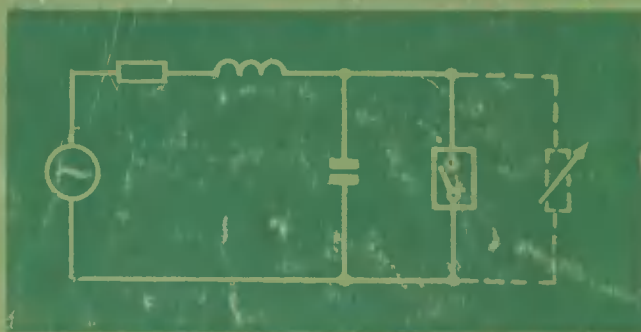


Библиотека
ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

Е. И. БЫКОВ, А. М. КОЛУЗАЕВ

ЭЛЕКТРО- МАГНИТНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ВЭМ-6 и ВЭМ-10



1-2/4

Библиотека
электромонтера

621.3
Б 95

Выпуск 376

Е. И. БЫКОВ, А. М. КОЛУЗАЕВ

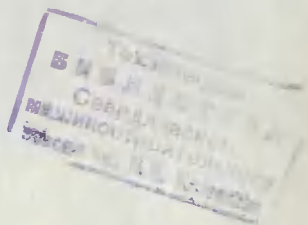
ЭЛЕКТРО-
МАГНИТНЫЕ
ВЫКЛЮЧАТЕЛИ
ВЭМ-6 И ВЭМ-10

83849



DJVI

Scan
AAW



«ЭНЕРГИЯ»
МОСКВА 1973

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Большам Я. М., Зевакин А. И., Каминский Е. А., Мандрыкин С. А.,
Розанов С. П., Семенов В. А., Синьчугов Ф. И., Смирнов А. Д.,
Соколов Б. А., Устинов П. И.

Быков Е. И. и Колузаев А. М.

**Б 95 Электромагнитные выключатели ВЭМ-6 и ВЭМ-10
М., «Энергия», 1973.**

104 с. с ил. (Б-ка электромонтера, вып. 376).

Электромагнитные выключатели 6—10 кВ с гашением дуги в воздушной среде обладают рядом преимуществ по сравнению с масляными выключателями и находят все более широкое применение в электроустановках различных назначений.

В брошюре излагаются основные сведения об электромагнитных выключателях, освещены особенности конструкции, дается оценка коммутационных свойств и приводятся рекомендации по повышению надежности их работы. Рассматриваются вопросы монтажа, эксплуатации и ремонта этих аппаратов.

Брошюра предназначена для электромонтеров и мастеров, работающих на монтаже и обслуживании электроустановок 6—10 кВ переменного тока энергетических систем, промышленных и транспортных предприятий.

3310-070
Б 051(01)-73 —118-72

6П2.1.081

Евгений Ильич Быков,
Аркадий Михайлович Колузаев
Электромагнитные выключатели ВЭМ-6 и ВЭМ-10

Редактор *Е. А. Каминский*
Редактор издательства *Э. Я. Бранденбургская*
Обложка художника *П. П. Первалова*
Технический редактор *Н. А. Галанчева*
Корректор *Е. Х. Горбунова*

Сдано в набор 26/VI 1972 г. Подписано к печати 28/II 1973 г.
Т 03590 Формат 84×108¹/₃₂ Типогр. бум. № 1. Цена 22 коп.
Типогр. бум. № 2. Цена 21 коп. Усл. печ. л. 5,46 Уч.-изд. л. 5,62
Тираж 20 000 экз. Заказ 6646

Издательство «Энергия». Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.

г. Владимир, типография имени 50-летия Октября.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Государственным пятилетним планом развития народного хозяйства на 1971—1975 гг. предусматривается значительное увеличение энерговооруженности промышленности, осуществление массовой электрификации транспорта, сельского хозяйства и сферы обслуживания населения. Возрастают требования к бесперебойности электроснабжения потребителей и повышению технико-экономических показателей электрооборудования. Эти требования, в частности, распространяются на выключатели, предназначенные для переключений в системах распределения электроэнергии.

Широкая автоматизация электроустановок с эксплуатацией выключателей без постоянного наблюдения, увеличение технологических процессов с частыми переключениями обусловили необходимость создания аппаратов с повышенной износостойкостью и небольшим объемом обслуживания. Возникли производственные условия, при которых большое значение приобрела проблема пожаро-взрывобезопасности выключателя. В связи с техническим прогрессом в области преобразовательной техники — внедрением полупроводниковых выпрямительных установок — появились дополнительные требования по уменьшению коммутационных перенапряжений, во многом зависящих от исполнения выключателя.

Все более расширяющееся применение комплектных распределительных устройств (КРУ) средних напряжений делает необходимой оценку выключателя как конструктивного элемента блочных исполнений. Таким образом, является естественным, с одной стороны, стремление к совершенствованию масляных выключателей и, с другой, — поиски решений по созданию новых, отвечающих современным требованиям коммутационных аппаратов (выключатели с элегазовым и водородным заполнением, вакуумные выключатели и др.). В последние годы все более широкое применение находят электро-

магнитные выключатели 6—10 кВ внутренней установки, в которых гашение электрической дуги происходит в воздушной среде. Преимущества электромагнитных выключателей, связанные с отсутствием в них масла, дополняются возможностью осуществления простой конструкции аппарата. Несложно достигается универсальное исполнение для распределительных устройств различных типов — комплектных, сборных и состоящих из отдельных ячеек.

Выключатель с гашением электрической дуги в воздушной среде под действием интенсивного магнитного дутья был разработан еще в 1910 г. М. О. Доливо-Добровольским. Однако из-за отсутствия соответствующих технических возможностей в то время не удалось создать промышленных образцов электромагнитных выключателей, а масляные выключатели получили широкое распространение. Но уже тогда было очевидно, что использование в выключателях для гашения электрической дуги горючей среды — масла имеет существенные недостатки. В настоящее время благодаря новейшим техническим достижениям, особенно в области электрокерамики, созданы электромагнитные выключатели на напряжение 6 и 10 кВ. Интенсивное охлаждение и деионизация электрической дуги в электромагнитных выключателях происходит в результате ее соприкосновения с керамическими пластинами дугогасительной камеры.

Разработка и освоение промышленностью электрокерамики, соответствующей условиям указанного процесса, в первую очередь способствовали организации серийного производства выключателей. Большое значение имели выполненные Всесоюзным электротехническим институтом имени В. И. Ленина, Всесоюзным институтом электрокерамики, Чимкентским и Ровенским электроаппаратными заводами разработки и исследования дугогасящего устройства и системы магнитного дутья. Одновременно удалось получить хорошую дугостойкость и износостойчивость главных и дугогасительных контактов выключателя.

В настоящее время электромагнитный выключатель 6—10 кВ является надежным аппаратом пригодным для применения в электроустановках различных назначений. Можно полагать, что по мере дальнейшего совершенствования дугогасительных устройств и конструкций применение этого выключателя еще более расширится. Не-

который недостаток выключателя — большой вес по сравнению с распространенными малообъемными масляными выключателями — в достаточной мере компенсируется, с одной стороны, возможностью установки в ячейках сборных и комплектных распределительных устройств типовых габаритов и, с другой стороны, простотой конструкции и обслуживания в процессе эксплуатации.

Экономическая эффективность применения электромагнитных выключателей определяется лучшими техническими характеристиками и существенным снижением эксплуатационных расходов по сравнению с выключателями других типов.

Особенности конструкции электромагнитных выключателей обуславливают другие способы их наладки, проверки и обслуживания в процессе работы по сравнению с маслонаполненными аппаратами. Рассмотрению этих вопросов и посвящена настоящая работа.

В брошюре нашел отражение опыт внедрения, эксплуатации и ремонта электромагнитных выключателей на Московском ордена Ленина метрополитене имени В. И. Ленина.

Авторы

1. ОСОБЕННОСТИ ОТКЛЮЧЕНИЯ ЦЕПЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕМ

Отключение рабочих токов и сверхтоков сопровождается электрической дугой между контактами выключателя. Тип и конструкция выключателя определяются принятым способом гашения дуги.

Для выключателей как масляных, так и электромагнитных характерны следующие режимы: а) коммутация рабочих токов, происходящая при небольшом сдвиге фаз между током и напряжением; б) отключение тока короткого замыкания, в процессе которого сдвиг фаз между током к. з. и напряжением велик; в) отключение малых индуктивных токов — обычно отключение ненагруженных трансформаторов.

Гашение электрической дуги в выключателях протекает различно в зависимости от того, отключается ли ток нагрузки, ток короткого замыкания или малый индуктивный ток. Поэтому, прежде чем сравнивать процессы дугогашения в масляных и электромагнитных выключателях, рассмотрим в общих чертах физические особенности перечисленных режимов.

Отключение рабочих токов. При использовании электроэнергии работа совершается, если имеется соответствующая активная мощность. Принято это положение представлять иначе, а именно, что полезную работу совершает активный ток. Однако большинство потребителей (электродвигатели, трансформаторы, выпрямительные установки) обладает индуктивностью, в связи с чем образуется некоторое отставание тока в цепи по отношению к напряжению (сдвиг тока по фазе на угол φ_n). Как правило, этот сдвиг фаз невелик ($\varphi_n \approx 20 \div 30^\circ$ эл). В тех же случаях, когда он значителен, принимаются меры для его уменьшения (например, включаются конденсаторы). Таким образом, отключение рабочих токов происхо-

дит при малых углах сдвига тока по отношению к напряжению. Некоторой идеализацией процесса отключения рабочих токов, учитывая малый угол сдвига фаз в этом режиме, является процесс отключения выключателем чисто активного тока ($\varphi_n \approx 0$).

Отключение токов к. з. При к. з. проводники, подводящие электроэнергию к потребителям, соединяются наглухо или через дугу. Это соединение (место к. з.) шунтирует нагрузку, в связи с чем прекращается потребление ею активного тока. Одновременно между источником энергии и местом соединения начинает проходить значительный по величине ток к. з. Так как все элементы цепи до места к. з. (генераторы, линии передач, трансформаторы, реакторы) обладают значительной индуктивностью и сравнительно малым активным сопротивлением, в цепи устанавливается ток, имеющий большой сдвиг по фазе по отношению к напряжению ($\varphi_k \approx 65^\circ - 80^\circ$ эл). Предельным случаем отключения токов к. з. является рассмотренный далее процесс отключения чисто индуктивного тока ($\varphi_k \approx 90^\circ$ эл).

Изменение тока от значения, соответствующего рабочему режиму, к установившемуся току к. з. не может произойти сразу, а сопровождается переходным процессом (рис. 1). Во время переходного процесса к. з. ($a - b$ на рис. 1) изменение тока в цепи происходит по кривой i'_k с неодинаковой величиной его максимальных значений в каждый период. Затем наступает установившийся режим короткого замыкания ($b - c$), когда периодические изменения тока каждый период происходят одинаково.

В дальнейшем нам придется оценивать действие масляных и электромагнитных выключателей в различные моменты процесса к. з., сопоставляя различие происходящих в них явлений. Поэтому целесообразно несколько подробнее остановиться на особенностях переходного процесса. Сразу же оговоримся, что физические процессы, происходящие при к. з., рассмотрены в литературе. Однако нужно подчеркнуть те их стороны, которые сказываются на отключающей способности масляных и электромагнитных выключателей.

Прежде всего следует ответить на вопрос, почему какое-то время ($0 - b$ на рис. 1) ток к. з. изменяется по кривой i'_k и что это за собой влечет применительно к выключателям?

Если в какой-то момент времени ($t=0$ на рис. 1) произошло к. з., то ток в цепи с индуктивностью не может сразу измениться от величины, соответствующей нагрузке i_n , до значения, определяемого суммарным сопротивлением при к. з., потому что согласно закону Ленца цепь с индуктивностью всегда стремится сохранить то состояние, которое она имела до коммутации. Поэтому непосредственно в момент к. з. (точка 0) ток остается равным току нагрузки i_n . Представив кривую тока к. з. при переходном процессе i'_k как сумму двух кривых, каждая из которых отражает два по-разному происходящих

одновременно явления, можно следующим образом объяснить ее изменение.

Допустим, что в момент к. з. под действием периодически изменяющегося напряжения сети мгновенно появляется периодическая составляющая тока к. з., сдвинутая по фазе примерно на 90° по отношению к напряжению (кривая i_1). Изменение периодической составляющей каждый период происходит одинаково, так как мы считаем, что характер изменения напряжения сети во время процесса к. з. сохраняется. Но ток в начальный момент остается небольшим по сравнению с током к. з. и равным току нагрузки i_n . Это может быть, если допустить появление одновременно с периодической, другой составляющей тока к. з. Такой составляющей является так называемая аperiodическая составляющая, представляющая собой затухающий ток, постоянный по направлению (i_a на рис. 1). Ее появление с учетом сделанных выше допущений объясняется так: мгновенное появление тока периодической составляющей вызывает изменение магнитного потока в цепи с индуктивностью; наводится э.д.с., препятствующая изменению тока. Наведенная э.д.с. вызывает прохождение тока аperiodической составляющей, имеющего обратное направление. Аperiodическая составляющая тока, возникнув в момент к. з. (и только в этот момент), далее затухает, поскольку цепь обладает активным сопротивлением.

Итак, сумма периодической и аperiodической составляющих в начальный момент времени ($t=0$) должна быть равна току нагрузки i_n (отрезок $0-a$ на рис. 1). Обратим внимание на то, что через

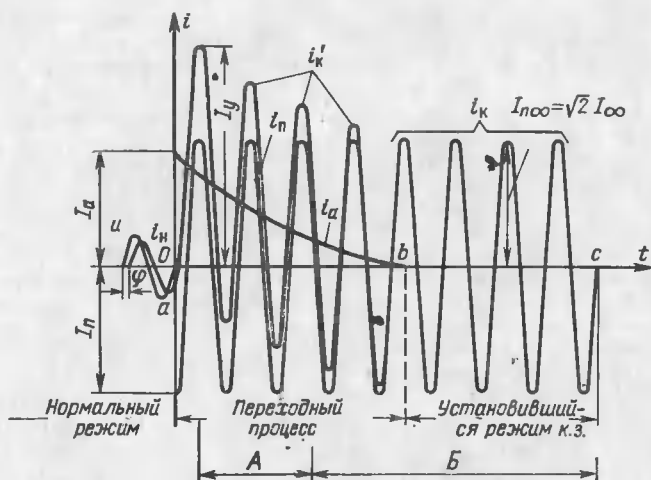


Рис. 1. Изменение тока при коротком замыкании.

А—зона отключения быстродействующего выключателя;

Б—расчетная зона небыстродействующего выключателя.

полупериода после начала к. з. ток i'_k (являющийся суммой совпадающих в этот момент по направлению периодической и аperiodической составляющих) имеет максимальное значение, которое имену-

ется ударным током I_y . В цепях с большим индуктивным сопротивлением ударный ток близок к двойной величине амплитуды периодической составляющей. В цепях с малым индуктивным сопротивлением аperiodическая составляющая быстро затухает и ударный ток лишь несколько больше амплитуды периодической составляющей.

В сетях напряжением 6—10 кВ аperiodическая составляющая затухает в среднем за 4—5 периодов, после чего установившийся ток к. з. изменяется по периодической кривой. Поэтому если выключатель отключает цепь менее чем за 4—5 периодов от момента начала к. з., то он, естественно, будет разрывать и аperiodическую составляющую. Следовательно, безразлично, в какой момент процесса к. з. происходит размыкание контактов выключателя, так как от этого зависит сила тока, который он разрывает.

Обычно контакты небыстродействующих выключателей размыкаются, когда уже наступил установившийся режим к. з., поскольку суммарное время действия релейной защиты и привода занимает 5—6 периодов. Быстродействующие выключатели имеют меньшее время от момента возникновения к. з. до размыкания контактов. Это значит, что контакты быстродействующих выключателей размыкаются еще в неустановившемся режиме, чему соответствуют большие по величине силы токов. С внедрением электронной токовой защиты вместо релейной это время еще более снизится. При выборе выключателей нужно учитывать время действия привода и токовой защиты и не забывать об определенном запасе мощности отключения — отключающей способности выключателей, которая обычно устанавливается с учетом аperiodической составляющей в токе до 25—30%. Нужно также иметь в виду возможность включения выключателя какого-либо присоединения, когда в цепи уже имеется короткое замыкание. Особенно неблагоприятно несостоявшееся включение, т. е. случай, когда контакты выключателя после соприкосновения немедленно начнут расходиться. Причинами этого могут быть отказ фиксации привода во включенном положении; недостаточное усилие включающего электромагнита из-за плохой регулировки или вследствие пониженного напряжения в оперативных цепях и др. Это может произойти с любым выключателем. Но последствия несостоявшегося включения при отключении тока к. з. масляным выключателем тяжелее, чем при отключении электромагнитным выключателем.

Отключение малых индуктивных токов имеет особенность, которая состоит в том, что выключатель обрывает ток до достижения им естественного нулевого значения. Наиболее часто встречающимися на практике коммутациями такого вида является отключение ненагруженных трансформаторов. При обрыве тока выключателем высвобождается электромагнитная энергия, запасенная в индуктивных элементах схемы, вследствие чего возникают перенапряжения, опасные для изоляции оборудования и аппаратуры.

Выводы. При размыкании контактов выключателя возникает электрическая дуга. В масляных выключателях длина дуги невелика и ее гашение происходит путем удаления с большой скоростью раскаленных газов из межконтактного промежутка и охлаждением самой дуги. В электромагнитных выключателях дуга растягивается магнитным полем до значительной длины и быстро перемещается из нагретой зоны в холодные участки дугогасительных камер.

В зависимости от характера нагрузки (активная или индуктивная) и типа выключателя (масляный или электромагнитный) явления в размыкаемой цепи протекают различно. Представление об их характере дают помещенные ниже типичные осциллограммы (рис. 2 — 4), но, прежде чем их рассматривать, полезно в общих чертах познакомиться с процессами, которыми сопровождается разрыв дуги.

Электрическая дуга в выключателях переменного тока

Электрическая дуга при отключении цепи с током возникает между контактами выключателя, как только началось их расхождение. Высокая напряженность электрического поля¹ способствует выносу из металла контактов в промежуток между ними носителей электрического тока — электронов. Поскольку в момент расхождения контактов площадь их соприкосновения становится небольшой, на еще соприкасающихся участках резко возрастает плотность тока, что приводит к значительному повышению температуры контактов. Образуются катодное пятно на отрицательном и анодное — на положительном контактах. Источником появления свободных носителей электрического тока или, иначе говоря, источником термоэлектронной эмиссии электронов является катод (положение катода и анода меняется с промышленной частотой тока).

В результате термоэлектронной эмиссии среда в промежутке

¹ Разность потенциалов между контактами, отнесенная к единице расстояния (к величине разрыва, см).

между контактами ионизируется и, следовательно, становится проводящей электрический ток. По мере увеличения тока эмиссия электронов продолжает возрастать, так как катод дополнительно нагревается за счет бомбардировки его ионами, образующимися в межконтактном промежутке. Прохождение тока принимает форму дугового разряда, который поддерживается термоэлектронной эмиссией и ионизацией газа. В раскаленном до высокой температуры дуговом пространстве ($5\,000\text{--}6\,000^\circ\text{C}$ и выше) резко возрастают скорости движения атомов и молекул, происходят их столкновения, возникают и уничтожаются заряженные частицы. Образуется основание (столб) дуги с одинаковым соотношением количества электронов и ионов, который обладает почти такой же электропроводностью, как металл, и именуется плазмой.

Дуга поддерживает замкнутое состояние цепи. Следовательно, ее разрыв может состояться лишь тогда, когда распадется плазма. С увеличением отключаемого тока растет ионизация дугового пространства; уменьшение тока сопровождается снижением ионизации и, следовательно, уменьшением проводимости плазмы. Поскольку условием поддержания разряда является высокая температура плазмы, резкое уменьшение проводимости дуги и ее принудительное гашение может быть достигнуто путем эффективного охлаждения.

Естественное изменение проводимости дуги переменного тока происходит с частотой изменения тока. Проводимость плазмы будет наименьшей при прохождении тока вблизи нулевого значения, когда и следует ожидать погасания дуги.

Отмеченные положения характеризуют лишь общую направленность явлений. Зависимости в процессе дугогашения имеют довольно сложный характер и определяются особенностями устройств дугогашения выключателей, отключаемым током, параметрами отключаемых цепей и некоторыми другими факторами.

Гашение дуги при отключении активной нагрузки. На рис. 2 показаны осциллограммы отключения активной нагрузки соответственно масляным и электромагнитным выключателями.

При активной нагрузке ток i и напряжение сети u_c совпадают по фазе. Для простоты рассуждений предположим, что контакты выключателей размыкаются в начальной части полупериода (момент $1\text{--}I$). Зажигание дуги происходит при определенном значении напряжения, называемом напряжением зажигания U_z , при котором создается достаточная напряженность электрического поля для образования дугового разряда в условиях начала термоэлектронной эмиссии в межконтактном промежутке. Из рис. 2 видно, что в момент зажигания дуги $1\text{--}I$ выключателя напряжение сети u_c больше напряжения зажигания U_z , благодаря чему дуга зажигается.

С возрастанием тока падение напряжения в дуге u_z снижается, так как вольт-амперная характеристика дуги имеет падающий характер (увеличение тока влечет за собой уменьшение падения напряжения). При увеличении тока возрастает интенсивность ионизации межконтактного промежутка, растет проводимость дугового столба. Если обеспечивается хороший теплоотвод из зоны дуги, то при некотором напряжении U_r , которое называется напряжением гашения, дуга гаснет, причем гаснет раньше, чем ток снизился бы до нуля при замкнутых контактах. Таким образом, от точки f начинается бестоковая пауза t , которая будет продолжаться до точки h , соответствующей зажиганию дуги в следующем полупериоде.

Во время бестоковой паузы условия, способствующие зажиганию дуги, ухудшаются, поэтому напряжение зажигания U'_3 во втором полупериоде больше, чем в первом, и это хорошо. Наконец, дуга по-

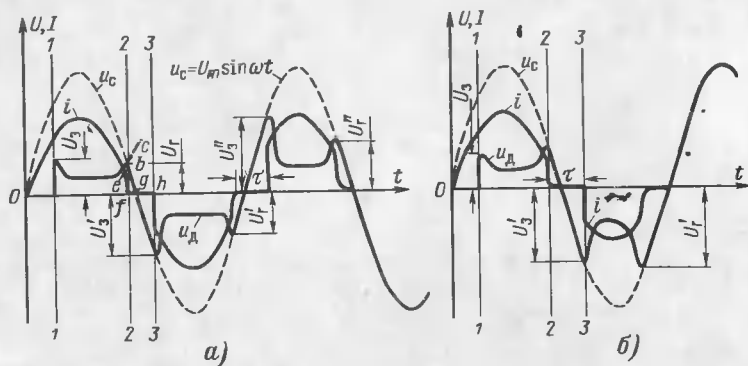


Рис. 2. Изменения тока и напряжения при отключении активной нагрузки масляным выключателем (а), электромагнитным выключателем (б).

1—1— момент размыкания контактов; 2—2— обрыв тока; 3—3—повторное зажигание дуги.

гаснет, когда в один из последующих полупериодов диэлектрическая прочность межконтактного промежутка возрастет настолько, что напряжение сети уже не может вызвать повторное зажигание.

Следует подчеркнуть, что если охлаждение плазмы, а значит, и ее деионизация недостаточны, то из-за тепловой инерции дуговой столб сохраняет высокую проводимость даже при нулевом значении тока. В силу этого напряжение зажигания в следующий полупериод возрастет незначительно и полное гашение дуги затянется.

Поясним несколько подробнее причины образования бестоковой паузы. Как уже отмечалось, особенностью гашения дуги при активной нагрузке является образование бестоковой паузы. В момент, когда напряжение сети, уменьшаясь по синусоидальному закону, достигнет величины напряжения гашения, плазма уже обеднена носителями тока. В этих условиях изменение напряжения дуги, чтобы поддерживать уменьшение тока тоже по синусоидальному закону, должно бы было происходить по кривой $b-c$. Но этого не может быть, поскольку напряжение сети имеет меньшие значения, стремясь к нулю. Поэтому ток резко падает по кривой $e-f$ и достигает практически нулевого значения раньше (точка f), чем естественный нуль (точка g). Такое непропорциональное напряжению уменьшение тока фактически означает увеличение сопротивления межконтактного промежутка и происходит потому, что условий для поддержания горения дуги недостаточно.

Малый ток приводит к малому тепловыделению и интенсивность термоэлектронной эмиссии резко падает. Малое напряжение между контактами неспособно создать напряженность поля, которая позволила бы поддерживать электростатическую эмиссию электронов или

вызвать ударную ионизацию (т. е. ионизацию молекул газа в межконтактном промежутке за счет энергии электронов или ионов газа, разогнанных силами электрического поля). Поэтому в течение этого времени интенсивно протекает процесс деионизации и плазма в межконтактном промежутке практически распадается. Чтобы вновь зажечь дугу, в следующем полупериоде требуется уже напряжение зажигания U_z , большее, чем U_3 , которое способно пробить промежуток, т. е. вызвать сначала электростатическую, а затем с появлением тока — термоэлектронную эмиссию.

Масляный выключатель относится к коммутационным аппаратам с малым сопротивлением дуги во время отключения. В период дугового разряда отключаемый масляным выключателем ток в каждый последующий полупериод практически не изменяется по амплитуде.

Отключение цепи электромагнитным выключателем иллюстрирует рис. 2, б. В процессе отключения электромагнитного выключателя дуга *растягивается до значительной длины и ее сопротивление по мере расхождения контактов сильно возрастает*. Следовательно, в период гашения дуги в отключаемую цепь вводится увеличивающееся активное сопротивление, которое ограничивает амплитуду тока. Кроме того, рост активного сопротивления цепи в процессе отключения за счет изменения длины дуги приводит к более быстрому по сравнению с масляным выключателем увеличению напряжения гашения и зажигания в каждый последующий полупериод. Это способствует увеличению бестоковой паузы, уменьшению времени гашения дуги (сравните рис. 2, а и б).

Вывод. Ограничение амплитуды отключаемого тока и более быстрый рост напряжения зажигания и гашения дуги в электромагнитных выключателях создают лучшие условия для дугогашения.

Отключение индуктивной нагрузки. При индуктивной нагрузке, что характерно для большинства встречающихся на практике установок, ток отстает по фазе от напряжения. Когда возникает к. з., ток сдвинут по отношению к напряжению на угол, близкий к 90° (рис. 3). Рассмотрим отключение цепи с индуктивностью при к. з. Допустим, что размыкание контактов полюса масляного выключателя происходит в момент $1-1$ (рис. 3, а). Поскольку напряжение между контактами больше напряжения зажигания, сразу возникает дуга. Далее падение напряжения в дуге u_d по мере возрастания тока несколько снижается. Вслед за погасанием дуги в момент прохождения тока через нуль (при напряжении U_1) сразу же следует ее повторное зажигание, чему способствует большая величина напряжения между контактами в момент $2-2$, близкая к максимальному значению. Таким образом, бестоковая пауза здесь практически отсутствует. Если не будет достигнуто активное охлаждение плазмы, то сохранение высокой проводимости дугового столба и облегченные условия зажигания приведут к длительному горению дуги.

Напряжение зажигания U'_z в следующий полупериод больше, чем первоначальное значение U_z , так как увеличилось расстояние между контактами и происходит более интенсивная деионизация остаточного дугового столба в момент перехода тока через нуль. Вместе с тем величина падения напряжения в дуге возрастает незначительно. Когда диэлектрическая прочность межконтактного промежутка возрастет настолько, что ее значение превысит величину восстанавливающегося между контактами напряжения, дуга погаснет. Восстанавливающимся напряжением называется напряжение,

появляющееся на контактах выключателя в момент разрыва цепи. Максимум восстанавливающегося напряжения $U_{в. макс}$ показан на рис 3, а. Из рисунка 3, а также видно, что напряжение сети в этот

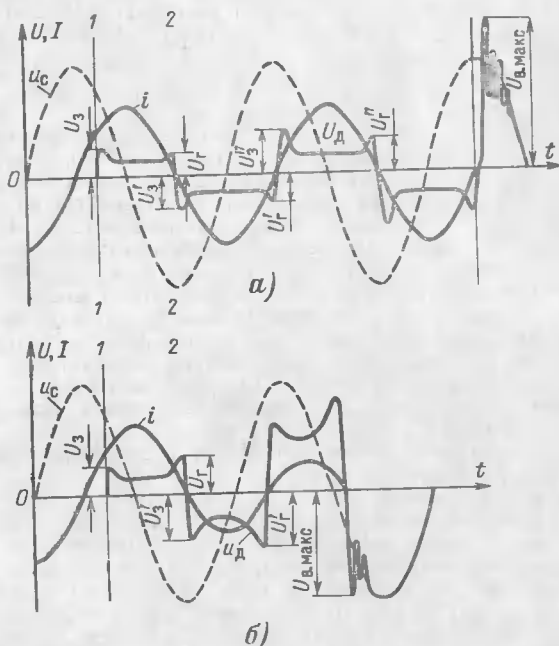


Рис. 3. Изменения тока и напряжения при отключении индуктивной нагрузки масляным выключателем (а), электромагнитным выключателем (б)

момент близко к амплитудному значению. Характер изменения и скорость восстановления напряжения (или иначе говоря крутизна его нарастания) оказывает большое, зачастую решающее влияние на отключающую способность выключателя. Большая амплитуда восстанавливающегося напряжения способствует пробоев межконтактного промежутка. Если велика скорость восстановления напряжения, снижается время деионизации и увеличения электрической прочности межконтактной зоны, что также может вызвать повторное зажигание дуги. Поэтому скорость восстановления напряжения стремятся снизить. Процесс восстановления напряжения между контактами выключателя является переходным и отличается от синусоидального изменения напряжения промышленной частоты.

Чтобы подробнее рассмотреть процесс к. з., воспользуемся схемой замещения (рис. 4). В схеме замещения элементы электрической сети заменяются величинами L , C , R , являющимися соответственно эквивалентными индуктивным, емкостным и активным сопротивле-

ниями всех элементов цепи. Они включают в себя индуктивное, емкостное и активное сопротивления генераторов, трансформаторов, реакторов, линий передач, кабельных линий и элементов распределительных устройств от источника питания до места к. з.

Разберем два характерных случая.

Первый случай — сопротивление R мало. Если сопротивление цепи мало, то в момент погасания дуги индуктивность L и емкость C образуют колебательный контур. Появляется э. д. с. переходной составляющей более высокой частоты, чем напряжение сети, которая изменяется по гармоническому закону, но затухает; ее максимальное значение может достигнуть амплитудного значения напряжения сети. Для более наглядного представления характера изменения э. д. с. переходной составляющей воспользуемся ее математическим выражением.

Изменение переходной составляющей может быть представлено формулой

$$U_0 = U_c \cos \omega_0 t \cdot e^{-\frac{R}{L} t}, \quad (1)$$

где U_0 — напряжение переходной составляющей; U_c — напряжение сети промышленной частоты;

$$U_c = U_m \sin \omega t, \quad (2)$$

где U_m — амплитуда напряжения сети; $\omega_0 = 2\pi f_0$ — собственная круговая частота колебаний в контуре коммутации, имеющем R , L , C . Частота колебаний в контуре определяется выражением

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}. \quad (3)$$

Из рассмотрения (1) следует, что напряжение переходной составляющей изменяется по гармоническому закону (член $\cos \omega_0 t$), но затухает по экспоненциальному закону (член $e^{-\frac{R}{L} t}$). Когда активное сопротивление контура коммутации R мало, то при малых значениях времени t (начальный период к. з.) числитель дроби $-\frac{R}{L} t$

близок к нулю и экспоненциальный член выражения (1) равен единице. Гармонический член $\cos \omega_0 t$ будет принимать значения также равные единице. Поэтому напряжение переходной составляющей может быть равно амплитудному значению напряжения сети

$$U_0 = U_m. \quad (4)$$

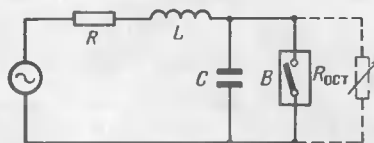


Рис. 4. Схема замещения цепи короткого замыкания.

L и C — суммарные эквивалентные индуктивность и емкость; R — суммарное активное сопротивление; B — выключатель (масляный или электромагнитный); $R_{ост}$ — остаточное после дуговое сопротивление.

Так как переходная составляющая накладывается на синусоиду напряжения сети, максимум восстанавливающегося напряжения $U_{в. макс}$ может достигнуть величины удвоенного значения амплитуды сетевого напряжения:

$$U_{в. макс} = U_c + U_0 = 2 U_m \quad (5)$$

уже через полупериод собственной частоты переходной составляющей.

Скорость восстановления напряжения также зависит от частоты переходной составляющей и суммарной величины амплитуды. Практически не представляется возможным регулировать параметры (R ; L и C) цепи короткого замыкания. Поэтому с целью улучшения условий дугогашения и восстановления напряжения в некоторых конструкциях масляных выключателей предусмотрено включение параллельно контактам дополнительного активного сопротивления.

Второй случай — сопротивление R велико. Если сопротивление цепи короткого замыкания велико ($R \rightarrow \infty$), то в момент погасания дуги индуктивность L и емкость C колебательный контур не образуют. Процесс восстановления напряжения приобретает, как правило, аperiodический характер и максимальное значение восстанавливающегося напряжения $U_{в. макс}$ не превышает амплитуды сетевого напряжения, что примерно и наблюдается во время отключения электромагнитного выключателя. При размыкании контактов электромагнитного выключателя, начиная с момента $t=t_1$ (рис. 3, б), в цепь отключения вводится активное сопротивление дуги, возрастающее по мере расхождения контактов. Значительное активное сопротивление существенно ограничивает амплитуду тока к моменту погасания дуги, уменьшает сдвиг фаз между током и напряжением и создает условия, при которых колебания в контуре $L-C$ практически не возникают. Гашение дуги приближается по своему характеру к процессу, аналогичному для отключения цепи с активной нагрузкой. Если же колебания в контуре $R-L-C$ имеют место, то, поскольку сдвиг фаз между током и напряжением небольшой, электромагнитный выключатель отключается, когда напряжение сети не достигает амплитудного значения. Поэтому величина восстанавливающегося напряжения будет меньше, что весьма благоприятно. Напряжение переходной составляющей в этом случае будет значительно меньше амплитуды сетевого напряжения. Кроме того, на переходный процесс восстановления напряжения положительное влияние и характер изменения остаточного сопротивления $R_{ост}$ (рис. 4) дугового промежутка. Заряды, оставшиеся в межконтактном пространстве после обрыва дуги, перемещаются под действием электрического поля, образуя ток остаточной проводимости.

Остаточное сопротивление (сопротивление цепи тока остаточной проводимости) демпфирует колебания в контуре емкость — индуктивность, т. е. уменьшает их амплитуду и увеличивает затухание, причем тем больше, чем меньше величина этого остаточного сопротивления. В определенном смысле малое остаточное сопротивление включенное параллельно контуру $L-C$, по эффекту своего действия эквивалентно большой величине сопротивления R , включенного в цепь контура последовательно. Помимо этого, ток остаточной проводимости, если нет источников ионизации, помогает деионизации и росту диэлектрической прочности межконтактного промежутка. Если же имеются источники ионизации в межконтактном промежутке (например, термоэмиссия при высокой температуре), мо-

жет возникнуть возрастающий остаточный ток, который будет способствовать росту температуры дугового канала и повторным зажиганиям дуги. Таким образом, для дугогашения благоприятен остаточный ток при определенной динамике его изменения.

После погасания дуги в электромагнитном выключателе остаточное сопротивление имеет небольшую величину. Однако в первоначальный момент после обрыва дуги действие остаточного сопротивления эквивалентно большому сопротивлению, последовательно включенному в колебательный контур. Поэтому изменения переходной составляющей восстанавливающегося напряжения происходят с небольшой частотой и амплитудой и, следовательно, общее превышение сетевого напряжения незначительно. По мере возрастания последующего сопротивления ток остаточной проводимости снижается, но к этому моменту уже затухают колебательные явления.

Вывод. Отключение электромагнитным выключателем тока к. з. в индуктивной цепи происходит более благоприятно по сравнению с масляным выключателем.

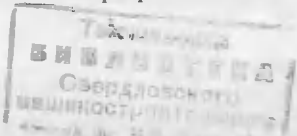
Следует подчеркнуть, что амплитуда напряжения промышленной частоты на полюсах трехфазного выключателя имеет неодинаковую величину для момента обрыва тока в первой фазе и двух других фазах. При изолированной нейтральной системе (худший случай) в момент погасания дуги в первой фазе между контактами соответствующего выключателя напряжение промышленной частоты будет равно $U_k = 1,5 \cdot \sqrt{2} U_{\phi}$. После разрыва двух фаз напряжение между контактами будет равно $U_k = \frac{\sqrt{3}}{2} \sqrt{2} U_{\phi}$, где U_k — напряжение между контактами выключателя; U_{ϕ} — фазное напряжение сети.

Напряжение в двух других фазах почти в 2 раза меньше напряжения, возникающего между контактами выключателя при обрыве тока в первой фазе, и поэтому дутогашение происходит легче.

Отключение малых индуктивных токов. Различие в отключении малых индуктивных токов масляным и электромагнитным выключателями заключается в неодинаковом протекании процесса обрыва (среза) тока. Как уже отмечалось, наиболее часто встречающимися на практике коммутациями такого вида является отключение ненагруженных трансформаторов. Величина токов, которые могут обрывать (срезать) масляные и электромагнитные выключатели, невелика и составляет 7—10 А. Обрыв дуги такой небольшой мощности в масляном выключателе происходит резко, под воздействием ее хорошего охлаждения маслом. Резко выраженному обрыву дуги способствует емкость элементов схемы (трансформатора), присоединенная параллельно межконтактному промежутку выключателя. При этом запасенная в трансформаторе электромагнитная энергия преобразуется в электростатическую энергию заряда его собственных емкостей.

Резкий обрыв тока, небольшая величина собственной емкости трансформатора (тысячи пикофард) и отсутствие естественных разрядных контуров определяют появление значительных перенапряжений. Они особенно велики при отключении ненагруженного трансформатора масляным выключателем (рис. 5, а), так как в индуктивно-емкостных контурах схемы возбуждаются высокочастотные колебания, способствующие увеличению амплитудных значений.

В электромагнитном выключателе небольшой индуктивный ток не претерпевает резкого обрыва. По мере расхождения контактов



длина дуги возрастает, ток уменьшается. Прерыванию тока в зоне расхождения контактов выключателя, правда, способствует воздушный поддув, охлаждающий дуговую среду, но активное сопротивление дуги демпфирует колебательные процессы. В связи с этим, как видно из рис. 5, б, перенапряжения имеют меньшие амплитудные

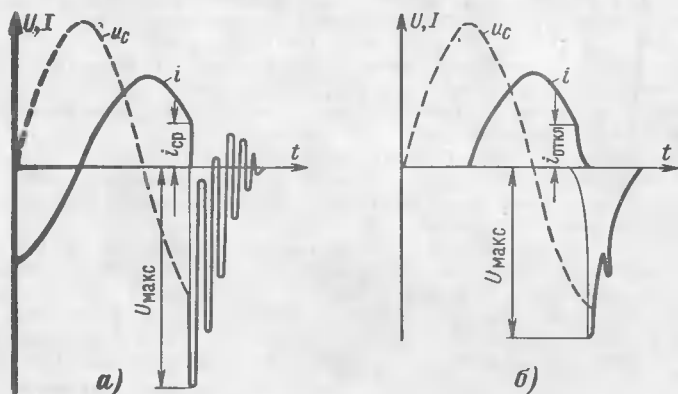


Рис. 5. Изменение напряжения при отключении малых индуктивных токов масляным выключателем (а) и электромагнитным выключателем (б).

i_{cp} — ток среза; U_{max} — амплитуда перенапряжений.

значения по сравнению с отключением малого индуктивного тока масляным выключателем.

Расчетное определение тока «среза» представляет большие затруднения в силу сложных зависимостей от характеристик отключения выключателей и параметров схемы. Однако проведенные экспериментальные исследования и вероятностно-статистический анализ полученных данных показали, что при отключении электромагнитными выключателями ненагруженных трансформаторов генерируются в 1,5 раза меньшие перенапряжения, чем при отключении масляными выключателями.

Возникновение к.з. в период отключения рабочих токов. В процессе эксплуатации электроустановок к. з. могут возникнуть в любой момент. Сравнительно редко встречающийся, но представляющим опасность является случай к.з., когда масляным выключателем производится отключение рабочего тока. Газообразование в зоне дуги при отключении рабочего тока удаляет масло от контактов. Прохождение тока к.з. через столб дуги малого сечения, образованный рабочим током, вызывает импульсный эффект в условиях недостаточности масла для деионизации. Большое давление передается из зоны дуги

маслу. Возникает гидравлический удар, который может повредить бак выключателя. Подобного рода явления, вызвавшие серьезные последствия (при отключении рабочего тока происходило наложение тока к.з., в несколько раз меньшего максимальной величины тока, который может отключить выключатель), отмечены в литературе. Электромагнитный выключатель свободен от этого недостатка.

2. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАСЛЯНЫХ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Различные аппараты, выполняющие одни и те же задачи, не бывают равноценны и принцип действия каждого из них предопределяет конструктивное исполнение, а с ним и условия обслуживания. Преимущества того или иного аппарата в первую очередь оцениваются надежностью его работы и простотой обслуживания.

При сравнении масляных выключателей с электромагнитными необходимо учитывать то важное обстоятельство, что первые имеют несравнимо большее время эксплуатации и их совершенствование от сложного к простому проделало большой путь. Но тем не менее масляные выключатели, несмотря на их значительные усовершенствования, нельзя было освободить от основных присущих им недостатков.

Так, наличие масла в качестве гасящей среды определило необходимость обязательной герметизации контактов в закрытом (недоступном внешнему осмотру) цилиндре. Отсюда каждый осмотр контактов или дугогасительных устройств связан с разборкой и сборкой выключателя. А поскольку эксплуатационные режимы требуют организации профилактических ремонтов в соответствии с утвержденной периодичностью и должным запасом, появляются дополнительные затраты на его переборку для осмотра. В большинстве случаев разбирается и собирается вполне исправный выключатель. А дополнительная переборка — это не только лишние затраты, но и дополнительная вероятность появления неисправности, вынужденные простои оборудования, в схеме соединений которого используется выключатель.

Определенные требования к химическому составу масла как дугогасящей среды вызывают известные затраты на содержание масляного хозяйства, химической лаборатории и вытекающих из этого требований противопожарной безопасности.

Эксплуатационным организациям необходим такой выключатель, дугогашение в котором происходило бы за возможно малое время, с ограничением токов к.з. и без образования опасных перенапряжений. Гашение дуги в масляных выключателях не отвечает в полной мере указанным условиям. Поэтому в присоединениях с масляными выключателями часто требуются дополнительные устройства в виде сложных компенсационных контуров для защиты от перенапряжений, повышение класса изоляции основного оборудования, увеличение числа включенных последовательно полупроводниковых вентилей в выпрямительных агрегатах и т. д. Это влечет за собой увеличение стоимости электроустановок и дополнительные затраты на их обслуживание. Необходим аппарат, который сам не мог бы явиться источником аварий в любых режимах работы. В исключительных случаях может произойти отказ в работе выключателя (в силу его неисправности), даже неразрыв дуги, если ток к.з. будет выше возможностей дугогасительного устройства или по причине каких-то других нарушений. Но крайне нежелательно иметь выключатель, который при определенных, пусть даже маловероятных сочетаниях эксплуатационных нарушений сам может явиться причиной значительной аварии. Наличие масла в масляном выключателе не позволяет считать его пожаро-взрывобезопасным. И не случайно инструкции даже для новых масляных выключателей обычно дополняются противоаварийными циркулярами, выпущенными, как правило, на основании обобщения имевших место нарушений их действия.

Электромагнитные выключатели еще имеют некоторые недостатки, но главные вопросы применительно к ним решены положительно:

1. Дугогашение осуществляется в течение меньшего по сравнению с масляным выключателем времени. При этом значительное сопротивление дуги ограничивает отключаемый выключателем ток к.з. и величины перенапряжений.

2. Обеспечивается полная взрыво- и пожаробезопасность.

3. Отсутствует специальная гасящая среда — масло.
4. Контактная система доступна осмотру без разборки выключателя.

Большое значение имеет износоустойчивость аппарата. Масляные выключатели допускают сравнительно небольшое количество переключений. Кроме того, при каждом отключении тока короткого замыкания с выбросом масла требуется разборка масляного выключателя с заменой масла и отдельных деталей. Опыт эксплуатации первых образцов электромагнитных выключателей показал, что после отключения нескольких коротких замыканий главные контакты и керамические пластины дугогасительных камер имели незначительные оплавления и выключатель был пригоден к дальнейшей работе без какого-либо ремонта.

Повышение быстродействия электромагнитных выключателей по сравнению с масляными и значительное сопротивление дуги снижают термическое действие¹ тока к.з. на элементы электроустановок. Вследствие этого создается возможность: отказаться от токоограничивающих реакторов, а также применить кабели и шины меньшего сечения; снизить число параллельных вентилях в полупроводниковых установках и упростить их защиту благодаря отказу от предохранителей и быстродействующих выключателей. Увеличиваются сроки службы электрооборудования (кабелей, силовых трансформаторов, электродвигателей и др.). Ограничиваются размеры и тяжесть аварийных повреждений, а следовательно, сокращается время простоев электроустановок и снижаются затраты на их эксплуатацию.

С применением электромагнитных выключателей улучшаются условия обслуживания распределительных устройств: чистота, обусловленная отсутствием масла, оказывает дисциплинирующее воздействие на персонал и создает предпосылки для более качественного выполнения ремонтных работ. Этот фактор, внешне не очень заметный, имеет большое психологическое значение и на практике оказывается подчас очень важным в таком процессе, как подготовка высококвалифицированных специалистов для ремонтных бригад. Таким образом, *в электро-*

¹ Ток к. з. значительно превышает рабочий ток, а так как количество тепла пропорционально квадрату силы тока, к. з. сопровождается резким увеличением температуры.

магнитных выключателях хорошие технические характеристики сочетаются с качествами, имеющими социальное значение (пожаробезопасность, чистота и доступность осмотра без разборки). В экономическом отношении применение электромагнитных выключателей характеризуется повышением надежности системы электроснабжения, снижением затрат на ремонтные работы и дополнительные материалы в виде масла, запасных контактов и других вспомогательных деталей. Все эти преимущества электромагнитных выключателей определяют технико-экономическую целесообразность их применения.

3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Электромагнитные выключатели предназначены для работы в закрытых помещениях или в комплектных распределительных устройствах (КРУ) внутренней установки. Нормальная работа выключателя обеспечивается при температуре окружающего воздуха не выше $+40^{\circ}\text{C}$ (среднесуточная температура не выше 35°C) и не ниже

Тип выключателя	Тип привода	Напряжение, кВ		Номинальный ток, А		Ток термической устойчивости, кА, для времени, с			Ток отключения, кА
		номинальное	наибольшее рабочее	при установке в шкафу КРУ	вне шкафа КРУ	2,5	4	5	
ВЭМ-10К	ПЭГ-7	10,0	11,5	1 000	1 250	—	—	20	12,5
ВЭМ-6	ПЭ-21	6,0	6,9	1 600	—	—	38,5	—	38,5
ВЭМ-6КТ1	ПЭГ-7	6,6	7,2	1 000	—	—	—	20	20
ВЭМ-6КТ2	ПЭГ-7	6,6	7,2	1 000	—	27,5	—	—	20
ВЭМ-10П1	Пружинный	10,0	12,0	1 000	1 250	—	20	—	20
ВЭМ-10КУ	ПЭГ-7	10,0	11,5	1 000	1 250	—	—	20	12,5

* Переменный ток.

—25 °С. Выключатель можно устанавливать на высоте не более 1000 м над уровнем моря. Окружающая воздушная среда должна быть невзрывоопасна, не содержать токопроводящих и химически активных газов и не быть насыщенной водяными парами и пылью. Относительная влажность окружающего воздуха не должна превышать 80% при температуре +20 °С. Если выключатель устанавливается в КРУ, то его работа допускается при превышении температуры воздуха внутри ячейки КРУ над температурой окружающего воздуха не более 10 °С. Выключатели тропического исполнения рассчитаны для работы при температуре не ниже —10 °С и не выше +55 °С; относительная влажность при температуре +35 °С должна быть не выше 95%.

Основные технические характеристики электромагнитных выключателей приведены в табл. 1.

Пользуясь табл. 1. следует иметь в виду, что обозначения типов выключателей расшифровываются следующим образом: В—выключатель; ЭМ—электромагнитный; 10 или 6—номинальное напряжение, кВ; К—для размещения в КРУ; П—с пружинным приводом; Т—тропическое исполнение; У—с усиленной изоляцией. Напри-

Таблица 1

Ток включения, кА, значение:		Собственное время отключения, с	Время включения с приводом, с	Механическая износостойкость (операции включения и отключения без нагрузки)	Масса с приводом, кг	Характеристика привода		
действующее	амплитудное					номинальное напряжение постоянного тока, В	ток включающего электромагнита, А	ток отключающего электромагнита, А
—	52	0,05	0,25	50 000	670	220/110	80/160	1,25/2,5
—	100	0,06	0,25	—	963	220/110	148/296	2,5/5
20	52	0,06	0,3	50 000	670	220/110	80/160	1,25/2,5
27,5	70	0,06	0,3	50 000	670	220/110	106/212	1,25/2,5
20	52	0,1	0,2	10 000	650	220/110 (220/127)*	—	3/5
—	52	0,05	0,25	50 000	670	220/110	80/160	1,25/2,5

мер, электромагнитный выключатель на 10 кВ с электромагнитным приводом обычного исполнения и предназначенный для установки в КРУ имеет обозначение ВЭМ-10К.

4. КОНСТРУКТИВНАЯ СХЕМА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ

Конструктивная схема электромагнитного выключателя типа ВЭМ-10 показана на рис. 6. Связующей основой

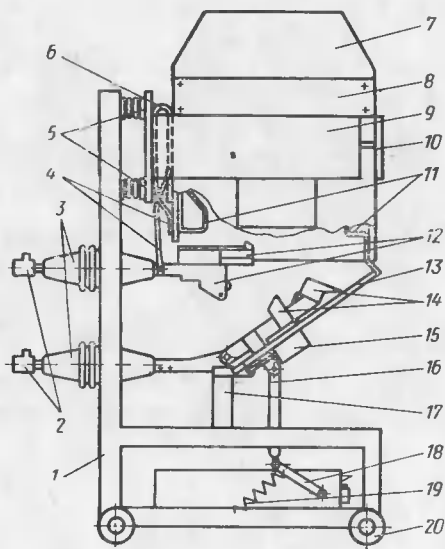


Рис. 6. Конструктивная схема электромагнитного выключателя.

выключателя является цельносварная рама—тележка 1, на которой смонтированы три полюса выключателя с дугогасительными камерами. В верхней части рамы на опорных изоляторах 5 укреплена система электромагнитного дутья — полюсные накопечники 9 с катушкой электромагнитного дутья 6. Подвод тока к неподвижным 12 и подвижным 14 контактам осуществляется через стержни проходных изоляторов 3. Неподвижный контакт, состоящий из набора торцевых ламелей рабочего контакта

и пальцевых ламелей дугогасительного, своим основанием жестко связан с выводом верхнего проходного изолятора и выводом 4 катушки электромагнитного дутья 6. Ножи подвижного контакта (спаренные шины) крепятся на изоляционной стойке 17 и шарнирно связаны с контактным выводом нижнего проходного изолятора. На ножках закреплены планка рабочего и основание дугогасительного контактов 14, а также цилиндр воздушного поддува 15. Токопроводы проходных изоляторов снаружи заканчиваются розеточными контактами 2 типа «тюльпан» или обычными пальцевыми контактами. Над контактами выключателя размещаются дугогасительные камеры 7.

Камеры накладками 8 опираются на полюсные наколенники 9 магнитопроводов и с торцевой стороны крепятся к ним с помощью изоляционных планок 10. С внутренней стороны к торцевым стенкам камер на керамических лотках крепятся дугогасительные рога 11, между которыми внутри камеры располагаются дугогасительные керамические решетки из изоляционного материала. Дугогасительный рог, расположенный над неподвижным контактом, подсоединяется к основанию контакта через катушку магнитного дутья (выводы 4). Рог же подвижного контакта соединяется с контактным выводом с помощью медной шинки 13. В нижней части выкатной тележки размещается электромагнитный привод типа ПЭГ, рычаг вала которого 18 соединяется с подвижными контактами с помощью изоляционных тяг 16.

Включение выключателя происходит под воздействием усилий, развиваемых приводом, и сопровождается вращением ножей подвижных контактов до их замыкания с неподвижными. Размыкание контактов происходит под воздействием отключающих пружин 19.

Конструкция электромагнитного выключателя типа ВЭМ-10К (рис. 7) отличается от выключателей первых выпусков типа ВЭМ-10 отсутствием проходных изоляторов. У выключателей типа ВЭМ-10К внешние выводы первичных цепей 21 разнесены по высоте выключателя и выполнены из медных шин. Для крепления шин верхнего вывода используется два опорных фарфоровых изолятора, на которых укреплена система магнитного дутья. Неподвижный контакт выключателя и шина нижнего вывода от подвижного контакта также закреплены на опорных изоляторах, причем один нижний опорный изолятор служит одновременно для крепления шарнирного соеди-

нения подвижного контакта. Кроме того, выключатели типа ВЭМ-10К приспособлены для установки в комплектных распределительных устройствах (КРУ), для чего

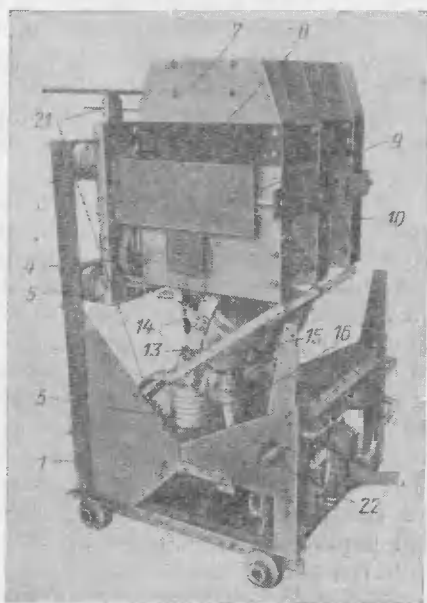


Рис. 7. Общий вид электромагнитного выключателя типа ВЭМ-10К.

Обозначения 1—20 соответствуют рис. 6.

21 — выводы первичных цепей; 22 — вал механизма доводки и блокировки.

снабжаются специальным механизмом блокировки и доводки. Наличие механизма блокировки и доводки позволяет выключателю занимать в шкафу КРУ два фиксированных положения — рабочее и контрольное (испытательное). В отличие от выключателей типа ВЭМ-10 и ВЭМ-10К у выключателей типа ВЭМ-6 и ВЭМ-10П используются соответственно электромагнитный привод типа ПЭ-21 и встроенный пружинный привод. В остальных конструктивная схема выключателей типов ВЭМ-6 и ВЭМ-10П схожа со схемой выключателей типа ВЭМ-10. Отличия электромагнитных выключателей специальных исполнений от серийных, как правило, незначительны и

в основном определяются только спецификой работы последних.

В дальнейшем описании электромагнитный выключатель рассматривается последовательно по его основным узлам: дугогасительная система, контакты, привод и переключающий механизм, блок-контакты и схемы управления.

5. ПРИНЦИП ГАШЕНИЯ ДУГИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕМ

На рис. 8,а изображена схема дугогасительной камеры электромагнитного выключателя и показано перемещение дуги в процессе отключения выключателя. Электрическая дуга, которая возникает между дугогасительными контактами в момент их размыкания (положение А), под действием тепловых потоков и электродинамических сил перемещается в камеру на дугогасительные рога. При этом естественное движение тепловых потоков вверх усиливается действием специального воздушного поддува. На рис. 8,а воздушный поддув не показан. При перемещении дуга касается дугогасительного рога 1 над неподвижным контактом. Но пока дуга не оторвется от неподвижного контакта, ток проходит непосредственно с неподвижного контакта на подвижный контакт, минуя катушку электромагнитного дутья 5, которая в этот момент зашунтирована отрезком дуги между неподвижным контактом и его рогом (положение Б). После того как дуга оторвется от неподвижного контакта (положение В), весь ток будет проходить через катушку электромагнитного дутья, вследствие чего создается мощное магнитное поле. В результате взаимодействия дуги с полем происходит дальнейшее перемещение дуги вверх в камеру (положения Г и Д).

Следует отметить, что магнитное дутье создается электромагнитом, катушка которого включается последовательно в контур прохождения тока по цепи: основание неподвижного контакта — катушка электромагнитного дутья — рог неподвижного контакта — дуга — рог подвижного контакта — соединительная шинка с нижним вводом. Напряженность магнитного поля в таком электромагните будет расти пропорционально току. Чем больше ток, тем больше сила магнитного поля, перемещающая электрическую дугу.

У электромагнитных выключателей полярность магнитного поля, создаваемого катушкой электромагнитного

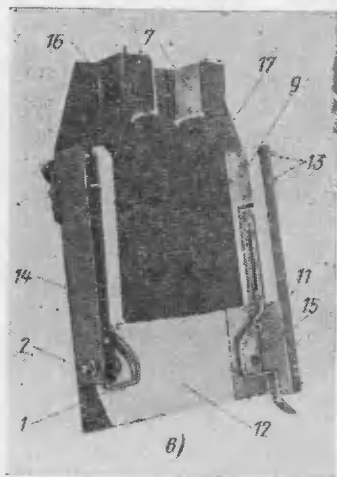
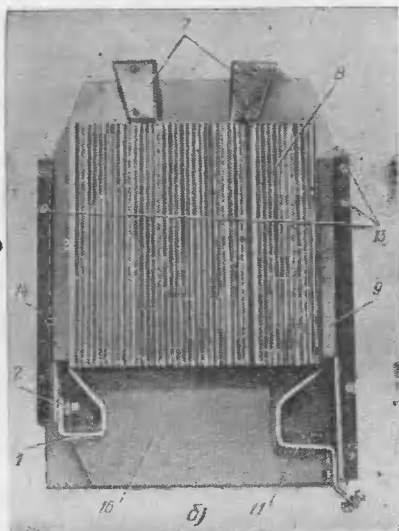
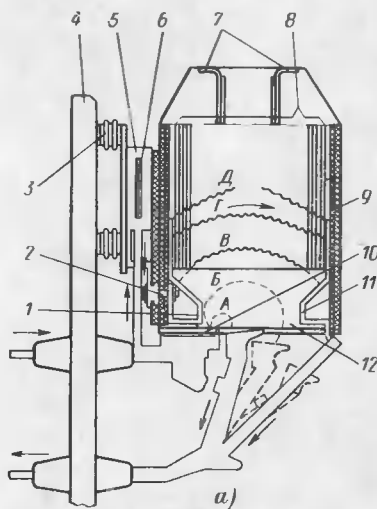


Рис. 8. Дугогасительная камера. а—схема дугогасительной камеры; б—камера со снятой боковой стенкой; в—детали камеры без дугогасительной решетки.

1—дугогасительный рог неподвижного контакта; 2—вывод от рога неподвижного контакта к катушке электромагнитного дутья; 3—опорные изоляторы; 4—рама; 5—катушка электромагнитного дутья; 6—сердечник магнитопровода; 7—фибровые козырьки; 8—пакет керамических пластин; 9—керамический лоток; 10—асбоцементная пластина; 11—дугогасительный рог подвижного контакта; 12—боковая облицовочная плита 13 — латунные шпильки; 14—торцевая изоляционная плита; 15—асбоцементная прокладка; 16—асбесто-

вая прокладка; 17—боковая изоляционная плита; А—Д—положения дуги.

дутья, должна быть такой, что магнитные силы, действующие на дугу, перемещали ее вверх. Поскольку с изме-

нием направления тока меняется и направление магнитного поля, создаваемого этим током, всегда сохраняется условие выталкивания дуги только в одну сторону — вверх, в дугогасительную камеру.

По мере движения дуги вверх она затягивается в узкую зигзагообразную щель керамической решетки, образуемую вырезами в пластинах и промежутками между ними. Описание дугогасительной решетки приведено ниже. Продвигаясь в зазорах между пластинами, дуга изгибается, что дает возможность при сравнительно небольших размерах камеры значительно растянуть дугу. В узком зигзагообразном канале керамической решетки происходит тесное соприкосновение дуги с поверхностью пластин, в результате чего дуга отдает пластинам значительную часть своей тепловой энергии. При подходе тока к нулевому значению происходит интенсивное охлаждение дуговой среды; столб дуги деионизируется, и она гаснет.

Дугогасительные камеры придают траектории дуги большую длину, которая может составлять 1,5 — 1,8 м, чем обеспечивается значительное увеличение сопротивления дуги и как следствие этого в ней падает напряжение, по величине близкое к напряжению отключаемой цепи. Такие особенности гашения дуги обуславливают, как отмечалось выше, важные положительные качества электромагнитных выключателей.

Быстро возрастающее сопротивление дуги играет роль ограничительного сопротивления, вводимого последовательно в отключаемую цепь. Поэтому к моменту обрыва дуги уменьшается ток короткого замыкания, что облегчает процесс ее гашения. Вследствие большого сопротивления дуги напряжение восстановления сглаживается по форме и снижается по величине. Уменьшение амплитуды и сглаживание формы кривой восстанавливающегося напряжения у электромагнитных выключателей усиливается наличием последугового сопротивления, шунтирующего контакты выключателя. Величина этого сопротивления $R_{\text{ост}}$ определяется напряжением сети U и остаточным током $i_{\text{ост}}$ распадающейся (деионизирующейся) плазмы столба дуги $R_{\text{ост}} = U/i_{\text{ост}}$.

По мере распада (деионизации) плазмы величина $i_{\text{ост}}$ быстро уменьшается. Однако начальное значение тока $i_{\text{ост}0}$ относительно велико, поэтому $R_{\text{ост}} = U/i_{\text{ост}0}$ относительно мало, чем создаются благоприятные усло-

вия демпфирования колебаний восстанавливающегося напряжения. Остаточная проводимость дуги в межконтактном промежутке существует в течение очень короткого, но достаточного для восстановления напряжения времени.

К моменту разрыва цепи и гашения дуги ее столб охлаждается и в межконтактном промежутке создается высшая, все время возрастающая диэлектрическая прочность, что препятствует повторным зажиганиям. Приведенное краткое описание принципа дугогашения показывает, что электромагнитные выключатели могут обеспечить надежное гашение дуги при отключении. Однако для этого необходимы правильные конструктивные решения всех звеньев дугогасительного устройства, их качественное исполнение и должное эксплуатационное обслуживание.

6. КОНСТРУКЦИЯ ДУГОГАСИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ И ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ПО ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Дугогасительная камера. Основание дугогасительной камеры представляет собой прямоугольную коробку (рис. 8), собранную из текстолитовых, гетинаксовых или стеклотекстолитовых плит 14, 17. Для правильного распределения магнитного потока скрепление этих плит выполнено с помощью диамагнитных (латунных) шпилек 13. Изоляционные плиты должны иметь хорошую электрическую прочность, малое водопоглощение и не допускать образования токопроводящих дорожек. Токопроводящие угольные дсржки на внутренних стенках коробок камер могут появляться вследствие соприкосновения с горячими газами, которые из области дуги просачиваются в щели между дугогасительными пластинами. Появление оплавлений внутренних стенок камер, закопченность и т. п. изменения ухудшают гашение дуги и могут создать условия для внутренних перекрытий.

Нижняя часть боковых стенок камеры, где расположены дугогасительные контакты и наклонные участки дугогасительных рогов, облицована гладкими керамическими плитами 12 толщиной 20 мм. Применение гладких плит обусловлено тем, что нижняя часть камеры — это основная зона горения дуги и удаление горячих газов

из нее должно происходить с возможно большей скоростью. Опыты облицовки нижней части камер плитами с пазами показали неудовлетворительную работу камер из-за скопления газов в неровностях облицовки. Толщина облицовочных плит выбрана таким образом, чтобы получить наиболее рациональную ширину нижней внутренней зоны камеры, от чего зависят условия боковых смещений дуги и скорость ее движения вверх под действием воздушных потоков.

В качестве материала плит принята керамика, обладающая достаточно высокой электрической прочностью и дугостойкостью, малым газовыделением и водопоглощением. Плиты должны быть без заметных искривлений, с ровными верхними торцами. На выступы верхних торцов облицовочных плит опирается пакет 8 керамических пластин дугогасительной решетки. Важно, чтобы пакет дугогасительной решетки прижимался к верхнему торцу плиты 12 по всей ее длине. При наличии зазора между ними горячие газы могут проникнуть к внутренним стенкам коробки камеры и, как указывалось выше, это приведет к дополнительному газовыделению, образованию токопроводящих дорожек и, следовательно, ухудшению дугогашения. Для предотвращения образования проводящих дорожек в зоне расположения стыков пластин дугогасительной решетки и нижних облицовочных плит внутренние стенки камеры могут покрываться фторопластовой лентой толщиной 40 мкм.

Дугогасительная решетка, где происходит охлаждение и разрыв дуги, образуется за счет различных вырезов в пластинах и промежутков между ними. Принцип образования дугогасительной решетки поясняет рис. 9. Дугогасительная решетка состоит из пластин с левым и правым вырезами (рис. 9, а). Пластины собираются с чередованием — пластина 18 накладывается на вторую 19, затем следует пластина 18 и т. д. (рис. 9, б и в). Зазор между пластинами создается дистанционными прокладками 21 из асбестового шнура. Поскольку вырезы пластин суживаются кверху и вершины вырезов смещены относительно друг друга (размер δ на рис. 9, б), пространство между пластинами получается заполненным чередующимися выступами.

Из рис. 9, в (сечения I—I, II—II, III—III) видно, что криволинейные выступы пластин по мере подъема увеличиваются, поэтому увеличивается расстояние меж-

ду опорными точками дуги. Так, если в сечении $I—I$ траектория дуги (положение B на рис. 9, $в$) представляет

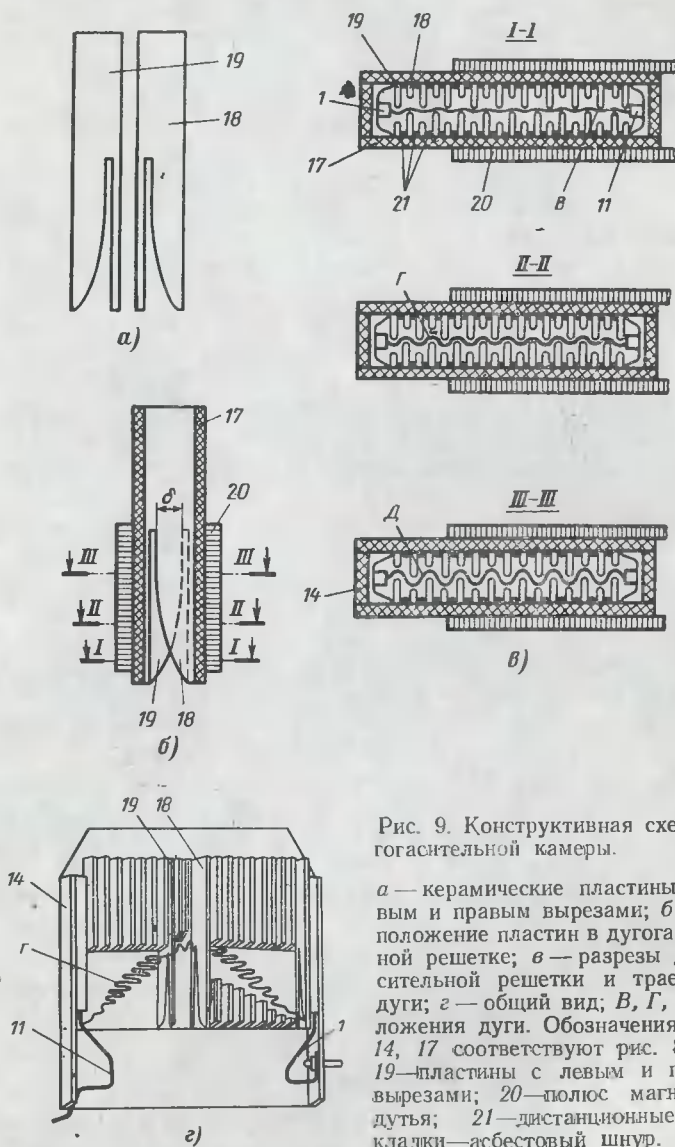


Рис. 9. Конструктивная схема дугогасительной камеры.

а — керамические пластины с левым и правым вырезами; *б* — расположение пластин в дугогасительной решетке; *в* — разрезы дугогасительной решетки и траектория дуги; *г* — общий вид; *В, Г, Д* — положения дуги. Обозначения 1, 11, 14, 17 соответствуют рис. 8; 18, 19 — пластины с левым и правым вырезами; 20 — полюс магнитного дутья; 21 — дистанционные прокладки — асбестовый шнур.

линию, близкую к прямой, то в сечении II—II (положение Г) расстояние между контактами может быть перекрыто дугой только по лабиринтам между выступами пластин, т. е. по зигзагообразной линии. В сечении III—III величина зигзагов еще больше увеличивается, а это значит увеличивается общая длина дуги. Из рис. 9, в можно также заключить, что по мере подъема дуги вверх не только изменяется ее траектория, но увеличивается поверхность соприкосновения с пластинами, так как дуга вынуждена огибать большую поверхность выступов. Следовательно, в сечении III—III происходит более интенсивный отбор тепла пластинами.

Для хорошей работы дугогасительной камеры материал пластин должен иметь высокие термодугостойкость, теплоемкость и теплопроводность, хорошую электрическую прочность при высоких температурах и малое водопоглощение. В настоящее время керамические пластины изготавливаются из кордиерита, представляющего собой смесь талька, электрокорунда и нескольких сортов специальной глины. Эта смесь подвергается помолу с последующим добавлением связующего материала. Оформление пластин производится методом полусухого прессования при давлениях 200—600 кгс/см², после чего их обжигают при температуре свыше 1000 °С.

Электрическая дуга может успешно погаснуть, если при соприкосновении с пластинами камер тепло дуги будет интенсивно отбираться пластинами, т. е. будут созданы условия для быстрой деионизации. При этом пластины, отбирая тепло дуги, не должны обгорать, т. е. менять свою форму; на пластинах не должны появляться трещины, сколы и т. п. механические повреждения. После погасания дуги пластины должны быстро отдать свое тепло в окружающий воздух. От времени остывания после погасания дуги зависит способность выключателя к повторным включениям-отключениям. Если пластины будут долго сохранять запасенное при гашении тепло, выключатель значительное время не будет способен к повторным включениям-отключениям больших токов. Материал пластин не должен резко снижать свое электрическое сопротивление, в том числе и по поверхности в период всего горения дуги. Если сопротивление пластин резко упадет при повышении температуры, то по поверхности пластин может произойти пробой межконтактного промежутка под действием восстанавливающегося на-

пряжения и дуга не погаснет. Чем меньше газовыделений при соприкосновении дуги с пластинами, тем меньше давление в камере и лучше условия перемещения и гашения дуги.

Кордиеритовая керамика, которая в основном используется для изготовления пластин дугогасительных камер, обладает достаточно высокой термодугостойкостью. Но эффективный отбор тепла дуги пластинами находится в ограниченных пределах по времени, в связи с чем горение дуги максимальных токов в камере не должно быть больше двух-трех полупериодов. При больших временах горения дуги в камере пластины нагреваются, ухудшается отбор ими тепла и замедляется процесс деионизации. Ограничено время горения дуги между контактами и до затягивания ее в камеру. Считается, что если при отключении предельных токов это время будет больше 0,01 с, то пластины получают предварительный нагрев и после затягивания дуги в решетку отбор тепла будет неудовлетворительным.

Теплоемкость и теплопроводность пластин в основном определяет их количество и в конечном счете конструкцию и размер камеры. Чем выше теплопроводность пластин, тем эффективнее отбор тепла дуги и тем меньшее их количество требуется для создания дугогасительной решетки. Поэтому способами увеличения отключающей мощности камер могут быть как увеличение количества пластин, а это значит увеличение размеров камер, так и использование материалов с лучшей тепловой емкостью и теплопроводностью, т. е. получение того же эффекта с меньшим количеством пластин. С эксплуатационной точки зрения последнее, конечно, предпочтительнее.

В настоящее время у большинства выключателей камеры набираются из 41—43 пластин. В камерах выключателей с мощностью отключения свыше 300 МВ. А количество пластин может быть увеличено до 55—60.

Вырезы на пластинах имеют такую форму, что при движении дуги длина ее увеличивается и при этом отбор тепла происходит все новыми холодными участками поверхности. Из рис. 10 видно, что вырезы пластин постепенно суживаются и переходят в верхней части в вертикальную щель высотой 25 и шириной 2 мм. Как правило, при больших токах дуга останавливается у входа в вертикальную щель, благодаря чему уменьшается тер-

мическая нагрузка на материал пластин. Кроме того, такая форма пластин с вертикальной щелью более технологична и позволяет уменьшить механические напряжения

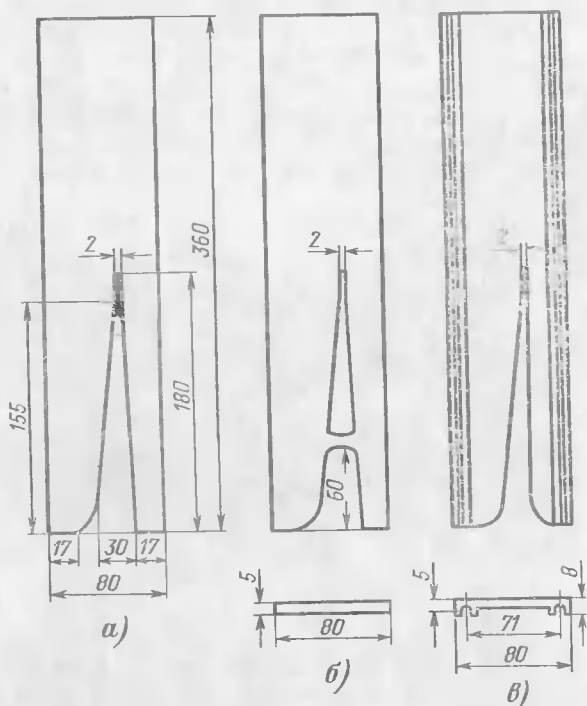


Рис. 10. Керамические пластины для дугогасительных решеток.

в материале, возникающие при изготовлении пластин. Пластины рис. 10, б отличаются от обычных пластин рис. 10, а наличием перемычки в нижней Л-образной части выреза. Исследования Всесоюзного электротехнического института имени В. И. Ленина показали, что такие пластины имеют повышенную механическую прочность и термодугостойкость. После большого числа отключений токов короткого замыкания до 42 кА при напряжении 6 кВ пластины сохранили свою целостность. Кроме того, предполагается, что перемычка будет создавать препятствие для сброса дуги вниз. Пластины другой модифика-

ции рис. 10, в имеют специальный бортик с канавкой для уплотнения. Все пластины имеют толщину 5 мм.

Для увеличения предельных токов отключения, особенно выключателей 10 кВ, проводились опыты по применению пластин толщиной 3,5 мм, что позволяло при том же размере камеры разместить в ней большее количество пластин, обеспечив тем самым растяжение дуги на большую длину. Окончательное решение по форме пластин (имеется в виду дальнейшее усовершенствование дугогасительных камер), а особенно по их толщине, связано с качеством материала, из которого они будут изготавливаться.

Если дугогасительная решетка собирается из пластин без бортиков, то расстояние между ними устанавливается с помощью асбестового шнура. На рис. 11 пока-

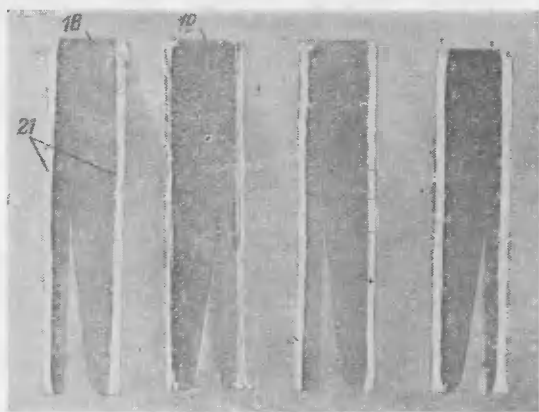


Рис. 11. Керамические пластины с дистанционными прокладками.

Обозначения соответствуют рис. 9.

заны пластины с дистанционными прокладками из асбестового шнура. Шнур 21 приклеивается к краям пластин с помощью клея БФ, клея из поливинилацетатной эмульсии или эпоксидной смолы с кварцевым наполнителем. Клей должен обеспечивать достаточную механическую прочность пакета пластин при максимальных давлениях, которые возникают в камере в момент отключения максимальных токов. Кроме того, склейка должна быть

такой, чтобы при необходимости асбестовый шнур можно было легко отделить от пластины, например, обычным ножом. При соприкосновении с дугой клей не должен выделять копоти, которая могла бы повлиять на процесс гашения дуги.

Склейка является трудоемкой и ответственной операцией. Если асбестовый шнур не будет плотно прилегать по всему бортику пластины, образуются щели, через которые горячие газы дуги могут проникнуть к боковым стенкам камеры. Вследствие излишнего количества клея асбестовый шнур может сделаться жестким и не обеспечит должного уплотнения. Зазоры между пластинами $3,5 \pm 0,2$ мм выбраны экспериментальным путем по результатам отключения токов до 40 кА.

Опыты отключения значительных токов электромагнитными выключателями с камерами, у которых зазоры между пластинами были больше или меньше $3,5 \pm 0,2$ мм, подтвердили нежелательность таких отклонений. Увеличение зазоров приводит к более быстрому движению дуги по камере, что в свою очередь уменьшает местный разогрев поверхности керамики и позволяет быстрее выбрасывать горячие газы из камеры. Но при больших токах быстро передвигающаяся дуга не успевает отдать свое тепло пластинам в необходимом количестве и в верхнем крайнем положении (положение Д рис. 8, а), сопротивление дуги будет недостаточно большим. Возникает вероятность перегрева пластин в верхних частях вырезов, а также вероятность перекрытия по верхнему объему камеры. Уменьшение зазоров приводит к более медленному подъему дуги и вместе с тем обеспечивает более тесный контакт между дугой и охлаждающими пластинами; усиливается отбор тепла от дуги, усиливается ее деионизация. Однако при малой скорости движения дуги может произойти местный перегрев пластин, затруднится удаление горячих газов из камеры и ухудшится теплообмен, вследствие чего дуга может не погаснуть.

Пластины укладывают в камеру в строгом чередовании. Первая пластина со стороны рога неподвижного контакта прикладывается к лотку стороной без асбестовой прокладки. Если вырез этой пластины находится справа, то следующая за ней пластина должна иметь вырез слева. После того как все пластины пакета уложены в камеру, необходимо каждую пластину в отдельно-

сти плотно прижать к нижней плите, нажимая на ее верхний торец какой-либо прокладкой. Иначе говоря, при сборке пластин в пакет их нижние торцы должны быть выравнены таким образом, чтобы не могло образоваться заметного зазора между верхним торцом керамической плиты и пакетом пластин по всей поверхности их соприкосновения.

Весь пакет помещается между керамическими лотками. Для установки последних пластин уже собранный пакет плотно сжимается, после чего вдвигаются последние пластины. Не допускается ставить пластины без зазора или поворачивать их дистанционными прокладками друг к другу. При сборке дугогасительной камеры необходимо обращать внимание на уплотнения пластин между собой, а также на то, чтобы крайние пластины плотно прилегали к лоткам. Если имеющийся зазор между пакетом и лотком не позволяет вставить дополнительную пластину, то необходимое уплотнение должно быть достигнуто за счет прокладок из листовой фибры, закладываемых сзади лотка, связанного с рогом подвижного контакта. Фибровые прокладки одновременно служат своего рода амортизатором и предохраняют довольно хрупкие керамические детали от механических повреждений при сборке и установке камеры.

При сборке дугогасительных камер из пластин с бортиками значительно легче выдержать необходимые расстояния и получить хорошее качество уплотнений. Однако в силу более сложной технологии изготовления такого рода пластин их применение не получило еще большого распространения.

Объем камеры над дугогасительными пластинами делится на три части двумя фибровыми козырьками 7 (рис. 8), которые препятствуют перекрытиям сверху по горячим газам. Асбестовые прокладки 16 приклеены снизу к фибровым козырькам и должны плотно прижиматься к пластинам дугогасительной камеры. Этим дополнительно ограничивается возможность подъема камеры вверх от давления газов в период разрыва дуги. Основное же закрепление керамической решетки обеспечивается ее плотной посадкой между торцевыми лотками. Исходя из требований к материалу, соприкасающемуся с дугой, лотки, между которыми располагается пакет пластин, изготавливаются также из керамики. Форма лотков обеспечивает свободное удаление горячих газов

из области дугогасительных рогов из камеры наружу. Дугогасительные рога *I* и *II* (рис. 8), расположенные в нижней части камеры, представляют собой медные шинки с прорезью для лучшей вентиляции пространства между лотком и крайними пластинами. Оптимальная форма дугогасительных рогов и их наиболее правильное размещение над контактами найдены опытным путем. Особое значение имеет расположение рога над неподвижным дугогасительным контактом. Расстояние между рогом и неподвижным контактом определяет, во-первых, время переброса тока с неподвижного контакта на рог, во-вторых, влияет на время горения участка дуги между неподвижным контактом и рогом, т. е. в конечном счете на время от начала расхождения контактов до начала работы электромагнитного дутья.

Переход тока с главных контактов в катушку электромагнитного дутья определяется довольно сложными взаимосвязанными физическими явлениями. В момент переброса дуги на рог неподвижного контакта промежуток между рогом и контактом сильно ионизируется и там возникает вспомогательная дуга. При этом, с одной стороны, сила тока, ответвляющегося в катушку, зависит от падения напряжения на вспомогательной дуге: чем меньше это падение напряжения, тем меньше ток в катушке магнитного дутья. С другой стороны, падение напряжения в катушке магнитного дутья при протекании по ней тока препятствует погасанию вспомогательной дуги. При малых расстояниях между рогом и контактом вспомогательная дуга может гореть до перехода тока через нуль, шунтируя катушку и практически исключая электромагнитное дутье. При больших расстояниях между неподвижным контактом и его рогом, особенно в период отключения токов до 1000 А, когда органичена интенсивность электромагнитного дутья, может иметь место длительное горение главной дуги между дугогасительными контактами, и переход тока в катушку происходит спустя лишь несколько полупериодов.

Если ток дуги перейдет в катушку электромагнитного дутья в конце полупериода, дуга не сможет затянуться в дугогасительную решетку, так как малому току соответствует малая сила электромагнитного дутья. В этом случае дуга еще до перехода тока в катушку будет гореть, не заходя в керамическую решетку, выделяя боль-

шое количество раскаленных газов и разогревая керамические пластины. После окончания переброса дуга начинает подниматься в вырезах пластин, достигает верхушек вырезов и может там задержаться до следующего нулевого значения. Керамика и окружающий воздух сильно раскалятся, отбор тепла от дуги замедлится, а сопротивление не увеличится, а уменьшится. В этом случае сопротивление дуги перед переходом тока через нуль мало, а значит мало и падение напряжения в ней. Вследствие этого под действием большого восстанавливающегося напряжения (восстанавливающегося напряжения в этом случае из-за значительного сдвига фаз между током и напряжением сети приближается к амплитудному значению) межконтактный промежуток после перехода тока через нуль может быть вновь пробит и дуга будет вынуждена гореть следующий полупериод высоко в пластинах. При длительном горении дуги в камере накапливается большое количество горячего газа, сопротивление сильно нагретых пластин падает, появляются большие остаточные токи и камера может отказать в дугогашении.

Считается, что работа камеры при отключении токов к. з. будет успешной, если переход тока в катушку магнитного дутья будет заканчиваться за $35—40^\circ$ эл. до перехода тока через нулевое значение; при этом длительность горения дуги, как правило, не превышает 0,02 с.

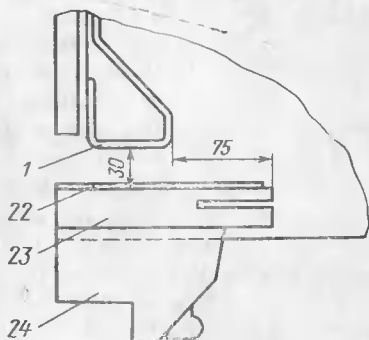
В большинстве случаев дуга гаснет в момент второго перехода тока через нулевое значение. Вместе с тем в процессе испытаний было установлено, что при небольших значениях тока дуга может успешно погаснуть при третьем и даже при четвертом переходе через нуль. При больших же значениях отключаемого тока горение дуги в течение третьего полупериода отрицательно сказывается на отключающей способности камеры.

Время перехода тока с контактов в катушку магнитного дутья зависит от формы дугогасительных контактов, скорости их размыкания, расположения дугогасительного рога над неподвижным контактом и количества витков в катушке электромагнитного дутья. В отношении дугогасительного рога опытным путем было установлено, что лучшие результаты перехода тока в катушку магнитного дутья обеспечиваются, когда расстояние между верхней кромкой неподвижного дугогасительного

контакта и нижней плоскостью рога составляет 30 мм (изоляционная накладка во внимание не принимается), а расстояние между торцами контакта и рога по горизонтали 75 мм (рис. 12).

Рис. 12. Размещение дугогасительного рога над неподвижным контактом.

1 — дугогасительный рог неподвижного контакта (обозначения на рис. 8); 22 — изоляционная прокладка; 23 — дугогасительный контакт; 24 — рабочий контакт.



На рис. 13 показаны осциллограммы изменений тока и напряжения при отключении электромагнитным выключателем тока 1,5 и 4 кА при напряжении 10,5 кВ. На

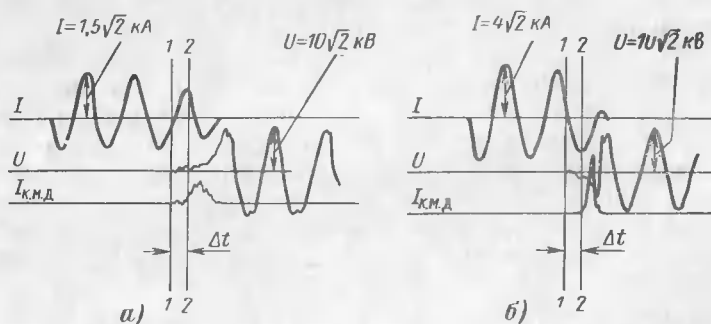


Рис. 13. Осциллограммы изменений тока и напряжения при отключении электромагнитным выключателем типа ВЭМ-10К тока 1,5 кА (а) и 4 кА (б).

I — ток, проходящий через выключатель; U — напряжение на контактах выключателя; $I_{к.м.д.}$ — ток в катушке электромагнитного дутья; Δt — время от начала расхождения контактов выключателя 1—1 до появления тока в катушке электромагнитного дутья 2—2.

осциллограммах видно, что ток в катушке электромагнитного дутья в обоих случаях появляется в моменты, близкие к амплитуде основного тока, проходящего через

выключатель. Полное погасание дуги происходит при первом же прохождении тока через нуль, после его появления в катушке электромагнитного дутья.

В период эксплуатации детали камеры должны периодически очищаться от копоти и пыли. При этом во избежание образования проводящих бороздок на керамических деталях камер нельзя применять металлические щетки и наждачную бумагу. Треснувшие и имеющие значительные сколы пластины следует заменить на новые, строго соблюдая чередование пластин.

Дуга, соприкасаясь с пластинами, иногда вызывает поверхностное оплавление керамики, которая покрывается в этих местах блестящей глазурью, что в общем не влияет на нормальную работу камеры. При повторных отключениях больших токов короткого замыкания ширина выреза в пластине за счет оплавления постепенно увеличивается. Те пластины, у которых ширина верхней вертикальной части выреза увеличится до 3—3,5 мм, необходимо заменить новыми. При большом числе отключений поверхности пластин, боковых плит и лотков загрязняются спаянными с керамикой осадками, что в конечном итоге может привести к снижению электрической прочности пространства между дугогасительными рогами.

Проверка электрической прочности периодически и в случае необходимости производится путем приложения полного испытательного напряжения в течение одной минуты между дугогасительными рогами. В случае появления «стримеров» (скользящих разрядов) на поверхности деталей последние демонтируются и очищаются с помощью изоляционных абразивных материалов, например, стеклянной шкуркой и протираются сухой тряпкой.

Собранные камеры закрывают изоляционными кожухами, которые с передней наружной стороны покрыты металлическими листами. Следует обратить внимание на то обстоятельство, что у некоторых выключателей первых выпусков верхние ручки кожухов укреплялись металлическими шпильками, пропущенными через передний заземленный металлический лист и внутреннюю изоляционную стенку кожуха. Концы шпилек, закрепленные металлическими гайками, располагались в области выброса горячих газов, из-за чего исключалась изолирующая роль гетинаксовой стенки. Для ликвидации подобного явления необходимо верхние ручки кожуха пе-

ренести ниже, в область, удаленную от выброса горячих газов, заменив металлические шпильки и гайки изоляционными, или убрать ручки совсем (как это сделано у выключателей последних выпусков), закрыв отверстия изоляционными прокладками.

Электромагнитное дутье в выключателе создается электромагнитом, состоящим из стального разомкнутого магнитопровода, охватывающего зону горения дуги и катушку, которая, как было выше указано, включается в цепь тока последовательно с контактами выключателя в момент переброса дуги с неподвижного контакта на дугогасительный рог. Катушка магнитного дутья (рис. 8, а и 14) одним концом присоединена к розетке, укрепленной на изоляционной пластине. В розетку входит расположенный на торцевой стенке камеры контактный штырь, который соединен с дугогасительным рогом неподвижного контакта. Второй конец катушки подсоединен к неподвижному контакту.

Количество витков в катушке электромагнитного дутья выбрано экспериментально, исходя из условий перехода тока с неподвижного контакта в катушку, а также требуемой скорости перемещения дуги в дугогасительной решетке. Чем больше витков будет иметь катушка, тем больше ее индуктивное сопротивление, что естественно, затрудняет переход тока с дугогасительного контакта в катушку. Кроме того, при больших токах на многовитковых катушках возникает большое падение напряжения, препятствующее погасанию вспомогательной дуги, горящей между неподвижными дугогасительным контактом и расположенным над ним рогом. С другой стороны, с увеличением числа витков катушки увеличивается магнитный поток и электродинамические силы, т. е. улучшаются условия перемещения дуги в дугогасительной камере.

На рис. 14 приведен общий вид электромагнита, укрепленного совместно с неподвижным контактом выключателя на изолированной шине. Полюсные наконечники 20 и сердечник магнитопровода набраны из шихтованной стали. Катушка 5 надета на сердечник магнитопровода и состоит из шести витков медной шинки сечением $1,5 \times 30 \text{ мм}^2$, положенной плашмя. Для межвитковой изоляции применена киперная лента, пропитанная бакелитовым лаком. От магнитопровода катушка изолирована изоляционными прокладками или каркасом и

крепится с наружных боковых сторон изоляционными пластинами 30 толщиной 15 мм, которые стянуты сталь-

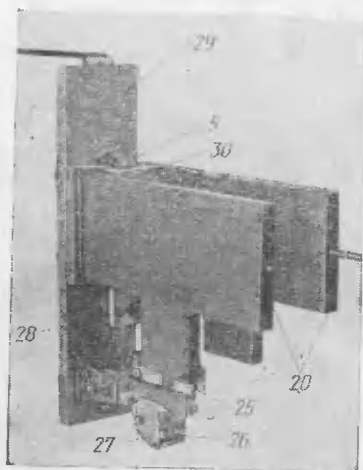


Рис. 14. Система электромагнитного дугогашения.

5 — катушка магнитного дутья (обозначение по рис. 8); 20 — полюсы магнитопровода (обозначение по рис. 9); 25 — ламели дугогасительного неподвижного контакта; 26 — ламели рабочего неподвижного контакта; 27 — латуниная щека; 28 — розеточный разъем для соединения с катушкой магнитного дутья; 29 — изолированная шина неподвижного контакта; 30 — изоляционная пластина.

ными болтами, пропущенными через сердечник магнитопровода.

В настоящее время у электромагнитных выключателей различных исполнений для прокладок и каркасов катушек применяются слюда, эпоксидная смола и стекловолокно, пропитанное смолами.

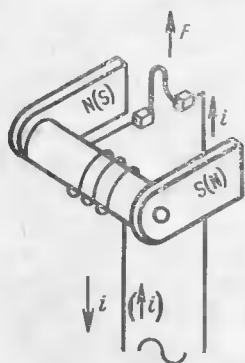


Рис. 15. Схема взаимодействия дуги с магнитным полем.

Направление намотки катушки магнитного дутья. На рис. 15 показано взаимодействие дуги (проводника с током) с магнитным полем, созданным током той же цепи для принятого направления намотки катушки. Если по правилам правой и левой руки определить для любого направления тока полярность магнитного поля и направление сил выталкивающих проводник, можно убе-

диться, что, какое бы направление не принял переменный ток, проводник с током (дуга) под действием соб-

ственного магнитного поля будет всегда выталкиваться вверх. Если изменять направление намотки катушки магнитного дутья, то будет изменяться и направление сил, выталкивающих проводник с током (дуга) из магнитного поля. У электромагнитных выключателей катушка намотана таким образом, что дуга всегда выталкивается вверх в камеру.

Во избежание ошибок в подключении выводов катушек магнитного дутья для определения полярности магнитной системы создается схема, имитирующая выталкивание дуги (рис. 16). Для этого примерно посередине между полюсами магнитопровода помещается гибкий медный трос 33 сечением 1,5—2,0 мм².

Один конец троса с помощью шпильки — металлического стержня 32 диаметром 16 мм соединяют с розеточным контактом катушки магнитного дутья; второй конец пропускают через планку, укрепленную на торцах полюсных наконечников. Источник постоянного или переменного тока присоединяется таким образом, чтобы при замыкании рубильника ток проходил последовательно через катушку электромагнитного дутья и гибкий провод. При постоянном токе 50—60 А или переменном токе 70—80 А наблюдается заметное перемещение троса вверх или вниз. Если катушка подсоединена правильно, гибкий трос поднимается вверх, если неправильно, то опустится вниз.

При проверке полярности от источника переменного тока целесообразно использовать понижающий трансформатор с напряжением на низшей стороне 6 —

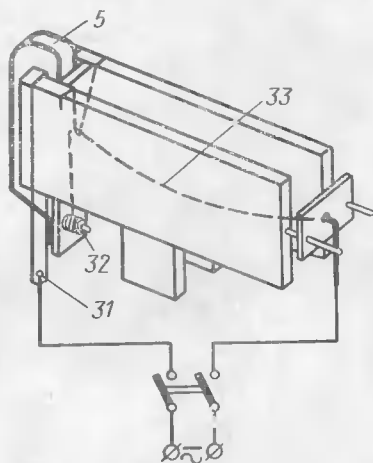


Рис. 16 Схема проверки полярности магнитного дутья.

5 — катушка (обозначение по рис. 8); 31 — зажим для подсоединения к выводу катушки; 32 — шпилька для соединения с розеточным контактом; 33 — гибкий медный трос.

12 В. Вообще же величина напряжения источников тока не нормируется и выбирается, исходя из требований техники безопасности. Соблюдать определенную полярность при присоединении источника постоянного тока необязательно, так как с изменением тока в проводнике одновременно будет изменяться и направление магнитного потока между полюсами магнитопровода. Следует иметь в виду, что проводник сечением $1,5 - 2,0 \text{ мм}^2$ не рассчитан на длительное протекание по нему тока в $50 - 70 \text{ А}$, поэтому длительность опыта не должна превышать $3 - 5 \text{ с}$.

Если будет обнаружено, что полярность магнитной системы неправильна, необходимо освободить крепления, снять катушку электромагнитного дутья, а затем выполнить подсоединение концов катушки согласно рис. 17. В

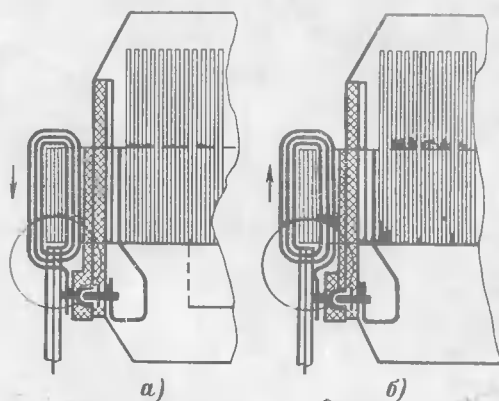


Рис. 17. Соединение выводов катушки магнитного дутья правильное (а) и неправильное (б).

остальном эксплуатация системы магнитного дутья сводится к внешнему осмотру креплений, проверке изоляции. Осмотром проверяется отсутствие внешних механических повреждений, подгаров и вспучивания витков, особенно после отключения значительных токов к. з.

Воздушный поддув. При отключении небольших токов (до 1000 А) силы взаимодействия оказываются недостаточными для быстрого затягивания дуги в камеру. Для сокращения времени горения дуги малых токов, улуч-

шения условий ее переброса с контакта на дугогасительные рога, а также лучшей вентиляции межконтактного пространства электромагнитные выключатели снабжаются специальным устройством воздушного поддува. Воздушный поддув состоит из поршня и цилиндра, заканчивающегося трубкой, расположенной под неподвижным контактом¹. Движение поршня связано с движением подвижных контактов. При отключении электромагнитного выключателя поршень перемещается вглубь цилиндра и сжимает находящийся там воздух. Струя сжатого воздуха продувает промежуток между размыкающимися контактами и помогает перемещению, а также охлаждению дуги.

Определенное влияние на скорость гашения дуги имеет расположение выходного отверстия трубки воздушного поддува по отношению к контактам и обработка ее краев. Закругления и тщательная обработка кромок трубки по которой воздух поступает из цилиндра в камеру, обеспечивает лучшие условия гашения дуги. Конец трубки должен располагаться на расстоянии не более 6 мм от нижних кромок контактов и направляться в промежуток их начального расхождения.

Уплотнение между цилиндром и поршнем создается с помощью специальных манжет — фетровых, войлочных, кожаных, а также фторопластовых. Существенное влияние на работу поддува оказывает материал и форма манжет. Манжеты первых выпусков из войлока и фетра без специальных отбортовок в ряде случаев не обеспечивали должного уплотнения. Если войлок был недостаточно пропитан, то он быстро истирался и между поршнем и цилиндром возникал зазор, в результате чего существенно снижалась интенсивность воздушного дутья. Время разрыва токов 100—600 А выключателями с такими манжетами составляло 0,12—0,2 сек.

Более стабильное действие воздушного поддува в течение продолжительного времени было достигнуто с применением кожаных манжет. На рис. 18 даны сравнительные осциллограммы отключения тока 300 А выключателем типа ВЭМ-10, у которого в качестве манжет воздушного поддува в одном случае был использован войлок, в другом — кожа. Обе осциллограммы снимались после одного года работы выключателя. Сравнивая осцилло-

¹ Устройство воздушного поддува рассматривается ниже, его детали изображены на рис. 24.

граммы, легко заметить, что время дугогашения при прочих равных условиях почти в 4 раза меньше при применении кожаных манжет.

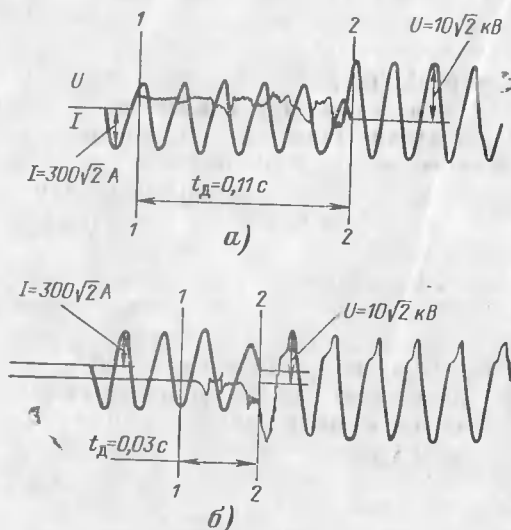


Рис. 18. Осциллограммы отключения тока выключателем типа ВЭМ-10. В воздушном поддуве войлочные манжеты без отборонок (а); кожаные манжеты с отбортовками (б).

1—1 — начало расхождения дугогасительных контактов; 2 — 2 — окончание дугогашения; t_d — время дугогашения.

Изготовление кожаных манжет. Изготовить кожаные манжеты в эксплуатации можно с помощью приспособления — пресса, показанного на рис. 19. При этом необходимо выдержать следующую технологию. Кожаные круги толщиной 5 мм диаметром на 10—15 мм больше внутреннего диаметра цилиндра поддува на сутки погружают в воду. Затем вымоченную кожу кладут в цилиндрическую форму пресса глянцевой стороной внутрь. В раму 1 ввинчивают винт 2 и прижимной шайбой 3 круг кожи вдавливается внутрь формы 4, при этом кромки манжет выжимаются вверх. После высыхания в форме (0,5—1 сутки) манжеты приобретают чашеобразный вид с небольшой конусностью. С внутренней стороны манжет снимают фаску.

Высушенные манжеты обрабатывают составом: сгущенное касторовое масло — 60%, парафин — 16%, пчелиный воск — 8%, техническое сало — 16%. Эта жиро-

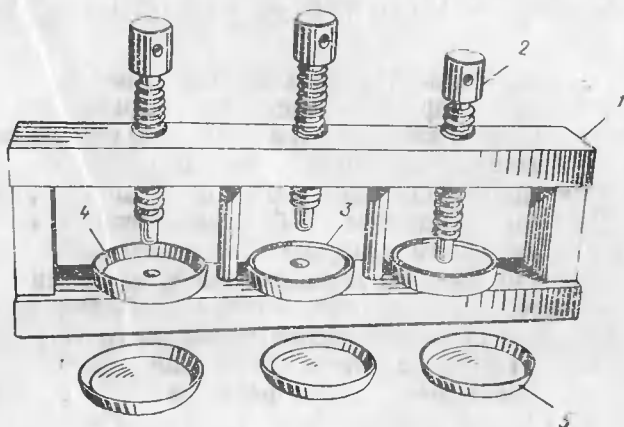


Рис. 19. Пресс для изготовления кожаных манжет.

1 — рама; 2 — винт; 3 — прижимная шайба; 4 — форма;
5 — кожаная манжета после прессовки.

вая обработка длится 12 ч при температуре 60—65 °С; манжеты должны быть подвешены в ванне и не касаться ее стенок и дна. После этого манжеты выдерживают при комнатной температуре в течение суток и они могут быть установлены в выключатель.

С применением кожаных манжет повысилась износостойчивость и отпала необходимость строгой регулировки положения выходного отверстия трубки воздушного поддува по отношению к контактам. В этом случае для контроля качества воздушного поддува в период регулировки выключателя на верх переднего отсека камеры устанавливается пластинка толщиной 5 мм, шириной 70 мм и длиной 80 мм. Эта пластинка с установленным на нее грузом 50—60 г от воздействия воздушного потока в период отключения выключателя должна подняться на 5 — 10 мм. Следует отметить, что у выключателей последних выпусков войлочные манжеты хорошо пропитаны, имеют специальные отбортовки и никаких замечаний по их работе не наблюдалось в течение продолжительного времени.

7. НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ НА ИЗНОСОУСТОЙЧИВОСТЬ И РАЗРЫВНУЮ СПОСОБНОСТЬ ДУГОГАСИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Обобщение результатов первого периода эксплуатации новых аппаратов представляет определенные трудности, которые заключаются в том, что еще не определены все эксплуатационные и ремонтные нормы и из-за ограниченности сведений, по которым можно делать выводы. В работе аппаратов большое значение имеют различные частности, которым без длительной практики можно и не придать должного значения. Оценка износоустойчивости камер и их деталей, приведенная ниже, а также оценка отключающей способности устройств дугогашения электромагнитных выключателей выполнена на основании опыта двух-, четырехлетней эксплуатации около 200 выключателей типа ВЭМ-10 на Московском метрополитене, анализа, проведенного Всесоюзным электротехническим институтом имени В. И. Ленина и некоторых сведений, полученных от других организаций.

Для расширения опыта на Московском метрополитене выключатели устанавливались в отопляемых (температура воздуха $+15$, $+35^{\circ}\text{C}$), полуотопляемых (-5 , $+35^{\circ}\text{C}$) и неотапливаемых $\pm 35^{\circ}\text{C}$) помещениях. При этом выключатели отключали токи от нескольких единиц до нескольких тысяч ампер. Наибольший интерес, естественно представляли выключатели с более частыми отключениями и выключатели, которые были подвергнуты специальным испытаниям. Осмотр камер производился после 100—150 отключений токов до 1000 А, а также через каждые 6 мес. эксплуатации, в процессе которой отключение таких токов происходило 2 — 3 раза в сутки. Наблюдения показали, что износ пластин и других деталей камер за 3 — 4 года эксплуатации или после 2000 — 3000 отключений токов до 800 А практически не обнаружен; имеются только незначительные потемнения отдельных участков пластин. Сопротивление изоляции камер измерялось мегомметром, а электрическая прочность проверялась испытательным напряжением 32 — 42 кВ_{эфф} промышленной частоты.

Проверками установлено, что изоляция камер практически не изменялась. Пробоев и заметного стримеро-

образования при испытаниях не обнаружено. Боковые керамические плиты в процессе отключений покрылись незначительным налетом копоти и меди. При испытаниях на большое число коммутаций (5 000 — 6 000 циклов включений и отключений под нагрузкой), а также через 3 — 4 года эксплуатации наблюдались случаи ослабления уплотнений между керамическими пластинами, из-за сжатия асбестового шнура. В некоторых случаях для улучшения уплотнений устанавливались дополнительные пластины. Особо заметное влияние на качество уплотнений оказывает количество клея. Как уже отмечалось выше, обильно смоченные шнуры ссыхаются, делаются более жесткими, вследствие чего могут образоваться заметные щели.

С увеличением токов отключения до 2 500 А износ пластин увеличился. Но так как в эксплуатации таких опытов было немного, наибольший интерес представляют данные ВЭИ специальных испытаний на отключение токов свыше 1 000 А. При токах 4 000 — 5 000 А и выше наблюдается износ пластин в верхней части щелевого выреза, в результате чего ширина его постепенно увеличивается. Кроме того, происходит заметное оплавление керамики на участках пластин, расположенных против верха выреза соседних пластин (все вырезы которых сдвинуты относительно друг друга). Эти оплавления происходят с двух сторон пластин и имеют вид круглых углублений диаметром 10 — 12 мм. При специальных испытаниях и в период эксплуатации наблюдались случаи выхода асбестового шнура из-под нижних торцов фибровых козырьков. Шнур недостаточно надежно удерживался между тонкой фиоровой стенкой козырька и керамическими пластинами. Незначительный подгар внутренних стенок несущей коробки обнаруживался только на тех выключателях, дугогасительные решетки которых неплотно прижимались к верхним торцам нижних боковых керамических плит, чему способствовали неровности торцевых поверхностей плит или их заметные искривления. Выброс светящихся газов из камер при отключении токов до 2 500 А не наблюдался.

Из-за стирания кромок войлочных манжет в первый период эксплуатации интенсивность воздушного поддува с увеличением количества отключений падала довольно резко. При контрольных замерах через 300 — 400 отключений время гашения дуги токов 10 — 200 А в неко-

торых случаях увеличивалось до 0,12 с. После замены войлочных мащет на кожаные времена гашения дуги малых токов в течение 2—3-летней работы практически не изменялись и находились в пределах 0,03—0,04 с.

Испытания камер выключателей типа ВЭМ-10 как в режиме опытов частых отключений токов до 2500 А, так в течение четырехлетней эксплуатации при отключении 2—3 раза в сутки токов от 10 до 800 А показали, что камеры имеют высокую износоустойчивость.

Особый интерес в эксплуатации выключателей, установленных в схемах кремниевых выпрямителей, представляли величины максимальных перенапряжений, образующихся при отключении ненагруженных трансформаторов. На рис. 20 показаны сравнительные осциллограммы изменения напряжений при отключении токов холостого хода масляным и электромагнитным выключателями одного и того же выпрямительного агрегата с трансформатором типа УТМРУ 3500/35; первичное напряжение 10 кВ, вторичное 770 В, со схемой соединения звезда — две обратные звезды с уравнительным реактором. Измерение напряжения производилось на выпрямительных ветвях, на стороне низшего напряжения 770 В. Из большого числа осциллограмм отключений на

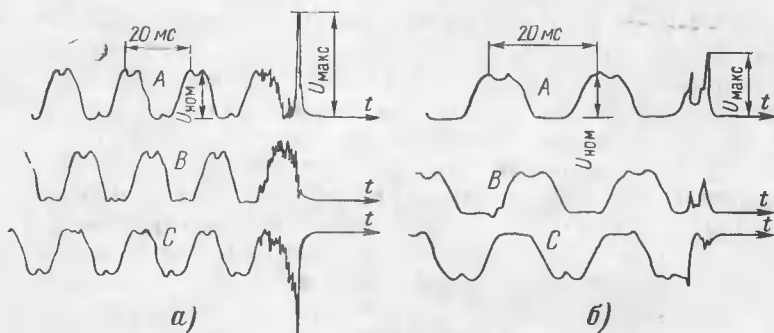


Рис. 20. Осциллограммы напряжений на фазах вентильных ветвей кремниевого выпрямителя. Отключение ненагруженного трансформатора масляным выключателем типа ВМГ-133 (а) и электромагнитным выключателем типа ВЭМ-10 (б).

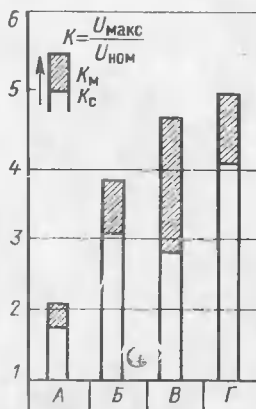
рис. 20 изображены наиболее характерные. Они показывают, что если небольшие токи (токи намагничивания) отключаются масляным выключателем, то пики перена-

напряжений значительно выше, чем при отключении аналогичных токов электромагнитным выключателем.

На рис. 21 показаны графики максимальных K_M и средних K_C перенапряжений фаза — земля при отклю-

Рис. 21. Коэффициент перенапряжения $K = U_{\text{макс}} / U_{\text{ном}}$ при отключении асинхронного двигателя 6,6 кВ, 155 кВт выключателями различных типов:

А — электромагнитным; Б — автопневматическим; В — маломасляным; Г — маломасляным с принудительным масляным дутьем; $U_{\text{макс}}$ — максимальное напряжение при отключении выключателя; $U_{\text{ном}}$ — номинальное напряжение сети; K_M — максимальное значение; K_C — среднее значение.



чении двигателей 6,6 кВ, 153 кВт различными выключателями. Данные заимствованы из сведений по докладу «Перенапряжения при коммутации асинхронных двигателей высокого напряжения» на XXI сессии СИГРЭ 1964 г. (Швеция). Из заключения по докладу следует, что наиболее опасные перенапряжения появляются в момент отключения заторможенного и вращающегося с малой скоростью двигателя. Осциллограммы, приведенные на рис. 20, и графики на рис. 21 показывают, что перенапряжения, генерируемые при отключении цепей масляными выключателями, значительно выше, чем при отключении аналогичных цепей электромагнитными выключателями. На рис. 22 приведена осциллограмма, взятая из опытов специальных испытаний отключения выключателем типа ВЭМ-10К токов короткого замыкания. На осциллограмме показаны переходные процессы только на одной фазе (рис. 22, а). Осциллограммы восстанавливающегося напряжения на рис. 22, б даны для всех трех фаз и снимались при большей скорости записи, чем осциллограммы тока и напряжения на рис. 22, а.

Если камера собрана правильно, то дугогашение происходит за 0,015—0,02 с. Восстанавливающееся напряжение $U_{\text{вос}}$ при рабочем напряжении 10 кВ лежит

в пределах 9,7—11 кВ и при рабочем напряжении 6 кВ — в пределах 5,7—7,1 кВ.

Износ пластин и других деталей камер в результате отключения токов к. з. происходит более интенсивно.

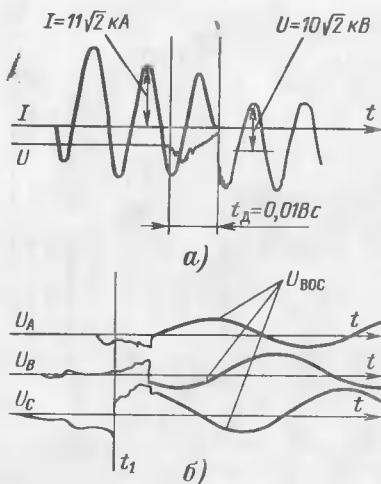


Рис. 22. Осциллограмма переходных процессов при отключении выключателем типа ВЭМ-ЮК токов к. з.

a — изменение тока и напряжения в одной из фаз; b — восстанавливающееся напряжение на контактах; $U_{\text{вос}}$ — восстанавливающееся напряжение; t_1 — момент погасания дуги в первогашащем полюсе; t — время дугогашения.

После ряда повторных отключений возможно появление трещин и сколов керамических пластин, подъем неплотно закрепленных пакетов дугогасительной решетки, значительный обгар боковых керамических плит и другие изменения. Поэтому после отключения токов короткого замыкания камеры следует тщательно осмотреть.

На рис. 23 приведена осциллограмма тока и напряжения при отказе дугогасительной камеры. Из этой осциллограммы видно, что напряжение на дуге U_d , медленно нарастающее после размыкания контактов (сечение 1—1) к моменту перехода тока через нуль (сечение 2—2), достигает незначительной величины. После слабой попытки гашения дуги в «первый нуль» и повторного ее зажигания (сечение 3—3) напряжение на дуге имеет весьма небольшую величину (если не считать пики зажигания) и ограничение тока почти отсутствует. Медленный рост напряжения на дуге, малое ограничение тока показывают, что дуга плохо движется вверх, мала ее длина, а может быть дуга и дошла до верха пластин, но

мало ее сопротивление, вследствие того что пластины разогрелись и не отбирают тепло от дуги.

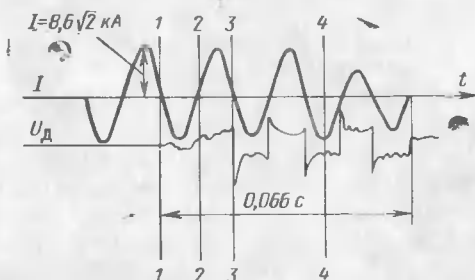


Рис. 23. Осциллограмма тока и напряжения при отказе дугогасительной камеры выключателя.

I — ток, проходящий через выключатель; U_d — падение напряжения на дуге выключателя; 1 — начало расхождения контактов испытуемого выключателя; 2 — первое прохождение тока через нуль после размыкания контактов испытуемого выключателя; 3 — повторное зажигание дуги; 4 — начало расхождения контактов запасного выключателя.

Отключение короткого замыкания в данном опыте выполнялось запасным выключателем (сечение 4—4), включенным последовательно с испытуемым. На осциллограмме рис. 23 хорошо заметно уменьшение амплитуды тока после начала отключения запасного выключателя.

Причины отказа в работе камеры могут быть самыми различными: неправильный выбор расстояния между дугогасительным рогом и неподвижным контактом; нарушение контакта между дугогасительным рогом и катушкой магнитного дутья; не выдержаны зазоры между керамическими пластинами; некачественная керамика; нарушились уплотнения между пластинами или уплотнения между дугогасительной решеткой и опорными деталями, вследствие чего нарушилась правильная вентиляция камеры. Характер же неправильного гашения дуги независимо от причины отказа в значительной мере будет сходным и состоит в следующем. Электрическая дуга на какой-то стадии

своего движения задерживается, пластины разогреваются, а когда нарушается эффективный отбор тепла, сопротивление дуги уменьшается, появляется большой остаточный ток. После перехода тока через нуль восстанавливающееся напряжение пробивает промежуток между контактами, дуга загорается вновь и т. д. до момента отключения цепи другим дублирующим аппаратом.

По сведениям организаций, где имелись случаи работы выключателя с неправильно включенными катушками магнитного дутья, электромагнитный выключатель не отключил токи короткого замыкания (точными сведениями о величинах токов, при которых наступил отказ работы с неправильно включенными катушками авторы не располагают), керамика пластин расплавилась, однако ее выгорание не привело к каким-либо побочным разрушениям, в частности сохранились целыми наружные стенки камер. Указанные явления представляют собой случаи грубого нарушения технологии сборки дугогасительных устройств. При правильной сборке и эксплуатации камеры работают надежно.

8. ГЛАВНЫЕ КОНТАКТЫ

Параметры выключателя и надежность его работы как коммутационного аппарата во многом определяются исполнением и четкостью действия контактной системы. С одной стороны, детали контактной системы, предназначенные для прохождения через них значительных токов, должны быть массивными и обладать хорошими электропроводностью и теплоотводом. По этим же условиям контакты должны быть пластичными и иметь возможно большую площадь соприкосновения. С другой стороны, контактная система должна быть легкой, особенно ее подвижные части, так как от их массы зависит скорость перемещения, а также мощность приводов включения и отключения.

Материал контактов по отношению к ударным механическим нагрузкам должен обладать достаточной прочностью и твердостью и иметь помимо этого высокую дугоустойчивость, малую окисляемость и коррозионность.

Выбор элементов контактной системы ведется по нагреву при длительном прохождении рабочего тока, а также по режиму короткого замыкания.

Нагрев при длительном прохождении тока. Одной из важных характеристик контактов является их переходное сопротивление. Поэтому расчет элементов контактной системы по длительному рабочему току сводится главным образом к определению температуры нагрева контактов, исходя из потерь энергии в его сопротивлении. Дело в том, что переходное сопротивление контактов в значительной степени зависит от окисления поверхности. Медные контакты начинают окисляться при невысоких температурах, но до температур 20—40 °C оксидная пленка имеет небольшую толщину и, как правило, разрушается от нажатия контактов в момент включения. Если температура повышается до 70 °C, то и переходное сопротивление вследствие окисления возрастает особенно интенсивно и может увеличиться в несколько десятков раз. Наиболее хорошие характеристики переходного контакта имеет серебро, так как сопротивление его оксидной пленки мало отличается от сопротивления неокисленного металла. Однако серебро легко сгорает под действием электрической дуги, и, кроме того, согласно опытным данным спай серебра происходит при невысокой температуре, которая за счет тепловой диффузии металла может быть даже ниже, чем его температура плавления.

Материал контактов оказывает определенное влияние и на срез малых индуктивных токов в процессе отключения. Как правило, у контактов из более твердых металлов, например у вольфрамовых, средний ток среза выше, чем у более мягких (медных).

Работа контактной системы в условиях к. з. оценивается с двух позиций: а) контакты не должны свариваться при включении на к. з., чему способствует малое переходное сопротивление контактов в момент их смыкания; б) замкнутые контакты должны пропускать максимальные сквозные токи к. з. В замкнутом состоянии сваривание контактов может произойти главным образом из-за недостаточных усилий их взаимного нажатия, которые будут к тому же снижены за счет электродинамических сил отталкивания. Эти силы возникают в результате воздействия на контакты выключателя проходящего через него тока.

В конечном итоге надежность контактной системы в различных режимах работы выключателя определяется подбором материалов, конструкцией контактов и связей,

а также усилиями, развиваемыми приводами. У электромагнитных выключателей контактная система в целом и ее детали выполнены с достаточным запасом надежности и прочности, но наличие большого количества крепежных соединений накладывает соответствующие требования на ее эксплуатацию. На эту особенность здесь и обращается основное внимание. Подобрать один материал, обладающий всеми предъявляемыми к контактными соединениям качествами, сложно. Поэтому, как и у многих других выключателей, у электромагнитных выключателей контактные соединения выполнены в виде системы дугогасительных и рабочих контактов. Для дугогасительных контактов в качестве материала принята металл керамика, объединяющая высокую дугостойкость с относительно хорошей проводимостью. Металлокерамика изготавливается двумя способами: спеканием смеси порошков несплавлиющихся между собой металлов под большим давлением или пропиткой пористого бруска вольфрама расплавленной медью. По второму способу, который сложнее, но дает лучшие результаты, изготавливается кирит, применяемый для дугогасительных контактов электромагнитных выключателей. Для рабочих контактов применяется электротехническая медь, покрытая серебром в местах основных контактных соединений.

Подвижный контакт (рис. 24, 25) представляет конструкцию из спаренных шин 3, на которых с помощью болтового соединения жестко закреплены дугогасительный 11 и рабочий 4 контакты. Дугогасительный контакт состоит из медного основания специальной формы, к которому припаян киритовый наконечник. Скоба рабочего контакта в торцевой части в месте соприкосновения с неподвижным контактом имеет серебряное покрытие. Подвижный контакт укрепляется на опорной изоляционной стойке или опорном изоляторе с помощью соединения (рис. 24, в), которое одновременно служит связующим контактным звеном между подвижным контактом и его шинным выводом.

Механическая подвижность и хорошая электропроводность переходного скользящего контакта в шарнирном соединении обеспечивается за счет давления между шинным выводом 17 и спаренными шинами контакта 3. Это давление достигается навинчиванием гаек 27 на шпильку 26 и сжатием пружины 28. Усилия пружины,

приложенные ко дну втулки, стремятся переместить ее влево, а втулка своим бортиком прижимает правую шину подвижного контакта к шинному выводу. Левая спа-

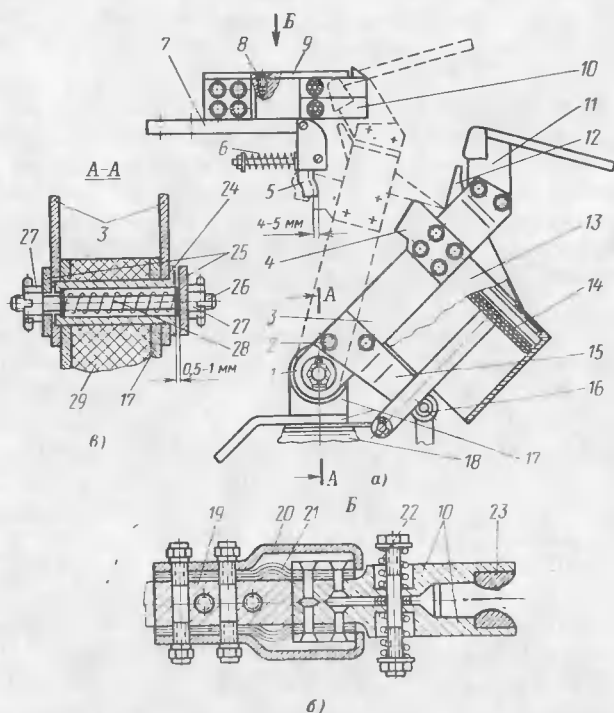


Рис. 24. Контактная система электромагнитных выключателей нового исполнения.

1 — шарнирный контакт; 2 — крепежный болт; 3 — шина подвижного контакта; 4 — скоба рабочего подвижного контакта; 5 — ламель неподвижного рабочего контакта; 6 — пружина; 7 — основание неподвижного контакта; 8 — крепежный изоляционный винт; 9 — изоляционная прокладка; 10 — ламели дугогасительного контакта; 11 — дугогасительный подвижной контакт; 12 — трубка воздушного поддува; 13 — цилиндр воздушного поддува; 14 — поршень; 15 — рычаг; 16 — бронзовая втулка; 17 — шинный вывод; 18 — опорный изолятор; 19 — основание дугогасительных контактов; 20 — ограничительная скоба; 21 — гибкая связь; 22 — пружина; 23 — киритовые накопечники; 24 — фасонная втулка; 25 — шайба; 26 — шпилька; 27 — гайка; 28 — пружина шарнира; 29 — изоляционная прокладка.

репная шина одновременно прижимается к соответствующему шинному выводу давлением на нее шайбы 25.

Шарнирное контактное соединение подвижного контакта регулируется так, чтобы был обеспечен зазор между втулкой и шайбой согласно (рис. 24, в) и чтобы контакт вместе с воздушным поддувом при отцепленной изоляционной тяге поворачивался от небольшого усилия руки.

Основной недостаток в конструкции подвижного контакта электромагнитных выключателей первых выпусков заключался в том, что рычаги 15, соединяющие изоляционные тяги с подвижным контактом, изготовлялись из алюминия, который не обладает достаточной механической прочностью. Кроме того, крепление этих рычагов к шинам контактов выполнялось болтами 2, диаметр которых на 0,5—1 мм был меньше диаметра отверстий. В результате после небольшого количества переключений крепления расшатывались и нарушалась правильная работа переключающего механизма. Из-за недостаточной механической прочности рычагов и значительных усилий, передаваемых от привода, деформировались отверстия в местах скрепления рычагов с изоляционными тягами.

Для ликвидации подобных явлений алюминиевые рычаги были заменены стальными, а диаметр крепежных болтов увеличен до плотной посадки болтов в рычагах и шинах подвижного контакта. У выключателей с очень большим количеством переключений для более жесткого крепления рекомендуется дополнительно стальные рычаги и подвижные контакты спрессовать двумя конусными шпильками. Для ликвидации ослабления крепления рычага в месте его сочленения с изоляционными тягами вставляется бронзовая втулка 16. На электромагнитных выключателях последних выпусков соединение изоляционной тяги с подвижным контактом выполняется через стальной рычаг и достаточно надежно.

Если у электромагнитного выключателя подвижный контакт устанавливается на опорном изоляторе 18, а не на изоляционной стойке, необходимо обращать внимание на крепление изолятора, так как изолятор может поворачиваться вокруг нижнего болта. При повороте изолятора нарушается соосность ножа подвижного контакта с неподвижным, вследствие чего дугогасительный контакт не займет правильного положения между пальцами неподвижного и даже может уйти в сторону. Для ликви-

дации подобных явлений следует под нижний болт опорного изолятора подложить металлическую пластинку, загнуть ее края на головку болта и крепежный угольник, т. е. надежно зафиксировать опорный изолятор.

Неподвижный контакт состоит из медных оснований 7 и 19, на которых укреплены ламели рабочего 5 и дугогасительного 10 контактов. Дугогасительные контакты состоят из четырех массивных медных пластин, присоединенных к основанию с помощью гибких связей 21. У некоторых выключателей последних выпусков медные пальцы дугогасительных контактов удлинены и их крепление к основанию выполняется только за счет нажатия пружин (без гибких связей). Контактное нажатие дугогасительных контактов осуществляется цилиндрическими регулируемыми пружинами 22, создающими во включенном положении усилия по 20 ± 2 кгс на каждую контактную пластину. Ограничительные латунные скобы 20 располагаются таким образом, чтобы имелась возможность свободного перемещения дугогасительных контактов на 2—3 мм в горизонтальной плоскости. Давление дугогасительных контактов измеряется попарно. Это значит, что динамометр прикрепляется одновременно к паре контактных пластин с одной и другой стороны. Отсчет производится в момент отхода пластин неподвижного дугогасительного контакта от ножа подвижного. Асбоцементная накладка 9 предохраняет контакты от появления на их основании опорных точек электрической дуги. Крепление накладки к неподвижному основанию выполняется двумя текстолитовыми винтами 8 неплотно, а с возможностью небольших ее перемещений в горизонтальной плоскости. Накладка должна закрывать неподвижный контакт и не мешать входу дугогасительных подвижных контактов между пластинами неподвижных контактов.

Рабочие неподвижные контакты выключателей первых выпусков (рис. 25) имеют конструкцию, при которой контактные ламели 5 размещаются между латунными щеками 31 и с помощью пружин 6 прижимаются к нижней шпильке 30 и верхней полусфере (ограничителю контактного гнезда) основания контакта 32.

В период регулировки давления этих контактов отсчет по динамометру производится в момент, когда контактные ламели неподвижного контакта отойдут от нижней передней шпильки на 3,5—4 мм. Шпилька 30 контакта не имеет каких-либо фиксирующих ограничителей,

поэтому при ее креплении нельзя допускать перетяжек, так как тогда щеки контакта будут препятствовать свободному перемещению контактных ламелей. В этом случае контактные ламели могут остаться в крайнем поло-

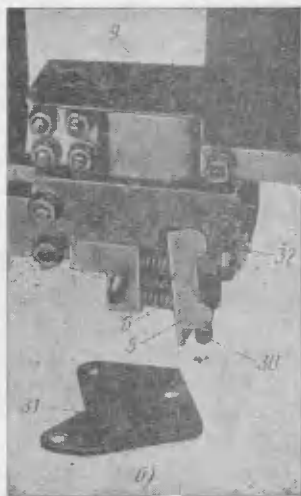
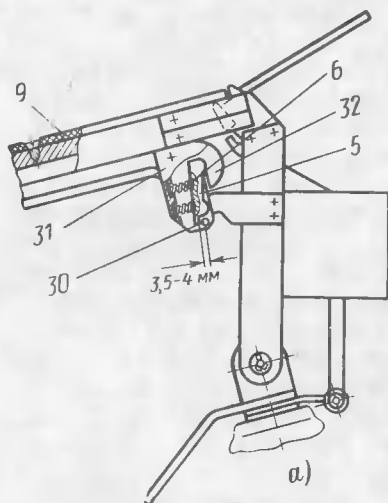


Рис. 25. Контактная система электромагнитного выключателя первого исполнения.

а — общий вид; б — крепление ламелей неподвижного рабочего контакта. 30 — ограничительная шпилька; 31 — латунная щека; 32 — ограничительное контактное гнездо. Остальные обозначения см. на рис. 24.

жении, которое они занимали в момент включения, из-за чего нарушится электрическое соединение рабочих контактов. Для ликвидации подобных явлений со шпилек были сняты крепежные гайки и шпильки стали выполнять только роль ограничителя хода контактных ламелей.

Пружины, создающие контактное давление рабочих контактов, в выключателях этой конструкции не имеют регулировки. При необходимости изменения давления контактов требуется замена пружин. У выключателей последних выпусков (рис. 24) конструкция рабочих неподвижных контактов улучшена и контактное давление легко регулируется изменением затяжки пружин 6.

Необходимо обращать внимание на крепление основа-

ния неподвижного контакта к шинному выводу. Электромагнитные выключатели первых выпусков имели недостаток, состоявший в том, что крепящие болты выполнялись диаметром несколько меньшим диаметра отверстий в основании контакта и в шинном выводе. Вследствие этого в процессе работы весь неподвижный контакт мог смещаться. С увеличением диаметра болтов до плотной их посадки в отверстиях основания контактов и шин смещение контактов не наблюдается.

Регулировка контактной системы. Контактная система должна быть отрегулирована таким образом, чтобы было обеспечено одновременное замыкание контактов всех трех полюсов. При этом дугогасительные контакты должны замыкаться раньше рабочих и размыкаться позднее их. Зазор между главными контактами в момент замыкания дугогасительных должен быть не менее 12 мм. Расстояние между разомкнутыми контактами регулируется с помощью изменения длины изоляционных тяг 5 в оси шарнирного соединения их с валом привода 6 (см. ниже § 9, рис. 27, 29).

Основные нормы и требования по регулировке контактной системы электромагнитных выключателей приведены в приложении.

Главные контакты электромагнитных выключателей в процессе работы практически не изнашиваются. Капли и наплывы меди, образующиеся, как правило, только на дугогасительных контактах при отключении больших токов, следует счищать мелким напильником. Посеребренные контакты достаточно протирать замшей или тряпкой, смоченной в спирте или бензине. Во время ревизии контактов необходимо проверять состояние асбоцементной или фторопластовой прокладки 9 (рис. 24), закрывающей дугогасительный контакт сверху, а также состояние крепящих ее изоляционных винтов 8. Прокладка 9, как уже отмечалось, должна сверху полностью закрывать металлические части дугогасительного контакта, за исключением киритовых наконечников, и иметь свободное перемещение. Если вырез прокладки 9 расширился настолько, что из-под нее начинают выступать металлические детали, ее нужно заменить новой.

Оценка состояния контактных соединений выполняется путем измерения сопротивлений участков контура: шинный вывод неподвижного контакта — шинный вывод подвижного контакта (рис. 26). Измерение сопротивле-

ний, как правило, производится специальным прибором, например микроомметром типа М-246, предназначенным для измерения малых сопротивлений или методом ам-

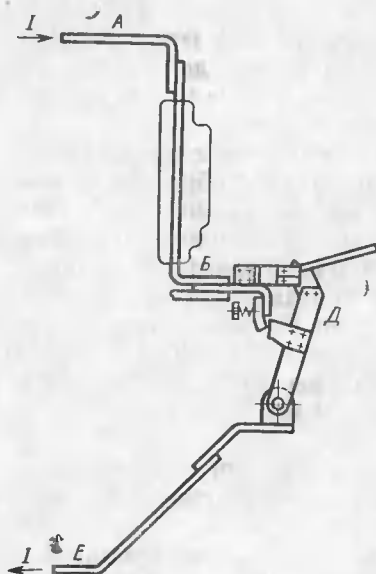


Рис. 26. Схема токоведущего контура электромагнитного выключателя.

перметра — вольтметра при постоянном токе 50—100 А. При этом сопротивления участков контура не должны быть больше следующих значений: АЕ 100 мкОм; БД 25 мкОм (замкнуты рабочие и дугогасительные контакты); БД 30 мкОм (замкнуты только главные контакты); БД 50 мкОм (замкнуты только дугогасительные контакты); ДЕ 15 мкОм. В эксплуатации подобные измерения достаточно проводить после капитального ремонта или в случае определения причин перегрева каких-либо контактных частей.

Остальные вопросы по регулировке контактной системы, определению скоростных характеристик, оценке работы механизмов выключателя приведены ниже после рассмотрения переключающего устройства и привода.

9. ПЕРЕКЛЮЧАЮЩИЙ МЕХАНИЗМ

Перемещение подвижных контактов при включении и отключении выключателей осуществляется посредством ручного или электрических соленоидного, или пружинного приводов. Механические характеристики приводов подбираются таким образом, чтобы усилия, развиваемые ими, могли преодолеть встречные силы отключающих пружин, сопротивление подвижных деталей и обеспечить

необходимую скорость движения контактов. Приводы должны надежно фиксировать выключатель во включенном и отключенном положениях и обеспечить четкое отключение выключателя за возможно малое время. Необходимо, чтобы приводы не допускали повторных замыканий контактов при одной команде включения, т. е. имели блокировку от «качаний». В то же время готовность привода к оперативным повторным включениям от команды оператора должна быть постоянной.

Ручной привод — это собственно рычаг, посредством которого через механические связи усилиями оператора (в зависимости от конструкции переключающего механизма) выполняется сжатие или растяжение отключающих пружин и перевод контактной системы во включенное положение.

В электрическом пружинном приводе двигатель, снабженный редуктором, предварительно заводит пружинный механизм привода, усилиями которого затем производится включение выключателя. Такой привод требует немного энергии и источником тока для его работы может служить измерительный трансформатор напряжения.

Электрический соленоидный привод постоянного тока вследствие отсутствия промежуточного подготовительного цикла более удобен в оперативном отношении немедленной готовностью к действию, но он требует относительно мощного источника питания постоянного тока напряжением 110 или 220 В.

Объем брошюры не позволяет привести описание конструкции всех приводов, применяемых с электромагнитными выключателями, а также их кинематических связей и особенностей схем управления. Кроме того, приводы типа ПЭ-21, которые применяются с выключателями типа ВЭМ-6, являются типовыми для масляных выключателей и описаны в литературе, а выключатели типа ВЭМ-10П с пружинными приводами находятся в стадии промышленного освоения.

Устройство электромагнитного привода. Электромагнитный привод типа ПЭГ (рис. 27) является сравнительно новой конструкцией, выполнен в виде отдельного блока и жестко закреплен на уголках рамы (тележки) выключателя. Расположение основных элементов привода показано на рис. 27 и 29,а в положении «отключено» и на рис. 29,б — в положении «включено».

Механизм привода размещен в сварном корпусе 1 и состоит из рычажной системы с роликовым устройством свободного расцепления, передаточных звеньев и элект-

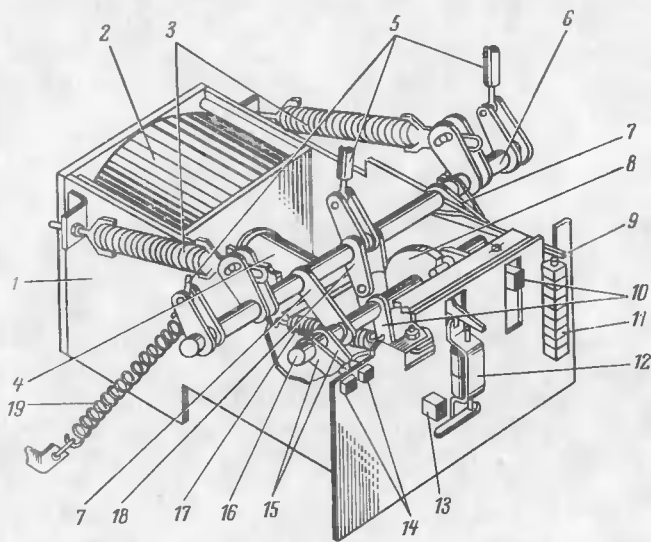


Рис. 27. Привод электромагнитного типа ПЭГ.

1 — корпус; 2 — катушка включающего электромагнита; 3 — главные отключающие пружины; 4 — сердечник включающего электромагнита; 5 — изоляционные тяги; 6 — комплектный вал с системой рычагов; 7 — рычаги, соединяющие валы 6 и 16; 8 — кулачок механизма свободного расцепления; 9 — толкатель для переключения сигнальных контактов; 10 — сварной фасонный рычаг (бугель); 11 — блок-контакты сигнальные (КСБ); 12 — отключающий электромагнит; 13 — блок-контакты против «качания» (КБП); 14 — блок-контакты цепей включения и отключения (КБВ и КБО); 15 — кулачки КБО и КБВ; 16 — вал механизма привода; 17 — возвратная пружина; 18 — спаренный нижний рычаг вала 6; 19 — вспомогательная пружина.

тромагнитов включения и отключения. Учитывая определенную конструктивную новизну и наличие многих механических взаимозависимостей в приводе, следует пояснить некоторые его основные элементы.

Промежуточным звеном механической связи между приводом и выключателем является так называемый

комплектный¹ вал 6, на котором закреплено (приварено) девять рычагов. На вал 6 через два крайних рычага с каждой стороны передаются усилия от главных отключающих 3 и вспомогательных 19 пружин, а через нижний спаренный рычаг 18 действуют усилия от механизма привода. Изоляционные тяги 5, связывающие вал 6 с контактами крайних фаз выключателя, соединяются с рычагами, на которых крепятся вспомогательные пружины. Изоляционная тяга средней фазы соединяется соответственно со средним верхним рычагом вала 6.

Обычное наименование «вал» не совсем точно отражает действие комплектного вала 6, так как он не вращается вокруг собственной оси. Осью его вращения является вал 16, с которым вал 6 жестко соединен двумя рычагами 7. При переходе из положения «отключено» в положение «включено» вал 6 под действием усилий, передающихся от механизма привода через рычаг 18, поднимается вверх и посредством рычагов 7 поворачивает вал 16. При отключении выключателя вал 6 под действием пружин 3 и 19 опускается вниз и поворачивает вал 16 в другую сторону. Вал 16 закреплен в подшипниках (втулках) корпуса привода; при переключении выключателя он поворачивается вокруг своей оси в обычном порядке. Для кулачка механизма свободного расцепления 8 и сварного рычага (бугеля) 10 вал 16 служит опорной осью вращения.

Переключение блок-контактов 14 включения (КВВ) и отключения (КВО) выполняется с помощью самостоятельных кулачков 15, угол закрепления которых регулируется поворотом на валу 16. Сигнальные блок-контакты 11 (КСБ) переключаются от воздействия толкателя 9, связанного с одним из рычагов 7. Для смягчения удара при отключении выключателя сбоку к корпусу привода крепится воздушный демпфер (на рис. 27 не виден).

Электрическая схема управления приводом типа ПЭГ (рис. 28) представляет собой обычную схему, применяемую для электромагнитных приводов.

Значительное количество механических связей привода несколько усложняет пояснение взаимодействия его деталей и более наглядно его принцип действия может

¹ Название принято в соответствии с конструктивными чертежами заводов-изготовителей.

быть объяснен при совместном рассмотрении рис. 27—29. Название «переключающий механизм» принято условно для облегчения пояснения принципа действия кинемати-

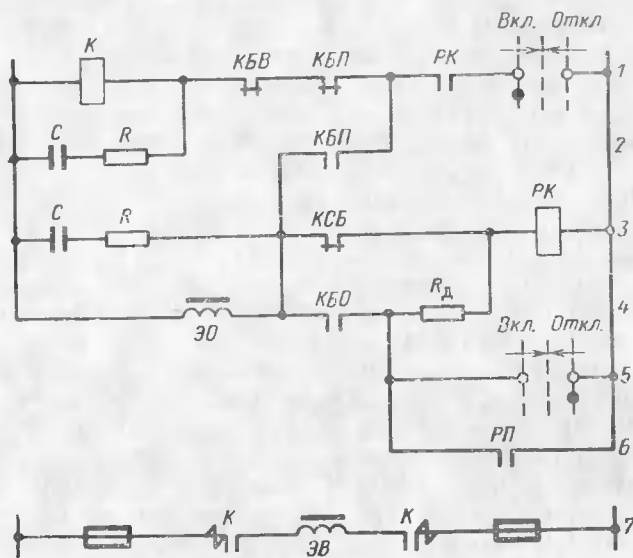


Рис. 28. Принципиальная схема управления электромагнитным приводом типа ПЭГ.

$ЭВ$ — электромагнит выключающий; $ЭО$ — электромагнит отключающий; K — контактор; $КБВ$ — контакт блокировочный включения; $КБО$ — контакт блокировочный отключения; $КБП$ — контакт блокировочный от «качания»; $КСБ$ — контакт сигнальный; RC — искрогасительный контур; R_d — добавочное сопротивление; $РК$ — реле контроля.

ки выключателя и привода и объединяет контактную систему выключателя и механизм привода.

Выключатель отключен и механизм подготовлен к включению (рис. 29,а). На рис. 27 положение привода и на рис. 29,а положение переключающего механизма показаны в состоянии, когда выключатель отключен и механизм подготовлен к включению. В этом положении главные отключающие пружины 3 находятся в свободном состоянии (на рис. 27 и 29,а виден незанятый паз пружинодержателя) и не действуют на систему. Вспомогательные пружины 19 имеют предварительное натяжение

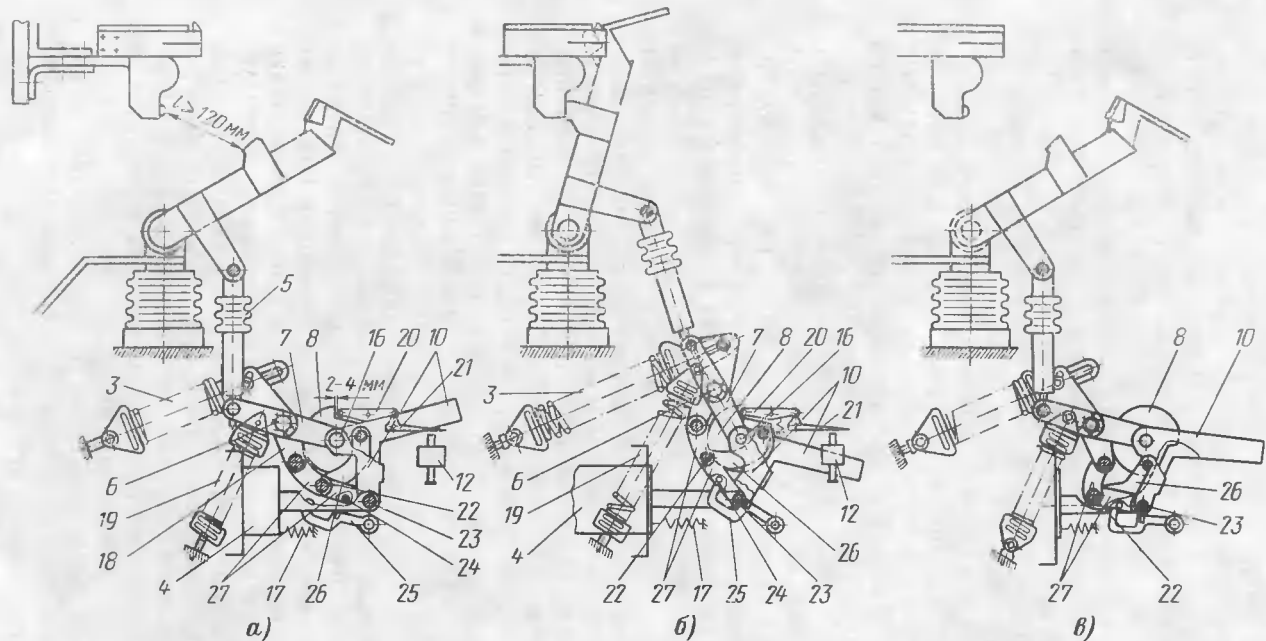


Рис. 29. Переключающий механизм. Отключенное положение (а), включенное положение (б), положение при нарушении зацеплений (в). Обозначения 3—8, 10, 12, 16—19 соответствуют рис. 27.

3 — главная отключающая пружина; 4 — сердечник включающего электромагнита; 5 — изоляционная тяга; 6 — ком-
плектовый вал; 7 — общий рычаг для валов 6 и 16; 10 — сварной фасонный рычаг (бугель); 12 — отключающий
электромагнит; 16 — вал механизма привода; 17 — возвратная пружина; 18 — спаренный нижний рычаг вала 6;
19 — вспомогательная пружина; 21 — верхняя защелка; 22 — подвижной шарнир рычагов связи; 24 — отжимной
ролик. Заштрихованы подвижные шарниры, не заштрихованы неподвижные шарниры вращения.

и их усилия направлены на перемещение комплектового вала 6 вниз. Вспомогательные пружины обеспечивают отход подвижного контакта в крайнее отключенное положение. Вал 6 в этом положении жестко опирается на корпус привода и ограничивает перемещение всего механизма при отключении. Возвратные пружины 17 возвратили сердечник включающего электромагнита 4, а также рычаги удерживающий 26 и связи 27 (рис. 29а) в крайнее отключенное положение; механизм подготовлен к включению.

Для включения выключателя ключом *Вкл.* замыкают цепь катушки контактора *К* (цепь 1 на рис. 28). При этом блок-контакты *КБВ* и *КБП* и контакт реле *РК* замкнуты. Контактор *К* срабатывает и подает питание на включающий электромагнит *ЭВ* цепи 7. Под действием электромагнитных сил сердечник включающего электромагнита 4 (рис. 29, а), втягиваясь в соленоид, через тягу действует на сварной фасонный рычаг (бугель) 10. Бугель поворачивается вокруг вала 16 и через рычаги связи (рычаги свободного расцепления) 27 передает усилия на рычаг 18 комплектового вала 6.

Следует обратить внимание на то, что рычаги связи 27 соединены между собой шарниром 22, но этот шарнир не является свободным и его расположение зависит от удерживающего рычага 26, в свою очередь связанного с кулачком 8. Если кулачок 8 заперт коромыслом 20 и не может вращаться вокруг оси 16, то не может перемещаться и рычаг 26, что и создает препятствие для смещения вниз шарнира 22. Поэтому при включении привода рычаги 27, будучи зафиксированы, «не сламываются» в шарнире 22, а как единый рычаг передают усилия на рычаг 18 комплектового вала 6. Вал 6, вращаясь вместе с рычагами вокруг оси вала 16, перемещается вверх и посредством изоляционных тяг 5 переводит подвижные контакты во включенное положение. Иначе говоря, включающие усилия через рычаги связи передаются в требуемом направлении вследствие того, что кулачок механизма свободного расцепления 8 своим выступом жестко упирается в коромысло 20 и через удерживающий рычаг 26 не дает возможности рычагам связи 27 сложиться и их шарниру 22 сместиться вниз.

Механизм перемещается в сторону включения до тех пор, пока замкнутся главные контакты, а включающий сердечник ударится о дно соленоида.

При подъеме комплектового вала 6 растягиваются главные 3 и вспомогательные 19 пружины, подготавливая систему к отключению. Одновременно за счет жесткой связи вала 6 с валом 16 последний поворачивается по часовой стрелке и кулачками 15 (рис. 27) переключает блок-контакты 14. Блок-контакт КБВ в цепи включения 1 (рис. 28) размыкается в конце хода на включение и отключает контактор К: питание с электромагнита ЭВ снимается.

Выключатель включен (рис. 29, б). При снятии питания с включающего электромагнита механизм запирается во включенном положении: кулачок свободного расцепления 8 своим выступом упирается в коромысло 20 (верхний упор), а рычаги связи 27 шарниром 23 через ролик упираются на нижнюю защелку 25 (нижний упор). Механизм фиксируется во включенном положении. Создается временная жесткая система, когда, с одной стороны, все пружины оказывают на механизм максимальные усилия на отключение, но механические запоры жестко зафиксировали его состояние во включенном положении.

Необходимо иметь в виду, что в период включения главные отключающие пружины начинают противодействовать включающим усилиям за 30 — 40 мм до смыкания контактов и что вспомогательные и возвратные пружины противодействуют в течение всего хода подвижной системы выключателя.

Отключение выключателя. Для отключения выключателя подается питание на отключающий электромагнит ЭО привода замыканием ключа Откл. (рис. 28, цепь 5; контакт КБО в цепи 4 замкнут). При этом шток отключающего электромагнита 12 перемещается вверх и поворачивает верхнюю защелку 21, освобождая коромысло 20. Ролик коромысла выходит из выступа кулачка свободного расцепления и создает возможность поворота кулачка вокруг вала 16: удерживающий рычаг 26 уже не может фиксировать шарнир 22 в неподвижном положении. Иначе говоря, верхний упор освобождается, но нижний упор при этом еще сохраняется. Отключающие пружины (главные и вспомогательные) перемещают комплектовый вал 6 вниз, а рычаги связи 27 складываются в шарнире 22. Шарнир смещается вниз и через удерживающий рычаг 26 поворачивает кулачок свободного расцепления 8 по часовой стрелке.

Под действием главных и вспомогательных пружин вал 6 с системой рычагов перемещается вниз до удара об упоры на корпусе привода. Подвижные контакты, связанные с валом 6 изоляционными тягами 5, размыкаются и отходят от неподвижных на расстояние не менее 120 мм. При движении рычагов связи вниз отжимной ролик 24 отжимает нижнюю защелку 25, освобождая шарнир 23 (освобождается нижний упор). Это позволяет возвратным пружинам 17 вернуть сердечник соленоида, а также всю систему рычагов и кулачок свободного расцепления в положение «отключено» (рис. 29, а).

В электрической схеме в процессе отключения происходят следующие изменения. При повороте вала 16 размыкаются блок-контакты КБО в цепи 4 электромагнита отключения и замыкаются блок-контакты КБВ в цепи 1 контактора К, подготавливая цепь для включения выключателя. Блок-контакты КПБ замкнутся в цепи 1 катушки К после прекращения команды на отключение.

Предотвращение «качаний». Если в процессе включения выключателя произойдет немедленное его отключение от действия защиты (замкнутся контакты реле РП), то повторное включение при оставшемся замкнутом ключе Вкл. не произойдет. Это достигается благодаря тому, что в этом случае цепь катушки К будет разомкнута размыкающим блок-контактом КБП, а через замкнутый замыкающий блок-контакт КБП создается дополнительная цепь 2 питания электромагнита отключения ЭО. Так, обеспечивается блокировка выключателя от «качаний» при включении.

Положение переключающего механизма при нарушении правильной работы элементов зацепления показано на рис. 29, в. Такое положение механизм может занять при включении, если по какой-либо причине кулачок свободного расцепления своим выступом не будет жестко опираться на коромысло, а также и при отключении, если возвратные пружины не смогли вернуть подвижные рычаги в исходное состояние. В этом случае рычаги связи получают «излом» в своем шарнире, который переместится вниз; сместится вниз и удерживающий рычаг, вследствие чего кулачок свободного расцепления повернется по часовой стрелке и нарушится верхний упор.

Последовательность и скорость переключения контактов. Как указывалось выше, подвижные контакты выключателя при его переключении под действием усилий,

передаваемых через изоляционную тягу, занимают соответственно включенное и отключенное положение. При включении сначала замыкаются дугогасительные контакты, а затем рабочие, при отключении — сначала размыкаются рабочие контакты, а затем дугогасительные. Скорости передвижения контактов определяются усилиями включающего соленоида, характеристиками пружин и качеством сборки выключателя. Для выключателя типа ВЭМ-10К эти скорости должны находиться в следующих пределах¹: $3,5 \pm 0,5$ м/с при размыкании контактов.

Максимальная скорость при движении контактов в процессе отключения допускается не более 6 м/с.

Скорость включения в момент замыкания контактов должна быть $3 \pm 0,5$ м/с. Максимальная скорость при включении не более 4,0 м/с.

На рис. 30, в даны диаграммы скоростей отключения *О* и включения *В* электромагнитного выключателя типа ВЭМ-10 с приводом типа ПЭГ-7. Поскольку скоростные характеристики являются итоговым определителем состояния переключающего механизма и, как указывалось в § 6, от скорости перемещения контактов в определенной мере зависит качество гашения дуги, скоростные характеристики проверяются при всех основных ремонтах выключателя.

Снятие скоростных характеристик удобно производить при помощи вибрографа — устройства для записи скоростей движения контактов (рис. 30, а). Виброграф представляет собой электромагнит переменного тока, легкий якорь которого одним концом закрепляется на стальной пружинящей пластине. Якорь вибрографа притягивается к магнитопроводу при положительных и отталкивается от него при отрицательных значениях тока сети и отпадает при каждом переходе через нуль. Следовательно, период колебания якоря равен 0,01 с (100 Гц). Мягкий графитовый стержень от карандаша, закрепленный на свободном конце якоря, располагают таким образом, что он может производить запись на бумажной ленте, помещенной на криволинейной рамке, закрепленной на подвижном контакте выключателя. Для магнитного выключателя выбирается криволинейная рамка, потому что его подвижные контакты совершают круговое движение и при этом не-

¹ По мере совершенствования конструкции выключателя пределы скоростей движения контактов могут уточняться.

обходимо сохранить неизменное расстояние между бумажной лентой и графитом.

Колебательные движения графитового стержня при подтягивании и отпадании якоря вследствие движения

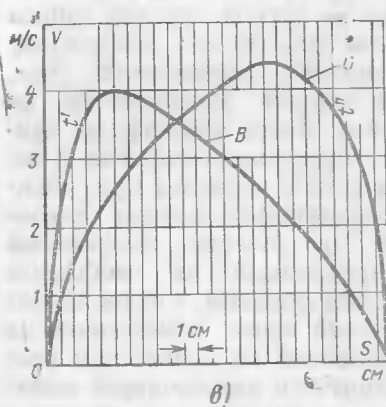
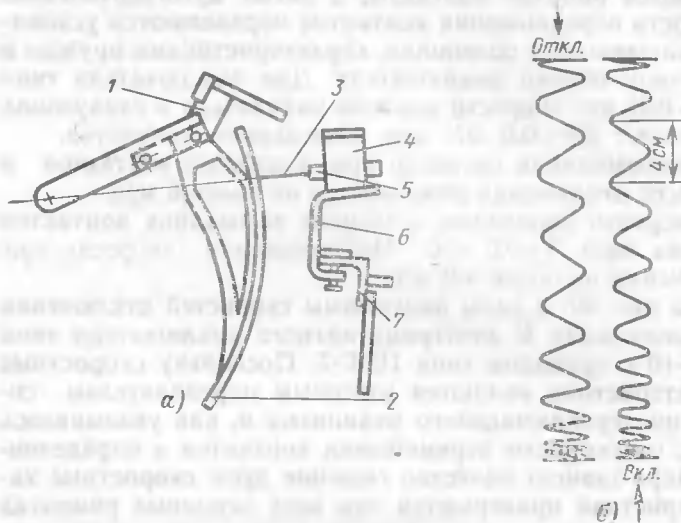


Рис. 30. Запись скорости перемещения подвижного контакта. а — устройство для записи скорости движения контактов; б — виброграммы скоростей; в — диаграммы скоростей. О — отключение; В — включение; t' — момент замыкания дугогасительных контактов; t'' — момент размыкания дугогасительных контактов; 1 — подвижный контакт; 2 — криволинейная рамка; 3 — держатель с грифелем; 4 — виброграф; 5 — якорь вибрографа; 6 — крепежная подставка; 7 — уголок.

бумаги вместе с подвижным контактом выключателя воспроизводятся в виде волнообразной кривой (рис. 30,б). Расстояния между вершинами этой кривой пропорциональны скорости ленты, т. е. скорости контактов вы-

ключателя. По мере увеличения скорости движения контактов увеличивается расстояние между вершинами кривой, записываемой на бумажной ленте. При уменьшении скорости эти расстояния становятся меньшими. Наконец, когда движение контактов прекращается, графитовый стержень наносит прямую в границах движения якоря.

Измерив по виброграмме расстояние между соседними вершинами, определяют среднюю скорость в требуемый момент движения контактов

$$v = S/T,$$

где v — скорость, м/с; S — путь, м; T — время, с.

Величину S удобно выражать в сантиметрах, так как период колебаний якоря вибрографа составляет 0,01 с, а 1 см = 0,01 м. Поэтому если за период T расстояния на виброграмме (рис. 30, б) измерять в сантиметрах, то абсолютную величину этого расстояния можно без пересчетов откладывать на диаграмме скоростей (рис. 30, в). Например, на рис. 30, б максимальное расстояние между амплитудами на виброграмме включения равно 4 см, значит $v = 0,04 \text{ м}/0,01 \text{ с} = 4 \text{ м/с}$.

10. ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ МЕХАНИЗМА ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ

Механическая надежность электромагнитных выключателей и их устойчивость при токах к. з. достаточно высоки (см. табл. 1). Испытания электромагнитных выключателей показали, что при включении и отключении к. з. на их контактах могут появиться лишь точечные следы оплавлений. Но всегда после таких испытаний выключатели оставались пригодными к дальнейшей работе. Некоторые же недостатки в работе механизма выключателя, которые были выявлены в процессе эксплуатации и испытаний при выполнении большого числа переключений главным образом, относятся к приводам. Одним из недостатков приводов типов ПЭГ-1 и ПЭГ-6 (рис. 27) являлось то, что возвратные пружины 17 были расположены под углом к оси сердечника, включающего электромагнита 4. Поэтому сила тяжения каждой пружины раскладывалась на составляющие и, следовательно, только ее часть использовалась для вытягивания сердечника из

соленоида. Из-за недостаточности силы тяжения пружин после отключения выключателя наблюдались случаи, когда сердечник оставался в соленоиде, механизм не возвращался в исходное положение и привод не был подготовлен к дальнейшей работе (рис. 29, в). Для ликвидации этого недостатка в процессе эксплуатации были изменены места закрепления возвратных пружин. Для этого к концам крепежной планки 28 (рис. 31) привариваются

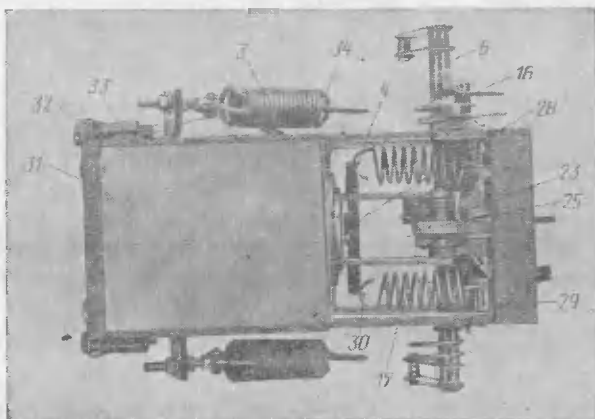


Рис. 31. Привод типа ПЭГ-1 (вид снизу). Обозначения позиций соответствуют рис. 29.

3—главная отключающая пружина; 4—сердечник включающего электромагнита; 6—комплектный вал; 16—вал механизма привода; 17—возвратная пружина; 23—подвижной шарнир бугеля; 25—нижняя защелка; 28—крепежная планка; 29—дополнительная крепежная ось (палец); 30—дополнительный крепежный угольник; 31—задняя стенка привода; 32—дополнительный кронштейн; 33—гайка; 34—наплавление от сварки.

угольники 30 с отверстиями для закрепления одного конца пружины. Второй ее конец закрепляется на корпусе привода при помощи дополнительно установленных пальцев 29. При таком креплении усилия пружин направлены по оси сердечника, что облегчает их работу. Этим было устранено невозвращение механизма в исходное положение. Предварительный натяг возвратных пружин при новом креплении рекомендуется снизить с 9 до 5 кг.

У приводов типа ПЭГ-7, которые в последнее время начал выпускать завод-изготовитель, крепление возвратных пружин выполнено таким образом, что усилия также направлены по оси сердечника. Но пружины работают не на растяжение, а на сжатие.

Другой конструктивный недостаток приводов типов ПЭГ-1 и ПЭГ-6 заключался в том, что при включении выключателя усилия, создаваемые мощным электромагнитом включения, прикладывались через ролик 23 к переднему выступу нижней защелки 25 (рис. 29 и 31). В результате ось защелки после некоторого количества переключений изгибалась. Изгибалась и ось ролика, который ударяется в защелку. Кроме того, наблюдались случаи срыва включения привода, так как защелка 25 не всегда успевала захватить ролик 23 своим задним выступом (нарушался нижний упор). В связи с таким положением в приводах типа ПЭГ-6 были установлены более мощные защелки с усиленными пружинами, отжимающими защелку вверх. Но эти меры не дали положительного результата. Выход был найден в разгрузке защелки за счет перевода ударной нагрузки на заднюю стенку привода.

С этой целью расточкой передней стенки защелки был увеличен ее раствор с 35 до 40 мм (рис. 32) и регулировка выключателя стала выполняться таким образом, чтобы при нажатии на рычаг ручного включения до конца сердечник 4 упирался в дно привода, а между роликом 23 и передней стенкой защелки 25 оставался зазор 2—3 мм. Перевод удара с защелки на дно привода вызвал необходимость усиления механических креплений. Для этого к задней стенке привода были приварены дополнительные кронштейны 32, а к боковым стенкам привода приварены удлиненные гайки 33 диаметром 16 мм (рис. 31). Таким образом, задняя стенка стала крепиться к корпусу привода не четырьмя, а восемью болтами.

Для смягчения удара сердечника о заднюю стенку привода на торец сердечника крепится латунная прокладка толщиной 3 мм. Крепление этой прокладки на сердечнике показано на рис. 33. В сердечнике 1 высвер-

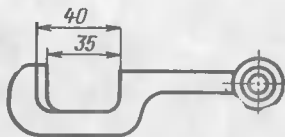


Рис. 32. Нижняя защелка привода.

ливают отверстия диаметром 6 мм и нарезают резьбу. Отверстия на глубину 5 мм раззенковывают. В латунной прокладке после сверления отверстия специальной выколоткой выдавливается металл так, чтобы при ее уста-

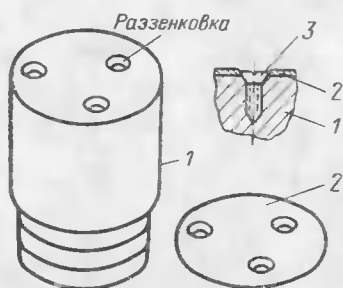


Рис. 33. Сердечник включающей катушки с дополнительной латунной прокладкой.
1 — сердечник; 2 — дополнительная прокладка; 3 — винт.

новке выдавленные части вошли в раззенковку на сердечнике. Головки винтов должны быть на один миллиметр углублены относительно плоскости прокладки. Затем каждая головка винтов кернится в трех точках. Аналогичным образом устранен этот недостаток и в приводах типа ПЭГ-7, где удар подвижных частей прикладывается не к нижней защелке, а к усиленной задней стенке привода.

Повышение надежности работы пружин. Назначение главных отключающих пружин состоит в создании необходимых усилий при размыкании главных контактов и обеспечении соответствующей скорости подвижных контактов. Для предотвращения самоотвинчивания пружин в процессе включения и отключения заводом-изготовителем устанавливались две специальные планки, которые могут передвигаться в прорези держателя. В процессе эксплуатации наблюдались случаи ослабления крепления планок, в результате чего они сдвигались и заклинивали пружины. На рис. 31 показана пружина 3 без планок; для предотвращения ее самоотвинчивания пружина фиксируется на держателе точечной сваркой.

Вспомогательная пружина привода служит для перевода подвижных контактов выключателя в крайнее положение после прекращения действия главных пружин, чтобы расстояние между неподвижным и подвижным контактом было не менее 120 мм. Помимо этого она преодолевает сопротивление механизма воздушного дутья.

Крепление пружин приводов типов ПЭГ-1 и ПЭГ-6 осуществлялось без специальных пружинодержателей, и длина их не регулировалась. На рис. 34 показана вспо-

могательная пружина привода ПЭГ с пружинойдержателем, обеспечивающим возможность регулирования. Применение таких пружин у приводов типов ПЭГ-1 и ПЭГ-6

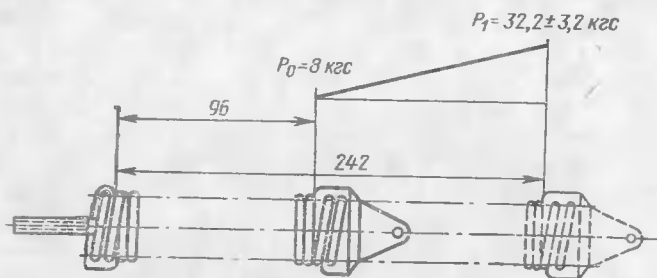


Рис. 34. Дополнительная пружина для привода типа ПЭГ-7.
 P_0 — сила предварительного натяжения; P_1 — сила натяжения при включенном выключателе.

потребовалось особенно после установки в механизмах воздушного дутья кожаных манжет, которые оказывают значительное сопротивление при отводе контактных ножей в отключенное положение.

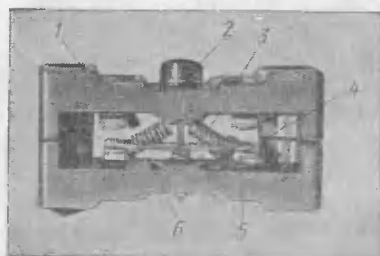


Рис. 35. Блок-контакты типа БKM.

1 — карболитовый корпус; 2 — головка штока; 3 — пружина; 4 — регулировочная прокладка; 5 — неподвижный контакт; 6 — подвижный контакт.

Блок - контакты.

Как указывалось выше, для цепей управления и сигнализации выключателя используются коммутаторы типа БKM (блок-контакт с магнитным гашением искры).

Каждый БKM представляет собой разборную контактную пару (рис. 35). Она состоит из четырех неподвижных контактов 5 и двух подвижных контактов 6, нахо-

дящихся на одной траверсе. При регулировке блок-контактов необходимо следить за тем, чтобы не было

жесткого удара подвижного штока 2 о карболитовый корпус 1. Для этого шток блок-контактов должен иметь во включенном положении свободный ход не менее 0,3 мм. При наборе из нескольких комплектов БКМ при нажатии на составной шток все контакты должны переключаться одновременно. Для выполнения такого требования при необходимости в местах стыков изменяется толщина прокладок.

Как показала практика, размыкающие контакты БКМ обычно имеют более надежный контакт, а замыкающие часто нуждаются в дополнительной регулировке. С этой целью следует нажать на шток БКМ и проверить по прибору Ц-315 (тестеру) замыкание замыкающего контакта. При отсутствии цепи осторожно отверткой отжимают неподвижные контакты от карболитового корпуса до получения надежного соединения.

После значительного количества переключений выключателя необходимо обращать внимание на крепление к корпусу привода фасадного листа, на котором укреплены комплекты блок-контактов. В случае ослабления крепежных винтов фасадный лист может сместиться вместе с блок-контактами и нарушить их правильную работу. Для исключения подобных явлений рекомендуется винтовые крепления фасадного листа заменить на болтовые с фиксацией гаек стопорными шайбами.

Электрическая схема управления. Во время проверки и наладки схем управления приводами ПЭГ необходимо обращать внимание на подбор сопротивлений в цепи отключающего электромагнита и контролировать изоляцию цепей управления. При этом необходимо знать, что при токе 0,2 — 0,4 А (номинальный ток отключающего электромагнита 2,5 — 1,5 А) отключающий сердечник в некоторых случаях может втянуться и выключатель отключится, а при токе 0,15 — 0,3 А наблюдались случаи, когда отключающий сердечник после очередной операции «отключить» не возвращался в исходное положение, что сопровождалось срывом последующей операции включения.

Повышение быстродействия ВЭМ при отключении. На рис. 36 приведены принципиальная схема релейной защиты и осциллограмма отключения ВЭМ от тока короткого замыкания с разбивкой по времени действия реле и самого выключателя. Из осциллограммы рис. 36, б видно, что наибольшие затраты времени приходится

на действие реле защиты и собственное время выключателя. Как правило, при релейной защите полное время отключения выключателя составляет 0,15—0,2 с:

$$t_{\text{от}} = t_{\text{р.т}} + t_{\text{р.п}} + (t_{\text{с}} + t_{\text{д}}),$$

где $t_{\text{п}}$ — полное время отключения; $t_{\text{р.т}}$ — время срабатывания первичного токового реле, например типа РТ-40;

$t_{\text{р.п}}$ — время срабатывания промежуточного реле, например типа РП-24 или РП-28; $t_{\text{с}}$ — собственное время выключателя; $t_{\text{д}}$ — время дугогашения.

Добиться существенного снижения времени отключения можно сократив первую

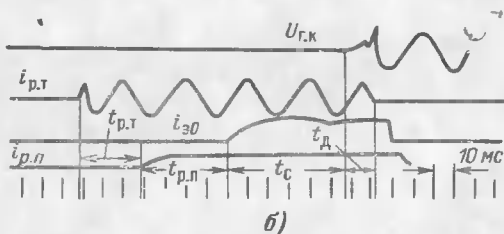
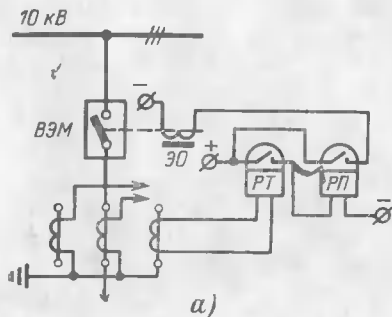


Рис. 36. Принципиальная схема релейной защиты и осциллограмма отключения ВЭМ.

РТ — реле токовое; РП — реле промежуточное; ЭО — отключающий электромагнит; $U_{\text{г.к}}$ — напряжение на главных контактах ВЭМ; $i_{\text{р.т}}$ — ток в катушке РТ; $i_{\text{ЭО}}$ — ток в электромагните отключения; $i_{\text{р.п}}$ — ток в катушке РП.

очередь собственное время выключателя и время работы защиты. Собственное время выключателя т. е. время от подачи команды на отключающую катушку до начала расхождения контактов, определяется конструкцией выключателя и главным образом конструкцией его привода. Поэтому, чтобы уменьшить собственное время выключателя, необходимо в какой-то мере изменить его кинематику. Но решить эту задачу можно путем переработки конструкции привода заводом-изготовителем.

Время действия защиты — это суммарное время работы реле. Известно, что электромагнитные реле имеют значительные времена действия, которые зависят от силы тока и составляют, например, для реле типа РТ-40 0,1 с при $I_{сраб} = 1,2 I_{уст}$ и 0,03 с при $I_{сраб} = 3 I_{уст}$, где $I_{уст}$ — ток уставки.

Изменить время действия защиты, снизив его до нескольких миллисекунд, можно путем применения электронных датчиков, т. е. схем без электромеханических реле. В качестве примера такого решения на рис. 37 приведена опытная схема, которая легко реализуется как в трехфазном, так и в двухфазном исполнениях. В этой схеме для исключения влияния нелинейности диодов Д1—Д6 (падения на них напряжения) трансформаторы тока $Tr1$, $Tr2$, $Tr3$ присоединяют через промежуточные повышающие трансформаторы ПТР. Напряжение вторичных обмоток трансформаторов ПТР через мостовую схему выпрямления (диоды Д1 — Д6) и диоды Д7 или Д8 подается через стабилитрон СТ на управляющий электрод тиристора Т. Величина напряжения на вторичных обмотках ПТР₁ — ПТР₃, а значит, и на выводах выпрямителя (Д1 — Д6) будет определяться нагрузкой в линии. При напряжении на стабилитроне примерно 8 В тиристор Т открывается и ток проходит через отключающую катушку ЭО: выключатель отключается. Конденсатор С, переменный резистор R_2 и резистор R_1 служат для регулировки момента отпирания тиристора Т через диод Д7. Время заряда конденсатора С определяется постоянной времени контура R_1 , R_2 , С; следовательно, этот контур может быть использован, если требуется защите задать выдержку времени. Для действия защиты без выдержки времени момент отпирания тиристора Т регулируется с помощью резистора R_4 через Д8.

На рис. 37, б приведена осциллограмма отключения ВЭМ при срабатывании защиты без выдержки времени. Из осциллограммы видно, что при появлении сверхтока в первичной цепи команда на отключение подается практически мгновенно. Это значит, что при применении схемы защиты на тиристорах полное время отключения может определяться только временем работы выключателя. Но с применением защиты на тиристорах часто возникает необходимость отстройки от токов намагничивания при включении трансформаторов большой мощ-

ности. Например, у тяговых трансформаторов типа УТМРУ 3500/35 максимальное значение тока намагничивания достигает $6 - 7 I_{ном}$, а потому защита, предназначенная для отключения в период коротких замыканий,

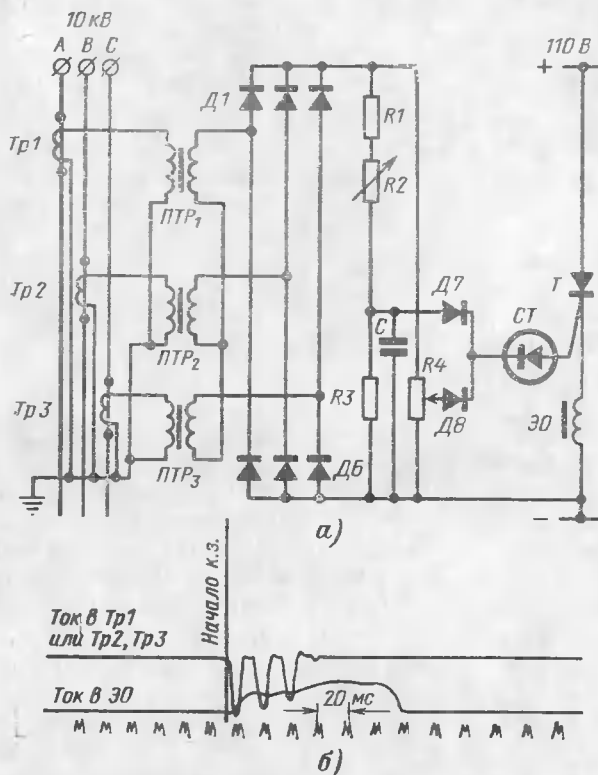


Рис. 37. Схема защиты на тиристорах и осциллограмма отключения ВЭМ.

срабатывает при включении исправного трансформатора.

Наиболее просто задача отстройки может быть решена двумя комплектами защиты: тиристорной защиты, трансформаторы тока которой включаются со стороны вторичной обмотки силового трансформатора, и обычной релейной защиты с трансформаторами тока на стороне первичной обмотки того же силового трансформатора.

Например, для схемы полупроводникового агрегата быстроедействие защита на тиристорах срабатывает при к. з. в вентиллях, присоединенных ко вторичной обмотке тягового трансформатора. При подобных повреждениях схема защиты должна работать мгновенно, а сила тока в первичной цепи ограничена сопротивлением трансформатора, т. е. ВЭМ разрывает сравнительно небольшие токи. При повреждениях на стороне высшего напряжения трансформатора действует обычная релейная защита и ВЭМ отключается за более длительное время, а потому разрывает установившиеся т. к. з. Последнее в известной мере благоприятно, так как выключатель не отключает тока с большой аperiodической составляющей.

11. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ИЗОЛЯЦИЯ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Изоляция электрических аппаратов должна обеспечивать надежное разделение разнопотенциальных частей при номинальном напряжении и при всех его отклонениях, которые возникают в процессе эксплуатации. Запас электрической прочности изоляции определяется испытательным напряжением промышленной частоты, величина которого указана в табл. 2. Величины испытательных напряжений устанавливаются, исходя из характерных для установок данного класса напряжений наибольшей величины.

Т а б л и ц а 2

Величины испытательного напряжения изоляции аппаратов

Изоляция аппарата	Класс напряжения, кВ			
	3	6	10	15
Нормальная . .	25	32	42	57
Облегченная .	14	21	32	48

В соответствии с ГОСТ 1516-68 применение нормальной или облегченной изоляции определяется условиями работы аппарата. При этом электрооборудованием с

нормальной изоляцией считается такое, которое предназначено для работы в электроустановках, подверженных воздействию атмосферных перенапряжений при обычных мерах грозозащиты. Электрооборудование с облегченной изоляцией предназначено для применения лишь в электроустановках, не подверженных воздействию атмосферных перенапряжений, или при специальных мерах по грозозащите, ограничивающих амплитуду перенапряжений до величины не превышающей амплитуду испытательного напряжения промышленной частоты.

Испытанию повышенным напряжением промышленной частоты на электрическую прочность подвергаются аппараты в процессе профилактических ремонтов. Изоляция же новых аппаратов в заводских условиях дополнительно испытывается импульсным напряжением, время нарастания которого от нуля до максимума измеряется миллионными долями секунды. При испытании импульсным напряжением выявляется способность изоляции противостоять перенапряжениям, особенно атмосферного характера.

Изоляция электромагнитного выключателя решена разнообразно, так как в выключателях применены: фарфоровые изоляторы, эпоксидные втулки, текстолитовые стойки, стеклопластиковые тяги, плоские гетинаксовые экраны, воздушные промежутки, керамические пластины, эпоксидные и другие покрытия. Электрическая прочность воздушных промежутков определяет расстояния между разнопотенциальными частями выключателя. В соответствии с «Правилами устройства электроустановок» ни одна часть, находящаяся под напряжением, не должна приближаться к заземленным конструкциям менее чем на 90 мм при напряжении 6 кВ и на 120 мм—при напряжении 10 кВ. Если выключатель работает в неотапливаемом помещении, что соответствует техническим условиям на ВЭМ, то при внезапных оттепелях в силу большой тепловой инерции изолирующих материалов последние оказываются холоднее окружающего воздуха и на них осаждается роса, что сильно снижает их разрядное напряжение.

Электромагнитные выключатели представляют собой компактную конструкцию и рассчитаны на установку в ячейках распределительных устройств сложившихся габаритов. Это обстоятельство определило необходи-

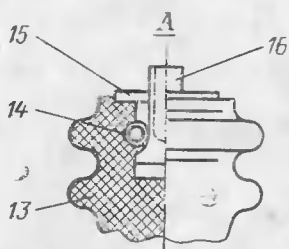
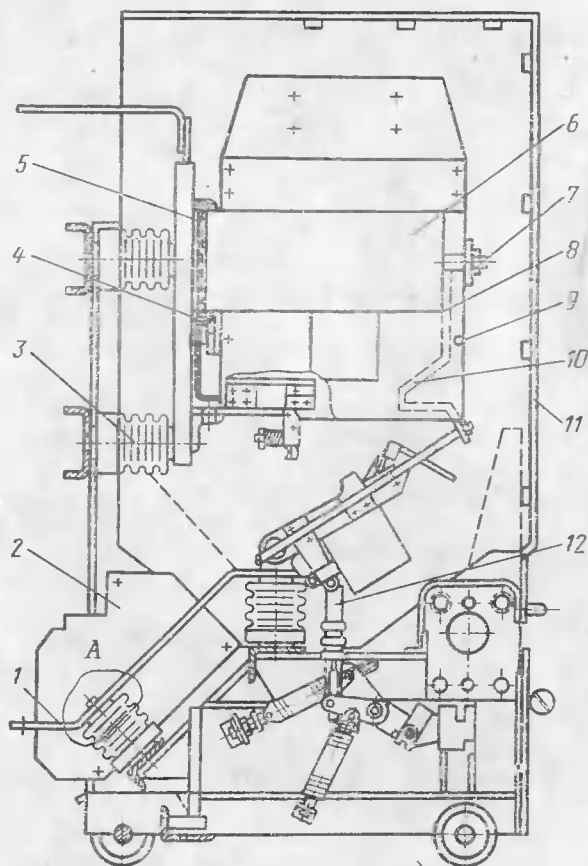


Рис. 38. Выключатель типа ВЭМ-10К со встроенным электромагнитным приводом типа ПЭГ-7.

1 — шина; 2 — изоляционный междуполюсный экран; 3 — опорный изолятор; 4 — катушка электромагнитного дутья; 5 — сердечник магнитопровода; 6 — полюс магнитопровода; 7 — крепежная шпилька; 8 — кромка магнитопровода; 9 — стяжная шпилька; 10 — дугогасительный рог подвижного контакта; 11 — общий изоляционный кожух; 12 — изоляционная тяга; 13 — фарфоровое основание изолятора; 14 — пружина; 15 — крепежная гайка; 16 — инпелль.

мость в ряде случаев уменьшить величины воздушных промежутков по сравнению с нормированными, усилив эти промежутки барьерами (экранами) из изоляционного материала. Такие барьеры 2 на рис. 38 установлены между полюсами, а также между нижними выводами и заземленными конструкциями.

Общий изоляционный кожух 11 закрывает все основные токоведущие части выключателя, отделяя полюсы друг от друга. При установке изоляционных барьеров их стремятся располагать посередине воздушных промежутков или по крайней мере с таким условием, чтобы барьер по своей плоскости не прикасался к заземленным конструкциям. Для этого между барьером и несущими конструкциями устанавливаются небольшие изоляционные прокладки толщиной 10—15 мм. Отверстия на барьерах для их крепления высверливаются в местах, удаленных от токоведущих частей не менее чем на 120 мм.

В качестве опорных изоляторов приняты фарфоровые изоляторы с эластичным механическим креплением арматуры (узел А на рис. 38). В этом изоляторе фарфор воспринимает все виды механических нагрузок через пружину, свернутую в кольцо. Крепление арматуры выполнено довольно просто. Во внутреннее пространство основания изолятора 13 закладывается стальной ниппель 16. Выступающая наружу цилиндрическая часть ниппеля имеет внутреннюю и внешнюю резьбы. На наружную резьбу наворачивается крепежная гайка 15; внутренняя резьба служит для крепления изолятора к конструкциям. Во внутреннем пространстве изолятора в кольцевую канавку закладывается спиральная пружина 14. При наворачивании гайки 15 на ниппель 16 его головка плотно прижимается к пружине, обеспечивая эластичное крепление. Внутреннее механическое крепление арматуры надежнее, чем при армировке цементом, так как различные коэффициенты линейного расширения фарфора и металла арматуры не сказываются на прочности соединения.

У ВЭМ-6 и у ВЭМ-10 первых выпусков выводы подвижных и неподвижных контактов имели эпоксидные изоляторы 3 (рис. 6). Конструкция этих изоляторов проста и представляет токопроводящий полый стержень, залитый в эпоксидную смолу. На внешней эпоксидной оболочке изолятора, отлитой вместе с фланцем, который служит для его крепления к раме, имеется два ребра для исключения скользящих разрядов (стримеров) в области

фланца. В период эксплуатации первых ВЭМ-10 с эпоксидными изоляторами при испытании повышенным напряжением имели место единичные случаи пробоев и поверхностных перекрытий изоляторов. Их причиной явилось несовершенство технологии эпоксидного покрытия первых партий изоляторов, так как в толще материала были обнаружены воздушные включения и раковины, а также трещины.

У выключателя ВЭМ-6 последних выпусков эпоксидные изоляторы имеют хорошие показатели и случаи отбраковки из-за недостатков практически не наблюдались.

При испытаниях изоляции ВЭМ повышенным напряжением особое внимание следует обращать на изоляцию катушек электромагнитного дутья 4 от сердечника магнитопровода 5 и изоляцию промежутка от кромки 8 полюса магнитопровода 6 до стяжной шпильки 9 дугогасительной камеры и рога 10 (рис. 38). Эти изоляционные узлы (изоляция катушки 4 от сердечника 5, а также воздушный промежуток по поверхности изоляционных плит коробки камеры между 8—10) при испытании включаются последовательно. Если происходит перекрытие между магнитопроводом и рогом подвижного контакта, то все напряжение прикладывается к изоляции катушки магнитного дутья и в результате может произойти ее пробой. В процессе эксплуатации пробой изоляции не происходили, но во время испытаний при напряжении выше 32 кВ наблюдались интенсивные поверхностные скользящие разряды, что объясняется в первую очередь малым воздушным промежутком по цепи полюс 6 — шпилька — 9 рог 10, а также емкостным влиянием изоляционного кожуха. Появление значительных поверхностных токов при испытании указанного участка изоляции в основном определило ограничения по доведению выключателя типа ВЭМ-10 в целом до класса нормальной изоляции 10 кВ. У некоторых выключателей последних выпусков, в частности у выключателей типа ВЭМ-6КТ, катушки магнитного дутья залиты в эпоксидную смолу совместно с медной шинкой верхнего вывода. Такое исполнение изоляции катушки при хорошей технологии эпоксидного покрытия может повысить электрическую прочность указанного участка.

У выключателей типа ВЭМ-10КУ изоляция катушки магнитного дутья от сердечника выполнена с помощью

сплошного каркаса из стекловолокна с заполнением из эпоксидной смолы. Помимо этого, у них отсутствует стяжная шпилька 9 и закруглены кромки 8 полюсов магнитопровода. Выключатель типа ВЭМ-10КУ успешно выдержал испытательное напряжение 42 кВ_{эфф}. Изоляционные стекловолокнистые тяги 12 имеют хорошие электрические и механические характеристики и их эксплуатация не выдвигает каких-либо особых требований, кроме внешних осмотров и протирки от пыли.

При проверке изоляции ВЭМ, КРУ, а также внешних подсоединений необходимо обращать особое внимание на соблюдение расстояний по воздуху между разнопотенциальными частями. Нарушения допустимых приближений могут быть самыми различными. Например, на трансформаторах тока зачастую устанавливаются пломбы, укрепленные проволокой с концами, которые чуть ли не касаются токоведущих частей.

Следует заметить, что если положение выключателя в период испытания повышенным напряжением по каким-либо причинам не будет соответствовать его рабочему положению, то нарушение изоляции не всегда удастся выявить в процессе испытаний. Так, например, электромагнитный выключатель испытывается переменным током, а силовой кабель постоянным, значит, одновременная их проверка исключается. Поэтому для испытания того и другого необходимо или ВЭМ выкатить из ячейки КРУ, или отсоединить и отвести концы кабеля. Но при восстановлении выключателя в рабочее положение могут измениться условия взаимного расположения разнопотенциальных конструкций. Это значит, что *каждое испытание должно сопровождаться тщательным осмотром целостности изоляции, ее чистоты, проверкой взаимного расположения токоведущих частей и их приближения к заземленным конструкциям.*

Как было указано, испытание изоляции ВЭМ повышенным напряжением промышленной частоты выполняется перед его включением в работу и в период профилактических ремонтов. Перед началом испытаний осматриваются все изоляционные детали и проверяется сопротивление изоляции мегомметром. Напряжение мегомметра прикладывается к тем же частям ВЭМ, что и при испытании повышенным напряжением промышленной частоты. Нормы испытательного напряжения указаны в табл. 2.

Испытательное напряжение прикладывается: а) между токоведущими частями и заземленными конструкциями при включенном и отключенном положениях; б) между токоведущими частями соседних полюсов во включенном и отключенном положениях; в) между разомкнутыми контактами одного и того же полюса при отключенном положении. Порядок испытания определяется «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей» и местными условиями. При этом согласно ГОСТ 1516-68 скорость подъема напряжения до 40% максимального испытательного может быть произвольной. Дальнейшее повышение напряжения должно производиться плавно с изменением напряжения примерно на 3% нормируемого испытательного напряжения в течение 1 с. После достижения нормируемого испытательного напряжения и выдержки в течение 1 мин напряжение плавно снижается за время примерно 5 с до величины не менее 25% испытательного, после чего напряжение снимается.

Аппарат считается выдержавшим испытание, если не произошло пробоев и перекрытий изоляции; при этом допускается умеренное стримерообразование. На основании опыта эксплуатации можно сделать заключение, что, если изоляция ВЭМ не имеет внешних повреждений, выдержаны воздушные промежутки, изоляционные барьеры расположены правильно, выключатель всегда выдерживает испытание повышенным напряжением.

12. РАЗМЕЩЕНИЕ И МОНТАЖ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Электромагнитные выключатели могут размещаться в комплектных распределительных устройствах, сборных камерах, бетонных ячейках или площадках РУ 6 и 10 кВ. Следует отметить, что такая универсальность возможности размещения ВЭМ в РУ различных типов была определена сразу при конструировании еще первых образцов выключателей. Размещение ВЭМ на тележке представляет определенные удобства для обслуживания и ремонта, особенно имея в виду, что ячейки распределительных устройств имеют небольшие габариты и выполнение в них работ всегда представляет для персонала определенные затруднения.

В последнее время размеры выключателя, особенно его рамы с катками, а также соединительные разъемы первичных и вторичных цепей были координированы с

размерами типовых ячеек КРУ. В связи с этим представилась возможность разместить выключатели в КРУ без переделок выкатных частей ВЭМ и шкафов КРУ. При использовании ВЭМ в КРУ лишь дополнительно устанавливается механизм блокировки и доводки. В этом случае монтаж ВЭМ сводится к монтажу КРУ и регулировке выключателя. Условия размещения и монтажа ВЭМ на каждом предприятии могут быть различными и определяются местными особенностями. Обязательные требования в части температуры, влажности, запыленности, расстояний между токоведущими частями и их приближений к заземленным конструкциям определяются техническими условиями на выключатели и распределительные устройства, а также «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей».

При модернизации действующих распределительных устройств с заменой устаревших масляных выключателей известный интерес представляют решения по размещению ВЭМ в ячейках, ранее предназначенных для масляных выключателей. На рис. 39 показана схема размещения ВЭМ первых выпусков в ячейке масляного выключателя в РУ типа КСО. Такое размещение удобно там, где в схемах имелись соответствующие разъединители для отделения выключателей, а потому

выкатывание ВЭМ для периодических осмотров и мелких ремонтов не требуется. ВЭМ устанавливается на сварной раме высотой 0,6—0,7 м (что обеспечивает удобство обслуживания привода) и присоединяется к шин-

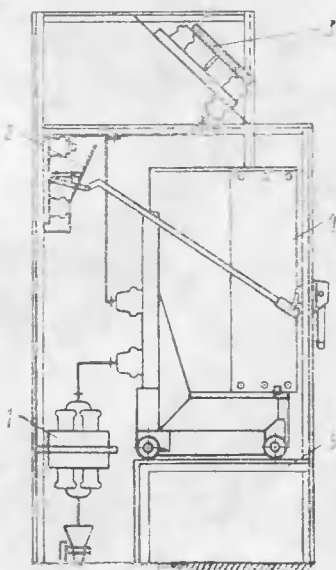


Рис. 39. Размещение ВЭМ-10 в ячейке КСО.

1 — трансформатор тока; 2 — заземляющий разъединитель; 3 — шинный разъединитель; 4 — ВЭМ-10; 5 — сварная рама-подставка.

ным выводам болтовыми креплениями без розеточных контактных разъемов. В зависимости от схемы питания ячейка оборудуется одним или двумя заземляющими разъединителями. На период производства капитального ремонта ВЭМ расшинувается и выкатывается из ячейки. Для транспортировки ВЭМ к месту ремонта и выкатывания из ячейки целесообразно на подстанции

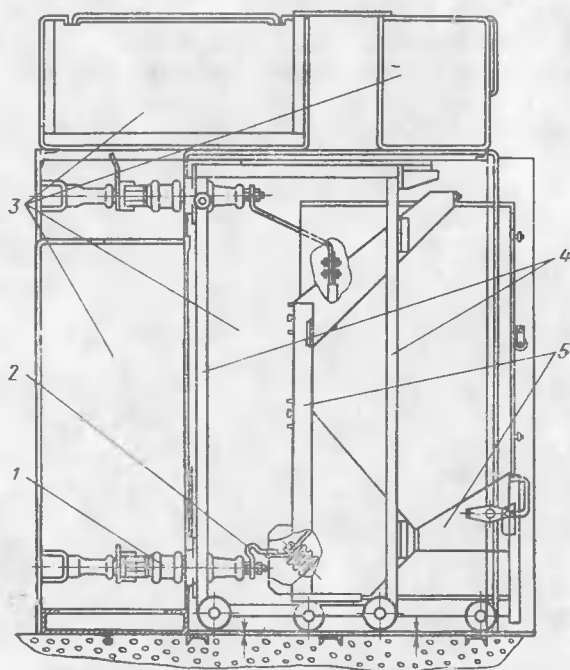


Рис. 40. Размещение ВЭМ-10 в ячейке КРУ для масляного выключателя типа ВМГ-133.

1 — проходной изолятор тележки ВМГ-133; 2 — медный компенсатор, соединяющий вывод ВЭМ-10 с выводом на тележке от ВМГ-133; 3 — отсеки КРУ для ВМГ-133; 4 — тележка ВМГ-133; 5 — тележка ВЭМ-10.

иметь специальную тележку по высоте, равную опорной подставке для выключателя.

Сложнее монтаж ВЭМ, когда производится замена масляных выключателей, установленных в КРУ, изготовленных в предыдущие годы. На первый взгляд представляется заманчивым заменить полностью КРУ, но это свя-

зано с большими работами по перемонтажу вторичных цепей и кабелей различных назначений: требуется создание временных схем питания с наличием свободных площадей; возникают трудности в стыковке КРУ различных конструкций. На рис. 40 показана схема размещения ВЭМ-10 в ячейке КРУ Запорожского завода выпуска до 1957 г. Сущность такого размещения заключается в том, что тележка ВЭМ-10 5 монтируется на тележке ВМГ-133 4, при этом первая вставляется во вторую так, что тележка от ВМГ-133 используется как элемент для перехода от ВЭМ-10 к КРУ старой конструкции. Переходная рама (тележка) ВМГ-133 скрепляется с рамой ВЭМ-10 таким образом, что всю нагрузку от выключателя несет собственная тележка ВЭМ-10; колеса тележки ВМГ-133 служат только направляющими.

Выводы ВЭМ-10К соединяются с проходными изоляторами старой тележки гибкими медными компенсаторами 2 сечением 60×6. Механизм блокировки и доводки используется от ВЭМ-10К. Для этого на стенки старого КРУ приваривают соответствующие упоры. При таком размещении вся контактная система, приводной механизм шторок, сборки зажимов вторичных цепей, закладные детали, направляющие и стационарные блоки КРУ остаются без изменения. Это значит, что монтаж нового ВЭМ-10 в ячейке КРУ в основном сводится к размещению и закреплению тележки ВЭМ-10 на тележке ВМГ-133 и к соответствующей регулировке.

На рис. 41 показано размещение ВЭМ-10 в КРУ производства Хмельницкого завода трансформаторных подстанций.

Комплектные распределительные устройства КРУ-2-10/Э-Э или КРУ-6/200Т представляют собой набор отдельных шкафов со встроенными выключателями, приборами измерения, релейной защиты и вспомогательными устройствами. Корпус шкафа КРУ (рис. 41) конструктивно разделен на четыре отсека: отсек тележки; отсек сборных шин и верхних втычных контактов; отсек трансформаторов тока, разделок кабелей и нижних втычных контактов и, наконец, отсек приборов и вторичных схем.

Выкатная тележка в шкафу имеет три основных положения: рабочее, контрольное и ремонтное. В рабочем положении тележка находится в корпусе шкафа; цепи первичных и вторичных соединений замкнуты. В контрольном положении тележка находится также

в корпусе шкафа, но цепи первичных соединений разомкнуты и достаточно удалены друг от друга, что предотвращает электрический пробой. Разъединяющие контак-

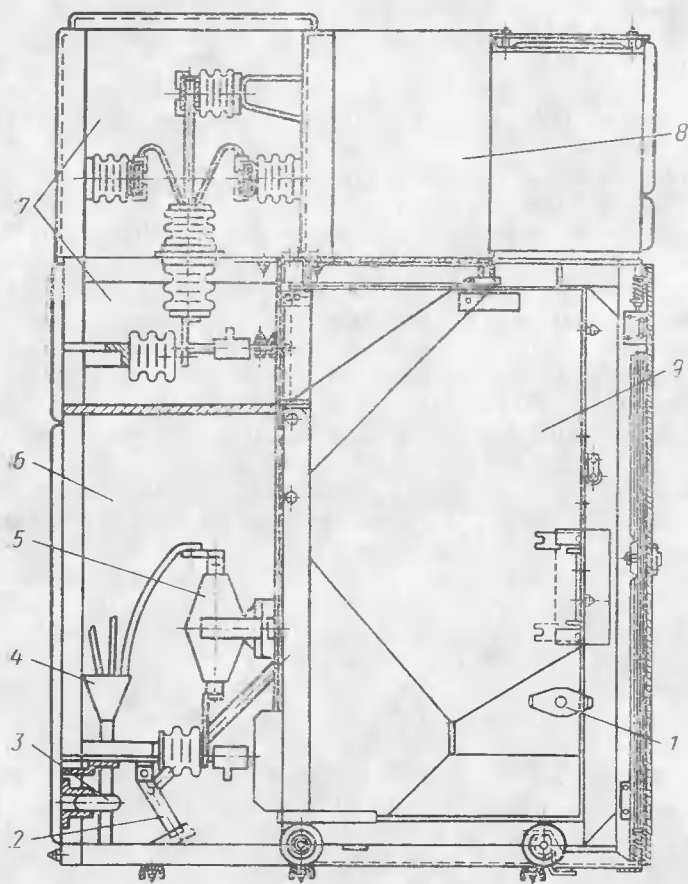


Рис. 41. Размещение ВЭМ-10К в КРУ-2 — 10/Э-Э.

1 — упорная планка механизма доводки; 2 — заземляющий разъединитель; 3 — трансформатор нулевой последовательности; 4 — кабельная воронка; 5 — трансформатор тока; 6 — отсек разделок кабелей и нижних втычных контактов; 7 — отсек сборных шин и верхних втычных контактов; 8 — отсек приборов и вторичных схем; 9 — ВЭМ-10К.

ты вторичных цепей, обеспечивающие возможность опробования выключателя с приводом, могут быть замкнуты

специальной переходной вставкой или быть разомкнутыми. В ремонтном положении выключатель полностью выкатывается из ячейки.

В шкафах КРУ имеются защитные шторы, которые вместе с перегородками между отсеками выкатной тележки и верхних и нижних пинцетов, создают сплошное ограждение, защищающее обслуживающий персонал от случайного прикосновения к токоведущим частям, находящимся под напряжением. При выкатывании ВЭМ шторы рычагами поднимаются вверх и открывают проходы для выводов штепсельных разъемов. Опускаются шторы под действием собственного веса и веса элементов рычажной системы при выкатывании ВЭМ из ячейки.

Роль шинных и линейных разъединителей в КРУ выполняют разъединяющие контакты первичных цепей втычного типа. Они состоят из подвижной части контакта, укрепленной на выводах ВЭМ, и неподвижной, укрепленной на конструкции КРУ. На одной из стенок в отсеке тележки монтируется механизм заземляющего разъединителя. В КРУ-2-10/Э-Э первых выпусков механизм заземляющего разъединителя крепился с левой стороны, но его конструкция и размещение были неудачны, а потому изменены. Вал заземляющего разъединителя с ножами устанавливается в отсеке трансформаторов тока. Заземляющий разъединитель оборудован блокировкой, запрещающей включение разъединителя при вкваченном ВЭМ и перевод тележки в рабочее положение при замкнутом заземляющем разъединителе.

Корпус шкафа КРУ заземляется приваркой к швеллерам закладных оснований. Выкатная часть заземляется посредством скользящего контакта медной шинки, укрепленной на выкатной части, с пружинящей медной щеткой, связанной с корпусом шкафа КРУ.

Перемещение ВЭМ в ячейке КРУ производится с помощью механизма доводки (рис. 42), который укрепляется над приводом выключателя. Механизм доводки снабжается элементами блокировки, которые допускают перемещение тележки, только когда выключатель отключен. При перемещении выключателя червячное колесо 5, жестко соединенное с валом 3, поворачивается в ту или иную сторону при вращении червяка 7 рукояткой 6. Одновременно с поворотом вала поворачиваются упорные планки 1 (планки располагаются с обоих концов вала).

которые заходят в фасонные пазы упоров, закрепленных в шкафу КРУ, и перемещают ВЭМ соответственно в рабочее или контрольное положение. Дополнительно контрольное и рабочее положение выключателя фиксируется специальным стопором 4. Перед тем как повернуть рукоятку для перемещения выключателя, необходимо освободить стопор.

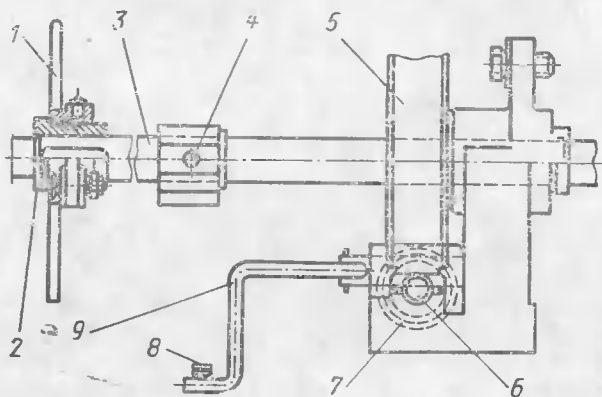


Рис. 42. Механизм блокировки и доводки ВЭМ.

1 — упорная планка; 2 — подшипник; 3 — вал; 4 — стопор; 5 — червячное колесо; 6 — основание для рукоятки; 7 — червяк; 8 — верхняя отключающая защелка привода; 9 — скоба.

Если перемещение ВЭМ будет выполняться при его включенном положении, то в момент поворота червяка 7 скоба 9 поднимает защелку 8, что приведет к отключению выключателя. На основании опыта эксплуатации первых ВЭМ-10К механизм доводки получил определенные усовершенствования, особенно в части упрощения связей блокирующей скобы. Кроме того, изменено размещение разъемов вторичных цепей, которые из верхней части тележки ВЭМ-10 перенесены на ее боковые стенки.

При вкатывании тележки в шкаф особое внимание обращается на правильное сочленение подвижных и неподвижных контактов первичных цепей. Расхождение осей контактов не должно превышать величин, нормируемых заводом-изготовителем. Нажатие ламелей втычных контактов должно быть в пределах от 10 до 15 кгс и регулируется гайкой, крепящей пружины контактного дав-

ления. Монтаж ВЭМ в КРУ сводится собственно к монтажу комплектных устройств и выполняется на основании заводских инструкций.

13. ЭКСПЛУАТАЦИОННОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Каждый электромагнитный выключатель снабжается заводской инструкцией, в которой достаточно подробно приведены технические требования и нормы по обслуживанию.

Подготовка к эксплуатации. Основную подготовку к эксплуатации нового выключателя удобно производить вне пределов РУ, где можно лучше определить состояние выключателя, испытать его и выполнить в случае необходимости определенную регулировку. Для проверки выключатель освобождают от внешней лишней смазки и присоединяют к оперативным цепям. Обтирочным материалом (без ворса) тщательно протирают изоляционные части выключателя, кожухи и межполюсные перегородки. Проверяют доступные внешнему осмотру механические крепления выключателя, при этом выключатель необходимо несколько раз включить и отключить вручную и убедиться в том, что все части работают правильно и нет излишнего трения в механизме.

При осмотре дугогасительных камер необходимо убедиться в исправности внешних и внутренних ее деталей согласно рекомендациям, изложенным в § 6. Особое внимание обращается на состояние керамических пластин. Они должны быть без трещин и сколов, очищены от технологического песка и упаковочного мусора. Асбестовые шнуры должны быть плотно наклеены на кромки пластин и доходить до самого их низа. При работе с собранной камерой во избежание выпадения пластин не рекомендуется переворачивать ее разделительными фибровыми козырьками вниз. Фибровые козырьки нельзя использовать для переноски камер, так как при этом могут ослабнуть и выпасть приклеенные к ним асбестовые шнуры.

Перед установкой необходимо тщательно протереть нижние кромки боковых изолирующих плит, которые могут быть загрязнены токопроводящим мусором и пылью с пола. Обращается внимание, что при установке камеры втычной контакт, соединяющий дугогасительный

рог неподвижного контакта с катушкой магнитного дутья, должен войти в розетку, укрепленную на магнитопроводе, а опорные планки камеры лечь всей плоскостью на полюсные наконечники. Камеру следует закрепить с помощью фиксирующих пластин к шпилькам, расположенным на магнитопроводе. После этого нужно соединить рог дугогасительного подвижного контакта с медной шинкой, связанной с основанием подвижного контакта, и проверить, не мешают ли камеры перемещению подвижных контактов.

Техническое состояние выключателя проверяется путем сравнения контролируемых величин с их нормируемыми значениями, установленными заводом-изготовителем (приложение).

При ошиновке выключателя его контактные выводы не должны испытывать механических напряжений со стороны внешних шинных соединений.

В период подготовки и наладки выключателя обслуживающий персонал должен находиться на безопасном расстоянии от области подвижных контактов, так как их выступающие части при случайном отключении могут вызывать опасные механические воздействия. Кроме того, по условиям электробезопасности нельзя без защитного кожуха вкатывать ВЭМ в шкаф КРУ.

Периодичность осмотров и ремонтов выключателя определяются условиями работы. Исходя из опыта, можно рекомендовать следующие виды эксплуатационного обслуживания: осмотр, текущий и капитальный ремонты.

Осмотры производятся: первый через месяц после включения или после 100 — 150 обычных рабочих переключений; последующие осмотры 1 раз в 6 мес. или после 2000 — 2500 переключений, а также после каждого отключения тока к. з. При осмотре определяется внешнее состояние креплений переключающего механизма и всех болтовых и шпильковых соединений, а также состояние дугогасительной камеры. Состояние всех доступных внешнему осмотру деталей проверяется при включенном и отключенном выключателе, при этом переключение выполняет сначала вручную, а затем ключом управления.

Текущий ремонт производится через каждые 10 000 рабочих переключений, но не реже одного раза в 3 года, а также после трех отключений тока к. з. При текущем ремонте, кроме работ, выполняемых при осмотре, производится инструментальная проверка механиче-

ских креплений и замер величин согласно приложению. Объем ремонта естественно определяется состоянием выключателя.

Капитальный ремонт производится по мере необходимости, а также после 50 000 переключений. При капитальном ремонте выключатель полностью разбирают, заменяют неполноценные и изношенные детали, отдельные узлы модернизируют. Объем капитального ремонта определяется эксплуатационным и ремонтным персоналом, который должен оценить возможность надежной работы выключателя и отдельных его деталей.

В любой период эксплуатации электромагнитного выключателя его техническое состояние и параметры должны соответствовать требованиям, изложенным выше и в приложении.

АКТ

технического состояния электромагнитного выключателя
типа ВЭМ-10 и привода ПЭГ

Контролируемые величины	Нормы и допуски
Зазор между керамическими пластинами, мм	$3,5 \pm 0,2$
Ширина выреза в верхней вертикальной части пластин, мм	Не более 3,5
Контактное давление дугогасительных контактов (киритовых, медных), кгс	20 ± 2
Нажатие пальцев главного контакта при полностью включенном положении, кг	10 ± 1
Заход подвижного дугогасительного контакта в неподвижный, мм	$35 \pm 0,5$
Рабочий ход ламелей главного контакта, мм	$3,5 - 4$
Расстояние между главными контактами в момент размыкания дугогасительных контактов не менее, мм	12
Разновременность касания дугогасительных контактов по ходу не более, мм	3
Кратчайшее расстояние между подвижными и неподвижными контактами, мм	Не менее 12
Зазор между втулкой и шайбой пружины шарнирного соединения подвижного контакта, мм	$0,5 - 1$
Зазор между роликом защелки и кулачком, мм	$2 - 4$
Величина прожима БКМ после включения ВЭМ, мм	$0,3 - 0,7$
Зазор между защелкой и штоком сердечника электромагнита отключения, мм	$2 - 4$
Зазор между кнопкой КБП (БКМ против «качаний») и планкой отключающего электромагнита, мм	$8 - 10$
Допускаемая величина перекоса мостика относительно контактных частей неподвижных блок-контактов БКМ, мм	$1 - 1,5$
Раствор блок-контактов БКМ, мм	Не менее 2,5
Остаточный ход траверсы после момента переключения блок-контактов БКМ при нажатии головки траверсы, мм	Не менее 1,5
То же при возврате траверсы в исходное положение, мм	Не менее 0,8

Контролируемые величины	Нормы и допуски
Блок-контакт КБВ должен размыкаться в самом конце хода на включение в момент посадки привода на нижнюю защелку	
Блок-контакт КБО должен замыкаться в начале хода на включение	
Скоростные характеристики перемещения контактов, м/с:	
скорость отключения в момент размыкания дугогасительных контактов	3,5±0,5
максимальная скорость при отключении	6,0
скорость включения при замыкании контактов	3,0±0,5
максимальная скорость при включении	4,0
Собственное время отключения ВЭМ, с	0,06
Испытания выключателя повышенным напряжением от кенотрона¹, кВ:	
между токоведущими частями ВЭМ при включенном и отключенном положении и заземленными конструкциями	32/42
между токопроводящими частями соседних полюсов во включенном и отключенном положении ВЭМ	32/42
между контактами одного и того же полюса при отключенном положении ВЭМ	32/42
Проверка уровня изоляции мегомметром низковольтных цепей управления, катушек электромагнитов включения и отключения относительно заземленных частей, МОм	2
Перед установкой камер на выключатель необходимо убедиться:	
в правильности присоединения (установки) катушек магнитного дутья (см. рис. 16).	
в целости пластин и винтов, закрепленных на неподвижных дугогасительных контактах	
в том, что втычной контакт камеры, соединяющий задний рог с катушкой магнитного дутья, входит правильно по оси в розетку, в отсутствии касания боковых плит с крепежными болтами дугогасительных контактов	

Контролируемые величины	Нормы и допуски
Умеренной затяжкой закрепить камеры посредством запирающих плаоек, наблюдая за тем, чтобы было обеспечено прилегание боковых опорных пластин на полюсных наконечниках	
После окончания проверки регулировочных данных следует включить и отключить выключатель несколько раз вручную, убедившись, что включение производится легко без затираний, а отключение происходит без каких-либо задержек как из включенного полностью, так и из любого промежуточного положения выключателя. Проверить действие схемы цепей управления встроенного привода и опробовать механическое действие выключателя при электрическом включении и отключении привода ²	
Порядок опробования:	
Два-три включения при пониженном напряжении оперативного тока	0,8 $U_{ном}$
Пять включений при $U_{ном}$	$U_{ном}$
Два-три включения при повышенном напряжении	1,1 $U_{ном}$
Два-три отключения при понижении напряжения	0,65 $U_{ном}$

¹ Числитель относится к ВЭМ с облегченной изоляцией (см. § 11), знаменатель — к ВЭМ с нормальной изоляцией.

² Напряжение измеряется на зажимах электромагнитов в момент их срабатывания.

Примечание. При регулировке, проверке и прочих работах, связанных с оперативным действием встроенного привода, надо иметь в виду, что обмотки включающего и отключающего электромагнитов встроенного привода рассчитаны на кратковременное обтекание током. Поэтому электрическое включение — отключение привода более 25 раз подряд не допускается. Во избежание чрезмерного нагрева обмоток электромагнитов делаются перерывы, достаточные для их охлаждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабиков М. А. Электрические аппараты. Госэнергоиздат, 1963.
 2. Залесский А. М. Электрическая дуга отключения. Госэнергоиздат, 1963.
 3. Буткевич Г. В. Дуговые процессы при коммутации электрических цепей. М., «Высшая школа», 1967.
 4. Гладкий Д. Ф., Набоков В. В., Бронштейн А. М., Улиссова И. Н., Курицын В. П. Опыт эксплуатации электромагнитных выключателей типа ВЭМ-10К а электропечных установках. — «Промышленная энергетика», 1969, № 10.
 5. Баптиданов А. Н. и Тарасов В. И. Электрические станции и подстанции. Изд. 2-е. М., «Энергия», 1969.
 6. Кузнецов П. В. Увеличение номинальной мощности отключения масляных выключателей. Изд. 2-е. М., «Энергия», 1964.
 7. Быков Е. И. Силовые кремниевые выпрямители. М., «Энергия», 1966.
 8. Быков Е. И. Защита силовых кремниевых выпрямителей от перенапряжений. М., ВНИИЭМ, 1966.
 9. Кукеков Г. А. Проектирование выключателей высокого напряжения. Госэнергоиздат, 1961.
 10. Улиссова И. Н. Токи среза и некоторые предпосылки выбора параметров схемы для испытаний на отключение малых индуктивных токов. Труды ВЭИ, вып. 72, М., «Энергия», 1965.
 11. Выключатели электромагнитные ВЭМ-10К. Каталог. Отделение ВНИИЭМ по научно-технической информации, 1969.
 12. Выключатели электромагнитные ВЭМ-6. Каталог. Отделение ВНИИЭМ по научно-технической информации, стандартизации в нормализации в электротехнике, 1967.
 13. Бронштейн А. М., Улиссова И. Н., Курицын В. П. Электромагнитные выключатели и опыт их эксплуатации. — «Электричество», 1971, № 4.
-

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
1. Особенности отключения цепей переменного тока электромагнитным выключателем	6
2. Эксплуатационные характеристики масляных и электромагнитных выключателей	19
3. Технические характеристики электромагнитных выключателей	22
4. Конструктивная схема электромагнитного выключателя	24
5. Принцип гашения дуги электромагнитным выключателем	27
6. Конструкция дугогасительных устройств и основные требования по их эксплуатации	30
7. Некоторые результаты испытаний на износоустойчивость и разрывную способность дугогасительных устройств электромагнитных выключателей	50
8. Главные контакты	56
9. Переключающий механизм	64
10. Повышение надежности работы механизма выключателя	75
11. Электрическая изоляция выключателей	84
12. Размещение и монтаж выключателей	90
13. Эксплуатационное обслуживание выключателей	97
Приложение	10
Литература	10

Цена 22 коп.

Еще больше электротехнической
литературы на
www.kitnet.narod.ru