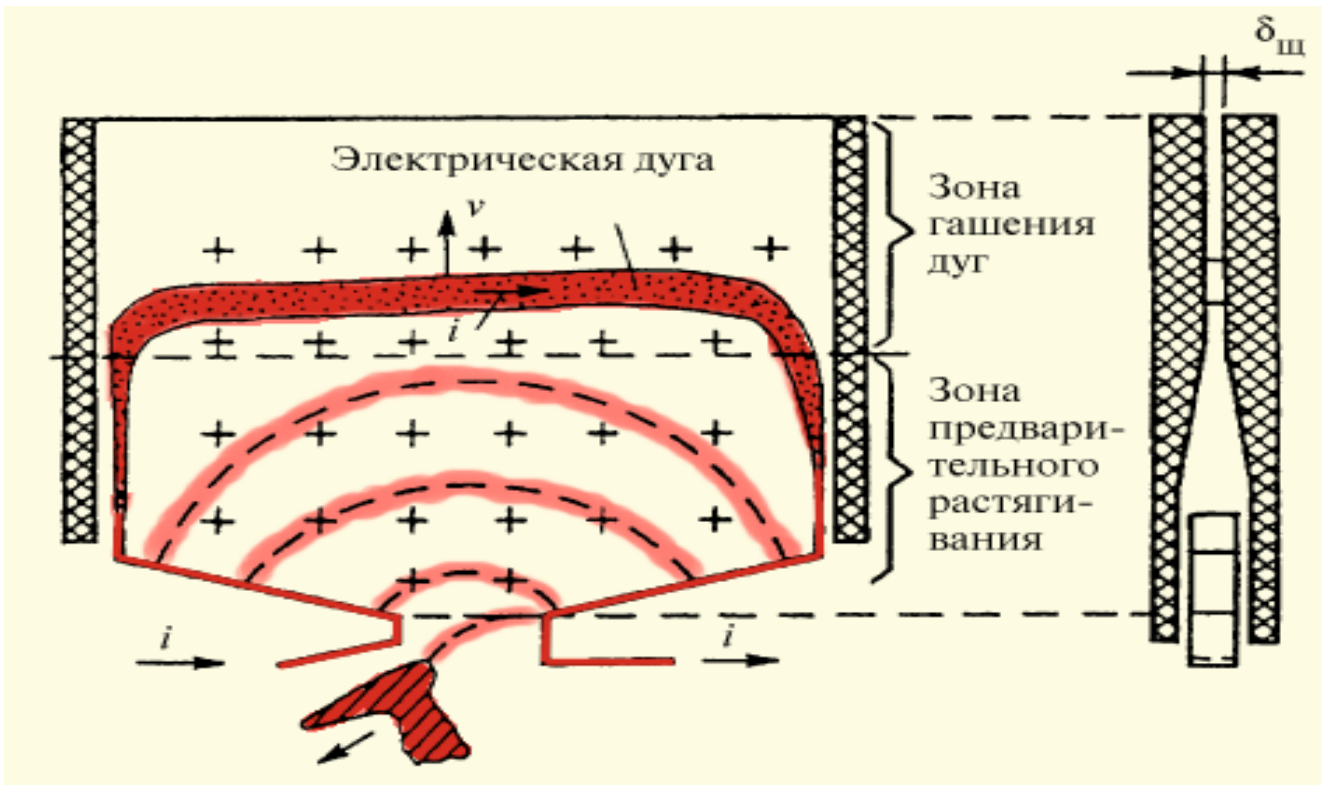


Рисунок 6 – Работа и принцип действия электромагнитного ВЭВ

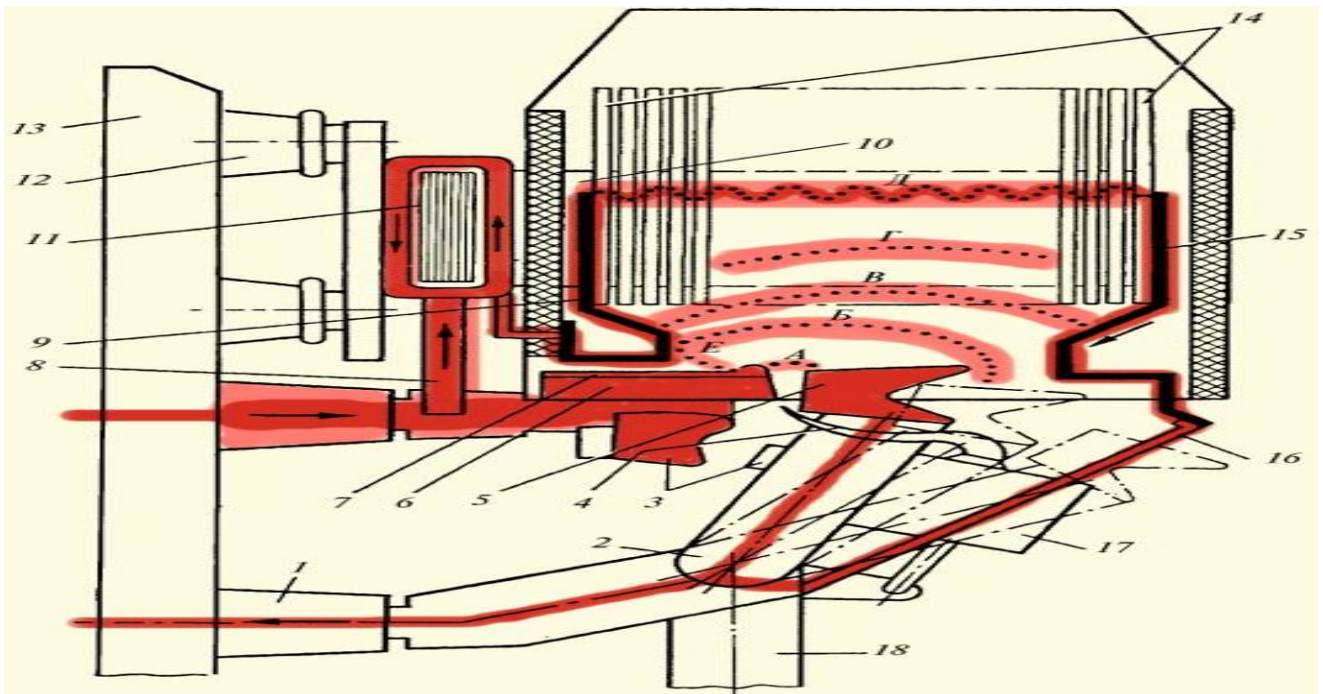


Рисунок 7 - Дугогасительное устройство электромагнитного ВЭВ.



Стальная рама 13 на ней укреплена дугогасительная камера 14 и катушка магнитного дутья 11 с магнитными полюсами 10 при помощи изоляторов 12. На опорном изоляторе 1 при помощи изоляционной тяги 18 происходит вращение подвижного контакта 2. В ВЭВ имеются дугогасительные 5, 6 контакты главный 3 контакт. Функции и назначение их разные: главный контакт предназначен для прохождения тока при включенном ВЭВ, серебряные накладки на нем служат для переходного сопротивления; дугогасительный контакт предназначен для обеспечения режима коммутации, на этом контакте применено армирование электродугостойкой металлокерамикой 7. Во время размыкания дугогасительных контактов 5, 6 возникает между ними электрическая дуга и под действием электродинамических сил происходит перемещение электрической дуги вверх. По мере выростания электрической дуги на рис. 7 изображены различные этапы ее положения (А, Б, В, Г, Д, Е). Неподвижный дугогасительный контакт 6 отделен изоляционным промежутком от дугогасительного рога 9, это необходимо для того, чтобы происходило включение посредством связи 8 катушки магнитного дутья 11 в момент перехода основания электрической дуги на дугогасительный рог (шунтирование участка дуги Е происходит при помощи катушки магнитного дутья 11). Проходя все этапы гашения электрической дуги А—Е—Б—В—Г—Д в магнитном поле, которое образует катушка магнитного дутья, при помощи связи 16 и дугогасительным рогом 15, электрическая дуга удлиняется, до больших линейных размеров (до 2 м), это приводит к условиям для ее гашения.

Отмечается, что при небольших токах отключения (десятки ампер) на начальном этапе развития электрической дуги, электродинамические силы недостаточны и ее вхождение в ДУ не происходит. Чтобы устранить этот недостаток применяется автопневматическое устройство 17. Поршень автопневматического устройства соединен с подвижным контактом 2, из-за этого происходит выброс струи сжатого воздуха по трубке 4 автопневматического устройства на неподвижный дугогасительный контакт 6 и происходит переход электрической дуги на дугогасительный рог 9.

Электромагнитные ВЭВ применяются в электроустановках, где происходят частые коммутации номинальных токов (для собственных нужд ЭГС) при электрическом напряжении до 15 кВ. Одна из основных серий этих электромагнитных ВЭВ ВЭ-10 (номинальный ток до 3700 А, ток отключения до 50 кА). Время отключения электромагнитных ВЭВ до 0,07 секунд. Коммутационные ресурсы электромагнитных ВЭВ при номинальных токах составляют от 4000 до 90000 циклов. Недостатки присущие электромагнитным ВЭВ: большие габариты и масса по сравнению с другими ВЭВ, сложность конструкции с системой магнитного дутья, ограничение использования по электрическому напряжению (номинальное электрическое напряжение электромагнитного ВЭВ составляет  $\leq 13$  кВ). В настоящее время эти типы ВЭВ вытесняются вакуумными и элегазовыми выключателями.

На примере нескольких патентов рассмотрим характеристики электромагнитных выключателей:

Электромагнитный выключатель (рис.8) (RU 983793) [17]

Авторы патента:

Горбачев Григорий Сергеевич (RU), Матейченко Владимир Иванович (RU), Апольцев Юрий Анатольевич (RU), Муравин Константин Васильевич (RU).

Изобретение относится к выключателям высокого напряжения.

Целью изобретения является получение равномерного распределения индукции поперечного магнитного поля вдоль длины дугогасительной камеры, повышение эффективности гашения дуги и увеличение надежности работы выключателя.

Поставленная цель достигается тем, что в выключателе, содержащем привод, главные и дугогасительные контакты, дугогасительную камеру, имеющую два пакета из дугостойких изоляционных пластин со щелями, два боковых и два центральных рога, закрепленных на изоляционных пластинах, электромагнит с двумя катушками, каждая из которых соединена одним выводом с одним из центральных рогов, сердечник электромагнита выполнен в виде двух П-образных магнитопроводов, концы которых соединены между собой. внахлест

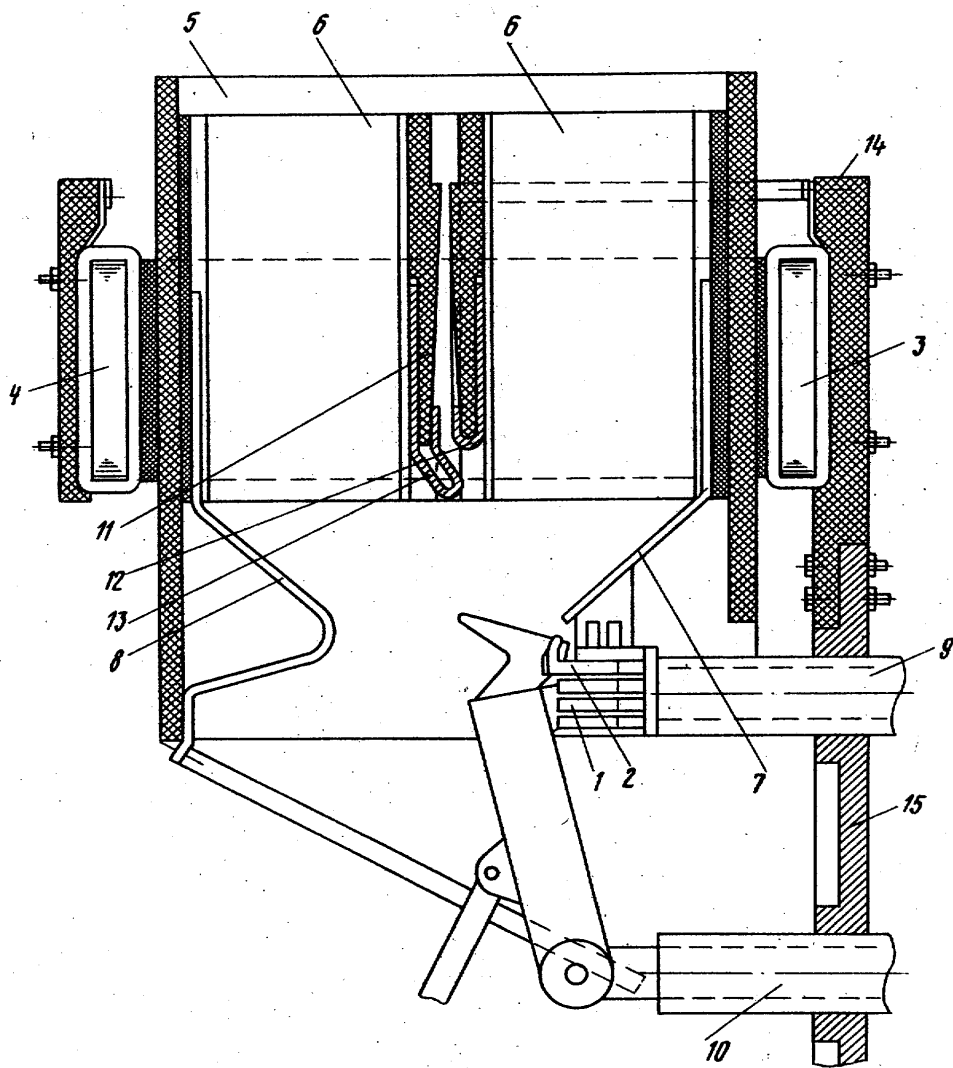
через изоляционную перегородку, при этом сечение концов магнитопроводов в два раза меньше, чем сечение остальных их участков, катушки другими выводами соединены встречно-последовательно, центральные рога выполнены в виде изогнутых полос, прямолинейные ветви которых расположены на внешней и внутренней поверхностях изоляционных пластин, а их средние части изогнуты в зигзаг в противоположные стороны в плоскостях, перпендикулярных плоскости движения контактов, при этом средняя часть одного рога, смещенного в сторону контактов, изогнута в плоскости движения контактов навстречу средней части другого рога.

На фиг. 1 (рис.8) изображена принципиальная конструкция выключателя; на фиг. 2 магнитная система; на фиг. 3 а, б (рис.8) - конструкция центральных рогов, в двух проекциях; на фиг. 4 (рис.8) разрез В-В на фиг. 3 б (рис.8); на фиг. 5 (рис.8) разрез А-А на фиг. 3а (рис.8); на фиг. 6 (рис.8) схема процесса отключения тока КЗ.

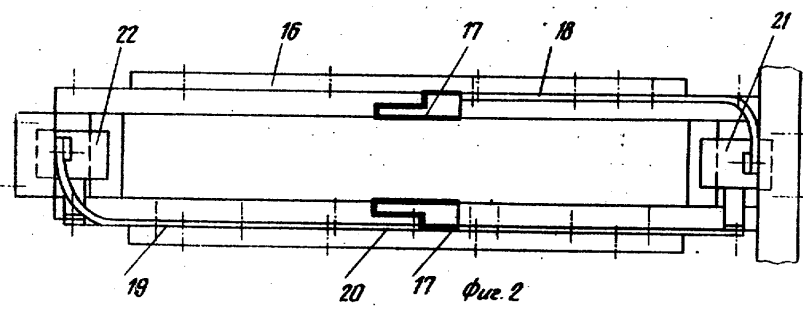
Формула изобретения:

Электромагнитный выключатель, содержащий привод, главные и дугогасительные контакты, дугогасительную камеру, имеющую два пакета из дугостойких изоляционных пластин со щелями, два боковых рога, два центральных рога, закрепленных на изоляционных пластинах, электромагнит с двумя катушками, каждая из которых соединена одним выводом с одним из центральных рогов, отличающийся тем, что, с целью получения равномерного распределения индукции поперечного магнитного поля вдоль длины дугогасительной камеры, повышения эффективности гашения дуги и увеличения надежности работы выключателя, сердечник электромагнита выполнен в виде двух П-образных магнитопроводов, концы которых соединены между собой внахлест через изоляционную перегородку, при этом сечение концов магнитопроводов в два раза меньше, чем сечение остальных их участков, катушки другими выводами соединены встречно-последовательно, центральные рога выполнены в виде изогнутых полос, прямолинейные ветви которых расположены на внешней и внутренней поверхностях изоляционных пластин, а их средние

части изогнуты в зигзаг в противоположные стороны в плоскостях, перпендикулярных плоскости движения контактов, при этом средняя часть одного рога смещенного в сторону контактов, изогнута в плоскости движения контактов навстречу средней части другого рога.



Фиг. 1



Фиг. 2

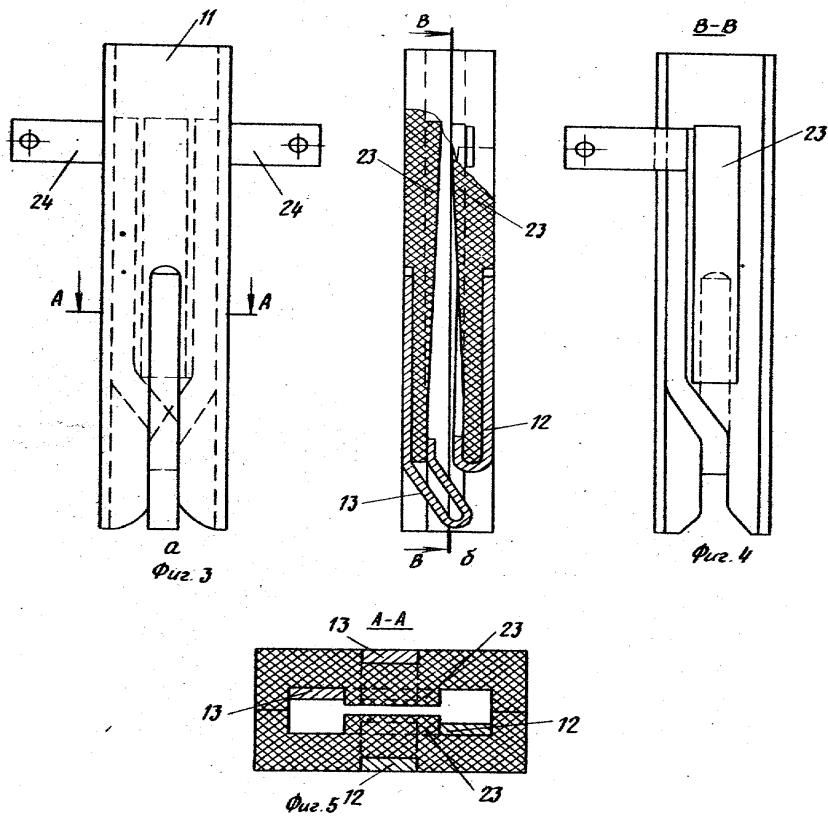


Рисунок 8 - Электромагнитный выключатель

## Электромагнитный выключатель (RU 2214640) [18]

Авторы патента:

Душкин Александр Владимирович (RU), Половинкин Евгений Петрович (RU),  
Слюсаренко Андрей Викторович (RU)

Изобретение относится к области электротехники и может быть использовано в высоковольтных выключателях с электромагнитным приводом на магнитной защелке.

Заявляемое техническое решение направлено на создание высоковольтного выключателя, характеризующегося относительно простой конструкцией, небольшим весом, удобством в эксплуатации.

Поставленная задача решается за счет следующего: высоковольтный выключатель содержит три полюса с вакуумными дугогасительными камерами, установленными на основании, электромагнитное приводное устройство, установленное на том же основании на обратной стороне. Подвижная часть электромагнитного приводного устройства соединена с изоляционными тягами вакуумных дугогасительных камер тягой, расположенной в плоскости, перпендикулярной осям изоляционных тяг. Электромагнитное приводное устройство состоит из двух электромагнитных приводов, установленных в один ряд с полюсами между средней и крайними изоляционными тягами.  
Формула изобретения:

1. Высоковольтный выключатель с электромагнитным приводом, содержащий три полюса с вакуумными дугогасительными камерами, установленными на основании, электромагнитное приводное устройство, установленное на том же основании на обратной стороне, причем его подвижная часть соединена с изоляционными тягами вакуумных дугогасительных камер общей тягой, расположенной в плоскости, перпендикулярной осям изоляционных тяг и электромагнитного приводного устройства, отличающийся тем, что электромагнитное приводное устройство содержит два электромагнитных привода, установленных в один ряд с полюсами между средней и крайними изоляционными тягами.

2. Высоковольтный выключатель с электромагнитным приводом по п.1, отличающийся тем, что оси изоляционных тяг и электромагнитных приводов расположены в одной плоскости.

3. Высоковольтный выключатель с электромагнитным приводом по п.2, отличающийся тем, что общая тяга расположена в плоскости, проходящей через оси изоляционных тяг и электромагнитных приводов.

4. Высоковольтный выключатель с электромагнитным приводом по п.1, отличающийся тем, что пружины отключения одеты на штоки крайних изоляционных тяг, а их торцы упираются в основание и общую тягу.

### 3.3 Выключатели автогазовые

В автогазовых ВЭВ для гашения электрической дуги применяют газ, который выделяется из твердого газогенерирующего материала, расположенного в дугогасительной камере. Для городов и на электротехническом оборудовании промышленных предприятий широко используются автогазовые ВЭВ марок ВН-16; ВН-17 на 8 - 15 кВ, в них применяют дугогасительную камеру, в которой имеются вкладыши из органического стекла. Однако автогазовые ВЭВ не могут включаться на ток КЗ, который равен току динамической стойкости, и допускают сравнительно небольшое количество отключений номинального тока с другими ВЭВ.

В настоящий момент автогазовые ВЭВ усовершенствованы и выпускается серия ВН-10. Они оснащаются предохранителями ПК-6 или ПК-10, это защищает от токов КЗ, автоматическими устройствами для отключения при срабатывании предохранителя, приводами ПРА и заземляющими ножами. Достоинства автогазовых ВЭВ заключается в отсутствии масла, небольшой массы. Недостатками автогазовых ВЭВ является быстрый износ твердого дугогасителя, большой износ или разрушение контактов. Ввиду этих недостатков, использование этих выключателей на подстанциях ГЭС не представляется возможным.

### 3.4 Выключатели масляные (баковые, маломасляные)

#### 3.4.1 Выключатели баковые

Баковые высоковольтные электрические выключатели просты в изготовлении и эксплуатации и относительно недорогие. Однако, большой объем используемый масла и связанное с этим пожароопасность привели к прекращению их производства в России (с 1 января 2004 года).

#### 3.4.2 Выключатели маломасляные

В дугогасительных устройствах традиционных масляных ВЭВ гашение электрической дуги осуществляется путем эффективного ее охлаждения в потоке образуемой газопаровой смеси, вырабатываемой электрической дугой в следствии процесса разложения и испарения масла. В зависимости от функционального назначения масла, масляные ВЭВ делятся на две основные группы.

- баковые (многообъемные) масляные ВЭВ, масло в них применяют как для гашения электрической дуги, так и для изоляции заземленного бака от токоведущих частей;
- маломасляные (малообъемные) масляные ВЭВ, масло применяют только для гашения электрической дуги и для изоляции контактов одного полюса.

По конструктивным особенностям высоковольтные электрические выключатели подразделяются на четыре группы:

- подвешенного типа (серии ВМП-10), предназначенные для электрического на напряжения 10 кВ, номинального тока до 3150 А и тока отключения до 31,5 кА;
- колонкового типа (серии ВК-10), номинального тока до 3150 А и тока отключения до 31,5 кА;
- горшкового типа для генераторов (серии МГГ и МГ), номинального тока до 11200 А, тока отключения до 90 кА и электрического напряжение до 20 кВ;

для наружной установки серий ВМУЭ-35, ВМТ-110 и ВМТ-220 для номинального тока до 2000 А и тока отключения до 40 кА.

- Газопаровая смесь, возникающая в процессе разложения масла под действием электрической дуги, состоит из 70 % водорода  $H_2$ , который



обладает по сравнению с воздухом (в 8 раз) большей теплопроводностью, но малой предельной электрической прочностью. В зоне горения электрической дуги поток газопаровой смеси обладает высокой температурой 900—2400 К<sup>0</sup>. Охлаждение столба электрической дуги при больших (выше 100 А) и малых значениях тока электрической дуги разный. Охлаждение электрической дуги при больших токах происходит путем принудительной конвекции при большом давлении в потоке газопаровой смеси. С интенсивностью конвективного охлаждения происходит увеличение тока и давления в зоне гашения дуги. Конвекция и давление газа при небольших токах в зоне гашения электрической дуги снижаются, охлаждения электрической дуги ухудшаются и время гашения электрической дуги замедляется. При повышении давления в зоне гашения электрической дуги в следствии принудительной подачи масла может существенно улучшить условия гашения электрической дуги при отключении малых токов.

Необходимо учитывать, что главными условиями для реализации наиболее эффективного гашения электрической дуги являются:

- образования процесса интенсивного дутья газопаровой смеси в зоне формирования электрической дуги;
- создание максимального возможного высокого давления газопаровой смеси, локализирующей в области электрической дуги в конце полупериода электрического тока.

Применение дугогасительных систем с автоматическим дутьем приобрели наиболее обширное применение из-за своих эффективных и простых конструкции (рис. 9). От вида конструкций дугогасительных камер различают несколько видов дутья, продольное (рис. 9, а), поток газопаровой смеси направляется вдоль столба электрической дуги, поперечное (рис. 9, б), поток направляется перпендикулярно или под некоторым углом к столбу электрической дуги, и встречное (рис. 9, в), поток направляется противоположно по отношению к направлению движения

подвижного контакта с электрической дугой. Часто в ДУ масляных ВЭВ используется их комбинация.

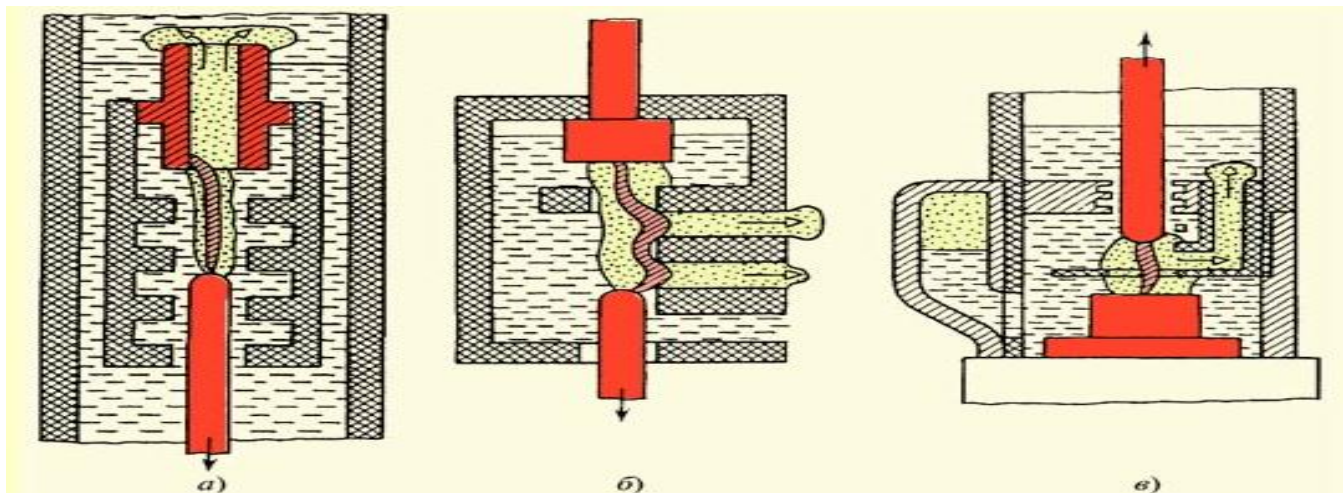


Рисунок 9 – Виды дугогасительных систем с автоматическим дутьем

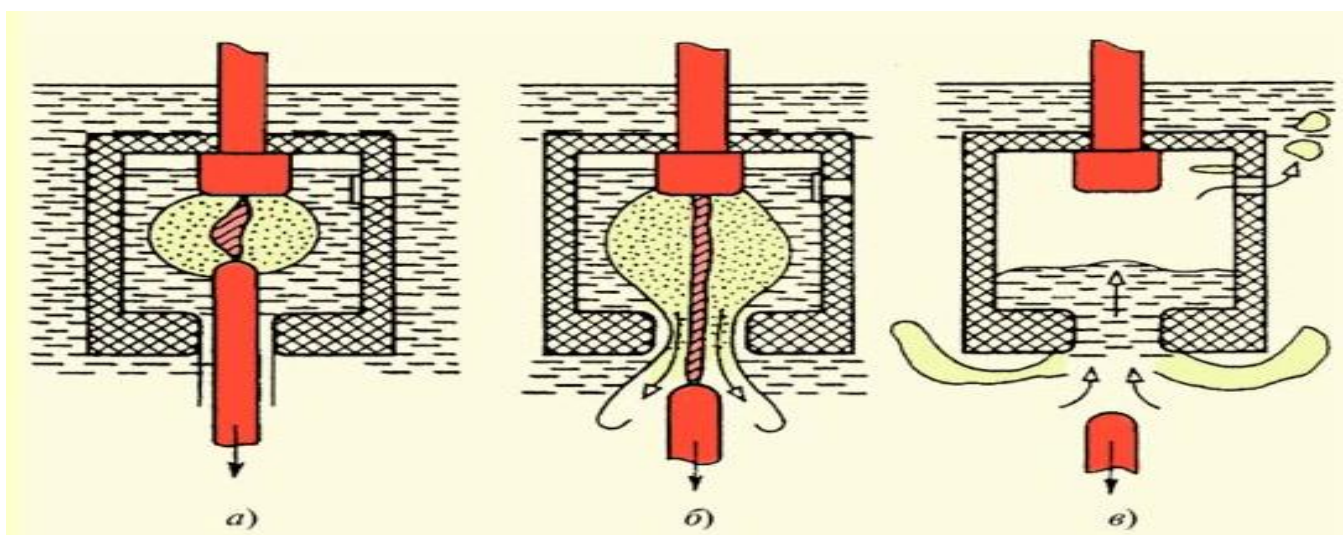


Рисунок 10 – Этапы гашения электрической дуги

- первый этап (рис. 10, а). Размыкаются контакты, и электрическая дуга горит в замкнутом пространстве, создается за счет разложения масла значительное давление. Это называется «режимом замкнутого пузыря». В течении времени этого этапа в итоге выделяющейся в электрической дуге энергия в замкнутом объеме создает (аккумулирует) высокое давление (до 15 Мпа), которое используется на следующем этапе гашения электрической дуги;

- второй этап (рис. 10, б). Осуществляется в момент начала истечения газопаровой смеси за пределы предкамерного объема из области замкнутого объема через рабочие каналы, открываемые при перемещении подвижного контакта. При этом этапе происходит изменение давления газопаровой смеси в камере ДУ и рабочих каналах, куда затягивается электрическая дуга, а также осуществляется интенсивное истечение газопаровой смеси и заканчивается процессом распада столба электрической дуги и восстановлением электрической прочности межконтактного промежутка;

- третий этап (рис. 10, в). Происходит удаление из камеры ДУ оставшихся после гашения электрической дуги горячих газов, продуктов разложения масла. Затем заполняется внутренняя полость камеры ДУ свежим маслом. Этот этап совершает подготовку камеры ДУ для последующего ее включения и нового отключения. В масляных ВЭВ, предназначенных для работы в цикле АПВ, этот этап имеет очень важное значение.

Эффективность ДУ и ресурсы масляных ВЭВ в значительной мере обуславливают физико-химические процессы, которые происходят в зоне горения электрической дуги. Образующиеся под воздействием электрической дуги продукты разложения масла ( $H_2$ , С и др.), ионизированный газ, пары материалов контактов понижающих отключающую способность ДУ и ограничивающих коммутационные ресурсы масляных ВЭВ. Незанятые частички углерода, образуют коллоидную взвесь, снижающую электрическую прочность изоляционных промежутков и утяжеляют процесс включения КЗ в режиме АПВ, так как происходит преждевременный пробой межконтактного промежутка. При разложении продукты масла и изоляционные материалы камеры ДУ влияют на состояние контактов, их структуру, переходное сопротивление. Время горения электрической дуги повышается из-за накопления продуктов разложения масла. Все это, требует постоянного контроля за техническим состоянием масляных ВЭВ, качества масла, его уровнем в ДУ.

Конструкция масляных ВЭВ. Масляные ВЭВ из-за простоты конструкции являются первыми выключателями высокого напряжения. Но зафиксированные ранее технические и технологические сложности при их эксплуатации, а также повышенная взрывопожароопасность, необходимость использовать сложное масляное хозяйство привело к вытеснению этих типов ВЭВ. В наши дни встречаются и эксплуатируются баковые масляные ВЭВ на напряжении 220 и 110 кВ. Маломасляные ВЭВ разделяют на две группы. Первая группа, более многочисленная, в ней ДУ устанавливается в нижней части фазы с перемещаемым подвижным контактом на включение сверху-вниз (рис. 9, в). Вторая группа с перемещаемым подвижным контактом на включение снизу-вверх, в ней ДУ устанавливается в верхней части полюса. Маломасляные ВЭВ второй группы более эффективны, так как в них отключаемые токи повышаются и происходит улучшение динамических процессов при отключении.

На рис. 11 изображена одна фаза (полюс) колонкового маломасляного ВЭВ ВК-10. Он предназначен для напряжения в 10 кВ, номинальные токи для этого вида маломасляного ВЭВ 630, 1000 и 1600 А, номинальные токи отключения 20 и 31,5 кА. Маломасляные ВЭВ ВК-10 могут иметь пружинный привод и используются для работы в шкафах КРУ внутренней и наружной установки, а также в режиме АПВ.

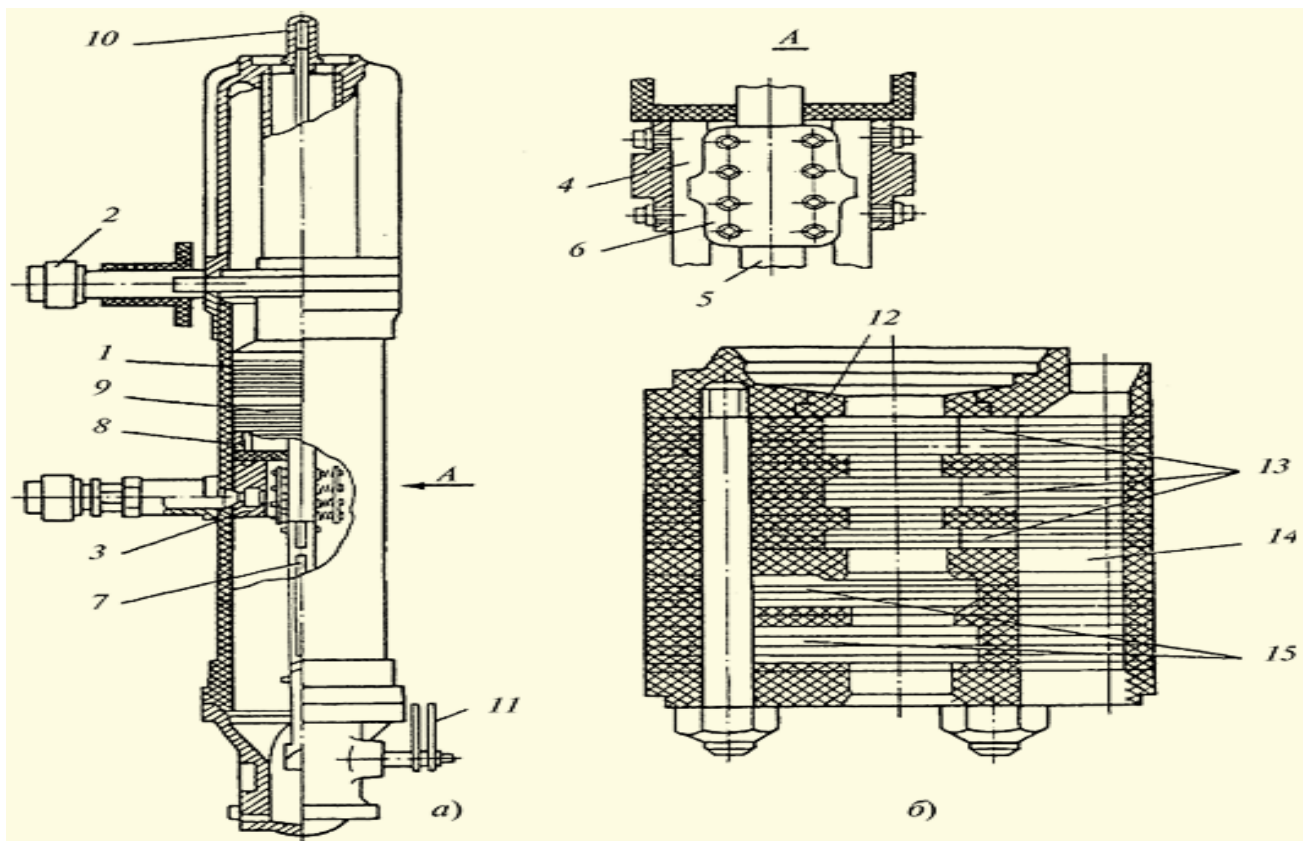


Рисунок 11 - Колонковый маломасляного ВЭВ ВК-10

Имеет три полюса выключателя установленных на литое основание, в котором размещены рычаги механизма, которые связаны со встроенным пружинным приводом. Полюс выключателя (рис. 11, а) расположен в изоляционном цилиндре 1, внутри цилиндра проходят токоведущие элементы, которые соединены с верхним неподвижным розеточным контактом 2 и обоймой 3, соединена с направляющими стержнями 4. Подвод тока к подвижному контакту 5 осуществляется роликовым устройством 6 от направляющих стержней. Подвижный контакт 5 соединен с рычагом механизма управления 11 за счет изоляционной тяги 7. Распорный цилиндр 8 устанавливается сверху на обойму 3, а на него ДУ 9. Сверху полюса расположены маслоуказатели 10 поплавкового типа.

На рис. 11, б изображена дугогасительная камера комбинированного масляного дутья, которая состоит из пакета изоляционных пластин разной формы, стянутых шпильками. Имеющееся в верхней перегородке кольцо 12,

изготовленного из дугостойкого материала (фторопласта). В камере имеется центральное отверстие, служащее для прохода подвижного стержня. Верхнюю часть камеры образуют три поперечные изоляционные пластины, расположенные одна под другой, имеются дутьевые щели 13 для больших токов, технологически связанные с вертикальным каналом 14 и с под камерным и надкамерным пространствами.

Нижней часть камеры имеет два глухих масляных кармана 15 для гашения малых токов. Гашение малых токов ввиду недостаточности давления газопаровой смеси, создаваемого во время первого этапа, электрическая дуга не гаснет, в это время стержень движется вдоль дутьевых щелей 13 и доходит до глухих карманов 15. Из-за небольших объемов этих полостей масло, которое в них содержится, испаряется взрывообразно даже при незначительном токе отключения. При этом происходит попытка отрыва столба электрической дуги за счет импульсного увеличения давления от токоведущего стержня, так как выброс газопаровой смеси осуществляется вверх в зону, которая свободна от контактной свечи. Втулка, имеющая конусную форму, находится в средней части камеры, она предназначена для предотвращения чрезмерного разгона подвижного стержня под влиянием высокого давления, которое возникает в камере при отключении токов КЗ.

В наше время масляные ВЭВ за рубежом практически не применяются, но в отечественных электрических сетях еще встречаются.

Преимущества маломасляных ВЭВ в небольших габаритных размерах и малой массе, небольшое количество используемого масла, применение встроенных пружинных приводов, которые требуют мощные источники постоянного тока и имеют малую массу, чем электромагнитные приводы. Применение маломасляных ВЭВ серии ВМТ-110 и ВМТ-220 позволяет отказаться от громоздких и тяжелых баковых и воздушных ВЭВ, а также от схем подстанций с отделителями и короткозамыкателями [10].

На примере нескольких патентов рассмотрим характеристики маломасляных выключателей:

Маломасляный выключатель высокого напряжения (RU 995141) [19]

Авторы патента:

Овчинникова Зина Соломоновна (RU), Матковский Фридрих Яковлевич (RU), Куш Юрий Георгиевич (RU), Крушинский Борис Петрович (RU), Котова Виолетта Лаврентьевна (RU), Иофин Анольд Александрович (RU).

Изобретение относится к высоковольтному электроаппаратостроению и касается конструктивного выполнения элементов полюса маломасляного выключателя.

Цель изобретения в упрощении конструкции и повышение надежности работы выключателя путем улучшения и стабилизации дугогашения.

На фиг.1 (рис. 12) изображен полюс маломасляного выключателя во включенном положении; на фиг.2 (рис. 12) узел (узел сопряжения металлического цилиндра с камерой); на фиг. 3 узел (клапан).

Формула изобретения:

1. Маломасляный выключатель высокого напряжения, содержащий цилиндрический корпус, подвижный контакт с возможностью перемещения вверх при отключении, дугогасительную камеру и цилиндр, на котором она фиксирована, причем камера с цилиндром установлены в корпусе с зазором и разделяют его полость на зону высокого давления и зону низкого давления, отличается тем, что, с целью упрощения конструкции и повышения надежности, указанный цилиндр снабжен нормально открытым в сторону подкамерного пространства клапаном с запирающим элементом, а фиксирующая камеру торцовая поверхность цилиндра выполнена с фаской, образующей острую кромку, причем хотя бы часть цилиндра с острой кромкой выполнена из материала более твердого, чем материал камеры, например из металла.

2. Выключатель по п. 1, отличающийся тем, что запирающий элемент клапана выполнен в виде диска из эластичного материала, например кожи, укрепленного на свободном конце плоской пружины.

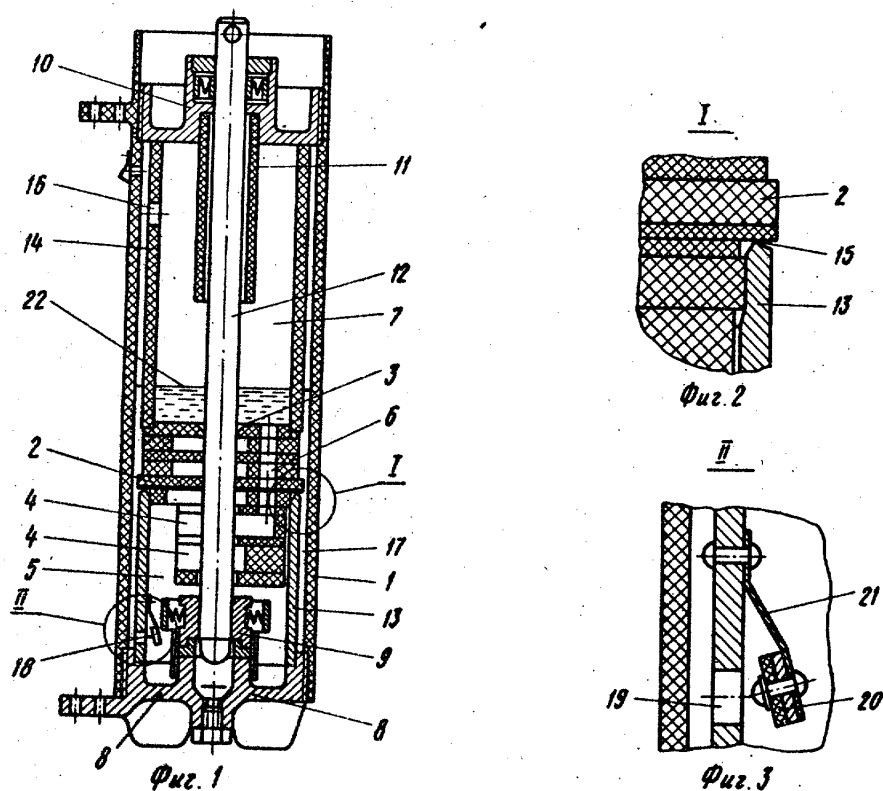


Рисунок 12 - Маломасляный выключатель высокого напряжения

Маломасляный колонковый выключатель (RU 736204) [20]

Авторы патента:

Здрачук Владимир Андреевич (RU), Гордиенко Роман Иванович (RU), Андрейчук Павел Денисович (RU).

Изобретение относится к высоковольтным выключателям с малым объемом дугогасящей жидкости, в частности к маломасляным колонковым выключателям.

Цель изобретения в упрощении конструкции, уменьшение габаритов и снижение металлоемкости.

На фиг. 1 (рис.13) изображен предлагаемый выключатель, пример конструктивного выполнения (вид спереди); на фиг. 2 (рис.13) то же.

Формула изобретения:

1. Маломасляный колонковый выключатель, содержащий вертикально установленные колонки полюсов с дугогасительными устройствами, неподвижными контактами, подвижными контактами с механизмами



перемещения и привод, вал которого связан с указанными механизмами перемещения подвижных контактов посредством закрепленного на валу рычага, шарнирно соединенной с ним с помощью оси тяги и общей траверсы, соединяющей рычаги, установленные на валах механизмов всех полюсов, отличающийся тем, что, с целью упрощения конструкции, уменьшения габаритов и снижения металлоемкости, он снабжен двуплечим рычагом типа коромысла, который установлен на валу механизма перемещения подвижного контакта одного из полюсов, верхнее плечо которого шарнирно связано с указанной общей траверсой, а нижнее с дополнительно введенной отключающей пружиной, которая установлена под траверсой таким образом, что валы механизмов всех полюсов расположены в промежутке между упомянутой траверсой и отключающей пружиной.

2. Выключатель по п. 1, отличающийся тем, что он снабжен дополнительной буферной пружиной, которая шарнирно связана с нижним плечом указанного двуплечего рычага типа коромысла и установлена параллельно отключающей пружине.

3. Выключатель по п. 1, отличающийся тем, что он снабжен буферным устройством, шток поршня которого шарнирно соединен с верхним плечом указанного двуплечего рычага типа коромысла, а цилиндр буферного устройства шарнирно закреплен на раме выключателя.

4. Выключатель по п. 1, отличающийся тем, что ось, шарнирно соединяющая траверсу с рычагом, установленным на валу механизма перемещения подвижного контакта одного из полюсов, выполнена удлиненной и на ней шарнирно закреплена дополнительно введенная тяга, связывающая вал привода с траверсой.

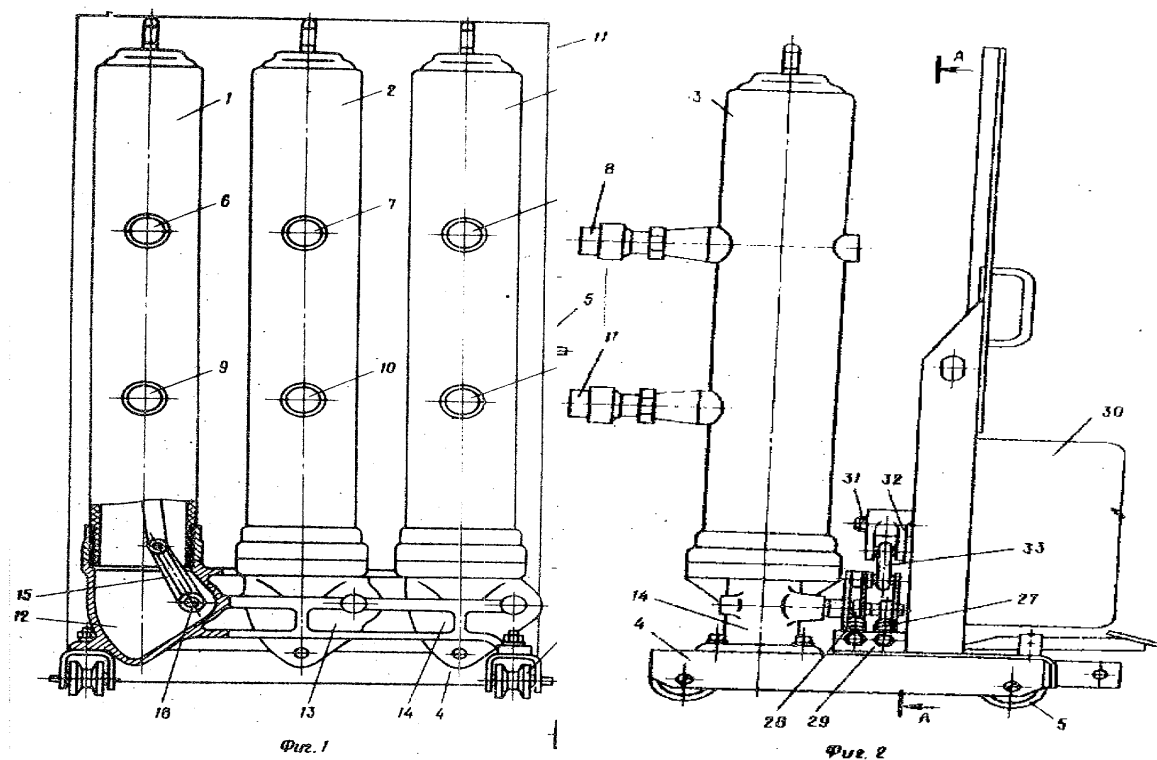


Рисунок 13 - Маломасляный колонковый выключатель

Маломасляный выключатель высокого напряжения (RU 674111) [21]

Авторы патента:

Ротблют Александр Ремович (RU), Котова Виолетта Лавтентьевна (RU),

Матковский Фридрих Яковлевич (RU), Овчинникова Зина Соломоновна (RU).

Изобретение относится к области высоковольтного аппаратостроения и касается конструктивного выполнения жидкостных выключателей, преимущественно маломасляных. Целью настоящего изобретения является кольцами упрощение конструкции выключателя для крепления направляющих стержней.

Формула изобретения:

1. Маломасляный выключатель высокого напряжения (рис. 14), полюс которого содержит частично заполненный маслом цилиндр, дугогасительную камеру, роликовый токосъем с направляющими стержнями, расположенный под камерой, и воздушную подушку, размещенную хотя бы частично ниже уровня масла, отличающийся тем, что, с целью упрощения конструкции, в направляющих

стержнях роликового токосъема выполнены глухие полости, которые сообщаются с подкамерным пространством и образуют указанную воздушную подушку.

2. Маломасляный выключатель по п. 1, отличающийся тем, что направляющие стержни выполнены в виде труб, герметично закрытых в верхней части, например, посредством резьбовой пробки с уплотнением.

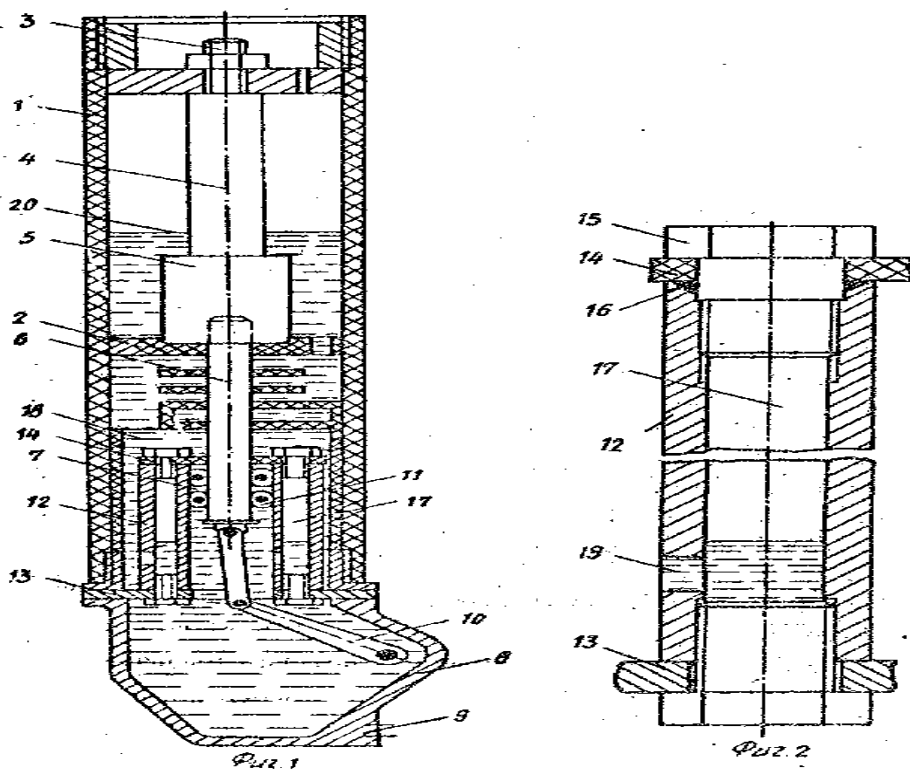


Рисунок 14 - Маломасляный выключатель высокого напряжения

### 3.5 Выключатели воздушные

Широкое применение воздушных выключателей в энергосистемах определяется их высокими, для своего времени, техническими характеристиками. Конструктивно воздушные выключатели оказались хорошо приспособленными для разнообразных условий работы современных распределительных устройств высокого напряжения при внутренней и наружной установке.

По функциональному назначению воздушные высоковольтные электрические выключатели разделяются на следующие группы:

- сетевые выключатели, рассчитанные на электрическое напряжение 6 кВ и выше, предназначенные для пропуска и коммутации электрического тока в нормальных условиях работы цепи электрической сети и в условиях КЗ;

- генераторные ВЭВ, предназначенные на электрическое напряжение 6...24 кВ, используются для подключения электрогенераторов и служат для пропуска и коммутации тока при нормальных условиях, кроме этого в пусковых режимах и при КЗ;

- воздушные ВЭВ для электротермических установок с электрическим напряжением 6...220 кВ, предназначены для работы как при нормальных, так и в аварийных режимах;

ВЭВ специального назначения.

Воздушные ВЭВ имеют разные виды установки и подразделяются на:

- встраиваемые в комплектные РУ;
- опорные;
- подвесные (крепятся к порталным конструкциям на ОРУ);
- выкатные (оборудованы приспособлениями для выкатки из РУ);

Достоинства при эксплуатации воздушных ВЭВ относят высокую способность отключения, взрывопожаробезопасность, способность коммутации токов КЗ с высоким процентом апериодической составляющей (вплоть до коммутации цепей постоянного тока). Однако имеют и недостатки, которыми является необходимость использования постоянно действующего дорогостоящего компрессорного оборудования; большая чувствительность к скорости восстанавливающего электрического напряжения при не близком КЗ; возможность отключения малых индуктивных токов (отключение ненагруженных силовых высоковольтных силовых трансформаторов).

Принцип действия ДУ воздушных ВЭВ. Применение сжатого воздуха является эффективной средой, которая обеспечивает надежное гашение электрической дуги. Поток воздуха интенсивно воздействует с максимально возможными скоростями на дуговой канал. В ДУ воздушных ВЭВ гашение электрической дуги осуществляется в соплах, которые конструктивно в вместе с частью контактов дугогасителя создают дутьевую систему. Столб электрической дуги, образующейся на размыкающихся контактах, под воздействием воздушного потока удлиняется и быстро передвигается в сопла, там и происходит ее гашение [14].

Разнообразные формы и взаимные расположения контактов и сопел гашение электрической дуги (рис.11) в таких устройствах может происходить при:

- одностороннем (продольном) гашении электрической дуги через металлическое сопло (рис. 15, а);
- одностороннем (продольном) гашении электрической дуги через изоляционное сопло (рис. 15, б);
- двустороннем симметричном (продольном) гашении электрической дуги через соплообразные полые контакты (рис. 15, в);
- двустороннем асимметричном (продольном) гашении электрической дуги через соплообразные полые контакты (рис. 15, г).

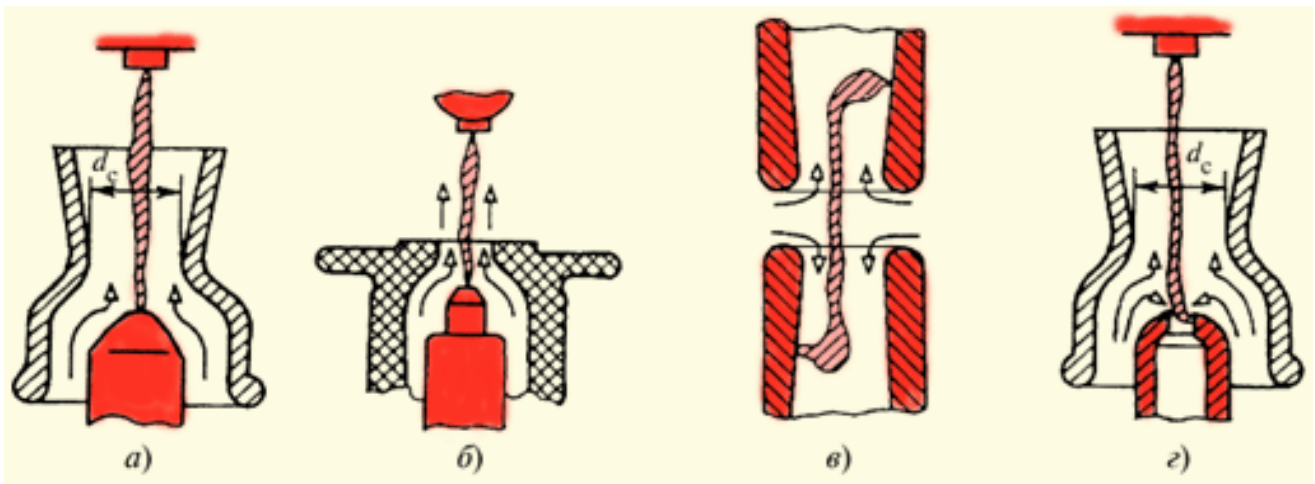


Рисунок 15 – Гашение электрической дуги в соплах

Оптимальные показатели получены в воздушных ВЭВ с дугогасительными системами, использующие двустороннее асимметричное дугогашение.

Механизм гашения электрической дуги тесно взаимосвязан с электрическими процессами в столбе электрической дуги, так и газотермодинамическими процессами истечения газовой струи.

Истечение газа из ДУ заключается в том, что поток газа встречается на своем пути мощным источником теплоты, каким является электрическая дуга и который тормозит воздушный поток, из-за этого уменьшается расход воздуха, текущего через сопло с электрической дугой. Такое явление явление, называется «термодинамический эффект», он может закупоривать сопла электрической дугой, это может вызвать разрушение дугогасительной системы. Исходя из этого, размер или диаметр сопел на рис. 15, а, г дутьевой системы обуславливает максимально возможный ток отключения ВЭВ.

Выключатели воздушные (ВВ) делятся на две группы. Первая группа, это генераторные ВЭВ моделей ВВОА-15 и ВВГ-20, до 15кА и ток отключения до 150 кА. Вторая группа, это ВЭВ 35 кВ и больше. Воздушные ВЭВ для наружных установок изготавливаются в четырех сериях на электрическое напряжение:

- Воздушные ВЭВ (330 и 500 кВ);
- Воздушные ВЭВ (110-750 кВ);

- модернизированная серия воздушных ВЭВ (110, 220 и 500 кВ).

Для воздушных ВЭВ присущ номинальный ток до 3050-4050 А, ток отключения до 61 кА. Время отключения доходит до 0,06 секунды. Недостатками воздушных ВЭВ является то что они технически сложнее и дороже масляных ВЭВ; требуют сложного и дорогостоящего компрессорного оборудования для получения сжатого воздуха с давлением 3-5 Мпа. В наших энергосистемах в основном применяют такие ВЭВ. Применение воздушных ВЭВ, выпуск которых иностранными фирмами прекращен 35 лет назад, вместо других инновационных ВЭВ в 7-10 раз увеличивает аварийность, связанную с их отказом, в 10-15 раз повышает затраты на монтаж, ремонт и обслуживание оборудования. На примере нескольких патентов рассмотрим характеристики воздушных выключателей:

Выключатель с газовым дутьем (RU 2018990) [22]

Авторы патента:

Тсукуси Масанори (JP), Хасимото Акира (JP), Сатох Минори (JP), Куросава Юкио (JP), Хирасава Кунио (JP), Эндо Фумихиро (JP), Ямагива Такио (JP)

Владельцы патента: Хитачи Лтд. (JP)

Целью изобретения является создание выключателя с газовым дутьем, имеющего сопло, которое может выдерживать высокое напряжение и свободно от ухудшения его характеристики из-за деформации при износе поверхности даже после прерывания тока большой величины.

На рис. 16 - один вариант конструкции выключателя с газовым дутьем в разрезе;

Как показано на рис.16, подвижный контакт 2 расположен противоположно неподвижному контакту 1, и он может перемещаться в позицию контакта с неподвижным контактом 1 и из нее. Ведущий вал 3 соединен с подвижным контактом 2, при этом неподвижный поршень 4 удерживает ведущий вал 3 с возможностью его скольжения. На ведущем валу 3 установлен подвижный цилиндр 5, который окружает неподвижный поршень 4. Камера 6 цилиндра образована неподвижным поршнем 4 и подвижным цилиндром 5. Отверстие 7

образовано через одну торцовую стенку подвижного цилиндра 5, расположенную смежно с подвижным контактом 2. Сопло 8 установлено на подвижном цилиндре 5, причем это сопло 8 служит для дутья гасящего газа, направляемого из камеры 6 цилиндра через отверстие 7 к дуге 9, образующейся между контактами 1 и 2. Сопло 8 включает в себя секцию 10 горловины, которая размещается на неподвижном контакте 1 с незначительным зазором между ними после перемещения подвижного контакта 2, первую наклонную поверхность 11, расположенную вниз по течению от секции 10 горловины и проходящую вдоль направления потока газа для гашения дуги, чтобы увеличить коэффициент отражения интенсивности энергии дуги, вторую наклонную поверхность 12, пересекающую первую наклонную поверхность 11 и расходящуюся секцию 13, проходящую от второй наклонной поверхности 12. Для того, чтобы сопло 8 могло обладать изолирующими свойствами, оно изготовлено из фторопластового материала, в который добавлен нитрид бора (BN).

Формула изобретения:

1. Выключатель с газовым дутьем, содержащий изолирующее сопло для дутья гасящего газа в направлении дуги, образующейся между неподвижным и подвижными контактами, причем сопло имеет секцию горловины, в которую может перемещаться и входить из нее один из двух контактов и расходящуюся секцию, расположенную вниз по течению от секции горловины, причем, одна наклонная поверхность образована на расходящейся секции сопла, отличающийся тем, что, с целью увеличения коэффициента отражения интенсивности энергии дуги, сопло изготовлено посредством добавки не свыше 15 % порошка нитрида бора в качестве наполнителя фторопластового материала.

2. Выключатель по п.1, отличающийся тем, что наклонная поверхность образована первой наклонной поверхностью, проходящей вдоль направления потока гасящего газа, и второй наклонной поверхностью, пересекающей первую наклонную поверхность.



3. Выключатель по п.2, отличающийся тем, что один из углов между первой наклонной поверхностью и центральной линией сопла и между второй наклонной поверхностью и центральной линией сопла находится в пределах между 25 и 45°.

4. Выключатель с газовым дутьем, содержащий изолирующее сопло для дутья гасящего газа в направлении дуги, образующейся между неподвижным и подвижным контактами, причем сопло имеет секцию горловины, внутрь которой перемещается или выходит из нее один из двух контактов и расходящуюся секцию, расположенную вниз по течению от секции горловины, причем наклонная поверхность для ограничения проникновения энергии дуги внутрь сопла образована на расходящейся секции сопла, отличающийся тем, что диэлектрическая постоянная сопла выше, чем у гасящего газа, причем сопло выполнено из фторопластового материала, импрегнированного наполнителем, содержащим не более 15 % порошка нитрида бора, при этом диэлектрическая постоянная сопла становится выше, чем у гасящего газа.

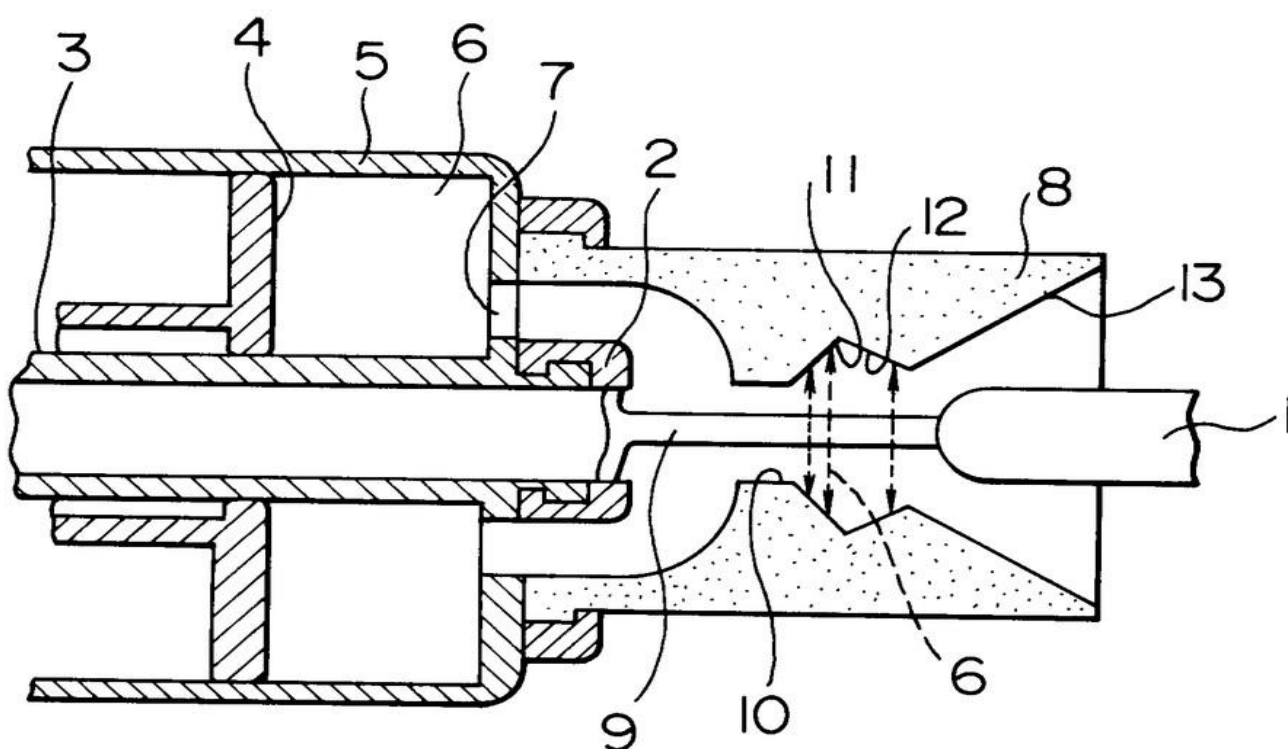


Рисунок 16 - Выключатель с газовым дутьем

Автоматический воздушный выключатель (RU 2344507) [23]

Авторы патента:

Шипицын Виктор Васильевич (RU), Черных Илья Викторович (RU), Мурадов Эльхан Шахбабаоглы (RU), Середко Роман Евгеньевич (RU)

Предлагаемое изобретение относится к электротехнике, а именно к автоматическим воздушным выключателям.

Технический результат изобретения заключается в том, чтобы уменьшить собственное время отключения, а следовательно, и полное время отключения короткого замыкания нагрузки в силовой цепи, начиная с момента его возникновения.

Сущность предлагаемого изобретения заключается в следующем. Предлагаемый автоматический воздушный выключатель содержит первый и второй силовые выводы для подсоединения к нагрузке и силовой питающей сети, неподвижный и подвижный главные контакты, неподвижный и подвижный дугогасительные контакты, дугогасительную камеру, гибкую связь, электромагнитный привод с механизмом свободного расцепления, реле перегрузки, а также пусковую и остановочную кнопки, при этом неподвижный и подвижный дугогасительные контакты соединены соответственно с неподвижным и подвижным главными контактами, дугогасительная камера соединена с дугогасительными контактами, главный неподвижный контакт соединен с первым силовым выводом и жестко связан с изолированным корпусом, главный подвижный контакт соединен с первым концом гибкой связи, реле перегрузки, пусковая и остановочная кнопки связаны с электромагнитным приводом и механизмом свободного расцепления, при этом неподвижный и подвижный главные контакты выполнены из проводникового материала.

Новым является то, что в автоматический воздушный выключатель дополнительно введены электродинамическая катушка, магнитный стержень, металлический диск и изоляционный стержень, при этом второй конец гибкой связи соединен с первым выводом электродинамической катушки, второй вывод которой соединен с вторым силовым выводом, а электродинамическая катушка

жестко связана с изолированным корпусом. Главный подвижный контакт жестко связан с первым торцом магнитного стержня, второй торец которого жестко связан с металлическим диском, который расположен соосно и перпендикулярно этому магнитному стержню, при этом сам магнитный стержень расположен внутри электродинамической катушки соосно с ней с возможностью осевого перемещения и таким образом, что при замкнутых главных контактах металлический диск плотно прижат к торцевой поверхности электродинамической катушки. Упомянутый металлический диск связан с первым торцом изоляционного стержня, второй торец которого связан с электромагнитным приводом и механизмом свободного расцепления.

При возникновении короткого замыкания нагрузки ток короткого замыкания протекает через электродинамическую катушку и наводит ток в рядом расположенном металлическом диске. При этом, как отмечено выше, возникает сила отталкивания между электродинамической катушкой и металлическим диском, что при жестко закрепленной электродинамической катушке вызывает быстрое перемещение влево металлического диска, а следовательно, быстрое перемещение влево главного подвижного контакта и быстрое размыкание короткозамкнутой силовой цепи, при этом между главными контактами возникает электрическая дуга, которая ограничивает рост тока короткого замыкания и переходит сначала на дугогасительные контакты, а затем в дугогасительную камеру и гасится в ней. Таким образом, достигается заявленный технический результат, а именно уменьшается собственное время отключения короткозамкнутой цепи, а следовательно, и полное время отключения, так как размыкание силовой цепи начинается без задержки точно в момент достижения током короткого замыкания заданной величины, а не с запаздыванием, как при работе небыстродействующего магнитного привода в прототипе или при работе ЭДП или ИДП - приводов в аналогах. Значение тока срабатывания можно регулировать числом витков электродинамической катушки.

Оперативное включение и отключение номинальных токов, а также отключение токов перегрузки при появлении сигнала от реле перегрузки

осуществляется электромагнитом небыстродействующим приводом, так как в этих операциях быстродействие не требуется.

Предлагаемый автоматический воздушный выключатель изображен на фиг.1 (рис.17) (включенное состояние) и содержит: первый 1 и второй 2 силовые выводы для подсоединения к нагрузке и к силовой питающей сети, неподвижный главный контакт 3 и подвижный главный контакт 4, неподвижный дугогасительный контакт 5 и подвижный дугогасительный контакт 6, дугогасительную камеру 7, электродинамическую катушку 8, гибкую связь 9, магнитный стержень 10, металлический диск 11, изоляционный стержень 12, электромагнитный привод с механизмом свободного расцепления 13, реле перегрузки 14, а также пусковую кнопку 15 и остановочную кнопку 16, при этом неподвижный дугогасительный контакт 5 соединен с неподвижным главным контактом 3, подвижный дугогасительный контакт 6 соединен с подвижным главным контактом 4, а дугогасительная камера 7 соединена с дугогасительными контактами 5 и 6. Главный неподвижный контакт 3 соединен с первым силовым выводом 1 и жестко связан с изолированным корпусом, а главный подвижный контакт 4 соединен с первым концом гибкой связи 9, второй конец которой соединен с первым выводом электродинамической катушки 8, второй вывод которой соединен с вторым силовым выводом 2, при этом электродинамическая катушка 8 жестко связана с изолированным корпусом. Главные контакты 3 и 4 выполнены из проводникового материала, при этом главный подвижный контакт 4 жестко связан с первым торцом магнитного стержня 10, второй торец которого жестко связан с металлическим диском 11, который расположен перпендикулярно и соосно магнитному стержню 10, при этом сам магнитный стержень 10 расположен внутри электродинамической катушки 8 соосно с ней с возможностью осевого перемещения и таким образом, что при замкнутых главных контактах 3 и 4 металлический диск 11 плотно прижат к левой торцевой поверхности электродинамической катушки 8. В то же время упомянутый металлический диск 11 связан с первым торцом изоляционного стержня 12, второй торец которого связан с электромагнитным приводом и механизмом

свободного расцепления 13. Реле перегрузки 14, пусковая кнопка 15 и остановочная кнопка 16 также связаны с упомянутым электромагнитным приводом и механизмом свободного расцепления 13. На фиг.1 для упрощения не показаны отключающая пружина главных контактов, а также контактные пружины главных и дугогасительных контактов, которые входят в состав электромагнитного привода и механизма свободного расцепления 13.

При отключении выключателя могут иметь место три случая:

А - режим оперативного отключения;

Б - режим отключения при перегрузке;

В - режим отключения короткозамкнутой силовой цепи.

А. Оперативное отключение выключателя.

А. Оперативное отключение выключателя осуществляется при размыкании остановочной кнопки 16 небыстродействующим электромагнитным приводом и механизмом свободного расцепления 13, усилие от которого передается через изоляционный стержень 12, металлический диск 11, магнитный стержень 10 к главному подвижному контакту 4, последний перемещается влево и размыкает силовую цепь.

Б. Отключение выключателя при перегрузке.

При перегрузке ток силовой цепи, как правило, также недостаточен для создания необходимой отталкивающей силы между электродинамической катушкой 8 и металлическим диском 11, поэтому отключение выключателя осуществляется небыстродействующим электромагнитным приводом с механизмом свободного расцепления 13. Режим перегрузки может иметь два варианта. Первый вариант - появление тока перегрузки после номинального режима. В этом варианте сигнал о перегрузке поступает от реле перегрузки 14 на небыстродействующий электромагнитный привод с механизмом свободного расцепления 13 и последний обеспечивает отключение выключателя аналогично рассмотренному случаю А.

Второй вариант - появление тока перегрузки при включении выключателя. В этом варианте сигнал о перегрузке от реле перегрузки 14 также поступает на

небыстродействующий электромагнитный привод с механизмом свободного расцепления 13, и последний аналогично рассмотренному случаю А обеспечивает отключение выключателя, а механизм свободного расцепления предотвращает многократное включение и отключение режима перегрузки при нажатой пусковой кнопке 15.

В. Отключение выключателя при коротком замыкании нагрузки.

Режим отключения короткозамкнутой нагрузки также может иметь два варианта.

Первый вариант - появление режима короткого замыкания после номинального режима. В этом варианте ток короткого замыкания, протекая по цепи 1-3-4-9-8-2, быстро обеспечивает необходимую отталкивающую силу между электродинамической катушкой 8 и металлическим диском 11, которая через магнитный стержень 10 передается главному подвижному контакту 4 и последний, перемещаясь влево, быстро размыкает силовую цепь, при этом через изоляционный стержень 12 начальное движение металлического диска 11 передается небыстродействующему электромагнитному приводу с механизмом свободного расцепления 13, который обеспечивает разведение главных контактов на заданное расстояние, соответствующее номинальному напряжению выключателя.

Второй вариант - появление режима короткого замыкания при включении выключателя. В этом режиме отключение выключателя аналогично первому варианту быстро осуществляется за счет отталкивающей силы между электродинамической катушкой 8 и металлическим диском 11, а небыстродействующий электромагнитный привод с механизмом свободного расцепления 13 разводит главные контакты 3 и 4 на заданное расстояние и предотвращает многократное включение и выключение выключателя при нажатой пусковой кнопке 15.

Для реализации предлагаемого изобретения нужно в известный автоматический воздушный выключатель, имеющий главные и дугогасительные контакты, дугогасительную камеру, гибкую связь, электромагнитный привод с

механизмом свободного расцепления, реле перегрузки, а также пусковую и остановочную кнопки, ввести электродинамическую катушку, магнитный стержень, металлический диск и изоляционный стержень, затем включить электродинамическую катушку в цепь силового тока, магнитный стержень жестко связать с главным подвижным контактом и с металлическим диском и расположить внутри электродинамической катушки соосно с ней, а металлический диск через изоляционный стержень связать с электромагнитным приводом. Все это может быть реализовано в ООО «Технос».

В заключение следует заметить, что магнитный стержень 10, расположенный внутри электродинамической катушки 8, можно жестко связать не с подвижным главным контактом 4, а с механической защелкой, которая может удерживать отключающую пружину в номинальном режиме и может обеспечить за счет указанной отключающей пружины размыкание главных и дугогасительных контактов при отключении короткого замыкания.

Формула изобретения:

Автоматический воздушный выключатель, содержащий первый и второй силовые выводы для подсоединения к нагрузке и силовой питающей сети, неподвижный и подвижный главные контакты, неподвижный и подвижный дугогасительные контакты, дугогасительную камеру, гибкую связь, электромагнитный привод с механизмом свободного расцепления, реле перегрузки, а также пусковую и остановочную кнопки, при этом неподвижный и подвижный дугогасительные контакты соединены соответственно с неподвижным и подвижным главными контактами, дугогасительная камера соединена с дугогасительными контактами, главный неподвижный контакт соединен с первым силовым выводом и жестко связан с изолированным корпусом, главный подвижный контакт соединен с первым концом гибкой связи, реле перегрузки, пусковая и остановочная кнопки связаны с электромагнитным приводом и механизмом свободного расцепления, при этом неподвижный и подвижный главные контакты выполнены из проводникового материала, отличающийся тем, что дополнительно введены электродинамическая катушка,

магнитный стержень, металлический диск и изоляционный стержень, при этом второй конец гибкой связи соединен с первым выводом электродинамической катушки, второй вывод которой соединен с вторым силовым выводом, при этом электродинамическая катушка жестко связана с изолированным корпусом, главный подвижный контакт жестко связан с первым торцом магнитного стержня, второй торец которого жестко связан с металлическим диском, расположенным соосно и перпендикулярно магнитному стержню, при этом сам магнитный стержень расположен внутри электродинамической катушки соосно с ней и с возможностью осевого перемещения таким образом, что при замкнутых главных контактах металлический диск плотно прижат к торцевой поверхности электродинамической катушки, причем упомянутый металлический диск связан с первым торцом изоляционного стержня, второй торец которого связан с электромагнитным приводом и механизмом свободного расцепления.

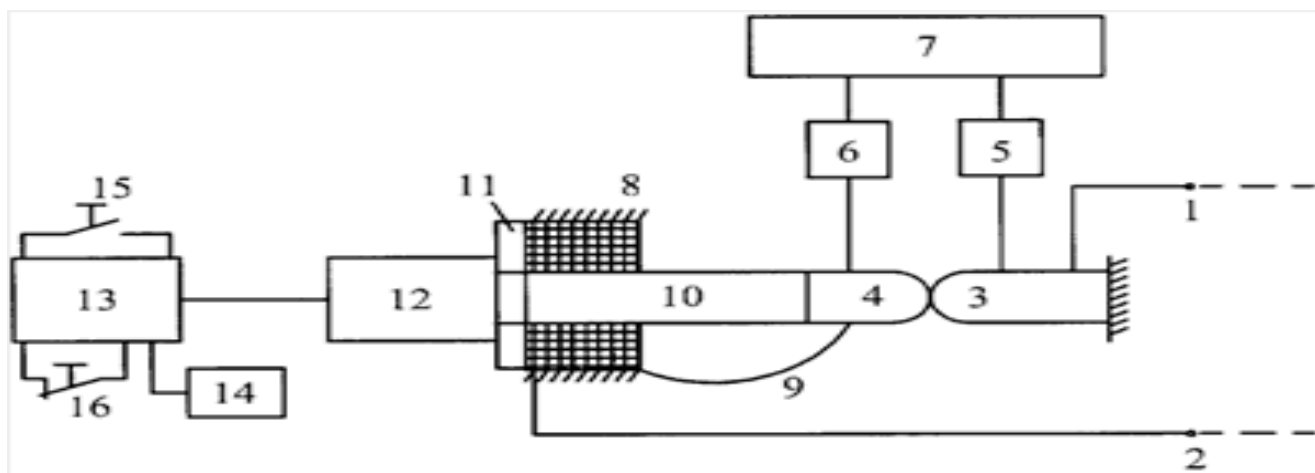


Рисунок 17 - Автоматический воздушный выключатель

Автоматический воздушный выключатель (RU 2357315) [24]

Авторы патента:

ЯНГ Хонг-Ик (KR), ЛИ Санг-Чул (KR), КИМ Ки-Хван (KR), АХН Кил-Йоунг (KR)

Настоящее изобретение относится к воздушному автоматическому выключателю и, в частности, к воздушному автоматическому выключателю, способному повысить свою надежность за счет применения звена повышенной



устойчивости и звена, которое используется в воздушном автоматическом выключателе.

Целью настоящего изобретения является создание воздушного автоматического выключателя, в котором звено, к которому во время зарядки, замыкания и размыкания воздушного автоматического выключателя прикладываются большие нагрузки, выполнено так, что обеспечивается соединение множества элементов (пластин) друг с другом с тем, чтобы предотвратить абразивный износ и повреждение звена, что может улучшить надежность работы воздушного автоматического выключателя, продлить срок его службы и облегчить его изготовление при снижении издержек.

Для достижения указанной цели согласно назначению настоящего изобретения, как воплощено и в общих чертах описано здесь, предлагается воздушный автоматический выключатель, который содержит: кулачок, соединенный с вращающимся валом и выполненный с возможностью вращения; приводной рычаг, соединенный с кулачком, выполненный с возможностью вращения; закрывающую пружину, соединенную с приводным рычагом и выполненную с возможностью сжатия при повороте приводного рычага; и множество звеньев для передачи усилия растяжения, возникающего при натяжении закрывающей пружины к переключающему валу, соединенному с подвижным контактом, при этом, по меньшей мере, одно из звеньев имеет конструкцию, в которой множество элементов соединены друг с другом.

Цель может быть достигнута с помощью звена воздушного автоматического выключателя, которое выполнено из множества элементов, накладываемых друг на друга, и имеет первый участок, второй участок, проходящий от первого участка по кривой и имеющий установочное отверстие, и третий участок, проходящий вниз от второго участка и имеющий соединительное отверстие.

Предпочтительно, любая из точек соединения, в которых множество элементов, образующих звено, соединяются друг с другом, расположена на первом участке для повышения устойчивости звена при выполнении зарядки воздушного автоматического выключателя.

### 3.6 Вакуумные выключатели

В настоящее время в составе ЭГС наблюдается интенсивное применение вакуумных дуговых коммутаторов в области электрических напряжений 6—35 кВ, с формированием вакуумных контакторов, выключателей нагрузки, вакуумных выключателей для КРУ. Так, в частности количество вакуумных выключателей в общем количестве выпускаемых аппаратов в Европе и США достигает 70%, в Японии –100%. В РФ эта доля имеет постоянную тенденцию к росту и уже с 1997 г. превысила отметку 50%. Физические основы существования электрической дуги в вакууме. Условия существования и гашения электрической дуги в вакууме имеют свои особенности. При расхождении контактов в вакуумной дугогасительной камере в последний момент между ними образуется жидкометаллический мостик, который затем разрушается. Происходит ионизация паров металла контактного мостика под воздействием приложенного напряжения сети, приводящая к образованию электрической дуги.

Следует учитывать по мере увеличения тока, силы электромагнитного притяжения преодолевают силы отталкивания, в результате чего и совершается слияние отдельных дуг в один канал, что приводит к резкому росту размеров катодного опорного пятна. Вследствие этого возникают значительные трудности гашения электрической дуги либо происходит полный отказ замыкающей оласти формирования электрической дуги. Одним из условий при постановке задач, для разработки ВДК, является создание условия, при котором электрическая дуга существовала бы в диффузном виде, или время воздействия электрической дуги, замыкающейся на электроды было бы малым. Для этого создаются радиальные магнитные поля, которые обеспечивают перемещение опорных точек электрической дуги с высокой скоростью по электродам [14].

Чтобы получить радиальные и аксиальные магнитные поля разработаны различные конструкции контактных систем вакуумных ВЭВ (рис. 14). В ВДК номинальное электрическое напряжение составляет 12 кВ, а номинальный ток отключения до 31,0 А, для этого используют контактные схемы с поперечным радиальным магнитным полем (рис. 18, а). Контакты 2 имеют вид дисков со

спиральными лепестками, которые имеют периферийные участки разрезанные спиральными пазами 3 на сегменты, и соединены в центральной части. В замкнутом положении контакты соприкасаются по кольцевому выступу 1. Если контакты разомкнуть, то электрическая дуга под действием электродинамических сил, которые возникают при искривлении контура тока, переместится на периферийные участки 4. Во время этого из спиралеобразных прорезей возникнет радиальное магнитное поле, при воздействии которого электрическая дуга переместится по периферийным участкам с большой скоростью, и не вызовет появления расплавленных зон на электродах. Если увеличить ток до 50 кА при ограниченности геометрических размеров электродов скорость движения электрических дуг станет очень большая, из-за этого электрическая дуга образует существенные оплавления в районе острых кромок лепестков. Это и определяет предел отключающей возможности контактных систем такого типа — до 40 кА.

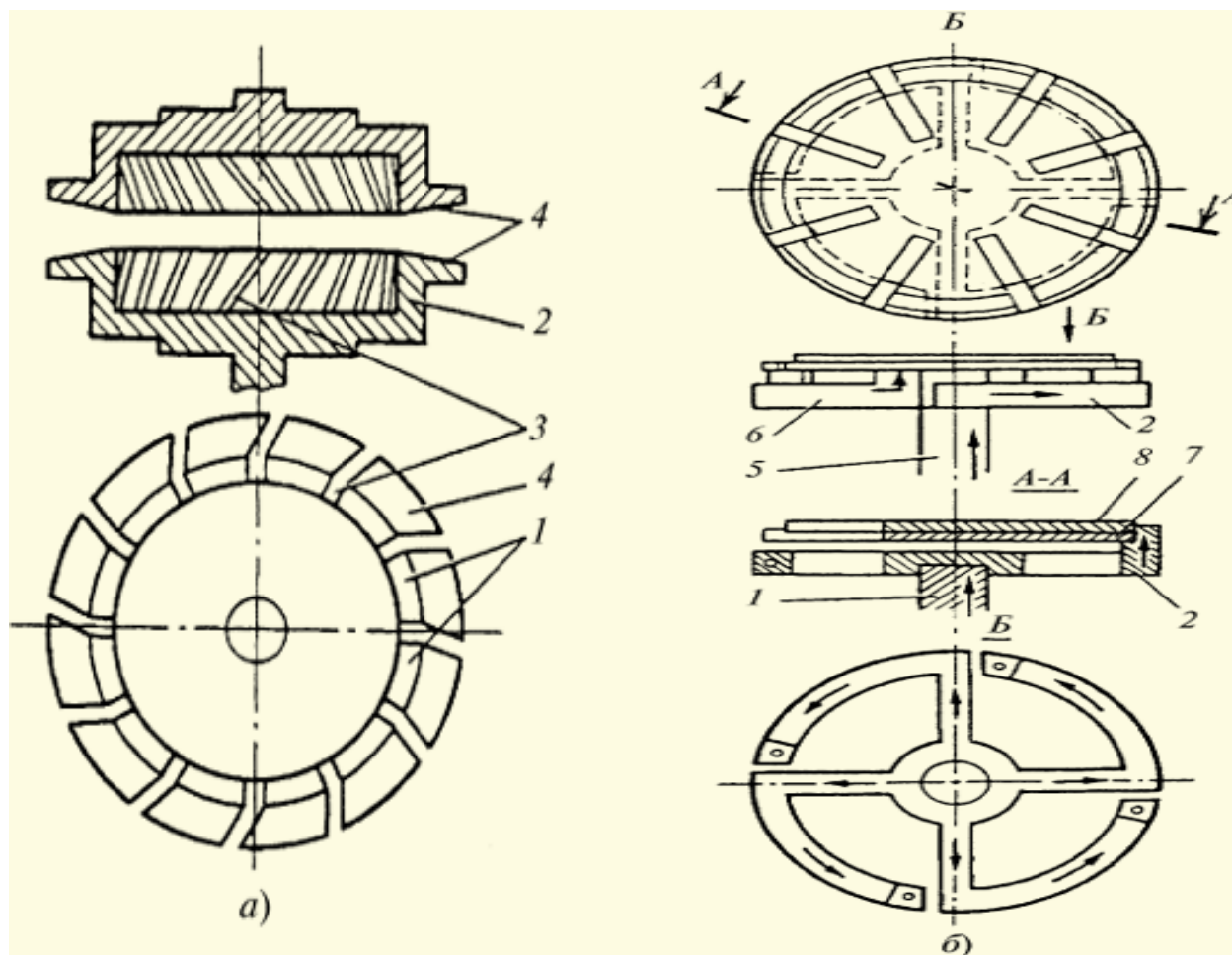


Рисунок 18 – Контактные схемы вакуумных выключателей

Новейшие разработки контактных систем вакуумных ВЭВ, устремлены на создание аксиального магнитного поля, образованного током отключения.

Представленная на рис. 18, б схема контактной системы, санкционирует коммутировать токи 250 кА. Если создать магнитное поле, аксиального параллельным электрическим дугам, то оно не даст им возможность соединиться, что сохранит электрическую дугу в диффузном виде. Растекание тока от центрального токоподвода 5 по четырем радиально расположенным токопроводящим «спицам» 6, оканчивающимся на периферии проводниками кольцевой формы, и ограниченными окружностями каждая. Это создаст один виток, который обтекается током отключения. Оконечности кольцевых дуг соединены с электродом 7, где и происходит процесс возникновения и гашения электрической дуги. Поверхности электродов 7, 8 контактируют, и имеют радиальные прорезы, которые препятствуют слиянию электрических дуг.

В результате ионизации паров материала контактов возникает и существует электрическая дуга. При небольшом их поступлении электрическая дуга должна гаснуть. Но может случиться, что электрическая дуга погаснет раньше естественного перехода тока через ноль, так называемый «срез тока». И тогда могут возникать опасные как для оборудования, так и для отключаемой электрической цепи перенапряжения. Изыскания показывают, что максимальный ток среза замечается на контактах из молибдена — 13 А, вольфрама — 8 А, меди — 1 А. Из-за этого, в качестве контактного материала не используется какой-либо один металл, а применяется разнообразная композиция на базе металлов с высокой тепло- и электропроводностью, а также небольших включений легколетучих компонентов — висмута, сурьмы, хрома. Следовательно, удастся уменьшить ток «среза» до минимального значения. Основными преимуществами вакуумных ВЭВ по сравнению с другими ВЭВ, является увеличение их доли на рынке, высокая надежность, меньшие затраты на обслуживание. Для того чтобы ограничить перенапряжения при отключении малых индуктивных токов многие вакуумные ВЭВ снабжаются особыми ограничивающими перенапряжения устройствами. Такими устройствами являются RC- цепочки,

ограничители перенапряжения, специальные устройства. Используют опережающее отключение первого полюса по сравнению с двумя другими (патент фирмы HOLEC (Голландия) и другие электромеханические способы устранения электрических перенапряжений. Увеличить надежность вакуумных выключателей можно при повышении надежности их приводов, так как надежность дугогасительных камер при современной технологии изготовления практически идеальна (представляемая наработка на отказы ВДК лучшими производителями может составлять 2000 лет). Это техническое решение нужно применять к вакуумным ВЭВ отечественного производства, где наиболее слабым местом является привод, вызывающий до 70% из общего числа отказов. В большом количестве зарубежных ВЭВ используют пружинный привод, это позволяет уменьшать габариты и массу изделия, сокращать время включения вакуумных ВЭВ. Изготавливаемые и применяемые в данное время конструкции приводов не требуют обслуживать их в течение всего эксплуатационного срока. Из отечественных производителей вакуумных ВЭВ выделяется фирма «Таврида электрик». Вакуумные ВЭВ выпускает эта фирма серии ВВ/TEL и являются ВЭВ нового поколения, в которых применяются самые современные технологии и изобретения в вакуумном коммутационном электротехническом оборудовании, которые позволяют создавать аппараты, которые не требуют ремонта в течение всего срока эксплуатации. Различают вакуумные ВЭВ по способу установки выключателей и выпускаются в двух вариантах исполнения. Это подвесное и выкатное исполнение.

#### Достоинства вакуумных ВЭВ:

- простая конструкция (отсутствуют клапана, компрессоров и вспомогательных устройств) и надежная в работа;
- сравнительно малые габаритные размеры и масса;
- отсутствует сжатый воздух или трансформаторное масло;
- малое время, за которое происходит отключение (0,02-0,06 с);

- отсутствует масло и другие горючие материалы (взрывопожаробезопасность);

- быстрое восстановление прочности дугогасительного промежутка (отсутствуют шунтирующие резисторы);

- работа ВЭВ бесшумная;

- отсутствуют выбросы в атмосферу;

- удобен для отключения емкостной нагрузки;

- полностью герметизированное ДУ;

- большой запас при коммутации номинального тока (20...60 тысяч операций);

- произвольное размещение дугогасительной камеры;

- ударная нагрузка на фундамент отсутствует;

- вакуумные ВЭВ позволяют создавать с малыми габаритами КРУ;

- позволяют применяются легкие, небольшие пружинные или электромагнитные приводы, которые имеют малый ход и скорость контактов;

Недостатки вакуумных ВЭВ:

- около ноля наблюдается срез тока, который сопровождается электрическим перенапряжением при отключении малых индуктивных токов;

- для борьбы с электрическим перенапряжением существует необходимость применения РС-цепи, ОПН, или использование ВЭВ с электромеханическими способами устранения электрического перенапряжения;

- в вакуумных ВЭВ на электрическом напряжении более 30 кВ необходимо соединять последовательно несколько камер;

- требуются большие капиталовложения, что обуславливает большую их стоимость.

На примере нескольких патентов рассмотрим характеристики вакуумных выключателей:

Вакуумный выключатель (RU 2230383) [25]

Авторы патента:

Бочкарев В.С. (RU)

Владельцы патента: Пензенский государственный институт (завод-ВТУЗ)  
Филиал Пензенского государственного университета (RU)

Изобретение относится к высоковольтным вакуумным коммутирующим устройствам, предназначенным для коммутации под нагрузкой электрических цепей в электро- и радиотехнической аппаратуре.

Таким образом, совокупность отмеченных выше существенных признаков предлагаемого изобретения позволяет получить значительный технический эффект, заключающийся в повышении коммутационного ресурса и количества механических коммутаций, в обеспечении стабильности электрических параметров при длительной эксплуатации, в уменьшении массы и габаритов при повышении надежности работы.

Сущность изобретения поясняется чертежами, где на фиг.1 (рис. 19) изображен общий вид предлагаемого вакуумного выключателя при разомкнутом положении его контактов.

Формула изобретения:

1. Вакуумный выключатель, содержащий укрепленные на вакуумированной оболочке высоковольтные выводы, расположенные в вакуумированной дугогасительной камере стержневые неподвижные контакты, подпружиненный подвижный контакт, расположенный к каждому из неподвижных контактов с одинаковым зазором и сочлененный через изолятор с электромагнитной системой управления, отличающийся тем, что контактная группа в нем выполнена из двух неподвижных стержневых контактов, которые расположены параллельно относительно друг друга, диаметрально противоположно и на одинаковом расстоянии от продольной оси выключателя, причем контактирующие поверхности их выполнены полусферическими и контактируют с подвижным контактом, выполненным в форме плоского диска из дугостойкого и плохо свариваемого в высоком вакууме материала, например из молибдена или сплава его с висмутом или сурьмой, плоскость которого при разомкнутых контактах

расположена перпендикулярно продольным осям каждого из неподвижных контактов, и закрепленного подвижно на направляющем стержне с возможностью самоустановления его относительно точек контактирования с неподвижными контактами в случае их смещения относительно друг друга в осевом направлении из-за допусков изготовления и свободного вращения подвижного контакта вокруг направляющего стержня, для чего диаметр отверстия в подвижном контакте выполнен большим сопредельного с ним диаметра внешней поверхности направляющего стержня по крайней мере на половину толщины дискового подвижного контакта, а внутренняя поверхность отверстия скруглена радиусом, равным половине толщины дискового подвижного контакта.

2. Вакуумный выключатель по п.1, отличающийся тем, что он снабжен электродом чашеобразной формы, расположенным концентрично относительно внутренней поверхности металлодиэлектрической оболочки и электрически плотно соединенным с внешним выводом.

3. Вакуумный выключатель по п. 1 или 2, отличающийся тем, что упомянутый чашеобразный электрод одновременно выполняет функции защитного экрана, препятствующего осаждению на расположенные в вакуумированной оболочке поверхности деталей из диэлектрика распыляемого вакуумной дугой материала с контактных поверхностей при токовой коммутации, и токопроводника между внешним выводом и закрепленным на чашеобразном электроде первым стержневым контактом.

4. Вакуумный выключатель по любому из пп.1-3, отличающийся тем, что в донной части чашеобразного электрода выполнено отверстие, расположенное диаметрально противоположно и на расстоянии от продольной оси выключателя, равном расстоянию от первого неподвижного контакта до продольной оси выключателя, в котором концентрично расположен второй неподвижный контакт с гарантируемым по электрической прочности кольцевым зазором.

5. Вакуумный выключатель по любому из пп. 1-4, отличающийся тем, что кольцевой зазор превышает по крайней мере в два раза суммарный

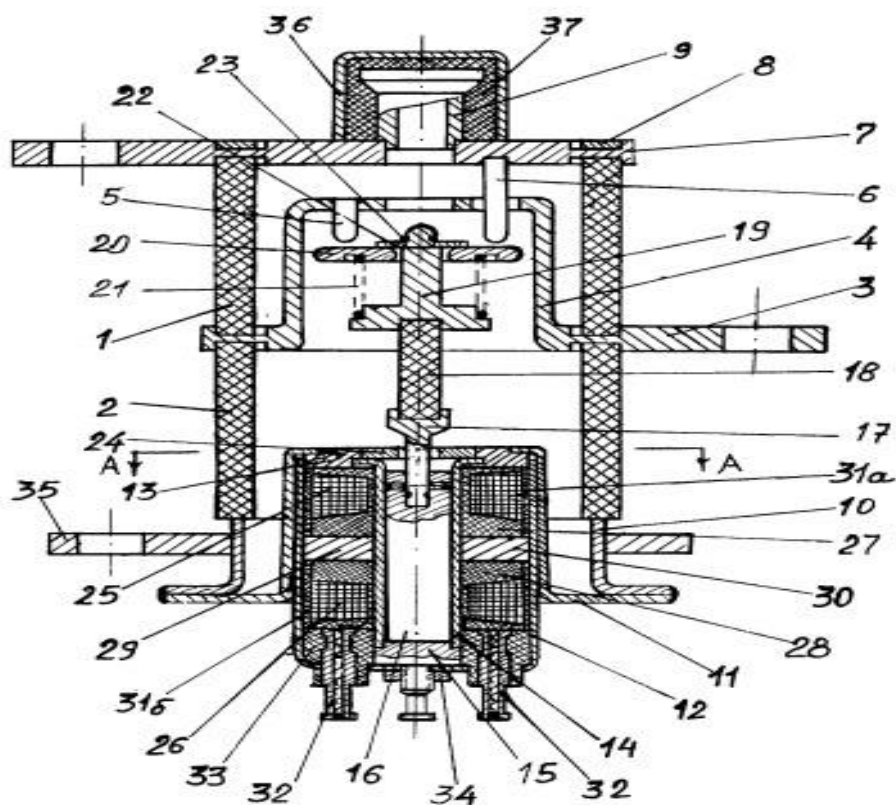


межконтактный зазор между неподвижными и подвижными контактами при разомкнутом их положении.

6. Вакуумный выключатель по любому из пп. 1-4, отличающийся тем, что дисковый подвижный контакт в нем выполняет одновременно роль защитного экрана, препятствующего осаждению расплываемого вакуумной дугой металла контактов на внешней поверхности изолятора, на котором расположен подвижный контакт, и на внутренней поверхности нижней части диэлектрической оболочки.

7. Вакуумный выключатель по любому из пп. 1, 2 и 6, отличающийся тем, что подвижный контакт расположен концентрично относительно электрода чашеобразной формы с гарантированным кольцевым зазором, превышающим в 2 - 3 раза суммарный межконтактный зазор.

8. Вакуумный выключатель по любому из пп. 1, 2, 6 и 7, отличающийся тем, что подвижный контакт углублен вовнутрь чашеобразного электрода более чем наполовину его длины.



Фиг. 1

Рисунок 19 - Вакуумный выключатель

## Вакуумный выключатель тока (RU 2230386) [26]

Авторы патента:

Алферов Д.Ф. (RU), Иванов В.П. (RU), Ильин В.Н. (RU), Симонов А.С. (RU), Сидоров В.А. (RU), Яшнов Ю.М. (RU).

Изобретение относится к электротехнике, а именно к силовой коммутационной аппаратуре, и предназначено для использования в вакуумных выключателях и контакторах постоянного и переменного тока. В выключателе согласно изобретению предложено магнитную систему в виде двух постоянных магнитов или катушек размещать снаружи дугогасительной камеры по оси электродов и выполнять формирующей радиальное, поперечное оси электродов магнитное поле, что позволяет эффективно обрывать дугу при размыкании контактов. Регулирование величины и формы магнитного поля обеспечивается с помощью магнитопроводов и выполнения определенного соотношения между диаметром магнита и диаметром кольцевого контакта. Технический результат - повышение отключающей способности выключателя и уменьшение его массогабаритных характеристик при использовании постоянных магнитов. 4.

Изобретение относится к электротехнике, а именно к силовой коммутационной аппаратуре, и предназначено для использования в вакуумных выключателях и контакторах постоянного и переменного тока.

Формула изобретения:

1. Вакуумный выключатель тока, содержащий дугогасительную камеру с аксиальными подвижным и неподвижным электродами с торцевыми контактами, закрепленными на корпусе камеры, и магнитную систему, состоящую из двух источников магнитного поля, расположенных снаружи камеры, и формирующую между контактами поперечное оси поле, отличающийся тем, что магнитная система выполнена формирующей радиальное поле, причем источники магнитного поля расположены по оси электродов, при этом контакты имеют кольцевую форму.

2. Вакуумный выключатель тока по п.1, отличающийся тем, что источники магнитного поля выполнены в виде постоянных магнитов.

3. Вакуумный выключатель тока по п.1, отличающийся тем, что источники магнитного поля выполнены в виде катушек.

4. Вакуумный выключатель тока по любому из пп.1-3, отличающийся тем, что магнитная система содержит по крайней мере один магнитопровод.

5. Вакуумный выключатель тока по любому из пп.2 и 4, отличающийся тем, что диаметр магнита меньше внутреннего диаметра контакта.

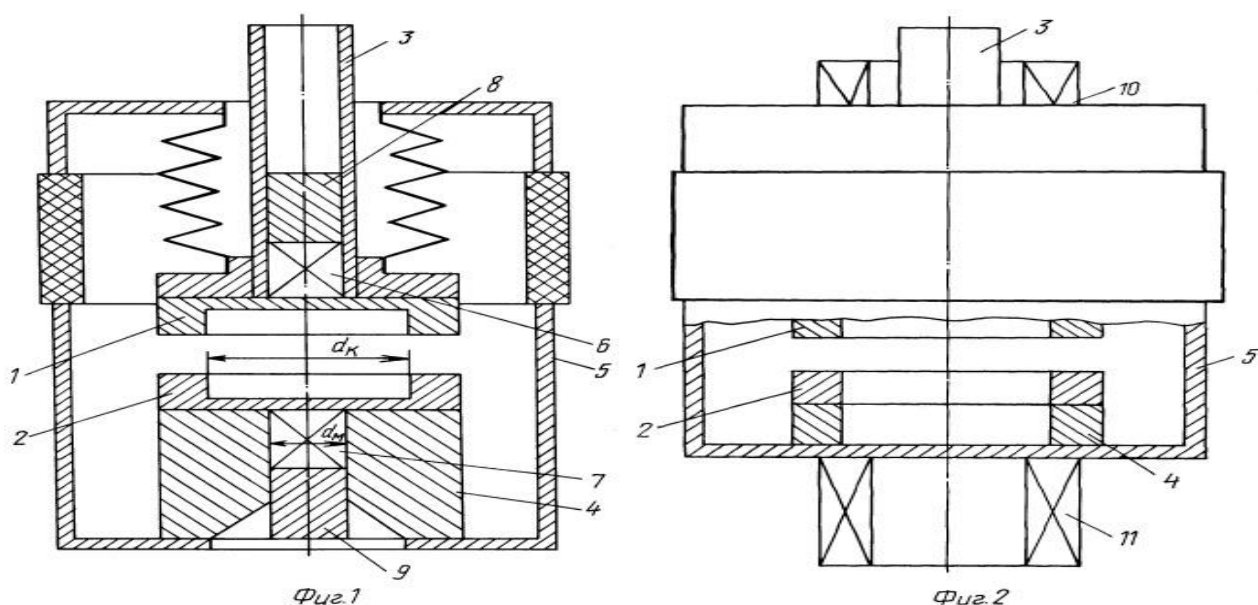


Рисунок 20 - Вакуумный выключатель тока

Вакуумный высоковольтный выключатель (RU 2212725) [27]

Авторы патента:

Мельник Роман Иванович (UA), Мельник Ярослав Владимирович (UA),  
Пшоновский Дмитрий Леопольдович (UA), Бодаква Роман Михайлович (UA).

Изобретение относится к высоковольтному аппаратостроению, в частности к высоковольтным вакуумным выключателям, устанавливаемым на выкатанных элементах шкафов комплектных распределительных устройств в металлической оболочке. Технический результат - повышение надежности за счет обеспечения одновременности замыкания контактов дугогасительных камер полюсов выключателя.

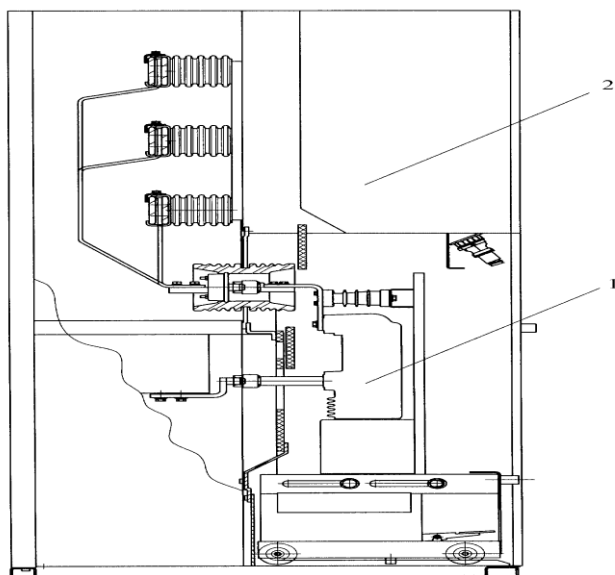
Изобретение относится к области высоковольтного аппаратостроения, в том числе, к высоковольтным вакуумным выключателям, преимущественно установленным на выкатанных элементах шкафов комплектных распределительных устройств (далее по тексту КРУ) в металлической оболочке.

На фиг.1 (рис.21) изображен вакуумный высоковольтный выключатель в шкафу КРУ; на фиг. 2 (рис.21) - вакуумный высоковольтный выключатель на выкатном элементе с механизмом раздельного перемещения.

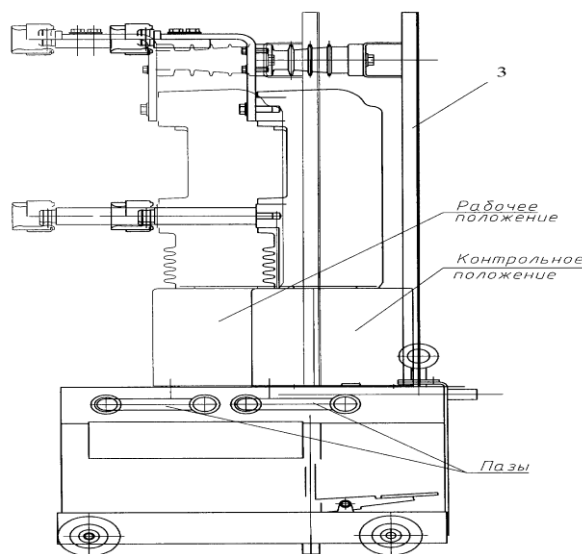
#### Формула изобретения

1. Вакуумный высоковольтный выключатель, содержащий раму, полюса с вакуумными дугогасительными камерами, установленными вертикально в ряд на раме, вал выключателя, установленный горизонтально под рамой, изоляционные тяги с пружинами поджатия, соединяющие указанные камеры с валом, электромагнитный привод, соединенный с указанным валом, и механизм блокировки включения выключателя, отличающийся тем, что привод установлен под полюсами и его катушки включения и отключения размещены в раме, при этом привод соединен с валом с помощью регулирующей тяги, механизм блокировки включения выполнен в виде скобы штока и пружины, удерживающей шток в нижнем разблокированном положении.

2. Вакуумный высоковольтный выключатель по п. 1, отличающийся тем, что привод выполнен с шихтованным магнитопроводом.



Фиг.1



Фиг.2

## Рисунок 21 - Вакуумный высоковольтный выключатель

Вакуумный выключатель (RU 2408108) [28]

Авторы патента:

Буров Александр Геннадьевич (RU), Волостных Валерий Анатольевич (RU).

Владельцы патента: Общество с ограниченной ответственностью "Астер Электро" (RU).

Изобретение относится к электротехнике, а именно к высоковольтному аппаратостроению, и касается конструкции высоковольтных выключателей с вакуумными дугогасительными камерами. Техническим результатом изобретения является понижение времени срабатывания вакуумного выключателя, повышение степени синхронности отключения полюсов и снижение габаритов электропривода.

Техническим результатом предлагаемого изобретения является понижение времени срабатывания вакуумного выключателя. Дополнительными техническими результатами являются: повышение степени синхронности отключения полюсов и снижение габаритов электропривода.

Пример выполнения предлагаемого вакуумного выключателя изображен (в состоянии «включено») на:

Фиг.1 (рис. 22) - вид сбоку с указанием разрезов;

1 - полюсы с вакуумными дугогасительными камерами;

2 - корпус;

Формула изобретения:

1. Вакуумный выключатель, содержащий три полюса с вакуумными дугогасительными камерами, установленными на корпусе, электромагнитное приводное устройство, установленное на том же корпусе, причем его подвижная часть соединена с изоляционными тягами вакуумных дугогасительных камер общей тягой, электромагнитное приводное устройство содержит два электромагнитных привода, установленных в один ряд с полюсами между средней и крайними изоляционными тягами, отличающийся тем, что один привод

- «включения» действует на общую тягу в сторону, направленную на замыкание контактов вакуумных дугогасительных камер, другой привод - «выключения» действует на общую тягу в сторону, направленную на размыкание контактов вакуумных дугогасительных камер.

2. Вакуумный выключатель по п.1, отличающийся тем, что общая тяга привода выполнена в форме полой балки коробчатой конструкции.

3. Вакуумный выключатель по п.2, отличающийся тем, что электромагнитные приводы располагаются внутри полой балки коробчатой конструкции.

4. Вакуумный выключатель по п.1, отличающийся тем, что часть корпуса, на верхней части которого установлены полюса, выполнена в форме коробки, а полюса расположены в ряд вдоль главной оси корпуса.

5. Вакуумный выключатель по п.4, отличающийся тем, что полая балка коробчатой конструкции закреплена на подшипнике, ось которого параллельна главной оси корпуса, а подшипник расположен вблизи боковой стенки корпуса.

6. Вакуумный выключатель по п.1, отличающийся тем, что привод включения, действующий на общую тягу в сторону, направленную на замыкание контактов вакуумных дугогасительных камер, выполнен с фиксацией замкнутого положения привода постоянным магнитом в составе броневое сердечника.

7. Вакуумный выключатель по п.1, отличающийся тем, что привод выключения, действующий на общую тягу в сторону, направленную на размыкание контактов вакуумных дугогасительных камер, выполнен с фиксацией замкнутого положения привода постоянным магнитом в составе броневое сердечника.

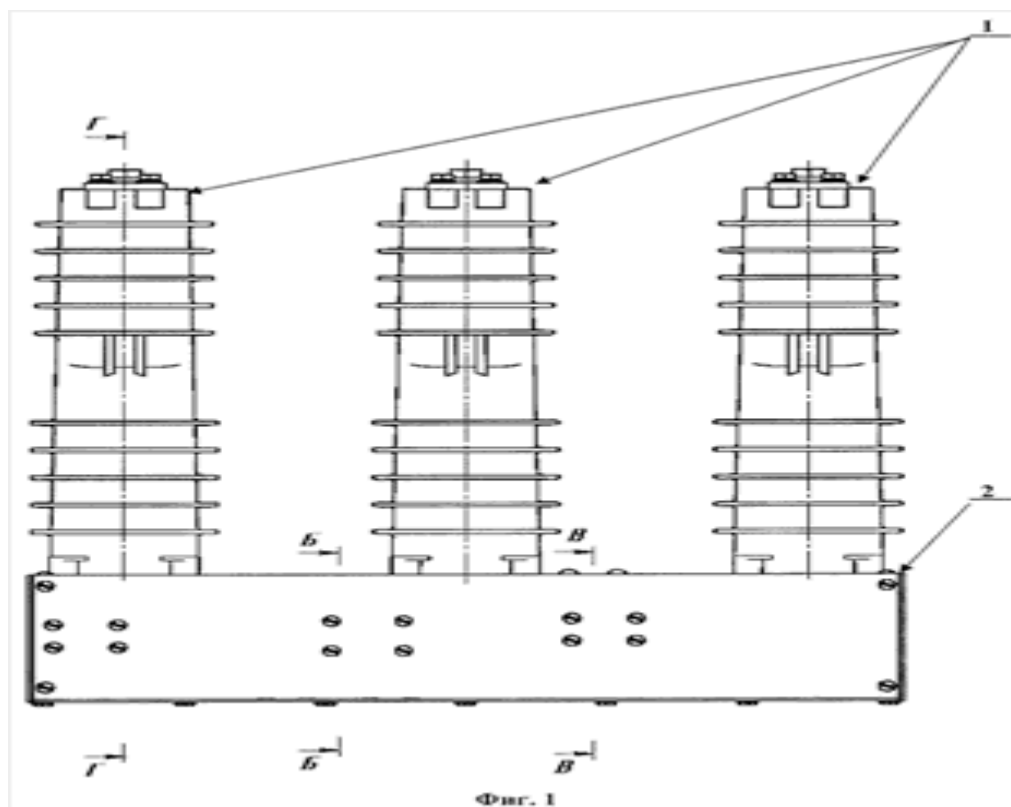


Рисунок 22 - Вакуумный выключатель

### 3.7 Элегазовые выключатели

Физико-химические свойства элегаза. Элегаз, относится к «электроотрицательным» газам, заработавшим такое название из-за способности их молекул захватывать свободные электроны, превращаясь в тяжелые и малоподвижные отрицательно заряженные ионы. Элегаз при нормальной температуре (+20°C) и давлении 0,1 МПа представляет собой газ без цвета и запаха. Плотность его почти в 5 раз выше плотности воздуха, скорость звука в нем при температуре +30°C — 138,5 м/с в отличии от (330 м/с скорости звука в воздухе). Элегаз имеет низкую теплоемкостью в канале столба электрической дуги и повышенную теплопроводность в среде горячих газов, окружающий столб электрической дуги (2000 К<sup>0</sup>). Элегаз обладает низкой электропроводностью, это не снижает электрическую прочность аппаратной изоляции.

Электрическая дуга в элегазовых ВЭВ гасится таким же образом, как и в воздушных ВЭВ при интенсивном охлаждении электрической дуги потоком газа.

Дугогасительные способности элегазовых ВЭВ в 3—5,5 раза больше, чем у воздуха при аналогичных условиях. Объясняется это преимущественно различными физическими свойствами элегаза и воздуха. Канал столба электрической дуги в элегазе имеет меньшее теплосодержание в сравнении с воздухом и более высокую захватывающую способность. В следствии этого носители тока — свободные электроны — в столбе электрической дуги количественно уменьшаются, и баланс их становится отрицательным, в следствии чего электрическая дуга гаснет. Процесс захвата электронов очень благоприятно влияет после перехода тока через ноль, после этого элегазовые ВЭВ становятся нечувствительными к частоте восстанавливающего электрического напряжения. Исследования показывают, что в элегазе при переходе тока через ноль не разрушает канал столба электрической дуги, которая обладает высокой проводимостью. Из-за этого исключаются возможности появления электрических перенапряжений на отключенных, ненагруженных электротрансформаторах и линиях электропередач. В свою очередь в воздушных ВЭВ при интенсивности турбулентных процессов столб электрической дуги может разрушиться раньше, чем перейдет ток через ноль, это приведет к появлению электрических перенапряжений, для ограничения воздушные ВЭВ применяют шунтирующие сопротивления [12].

В элегазовых ДУ в отличие от воздушных ДУ гашение электрической дуги и истечение газа через сопло осуществляется не в атмосферу, а в камеру дугогасящего устройства, заполненные элегазом при незначительном избыточном давлении. Гашение электрической дуги в элегазе происходит в следующих ДУ:

- ДУ с системой продольного дутья, где сжатый элегаз поступает из резервуара под высоким давлением;
- Автокомпрессионные ДУ с дутьем в элегазе, создается компрессионным устройством;
- ДУ с электромагнитным дутьем, где электрическая дуга гасится в результате перемещения ее с большой скоростью в неподвижном элегазе по



кольцевым электродам при воздействии радиальных магнитных полей, которые создаются отключаемым током;

- ДУ с системой продольного дутья, где при повышении давления в элегазе, вовремя разогрева электрической дугой, которая вращается в специальной камере при воздействии на нее магнитного поля.

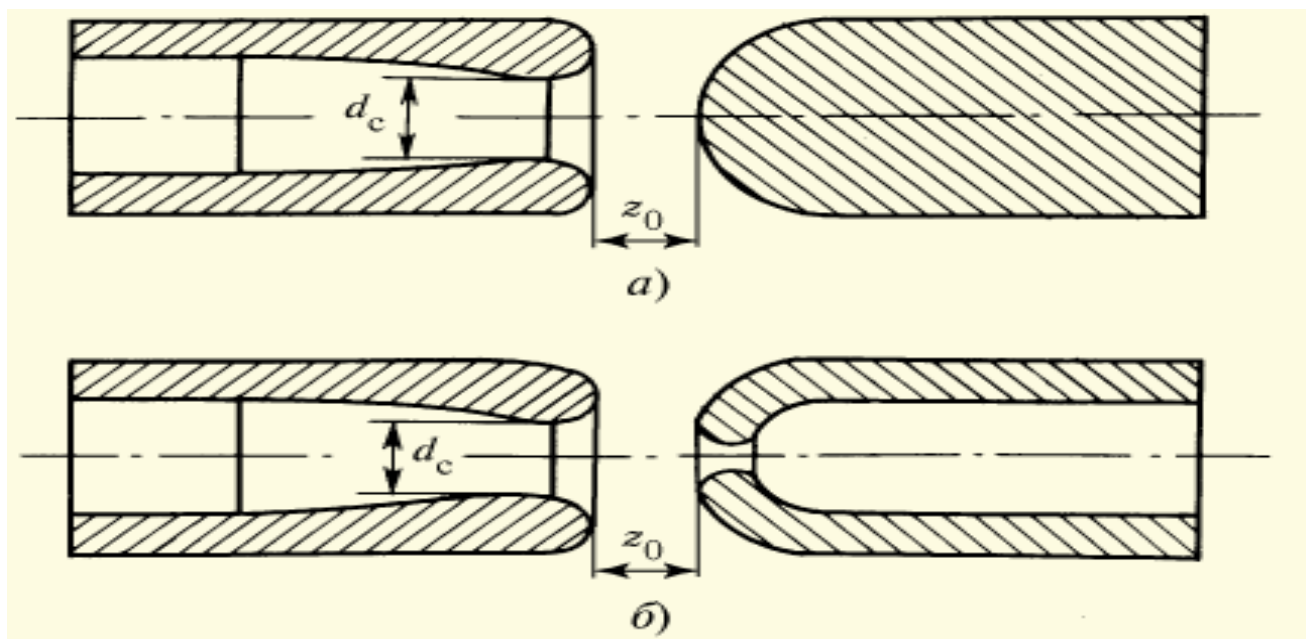


Рисунок 23 - Гашение дуги в соплах ДУ

Интенсивное газодинамическое воздействие потока элегаза на столб электрической дуги является наиболее эффективным способом гашения дуги. Это явление широко используется в современных конструкций ДУ элегазовых ВЭВ. Гашение электрической дуги происходит в соплах (рис. 23) поток элегаза при высоком давлении (0,4—0,5 МПа) как и при одностороннем (рис. 23, а), так и при двустороннем несимметричном (рис. 23, б) газовом дутье.

Основными характеристиками систем продольного дутья считаются: площадь сечения, диаметр горловины сопла, расположение контактов, которое определяется расстоянием между контактами, геометрические размеры, формы диффузоров и конфузоров системы дутья. Наилучшие условия гашения

электрической дуги в таких системах определяются, и в воздушных ВЭВ, геометрическими параметрами систем дугтя и особенно входной части (конфузора).

В наше время в иностранных энергосистемах используемые ВЭВ — элегазовые. У нас в энергетике с некоторых пор, элегазовые ВЭВ стали широко внедряться [2].

Перечень достоинств использования технических устройств элегазовых выключателей приведен ниже:

а) *Негорючесть*. Применение в элегазовых выключателях в качестве изоляции и хладагента негорючего элегаза является кардинальным решением проблемы пожаробезопасности. Это делает ненужным устанавливать вокруг них дополнительное противопожарное оборудование, маслосборники и сточные канавы. Тем самым, при применении элегазовых трансформаторов наиболее эффективно используется пространство на электроподстанции.

б) *Взрывобезопасность*. Если при возникновении неисправностей в элегазовом оборудовании возникнет электрическая дуга, то вследствие физического свойства сжимаемости элегаза внутреннее давление в элегазовом оборудовании увеличится намного меньше, чем в масляном оборудовании. Тем самым, не возникает угрозы для разгерметичности бака, что полностью исключает опасность его взрыва или возгорания и гарантирует безопасность оборудования на электроподстанции.

в) *Малозумность*. Поскольку элегаз обладает значительно лучшими звукоизолирующими свойствами, чем трансформаторное масло, то уровень шума элегазового трансформатора оказывается намного ниже по сравнению с уровнем шума, создаваемого масляным оборудованием.

г) *Высокий уровень герметичности*. Благодаря достигаемому высокому уровню герметичности элегазового оборудования полностью исключается возможность попадания внутрь них наружного воздуха, влаги, пыли. В результате этого со временем его эксплуатации не будет ухудшаться изоляция активной части этого оборудования. Кроме того, поскольку внутри такого оборудования

находится инертный газ, то их изоляция стареет намного медленнее по сравнению с изоляцией масляного оборудования, что повышает надежность его эксплуатации, поэтому отпадает необходимость частого периодического осмотра их активной части, что значительно упрощает эксплуатацию элегазового оборудования и позволяет их использовать в рабочем состоянии в течение более длительного периода времени по сравнению с масляным оборудованием.

д) *Компактность*. Поскольку при применении элегазового оборудования отсутствует необходимость установки расширительного бака и технического устройства сброса давления, становится возможным значительно уменьшить высоту помещения трансформаторной подстанции.

ж) *Малая масса*. Поскольку удельный вес элегаза меньше, чем удельный вес трансформаторного масла, то собственно и силовое элегазовое оборудование имеет меньшую общую массу по сравнению с масляным оборудованием такой же мощности.

з) *Большая степень свободы вариантных схем размещения оборудования*. Кроме компактности и меньшей массы элегазовое оборудование, по сравнению с масляным оборудованием такой же мощности, характеризуются большей степенью свободы их пространственного размещения в составе сооружений ГЭС. Это достигается благодаря малому отношению плотности элегаза к плотности изоляционного трансформаторного масла, приблизительно равному  $1/60$ , а также его меньшей вязкости, вследствие чего в трубопроводных системах охлаждения имеют место меньшие потери давления. Это позволяет устанавливать охладитель не на самом оборудовании, а отдельно от его корпуса, что имеет важнейшее преимущество в случае ограничений на размер площади, отводимой на установку оборудования.

и) *Отличное сопряжение с элегазовой коммутационной аппаратурой*. Применение элегазового оборудования совместно с элегазовой коммутационной аппаратурой обеспечивает компактную планировку электроподстанции и сокращение занимаемой ею площади. Это достигается за счет установки трансформаторного оборудования и коммутационной аппаратуры в одном и том

же помещении, особенно в тех случаях, когда подстанция расположена под землей или находится в больших городах, где стоимость участка земли достаточно велика. В результате достигается значительное снижение затрат на строительство. Поэтому одной из основных областей применения элегазового оборудования являются подземные и закрытые электроподстанции, размещаемые в городских районах, а также в экологически критичных зонах, где утечка масла недопустима.

к) *Экологичность вторичной переработки.* Вторичная переработка отработавшего свой ресурс элегазового оборудования характеризуется простотой реализации по сравнению с переработкой отслужившего свой срок масляного оборудования. Так, согласно расчетов, выполненных сотрудниками Украинского института трансформаторостроения, г. Запорожье, до 96% натуральных материалов, входящих в состав элегазового оборудования, могут быть употреблены повторно. В частности, повторно может использоваться элегаз, а изоляционное покрытие (пластиковые пленки) могут быть легко переработаны. В то же время при утилизации масляного оборудования трансформаторное масло, изоляционная бумага, бандажные и другие материалы не могут повторно применяться по своему прямому назначению. Из выше сказанного следует, что производство элегазового оборудования позволяет экономить трудовые и природные ресурсы.

Элегазовому оборудованию, присущи и некоторые эксплуатационные недостатки. Так, при достаточно высокой температуре и в условиях повышенного давления возможен переход элегаза в жидкое состояние. Поэтому, если предполагается использование элегазового трансформатора при температуре в 40°C, то давление в нем не должно превышать 0,4 МПа. Кроме того, элегаз, используемый в силовых элегазовых трансформаторах, может разлагаться под воздействием электрических разрядов, образуя в процессе разложения различные химически активные и даже токсичные вещества.

Еще одним недостатком элегазового оборудования является их намного большая стоимость по сравнению с масляным оборудованием одинаковой с ними

мощности. В это же время фактические стоимости этих двух типов оборудования обязательно должны учитывать расходы на их эксплуатацию. Такого типа расходы на текущие и капитальные ремонты масляного оборудования превышают расходы, связанные с эксплуатацией элегазового оборудования, которые практически отсутствуют, поскольку элегазовое оборудование не требует специального обслуживания, кроме проведения мониторинга давления газа.

В 2002 году аттестационно-сертификационной фирмой ЗАО «Диакс» была проведена диагностика технического состояния электротехнического оборудования Жигулёвской ГЭС. Было установлено, в частности, что срок эксплуатации большинства электротрансформаторов тока составлял 25 лет. Таким образом, следует, что установленное электротехническое оборудование морально и физически устарело. Конструкционные материалы деталей и узлов данного оборудования в существующей степени уже исчерпали свой запас динамической прочности, что является основной причиной отказов в работе и, как следствие, нарушение надёжного и бесперебойного генерирования и транзита электроэнергии. Это, в свою очередь, связано с существенным экономическим ущербом. Помимо этого, эксплуатируемое устаревшее электротехническое оборудование опасно для жизни и здоровья обслуживающего его персонала и может послужить источником возникновения пожаров, аварий и техногенных катастроф. Исходя из вышеперечисленного анализа технического состояния и заключения аттестационно-сертифицированного учреждения Жигулёвской ГЭС было предложено использовать в технических устройствах ГЭС более совершенное и надёжное в работе электротехническое оборудование.

На примере нескольких патентов рассмотрим характеристики элегазовых выключателей:

Элегазовый выключатель нагрузки (RU 2226303) [29]

Авторы патента:

Егоров В.Г.(RU), Торопчин Ю.В. (RU), Комов В.Г. (RU).

Владельцы патента: Государственное унитарное предприятие "Всероссийский электротехнический институт им. В.И. Ленина"

Изобретение относится к электротехнике, а именно к коммутационной аппаратуре высокого напряжения. Задачей изобретения является создание простой и надежной конструкции элегазового выключателя нагрузки, снижение энергоемкости приводного механизма, снижение стоимости выключателя нагрузки. Это достигается тем, что элегазовый выключатель нагрузки содержит корпус, дугогасительные подвижный и неподвижный контакты, а также изоляционное сопло. Новым является то, что изоляционное сопло связано с неподвижным контактом, а подвижный дугогасительный контакт выполнен с центральным и, по меньшей мере, с одним боковым отверстиями, при этом при включенном положении контактов расстояние  $L_1$  от плоскости торца неподвижного контакта до края горизонтального участка изоляционного сопла и расстояние  $L_2$  от плоскости торца неподвижного контакта до наиболее удаленного края бокового отверстия в подвижном контакте находятся между собой в отношении не менее 1,3 и не более 2. Кроме того, выключатель нагрузки имеет внутри неподвижного контакта изоляционную втулку.

Изобретение относится к электротехнике, а именно к коммутационной аппаратуре высокого напряжения.

Целью изобретения является создание простой и надежной конструкции элегазового выключателя нагрузки, снижение энергоемкости приводного механизма, снижение стоимости выключателя нагрузки.

Указанная цель достигается тем, что в выключателе нагрузки, содержащем корпус, дугогасительные подвижный и неподвижный контакты, а также изоляционное сопло, указанное изоляционное сопло связано с неподвижным контактом, а подвижный дугогасительный контакт выполнен с центральным и, по меньшей мере, с одним боковым отверстиями, при этом при включенном положении контактов расстояние  $L_1$  от плоскости торца неподвижного контакта до края горизонтального участка изоляционного сопла и расстояние  $L_2$  от плоскости торца неподвижного контакта до наиболее удаленного края бокового отверстия в подвижном контакте находятся между собой в отношении не менее 1,3 и не более

2, кроме того, внутри неподвижного контакта имеется изоляционная втулка, ограничивающая объем полости внутри изоляционного сопла.

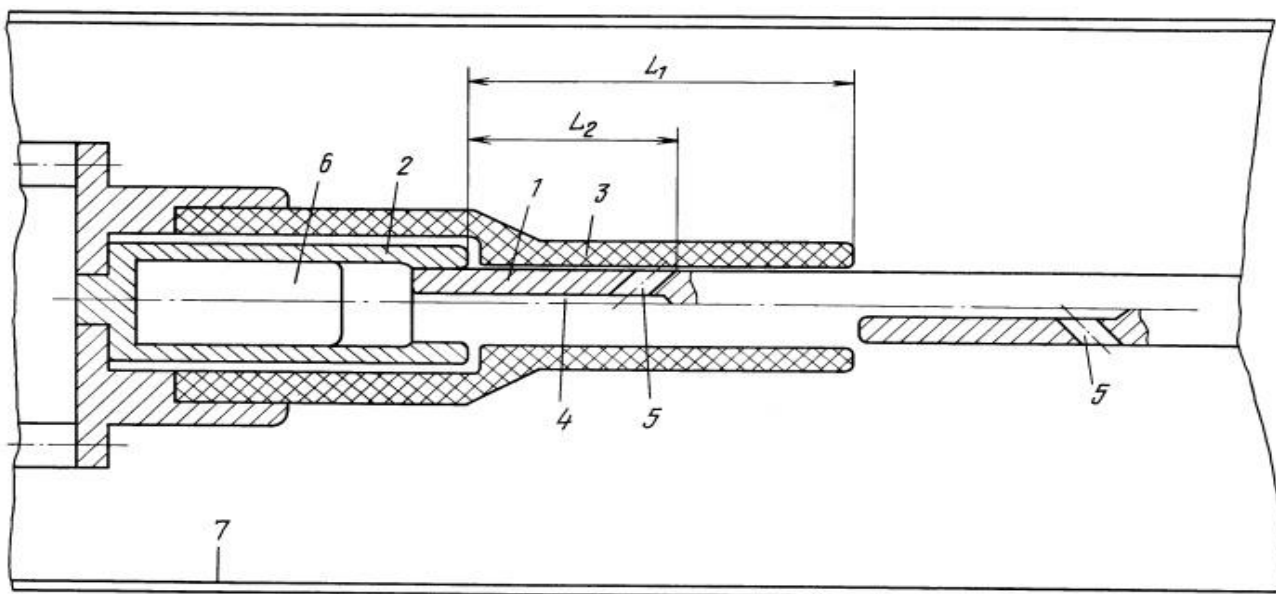
Указанные признаки отсутствуют в известных решениях.

На чертеже представлено дугогасительное устройство предложенного выключателя нагрузки во включенном (сверху от оси) и отключенном (снизу от оси) положениях.

Формула изобретения:

1. Элегазовый выключатель нагрузки (рис. 24), содержащий корпус, дугогасительные подвижный и неподвижный контакты, а также изоляционное сопло, отличающийся тем, что изоляционное сопло связано с неподвижным контактом, а подвижный дугогасительный контакт выполнен с центральным и, по меньшей мере, с одним боковым отверстием, при этом при включенном положении контактов расстояние  $L_1$  от плоскости торца неподвижного контакта до края горизонтального участка изоляционного сопла и расстояние  $L_2$  от плоскости торца неподвижного контакта до наиболее удаленного края бокового отверстия в подвижном контакте находятся между собой в соотношении не менее 1,3 и не более 2.

2. Выключатель нагрузки по п.1, отличающийся тем, что внутри неподвижного контакта имеется изоляционная втулка, ограничивающая объем полости внутри изоляционного сопла.



## Рисунок 24 - Элегазовый выключатель нагрузки

Элегазовый выключатель нагрузки (RU 2503078) [30]

Авторы патента:

Борин Валентин Николаевич (RU), Егоров Владимир Георгиевич (RU), Серяков Константин Иванович (RU).

Изобретение относится к электротехнике, а именно к электрическим аппаратам высокого напряжения, в частности к элегазовым выключателям.

Техническим результатом предлагаемого решения является увеличение коммутационного ресурса и коммутационной способности элегазового выключателя, повышение прочности и надежности в работе дугогасящих сопел, а также упрощение технологии их изготовления.

Указанный результат достигается тем, что в элегазовом выключателе, содержащем дугогасительное устройство, состоящем из двух контактов, соосно расположенных по осевой линии, по меньшей мере, один из которых является подвижным, из электроизоляционного дугогасящего сопла, расположенного соосно вокруг контактов и состоящего из отдельных элементов, выполненных из разных материалов, новым является то, что дугогасительное устройство выключателя дополнительно содержит опорный трубчатый элемент, закрепленный на одном из контактов, причем электроизоляционное дугогасящее сопло и опорный трубчатый элемент представляют собой одно устройство, выполненное из отдельных элементов дугогасящего сопла, закрепленных на внутренней поверхности опорного трубчатого элемента.

На фиг.1 (рис. 25) представлено дугогасительное устройство элегазового выключателя по предлагаемому решению.

Формула изобретения:

1. Элегазовый выключатель, содержащий дугогасительное устройство, состоящее из двух контактов, соосно расположенных по осевой линии, по меньшей мере, один из которых является подвижным, из электроизоляционного дугогасящего сопла, расположенного соосно вокруг контактов и состоящего из



отдельных элементов, выполненных из разных материалов, отличающийся тем, что дугогасительное устройство выключателя дополнительно содержит опорный трубчатый элемент, закрепленный на одном из контактов, причем электроизоляционное дугогасящее сопло и опорный трубчатый элемент представляют собой одно устройство, выполненное из отдельных элементов дугогасящего сопла, закрепленных на внутренней поверхности опорного трубчатого элемента

2. Элегазовый выключатель по п.1, отличающийся тем, что опорный трубчатый элемент выполнен из электроизоляционного материала.

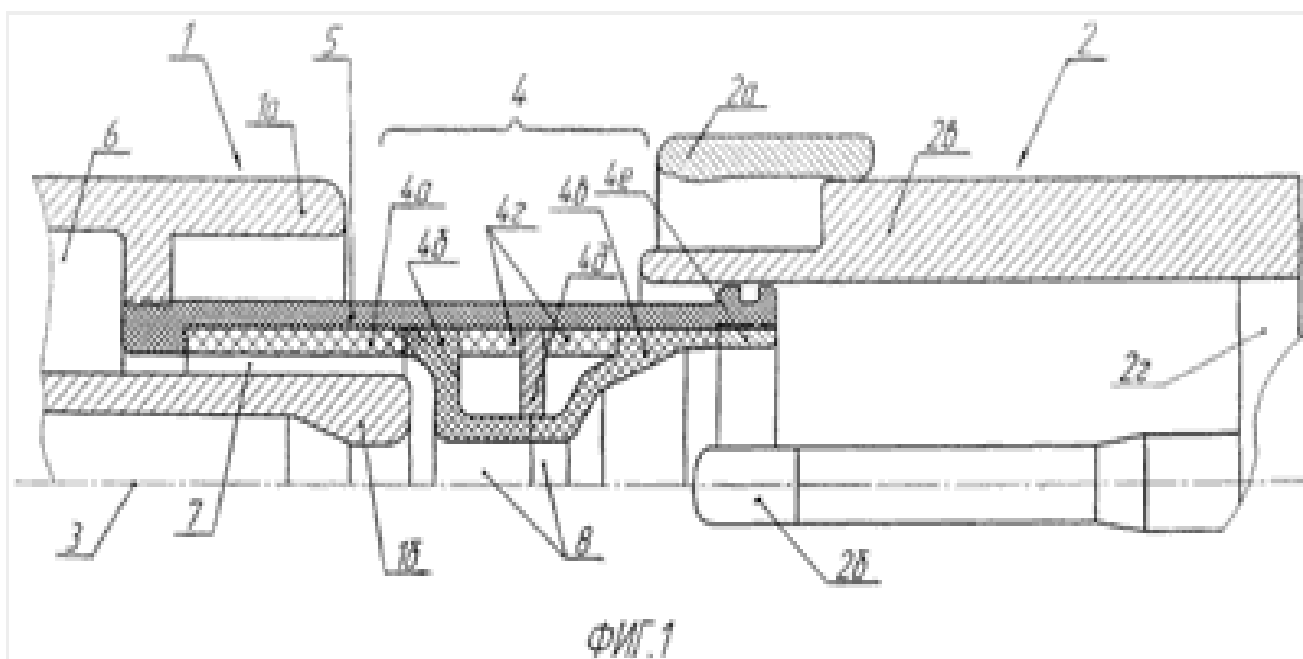


Рисунок 25 - Элегазовый выключатель нагрузки

По результатам патентного поиска, проведенного в электронных библиотеках Федеральной службы по интеллектуальной собственности (ФСИС) РФ, выложенных на сервере Федерального института промышленной собственности (ФИПС) РФ по адресу <http://www1.fips.ru> и/или на сервере Европейского патентного ведомства esp@cenet по адресу <http://ru.espatenet.com>, выявлено и предлагается к применению усовершенствованные технические устройства элегазовых ВЭВ патенты на изобретение RU 2226303 и RU 2503078, отличительными особенностями которых являются оригинальные конструкции

изоляционного сопла и дугогасительного контакта с центральным и боковым отверстиями, дугогасительное устройство ВЭВ содержит дополнительный опорный трубный элемент. Использование такого типа оригинальных конструктивных исполнений ВЭВ позволяет увеличить коммутационный ресурс и коммутационную способность ВЭВ, повысить прочность и надежность в работе дугогасящих сопел, а также упростить технологию их изготовления. Также обеспечивается снижение энергоемкости приводного механизма и снижение стоимости ВЭВ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Большая часть электротехнического оборудования, которое сегодня используется в российской промышленности, является устаревшим либо исчерпавшим свой производственный ресурс. В настоящее время на энергетических предприятиях страны идет замена такого оборудования, и одним из основных требований, которые предъявляются к новому оборудованию, является его соответствие инновационным стратегиями развития отрасли. Иными словами, оборудование должно быть современным, высокотехнологичным и безопасным. К безопасности предъявляются особые требования – в условиях производства всегда высок риск возникновения пожара или взрыва. Поэтому ставки делаются на элегазовое оборудование.

Применение в элегазовом оборудовании в качестве изоляции и хладагента негорючего элегаза является кардинальным решением проблемы пожаробезопасности на объектах энергетики, что делает ненужным устанавливать вокруг них противопожарное оборудование, маслосборники и сточные канавы. Тем самым, при применении элегазового оборудования наиболее эффективно используется пространство на электроподстанции.

Предложено применение усовершенствованных инновационных технических устройств элегазовых ВЭВ, отличительной особенностью которых является повышение коммутационных ресурсов и коммутационных способностей, прочность и надежность работы дугогасящих сопел, упрощенная технология изготовления и технического обслуживания, уменьшенная энергоемкость приводного механизма и низкая стоимость.

На основе результатов проведенного исследования предложена замена эксплуатируемых высоковольтных масляных, воздушных, вакуумных типов электрических выключателей на более взрывопожаробезопасные, компактные элегазовые выключатели, характеризующиеся улучшенными экономическими и экологическими показателями.

### Вывод:

Таким образом, поставленная цель диссертации достигнута, а исследовательские задачи выполнены. Их выполнение в итоге подтвердило, что элегазовое оборудование является одним из пожаробезопасных с улучшенными экономическими и экологическими показателями. В условиях аварий и пожаров элегазовое оборудование сокращает до минимума расход огнетушащих средств и привлечение пожарных подразделений с учётом нормативных документов МЧС.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Рожкова Л.Д. Электрооборудование станций и подстанций [Текст]/ Рожкова Л.Д., Козулин В.С. – 2 е изд., перераб. – М.: Энергия, 1980 – 600с.
2. СТО 70238424.29.240.10.006-2011 Комплектные распределительные устройства элегазовые (КРУЭ). Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования. [Текст] ;
3. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок [Текст]. - М.: Энергия, 1980,- 155 с.;
4. Терминологический словарь по пожарной безопасности [Текст]/ Сост. М.С. Васильев, Н.В. Бородина. М.:ФГУ ВНИИПО, 2001.;
5. Аметистов, Е.И. Основы современной энергетики [Текст] под общей редакцией чл.-корр. РАН Е.В. Аметистова - М.: Издательство МЭИ, 2004.- 822с. – С 634-657.
6. Неклепаев, Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций [Текст]/ Б.Н. Неклепаев, И.П. Крючков – М.:Энергоатомиздат,1989.- 605с. – С 256-263.
7. Полтев А. И. Конструкции и расчёт элегазовых аппаратов высокого напряжения [Текст]. - Л.: Полтев А. И. Энергия, 1979. -240 с. – С 156-173.
8. Электрические аппараты высокого напряжения [Текст] / Под редакцией Г. Н. Александрова. - Л.: Энергоатомиздат, 1989. - 344 с. – С 217-241.
9. Справочник по электрическим аппаратам высокого напряжения [Текст]/ Под редакцией В. В. Афанасьева. - Л.: Энергоатомиздат, 1987. - 544 с.;
10. Гохберг Б. М. Ленинградский физико-технический институт Академии наук СССР (рус.) // Гохберг Б. М. Успехи физических наук [Текст]. — 1940.;
11. Гохберг Б. М. Элегаз - электрическая газовая изоляция (рус.) // Гохберг Б. М. «Электричество» [Текст]. — 1947.;
12. Кох Д. Свойства SF6 и его использование в коммутационном оборудовании среднего и высокого напряжения [Текст] // SchneiderElectric.;
13. Повзик Я. С. П 42 Пожарная тактика [Текст]: Повзик Я. С. Учебник. - М.: ЗАО «СПЕЦТЕХНИКА», 2004. - 416 с. ISBN 5-901018-39-7 Рецензент ГУГПС МВД России №20/3.1/853 от 19.03.99. – С 298-314.

14. Черкасов В.Н., Костарев Н.П. Пожарная безопасность электроустановок [Текст]: Черкасов В.Н. Учебник.-М.:Академия ГПС МЧС России, 2002.-377 с. – С 137-153.
15. Зарецкий А.Д. Гуманизация – доминирующий принцип развития системы пожарной безопасности современной России [Текст]// Зарецкий А.Д. Пожарная безопасность. 2011. № 4.;
16. Гура Ю.Л. Силовой трансформатор с элегазовым заполнением [Текст]// Гура Ю.Л. Электрик. – 2009. – №1–2; 9.;
17. Патент РФ № 3241034/24-07, 21.12.1982 [Электронный ресурс]  
Электромагнитный выключатель // Горбачев Григорий Сергеевич (RU), Матейченко Владимир Иванович (RU), Апольцев Юрий Анатольевич (RU), Муравин Константин Васильевич (RU).;
18. Патент РФ №2005103458/09, 10.02.2005 [Электронный ресурс]  
Высоковольтный выключатель с электромагнитным приводом // Душкин Александр Владимирович (RU), Половинкин Евгений Петрович (RU), Слюсаренко Андрей Викторович (RU).;
19. Патент РФ №3307468/24-07, 07.02.1983 [Электронный ресурс]  
Маломасляный выключатель высокого напряжения // Овчинникова Зина Соломоновна (RU), Матковский Фридрих Яковлевич (RU), Куш Юрий Георгиевич (RU), Крушинский Борис Петрович (RU), Котова Виолетта Лаврентьевна (RU), Иофин Анольд Александрович (RU).;
20. Патент РФ № 2534239/24-07, 12.10.1977 [Электронный ресурс]  
Маломасляный колонковый выключатель // Здрачук Владимир Андреевич (RU), Гордиенко Роман Иванович (RU), Андрейчук Павел Денисович (RU).;
21. Патент РФ №248822/24-07, 26.05.1977 [Электронный ресурс]  
Маломасляный выключатель высокого напряжения // Ротблют Александр Ремович (RU), Котова Виолетта Лаврентьевна (RU), Матковский Фридрих Яковлевич (RU), Овчинникова Зина Соломоновна (RU).;
22. Патент РФ № 5001184/07, 30.08.1994 [Электронный ресурс]

Выключатель с газовым дутьем //Тсукуси Масанори (JP), Хасимото Акира (JP), Сатох Минори (JP), Куросава Юкио (JP), Хирасава Кунио (JP), Ендо Фумихиро (JP), Ямагива Такио (JP).;

23. Патент РФ № 2007139555/09, 24.10.2007 [Электронный ресурс]

Автоматический воздушный выключатель // Шипицын Виктор Васильевич (RU), Черных Илья Викторович (RU), Мурадов Эльхан Шахбабаоглы (RU), Середко Роман Евгеньевич (RU).;

24. Патент РФ № 2007138415/09, 16.10.2007 [Электронный ресурс]

Автоматический воздушный выключатель // ЯНГ Хонг-Ик (KR), ЛИ Санг-Чул(KR), КИМ Ки-Хван (KR), АХН Кил-Йоунг (KR).;

25. Патент РФ №2001130848/092001130848/09, 13.11.2001[Электронный ресурс]

Вакуумный выключатель //Бочкарев В.С. (RU).;

26. Патент РФ №2001103033/092001103033/09, 06.02.2001 [Электронный ресурс]

Вакуумный выключатель тока //Алферов Д.Ф. (RU), Иванов В.П. (RU), Ильин В.Н. (RU), Симонов А.С. (RU), Сидоров В.А. (RU), Яшнов Ю.М. (RU).;

27. Патент РФ № 2000117958/09, 11.07.2000 [Электронный ресурс]

Вакуумный высоковольтный выключатель // Мельник Роман Иванович (UA), Мельник Ярослав Владимирович (UA), Пшоновский Дмитрий Леопольдович (UA), Бодаква Роман Михайлович (UA).;

28. Патент РФ №2009145903/07, 27.12.2010 [Электронный ресурс]

Вакуумный выключатель // Буров Александр Геннадьевич (RU), Волостных Валерий Анатольевич (RU).;

29. Патент РФ №2002120097/092002120097/09, 30.07.2002 [Электронный ресурс]

Элегазовый выключатель нагрузки // Егоров В.Г. (RU), Торопчин Ю.В. (RU), Комов В.Г. (RU).;

30. Патент РФ №2503078,27.12.2013 [Электронный ресурс]

Элегазовый выключатель нагрузки // Борин Валентин Николаевич (RU), Егоров Владимир Георгиевич (RU), Серяков Константин Иванович (RU).;

31. <http://www1.fips.ru> [Электронный ресурс];

32. <http://ru.espacenet.com> [Электронный ресурс];

33. Энергетика оборудование. forsa.ru [Электронный ресурс].
34. <http://www.vniipo.ru/orders/magazine/magazine.htm>[Электронный ресурс].
35. <http://fire-smi.ru> [Электронный ресурс].
46. [http://www.firepress.ru/index.php?show\\_aux\\_page=1](http://www.firepress.ru/index.php?show_aux_page=1)[Электронный ресурс].
37. <http://pojdelo-journal.ru> [Электронный ресурс].
38. <http://www.fireengineering.com/index.html> [Электронный ресурс].
39. <http://tokyo electric power company inc.>[Электронный ресурс].
40. <http://alstom.com> [Электронный ресурс].
41. <http://energomap.com/company/GE> [Электронный ресурс].
42. <http://toshiba.com> [Электронный ресурс].
43. <http://www.mhi-global.com> [Электронный ресурс].