



Министерство образования и науки Самарской области
Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение
Самарской области
«САМАРСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КОЛЛЕДЖ»
(ГБПОУ «СЭК»)

О.Н. Спирина

**МДК.01.01 ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ
ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ,
СЕТЕЙ И СИСТЕМ**

**Раздел 2. Применение коммутационных аппаратов
и измерительных трансформаторов на электростанциях
и в электрических сетях**

**Конспект лекций для студентов специальности 13.02.03
Электрические станции, сети и системы**

**ПМ. 01 Обслуживание электрооборудования электрических станций,
сетей и систем**

Самара

Печатается по решению методического совета государственного бюджетного профессионального образовательного учреждения Самарской области «Самарский энергетический колледж»

Конспект лекций по разделу 2 Применение коммутационных аппаратов и измерительных трансформаторов на электростанциях и в электрических сетях МДК.01.01 Техническое обслуживание электрооборудования электрических станций, сетей и систем для студентов специальности 13.02.03 / сост.: Спирина О.Н. – Самара: ГБПОУ «СЭК». – 40 с.

Издание содержит конспект лекций по разделу 2. Применение коммутационных аппаратов и измерительных трансформаторов на электростанциях и в электрических сетях МДК.01.01.

Замечания, предложения и пожелания направлять в ГБПОУ «СЭК» по адресу: 443001, г. Самара, ул. Самарская 205-А или по электронной почте info@sam-ek.ru

ТЕМА 2.1 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ НАПРЯЖЕНИЕМ ВЫШЕ 1000 В. ВНУТРЕННЯЯ И ВНЕШНЯЯ ИЗОЛЯЦИЯ АППАРАТОВ

1 Электрическая дуга и способы её гашения в аппаратах до 1000 В

Условия возникновения и горения дуги

Размыкание электрической цепи при наличии в ней тока сопровождается электрическим разрядом между контактами. Если в отключаемой цепи ток и напряжение между контактами больше, чем критические для данных условий, то между контактами возникает дуга, продолжительность горения которой зависит от параметров цепи и условий деионизации дугового промежутка. Образование дуги при размыкании медных контактов возможно уже при токе 0,4-0,5 А и напряжении 15 В.

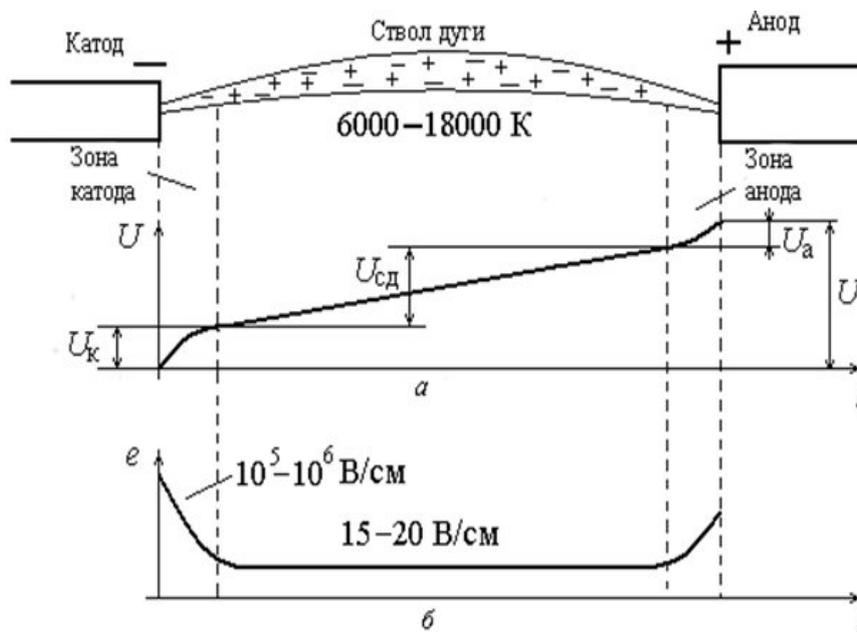


Рисунок 1 – Расположение в стационарной дуге постоянного тока напряжения U(a) и напряженности E(б).

В дуге различают околокатодное пространство, ствол дуги и околоанодное пространство (рис. 1). Все напряжение распределяется между этими областями U_k , $U_{сд}$, U_a . Катодное падение напряжения в дуге постоянного тока 10-20 В, а длина этого участка составляет 10–4-10–5 см, таким образом, около катода наблюдается высокая напряженность электрического поля (10⁵-10⁶ В/см). При таких высоких напряженностях происходит ударная ионизация. Суть ее заключается в том, что электроны, вырванные из катода силами электрического поля (автоэлектронная эмиссия) или за счет нагрева катода (термоэлектронная эмиссия), разгоняются в электрическом поле и при ударе в нейтральный атом отдают ему свою кинетическую энергию. Если этой энергии достаточно, чтобы оторвать один электрон с оболочки нейтрального атома, то произойдет ионизация. Образовавшиеся свободные электроны и ионы составляют плазму ствола дуги.

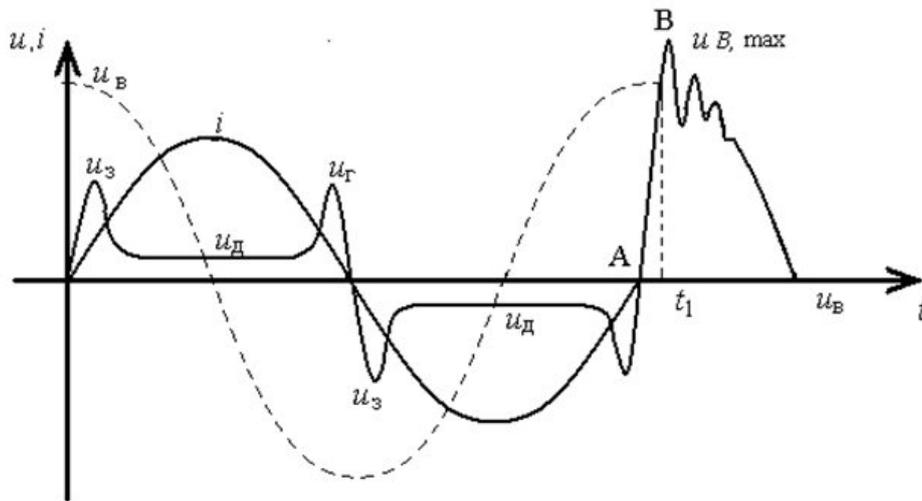


Рисунок 2 – Изменение тока и напряжения при гашении дуги переменного тока в цепи с индуктивной нагрузкой

Проводимость плазмы приближается к проводимости металлов [$\gamma = 2500 \text{ 1}/(\text{Ом} \times \text{см})$]. В створе дуги проходит большой ток и создается высокая температура. Плотность тока может достигать $10\,000 \text{ А/см}^2$ и более, а температура - от 6000 К при атмосферном давлении до 18000 К и более при повышенных давлениях.

Высокие температуры в створе дуги приводят к интенсивной термоионизации, которая поддерживает большую проводимость плазмы.

Термоионизация – процесс образования ионов за счет соударения молекул и атомов, обладающих большой кинетической энергией при высоких скоростях их движения.

Чем больше ток в дуге, тем меньше ее сопротивление, а поэтому требуется меньшее напряжение для горения дуги, т. е. дугу с большим током погасить труднее.

При переменном токе напряжение источника питания $u_{\text{сд}}$ меняется синусоидально, так же меняется ток в цепи i (рис. 2), причем ток отстает от напряжения примерно на 90° . Напряжение на дуге $u_{\text{д}}$, горящей между контактами выключателя, непостоянно. При малых токах напряжение возрастает до величины $u_{\text{з}}$ (напряжения зажигания), затем по мере увеличения тока и роста термической ионизации напряжение падает. В конце полупериода, когда ток приближается к нулю, дуга гаснет при напряжении гашения $u_{\text{г}}$. В следующий полупериод явление повторяется, если не приняты меры для деионизации промежутка.

Если дуга погашена теми или иными способами, то напряжение между контактами выключателя должно восстановиться до напряжения питающей сети - $u_{\text{вз}}$ (рис. 2, точка А). Однако поскольку в цепи имеются индуктивные, активные и емкостные сопротивления, возникает переходный процесс, появляются колебания напряжения (рис. 2), амплитуда которых $U_{\text{в, max}}$ может значительно превышать нормальное напряжение. Для отключающей аппаратуры важно, с какой скоростью восстанавливается напряжение на участке АВ. Подводя итог, можно отметить, что дуговой разряд начинается за счет ударной ионизации и

эмиссии электронов с катода, а после зажигания дуга поддерживается термоионизацией в створе дуги.

Условия гашения дуги переменного тока

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

В цепях переменного тока ток в дуге каждый полупериод проходит через нуль (рис. 2), в эти моменты дуга гаснет самопроизвольно, но в следующий полупериод она может возникнуть вновь. Как показывают осциллограммы, ток в дуге становится близким нулю несколько раньше естественного перехода через нуль (рис. 3, а). Это объясняется тем, что при снижении тока энергия, подводимая к дуге, уменьшается, следовательно, уменьшается температура дуги и прекращается термоионизация. Длительность бестоковой паузы t_p невелика (от десятков до нескольких сотен микросекунды), но играет важную роль в гашении дуги. Если разомкнуть контакты в бестоковую паузу и развести их с достаточной скоростью на такое расстояние, чтобы не произошел электрический пробой, то цепь будет отключена очень быстро.

Во время бестоковой паузы интенсивность ионизации сильно падает, так как не происходит термоионизации. Также в коммутационных аппаратах принимаются искусственные меры охлаждения дугового пространства и уменьшения числа заряженных частиц. Эти процессы деионизации приводят к постепенному увеличению электрической прочности промежутка $u_{пр}$ (рис. 3, б).

Резкое увеличение электрической прочности промежутка после перехода тока через нуль происходит главным образом за счет увеличения прочности околокатодного пространства (в цепях переменного тока 150-250В). Одновременно растет восстанавливающееся напряжение u_B . Если в любой момент $u_{пр} > u_B$ промежуток не будет пробит, дуга не загорится вновь после перехода тока через нуль. Если в какой-то момент $u_{пр} = u_B$, то происходит повторное зажигание дуги в промежутке.

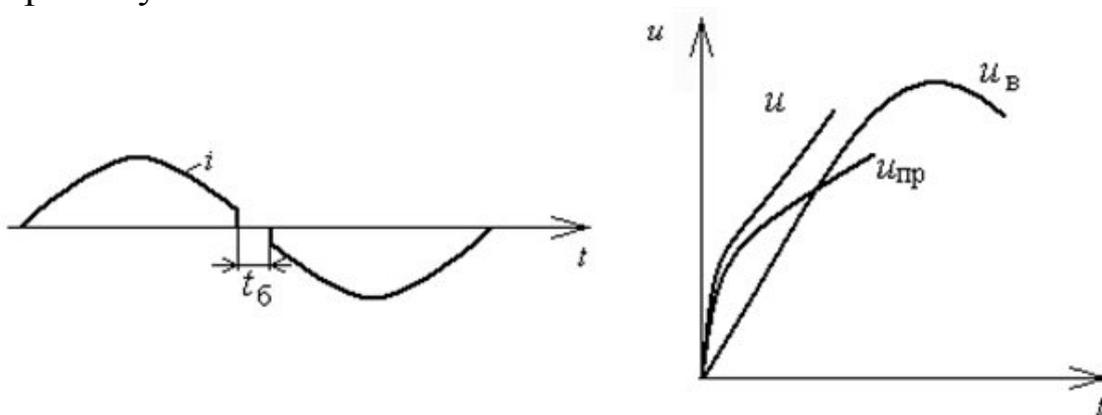


Рисунок 3 - Условия гашения дуги переменного тока:

а – погасание дуги при естественном переходе тока через нуль; б – рост электрической прочности дугового промежутка при переходе тока через нуль

Таким образом, задача гашения дуги сводится к созданию таких условий, чтобы электрическая прочность промежутка между контактами $u_{пр}$ была больше напряжения между ними u_B .

Процесс нарастания напряжения между контактами отключаемого аппарата может носить различный характер в зависимости от параметров коммутируемой цепи. Если отключается цепь с преобладанием активного сопротивления, то напряжение восстанавливается по апериодическому закону; если в цепи преобладает индуктивное сопротивление, то возникают колебания, частоты которых зависят от соотношения емкости и индуктивности цепи. Колебательный процесс приводит к значительным скоростям восстановления напряжения, а чем больше скорость du/dt , тем вероятнее пробой промежутка и повторное зажигание дуги. Для облегчения условий гашения дуги в цепь отключаемого тока вводятся активные сопротивления, тогда характер восстановления напряжения будет апериодическим (рис. 3, б).

Способы гашения дуги в коммутационных аппаратах до 1000 В

В коммутационных аппаратах до 1 кВ широко используются следующие способы гашения дуги:

1. Удлинение дуги при быстром расхождении контактов.

Чем длиннее дуга, тем большее напряжение необходимо для ее существования. Если напряжение источника питания окажется меньше, то дуга гаснет.

2. Деление длинной дуги на ряд коротких (рис. 4, а).

Как показано на рис. 1, напряжение на дуге складывается из катодного U_k и анодного U_a падений напряжений и напряжения ствола дуги $U_{сд}$: $U_{д} = U_k + U_a + U_{сд} = U_{э} + U_{сд}$.

Если длинную дугу, возникшую при размыкании контактов, затянуть в дугогасительную решетку из металлических пластин, то она разделится на N коротких дуг. Каждая короткая дуга будет иметь свое катодное и анодное падения напряжений $U_{э}$. Дуга гаснет, если:

$$U < n U_{э},$$

где U - напряжение сети;

$U_{э}$ - сумма катодного и анодного падений напряжения (20-25 В в дуге постоянного тока).

Дугу переменного тока также можно разделить на N коротких дуг. В момент прохождения тока через нуль околокатодное пространство мгновенно приобретает электрическую прочность 150-250 В.

Дуга гаснет, если

$$U < (150-250)n.$$

3. Гашение дуги в узких щелях.

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

4. Движение дуги в магнитном поле.

Электрическая дуга может рассматриваться как проводник с током. Если дуга находится в магнитном поле, то на нее действует сила, определяемая по правилу левой руки. Если создать магнитное поле, направленное перпендику-

лярно оси дуги, то она получит поступательное движение и будет затянута внутрь щели дугогасительной камеры (рис. 4, б).

В радиальном магнитном поле дуга получит вращательное движение (рис. 4, в). Магнитное поле может быть создано постоянными магнитами, специальными катушками или самим контуром токоведущих частей. Быстрое вращение и перемещение дуги способствует ее охлаждению и деионизации.

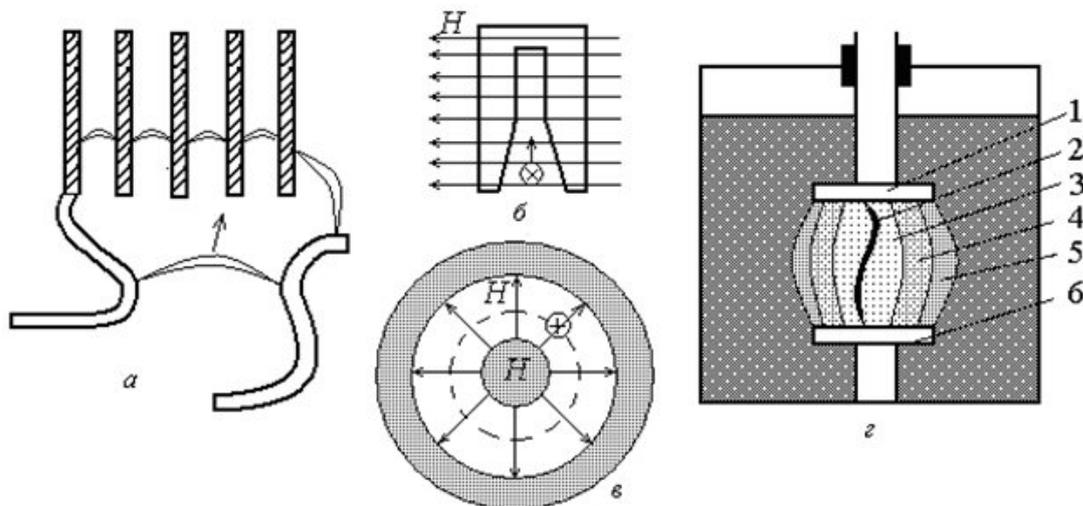


Рисунок 4 - Способы гашения дуги:

а – деление длинной дуги на короткие; *б* – затягивание дуги в узкую щель дугогасительной камеры; *в* – вращение дуги в магнитном поле; *г* – гашение дуги в масле: 1 – неподвижный контакт; 2 – ствол дуги; 3 – водородная оболочка; 4 – зона газа; 5 – зона паров масла; 6 – подвижный контакт

2 Электрические аппараты до 1000 В. Защитная характеристика предохранителя и низковольтного воздушного выключателя. Устройства защитного отключения

Электрические аппараты – это электротехническое устройство, предназначенное для различных целей: включение и отключение электрических цепей, контроль их состояния, управление, измерение и защита электрических и неэлектрических объектов.

Классификация электрических аппаратов

Многообразие видов аппаратов и выполнении ими функций и совмещение в одном аппарате нескольких функций не позволяет строго классифицировать их по одному признаку.

1) Классификация по назначению:

1) Коммутационные аппараты.

Основное назначение - это включение, отключение, переключение электрических цепей.

- рубильники
- пакетные переключатели
- различные переключатели
- автоматические выключатели
- предохранитель

Особенность: редкое включение, отключение.

2) *Защитные аппараты.* Основное назначение – это защита электрических цепей от токов короткого замыкания и перегрузок

- автоматические выключатели
- предохранитель.

3) *Пускорегулирующие аппараты.*

Основная функция этих аппаратов – это управление электроприводами и другими потребителями электрической энергии. Их еще называют аппараты управления (АУ)

- контакторы
- пускатели
- коммандо-контроллеры
- реостаты

Особенности: частое включение, отключение до 3600 раз в час т.е. 1 раз в секунду.

4) *Ограничивающие аппараты.* Функцию ограничителя токов короткого замыкания (ТКЗ) выполняют реакторы, функцию перенапряжения – разрядники.

5) *Контролирующие аппараты.* Основная функция этих аппаратов – контроль за заданными электрическими и неэлектрическими параметрами.

- реле
- датчики

6) *Измерительные аппараты.* Основная функция – изолирование цепи первичной коммутации (силовой цепи, цепи главного тока) от измерительных цепей, они преобразуют контролируемый параметр в форму удобную для измерения

- трансформаторы тока
- трансформаторы напряжения
- делители напряжения

7) *Регулирующие аппараты.* Предназначены для автоматизации, стабилизации и регулирования заданного параметра электрической цепи.

II) Классификация по напряжению:

- 1) До 1000 В (660 В включительно)
- 2) Аппараты выше 1000 В.

III) Классификация по роду тока

- 1) Постоянного тока
- 2) Переменного тока промышленной частоты
- 3) Переменного тока повышенной частоты

IV) Классификация по роду защиты от попадания в электрические аппараты инородных тел и защиты персонала от прикосновения с токоведущими и подвижными частями, а также от попадания влаги. По ГОСТу 14054-80. Степень защиты выражается условными буквенно-цифровыми обозначениями (БЦО), которые приняты во всем мире. IP - международная степень защиты XX - защита от попадания твердых тел и влаги.

Коммутационные аппараты – это аппараты, с помощью которых замыкается и размыкается (коммутируется) цепь электрического тока. Они разделяются на аппараты до 1000 В и выше 1000 В. К коммутационным аппаратам до 1000 В относятся: рубильники, магнитные пускатели, контакторы, автоматы, а так же всевозможные переключатели, тумблеры и т.д.

Рубильник – это выключатель электрической цепи с ручным приводом. Предназначен в основном для создания видимого разрыва при выводе в ремонт оборудования. С помощью рубильника разрешается также замыкать и размыкать цепь тока величиной не более той, что указана на рубильнике.

Контактор – это коммутационный аппарат с электрическим приводом, служащий для частых включений и отключений оборудования. Контактор не защищает оборудование от токов КЗ. Для этой цели последовательно с ним устанавливается либо автомат с ручным приводом, либо плавкие предохранители.

Магнитный пускатель – это контактор со встроенным тепловым реле, представляющим из себя биметаллическую пластину, которая изгибается при нагреве от токов, превышающих номинальный (допустимый) для данного оборудования и отключает пускатель.

Автоматические выключатели – предназначены для автоматического размыкания электрических цепей при аномальных режимах (КЗ и перегрузок), для резких оперативных переключений, а также для защиты электрических цепей при недопустимых снижениях напряжения.

Преимущества: после срабатывания выключатель снова готов к работе; более точные защитные характеристики, наличие у некоторых автоматических выключателей независимых расцепителей.

По числу полюсов автоматические выключатели бывают одно-, двух- и трехполюсные, изготавливаются на токи до 6000А при напряжении постоянного тока до 1кВ.

Отключающая способность их достигает 200 – 300 А. По времени срабатывания различают: нормальные автоматические выключатели с $t_{cp}=0,02-0,1c$, селективные с регулируемой выдержкой времени до 1с; быстродействующие с $t_{cp} < 0,05c$.

Наименьший ток, вызывающий отключение называется током трогания автоматического выключателя или током срабатывания, а настройку расцепителя автоматического выключателя на заданный ток срабатывания уставкой тока срабатывания. Автоматический выключатель может иметь один или несколько расцепителей. По принципу действия расцепители разделяются на электромагнитные и термобиметаллические (тепловые).

Существуют расцепители максимального тока, которые срабатывают при токе, большем уставки тока срабатывания; расцепители минимального напряжения, которые срабатывают, когда напряжение на катушке становится меньше заданного и расцепители независимые, которые срабатывают без выдержки времени, когда на их катушку подано напряжение. От КЗ применяют электромагнитные расцепители мгновенного действия или с выдержкой времени, обеспечивающей избирательность действия.

Защитные характеристики автоматов

Защитная характеристика это зависимость времени срабатывания автомата от силы тока (время – токовая характеристика). В автоматах общего применения в зависимости от типа расцепителей могут быть четыре типа защитных характеристик.

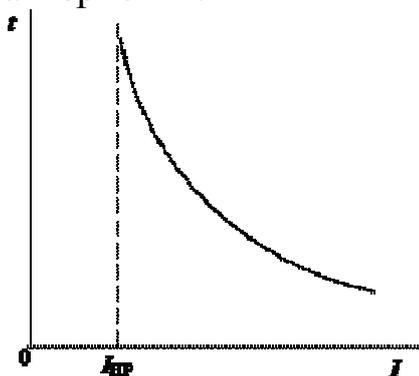


Рисунок 5

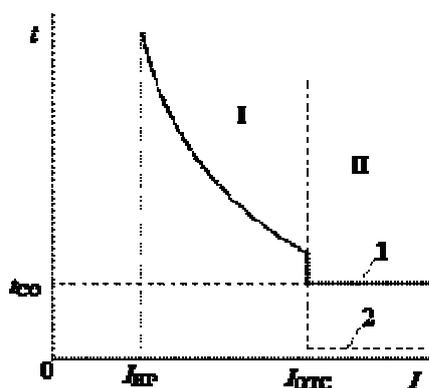


Рисунок 7

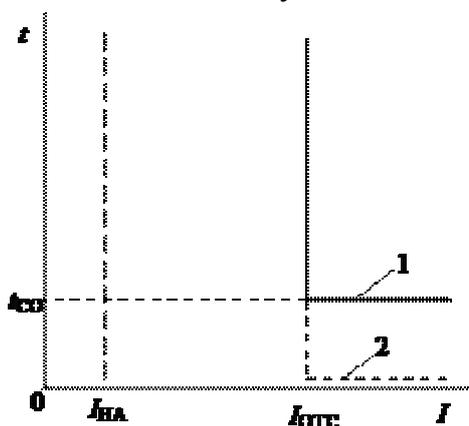


Рисунок 6

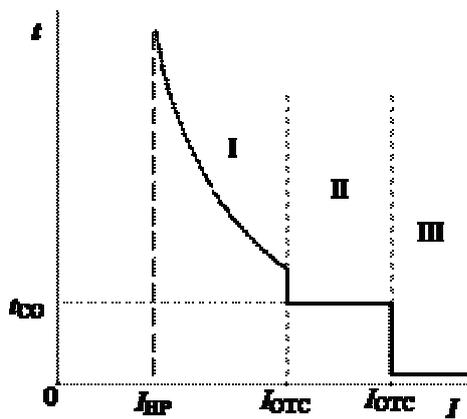


Рисунок 8

Зависимая от тока характеристика времени срабатывания (рис. 5). Такую характеристику имеют автоматы только с тепловым расцепителем, применяются для защиты от перегрузок, из-за недостаточного быстродействия, в основном в однофазном исполнении для бытовых сетей, где токи КЗ невелики и составляют (300 – 500) А.

Независимая от тока характеристика времени срабатывания (рис. 6). Такую характеристику имеют автоматы с электромагнитным или полупроводниковым расцепителем. Применяются для защиты только от КЗ. При превышении тока $I_{отс}$ автомат срабатывает с выдержкой времени – 1 в селективном исполнении или без выдержки времени – 2.

Ограниченно-зависимая двухступенчатая характеристика (рис. 7). Автомат имеет либо тепловой и электромагнитный (комбинированный) расцепитель либо полупроводниковый. I – зона защиты от перегрузок, II – зона защиты от КЗ. Отключение с выдержкой времени – 1 и без выдержки времени – 2.

Трёхступенчатая характеристика (рис.8) создаётся полупроводниковым расцепителем: I – зона защиты от перегрузок, зависимая характеристика. II –

зона защиты при удалённых КЗ, когда $I_{отс1} < I_{кз} < I_{отс2}$, селективное отключение с выдержкой времени.

III – зона защиты близких КЗ, когда $I_{кз} > I_{отс2}$, мгновенное срабатывание.

Предохранители – применяют для защиты электроустановок от токов КЗ. Защита от перегрузок с помощью предохранителя возможна только при условии, что защищаемые элементы будут выбраны с запасом по току, превышающим ток плавких вставок. Плавкие вставки предохранителей выдерживают ток на 30 – 50% выше номинальных токов в течении 1 часа и более. Наиболее распространёнными предохранителями, применяемыми для защиты электроустановок напряжением до 1кВ, являются:

ПР2 – предохранитель разборный;

НПН – насыпной предохранитель неразборный;

ПН2 – предохранитель насыпной разборный.

Основные типы предохранителей рассчитаны на номинальные токи 15 – 1000А, т.е. практически могут быть применены почти для всех существующих электроустановок промышленных предприятий.

По конструктивному выполнению предохранители можно разделить на две группы: с наполнителем (ПН2, НПН, ПП17, ПП18), наполненные мелкозернистым кварцевым песком; без наполнителя (ПР2).

Защитные характеристики представляют собой зависимости времени плавления $t_{пл}$ или времени отключения t от соответствующих значений тока, неизменного во времени (рис.9).

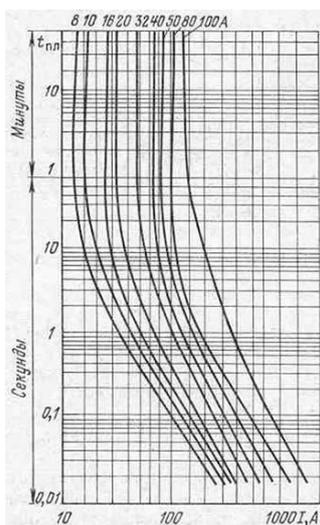


Рисунок 9 – Примерный вид защитных характеристик плавких предохранителей

3 Способы гашения дуги переменного тока в электрических аппаратах напряжением выше 1 кВ

В коммутационных аппаратах свыше 1 кВ применяются способы 2 и 3, описанные в п. 2, а также широко применяются следующие способы гашения дуги:

1. Гашение дуги в масле.

Если контакты отключающего аппарата поместить в масло, то возникающая при размыкании дуга приводит к интенсивному газообразованию и испарению масла (рис. 10, з). Вокруг дуги образуется газовый пузырь, состоящий в

основном из водорода (70-80 %); быстрое разложение масла приводит к повышению давления в пузыре, что способствует ее лучшему охлаждению и деионизации. Водород обладает высокими дугогасящими свойствами. Соприкасаясь непосредственно со стволом дуги, он способствует ее деионизации. Внутри газового пузыря происходит непрерывное движение газа и паров масла. Гашение дуги в масле широко применяется в выключателях.

2. Газовоздушное дутье.

Охлаждение дуги улучшается, если создать направленное движение газов - дутье. Дутье вдоль или поперек дуги (рис. 10) способствует проникновению газовых частиц в ее ствол, интенсивной диффузии и охлаждению дуги. Газ создается при разложении масла дугой (масляные выключатели) или твердых газогенерирующих материалов (автогазовое дутье). Более эффективно дутье холодным неионизированным воздухом, поступающим из специальных баллонов со сжатым воздухом (воздушные выключатели).

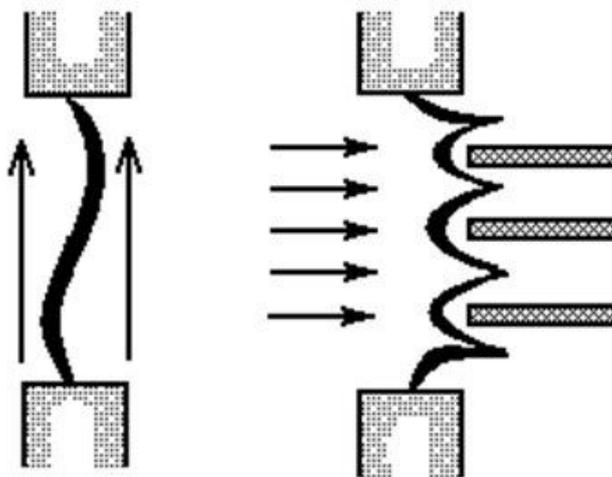


Рисунок 10

3. Многократный разрыв цепи тока.

Отключение большого тока при высоких напряжениях затруднительно. Это объясняется тем, что при больших значениях подводимой энергии и восстанавливающегося напряжения деионизация дугового промежутка усложняется. Поэтому в выключателях высокого напряжения применяют многократный разрыв дуги в каждой фазе (рис. 11). Такие выключатели имеют несколько гасительных устройств, рассчитанных на часть номинального напряжения. Число разрывов на фазу зависит от типа выключателя и его напряжения. В выключателях 500-750 кВ может быть 12 разрывов и более. Чтобы облегчить гашение дуги, восстанавливающееся напряжение должно равномерно распределяться между разрывами. На рис. 11 схематически показан масляный выключатель с двумя разрывами на фазу.

При отключении однофазного КЗ восстанавливающееся напряжение распределится между разрывами следующим образом:

$$U1/U2 = (C1+C2)/C1$$

где $U1, U2$ – напряжения, приложенные к первому и второму разрывам;
 $C1$ – емкость между контактами этих разрывов; $C2$ – емкость контактной системы относительно земли.

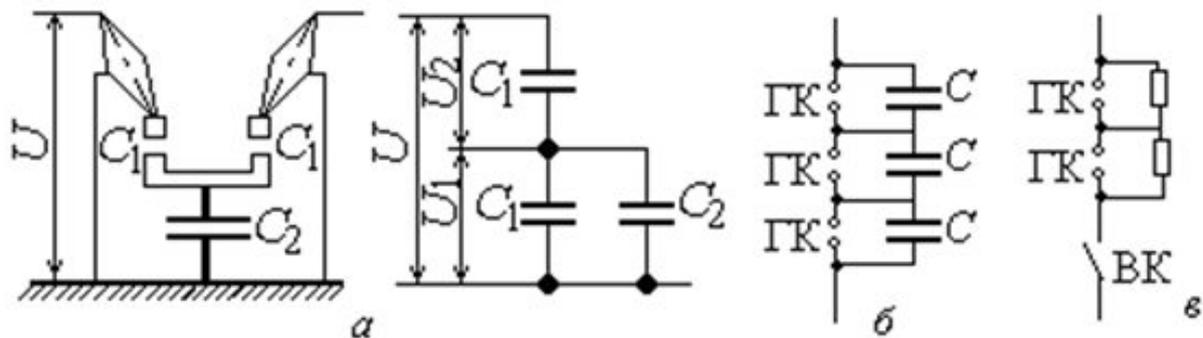


Рисунок 11 - Распределение напряжения по разрывам выключателя:
 а – распределение напряжения по разрывам масляного выключателя; б – емкостные делители напряжения; в – активные делители напряжения.

Так как C_2 значительно больше C_1 , то напряжение $U_1 > U_2$ и, следовательно, гасительные устройства будут работать в неодинаковых условиях. Для выравнивания напряжения параллельно главным контактам выключателя (ГК) включают емкости или активные сопротивления (рис. 16, б, в). Значения емкостей и активных шунтирующих сопротивлений подбирают так, чтобы напряжение на разрывах распределялось равномерно. В выключателях с шунтирующими сопротивлениями после гашения дуги между ГК сопровождающий ток, ограниченный по значению сопротивлениями, разрывается вспомогательными контактами (ВК).

Шунтирующие сопротивления уменьшают скорость нарастания восстанавливающегося напряжения, что облегчает гашение дуги.

4. Гашение дуги в вакууме.

Высокоразреженный газ (10^{-6} - 10^{-8} Н/см²) обладает электрической прочностью, в десятки раз большей, чем газ при атмосферном давлении. Если контакты размыкаются в вакууме, то сразу же после первого прохождения тока в дуге через нуль прочность промежутка восстанавливается и дуга не загорается вновь.

5. Гашение дуги в газах высокого давления.

Воздух при давлении 2 МПа и более обладает высокой электрической прочностью. Это позволяет создавать достаточно компактные устройства для гашения дуги в атмосфере сжатого воздуха. Еще более эффективно применение высокопрочных газов, например шестифтористой серы SF₆ (элегаз). Элегаз обладает не только большей электрической прочностью, чем воздух и водород, но и лучшими дугогасящими свойствами даже при атмосферном давлении.

4 Назначение, типы и конструкции разъединителей для наружной и внутренней установки, отделители и короткозамыкатели

4.1 Разъединители

Разъединители – аппараты, которые предназначены для включения и отключения участков электрических цепей под напряжением при отсутствии нагрузочного тока. Они применяются во всех высоковольтных установках для обеспечения видимого разрыва при отключении какого-либо участка цепи, а также для производства переключений и набора нужной схемы. Все операции с

разъединителями, как правило, выполняются при обесточенных цепях.

Строятся разъединители, как для внутренней, так и для наружной установки на всю шкалу токов и напряжений.

Отдельные типы разъединителей 6 - 10 кВ отличаются друг от друга по роду установки (разъединители внутренней и наружной установки); по числу полюсов (разъединители однополюсные и трехполюсные); по характеру движения ножа (разъединители вертикально-поворотного и качающегося типа). Трехполюсные разъединители управляются рычажным приводом, однополюсные - оперативной изоляционной штангой. Различия в конструкциях разъединителей внутренней и наружной установок объясняются условиями их работы. Разъединители наружной установки должны иметь приспособления, разрушающие ледяную корку, образующуюся при гололеде. Кроме того, их используют для отключения небольших токов нагрузки и их контакты снабжаются рогами для гашения дуги, возникающей между расходящимися контактами.

Для *внутренней установки* заводы выпускают однополюсные и трехполюсные разъединители вертикального рубящего типа (нож перемещается в плоскости, перпендикулярной основанию) на напряжения, как правило, не выше 20 кВ. Обычно их устанавливают в вертикальном положении.

В большинстве из них применены линейные контакты, которые при относительно небольшой силе нажатия имеют меньшее сопротивление, чем плоские контакты. Токоведущие части выполняются из двух или более параллельных пластин. При токе КЗ электродинамическая сила стремится сблизить их друг с другом и этим еще сильнее прижимает подвижные контакты к стойкам неподвижного контакта, что исключает самопроизвольное размыкание контактов, опасное возможностью пожара в электроустановке.

Разъединитель серии РВО (Р - разъединитель, В - для внутренней установки, О - однополюсный) выпускается на токи до 600 А. Числа в наименовании означают напряжение (кВ) и ток (А).

Нож поворачивается на угол до 100° и в отключенном положении удерживается только собственным весом, рис.12.

Угол поворота ножа фиксируется ограничителем. Для разъединителей этой же серии на 1000 А для уменьшения усилий выдергивания ножа введен промежуточный вал.

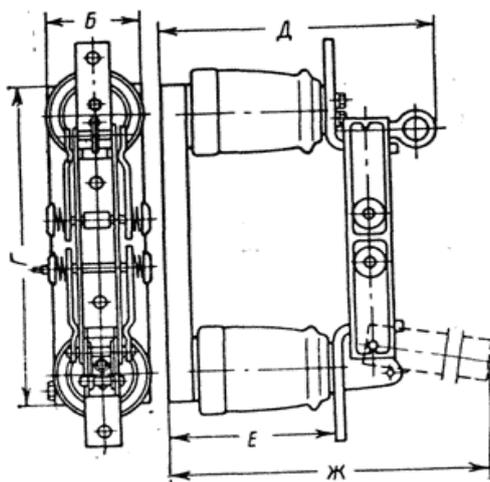


Рисунок 12 – РВО – 10/600

Управление разъединителями осуществляется вручную с помощью ручных, электродвигательных или пневматических приводов.

Разъединители для *наружной установки* должны иметь изоляцию, рассчитанную для работы в неблагоприятных атмосферных условиях (загрязнение, влага, снег), а также обладать повышенной механической прочностью, позволяющей производить операции с разъединителями при наличии гололеда на контактах.

Разъединители выше 10 кВ снабжены такими устройствами: у разъединителя серии РЛНЗ (Р – разъединитель, Л – линейный, Н – наружной установки, З – с заземляющими ножами) при отключении нож сначала поворачивается на 90°, а затем поднимается на требуемое расстояние; у разъединителя серии РОНЗ (О – однополюсный) льдоломающее устройство расположено в неподвижном контакте и выполнено в виде лопатки, которая может поворачиваться на 90° вокруг своей вертикальной оси.

Разъединители горизонтально-поворотного типа серии РЛНД (Д – двухколонковый) устанавливаются на напряжения от 10 до 750 кВ, серии РНД – на напряжение 330-500 кВ. Включение и отключение полюса производятся либо вращением одного изолятора, на которых установлен нож разъединителя, либо одновременно вращением обоих изоляторов, связанных между собой тягами.

Разъединители могут выполняться как трехполюсными на общей раме, обычно до 35 кВ, так и однополюсными при более высоких напряжениях. Последнее обусловлено тем, что при напряжениях свыше 35 кВ требуемые расстояния между фазами достаточно велики и общая рама становится чрезвычайно громоздкой и тяжелой.

Полюс разъединителя независимо от разнообразия конструкций состоит из неподвижного и подвижного (ножа) контактов, укрепленных на соответствующих изоляторах опорной плиты или рамы и привода.

Основным элементом разъединителя являются его контакты. При больших токах контакты выполняют из нескольких (до восьми) параллельных пластин.

4.2 Отделители и короткозамыкатели

Отделитель – это разъединитель с автоматическим отключением. Служит для автоматического отделения поврежденного оборудования от электрической сети после того, как с участка сети снимется напряжение и до того, как напряжение подастся вновь с помощью АПВ. Это называется «отключается в бестоковую паузу». Отключение отделителя происходит за счет пружин, которые заводятся вручную при операции включения.

Отделитель, рассчитанный на напряжение 35 и 110 кВ (рис. 13), представляет собой разъединитель с автоматическим отключающим приводом (ШПОМ). Отделитель на 220 кВ выполняется в виде аппарата с тремя отдельными полюсами с самостоятельными приводами. Включается отделитель вручную. Отделители могут отключать токи намагничивания трансформаторов мощностью до 16 МВ·А при напряжении 35 кВ и до 63 МВ·А – при напряжении 110 кВ. Применяются отделители с ножами заземления (типа ОДЗ) и без ножей (типа ОД) (рис. 14).

Короткозамыкатель (КЗ) – аппарат, предназначенный для создания искусственного короткого замыкания. Короткозамыкатель на напряжение 35 кВ выполняются в виде двухполюсного аппарата, на напряжение 110 кВ и 220 кВ – в виде однополюсного (рис. 15). Управление короткозамыкателями осуществляется приводом типа ШПКМ, выполненным с двумя реле максимального тока и катушкой отключения. Включается короткозамыкатель автоматически под действием пружинного механизма при срабатывании привода от релейной защиты.

Совместное применение отделителя и короткозамыкателя на подстанциях, рассчитанных на напряжение 35...220 кВ, позволяет отказаться от установки выключателей высокого напряжения, а также упростить и удешевить подстанции без уменьшения надежности.

На рис. 16. приведена схема, поясняющая совместную работу отделителя *ОД* и короткозамыкателя *КЗ*. Защита трансформатора *ТР* вызывает срабатывание короткозамыкателя *КЗ*, который создает ток короткого замыкания, на что реагирует защита питающей линии. Линия отключается. В течение бестоковой паузы отключается отделитель *ОД*. На этом операция вывода из работы поврежденного трансформатора окончена. Остается восстановить схему для питания потребителей *П*, подключенных к линии. Это выполняет автоматика повторного включения АПВ.

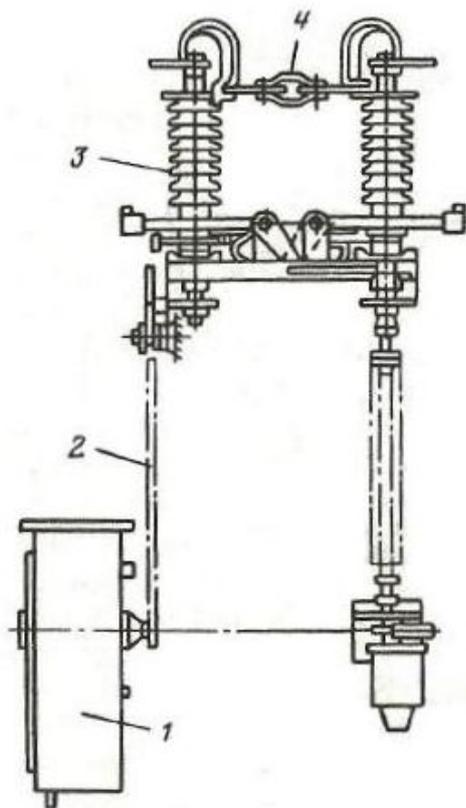


Рис. 13. Отделитель типа ОДЗ-35 с ножами заземления: 1 – шкаф управления; 2 – штанга; 3 – изолятор фарфоровый; 4 – ножи отделителя.

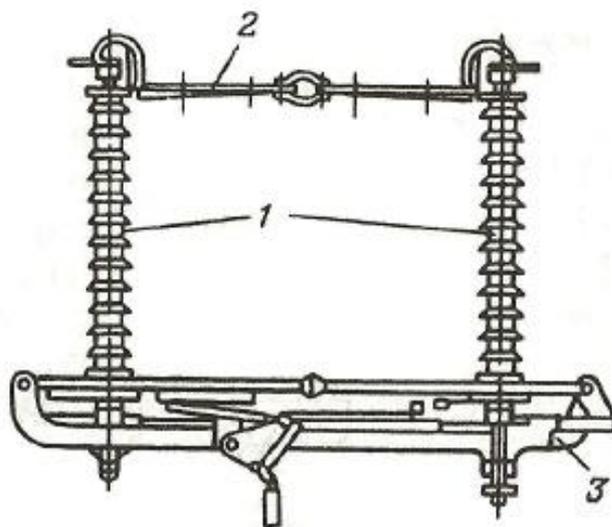


Рис. 14. Отделитель типа ОД-110: 1 – изолятор; 2 – ножи отделителя; 3 – механизм поворота колонок.

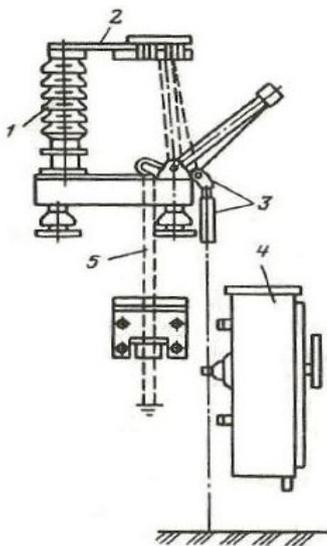


Рис. 15. Короткозамыкатель типа КЗ:
 1 – изолятор колонки; 2 – шина; 3 – тяги механизма управления приводом;
 4 – привод; 5 – заземлитель

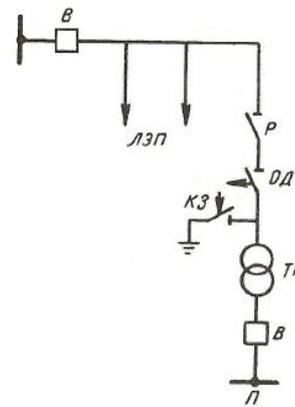


Рис. 16. Схема, поясняющая работу отделителя и короткозамыкателя: *B* – выключатель; *ЛЭП* – линия электропередачи; *P* – разъединитель; *ОД* – отделитель; *КЗ* – короткозамыкатель; *ТР* – трансформатор; *П* – потребитель

5 Выбор разъединителей, отделителей и короткозамыкателей

Условия выбора разъединителей (отделителей и короткозамыкателей) представлены в таблице.

Расчетный параметр цепи	Каталожные данные разъединителя	Условие выбора
$U_{уст}$	$U_{ном}$	$U_{уст} \leq U_{ном}$
$I_{раб (max)}$	$I_{ном}$	$I_{раб (max)} \leq I_{ном}$
i_y	$I_{т дин}$	$i_y \leq I_{т дин}$
B_k	$I_m ; t_m$	$B_k \leq I_T^2 t_T$

Выбор разъединителей производится: по напряжению установки, по току, по конструкции и роду установки. Их проверяют по электродинамической и термической стойкости.

Для короткозамыкателей выбор по номинальному току не требуется. Разъединители, отделители и короткозамыкатели следует выбирать также по роду установки и конструктивному исполнению.

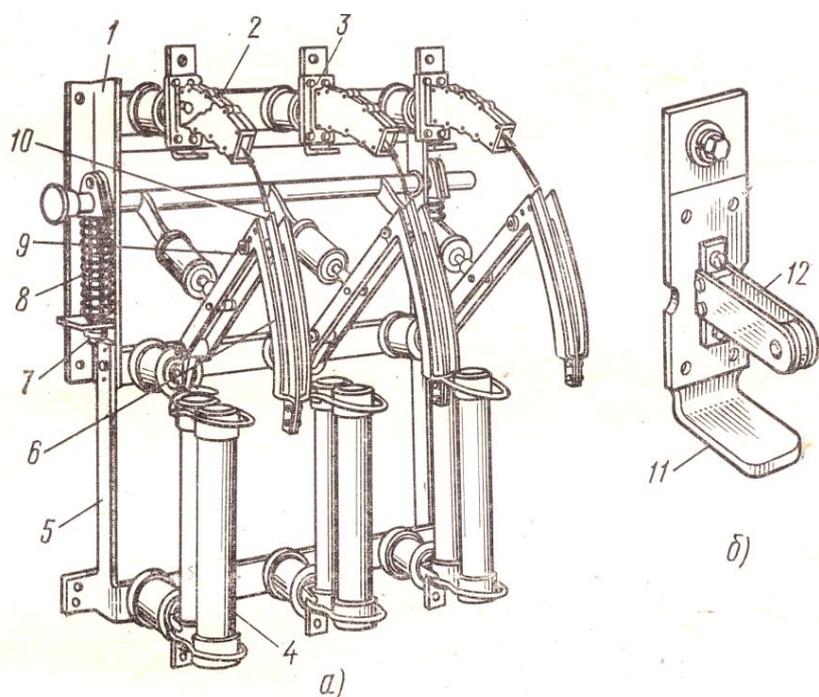
6 Выключатели нагрузки, их назначение, типы и конструкции, область применения

В электроустановках, характеризующихся относительно небольшими значениями токов короткого замыкания, вместо дорогостоящих масляных, вакуумных, элегазовых выключателей применяют автогазовые выключатели нагрузки ВН-16 или ВН 17 на напряжение 6-10 кВ. Они могут включать и отключать токи номинальной нагрузки и токи короткого замыкания, не превышающие 400 А.

ВН изготовлены на базе трехполюсных разъединителей РВ-10/400, предназначенных для внутренней установки. Так же, как и разъединители, они обеспечивают видимый разрыв отключаемой цепи. В отличие от обычных разъединителей подвижные ножи выключателей нагрузки снабжены фасонными контактами (они перемещаются в дугогасительных камерах), пружинным механизмом отключения и резиновыми буферными шайбами.

Выключатели нагрузки типа ВН конструктивно могут быть дополнены тремя высоковольтными предохранителями ПК-10. Такой аппарат имеет обозначение ВНП-16 или ВНП-17 (последний снабжен механизмом подачи команды на электромагнит отключения при перегорании плавкой вставки любого предохранителя, чем исключается появление неполнофазного режима). Предохранители ПК-10 могут быть установлены как до выключателя нагрузки, так и после. На рис. 17 показан внешний вид выключателя нагрузки ВНП-16 с нижним расположением предохранителей ПК-10.

Выключатель собирают на стальной раме 1, к которой крепится рама 5 с предохранителями 4. Рабочие контакты так же, как и у обычного разъединителя, выполнены в виде двухполюсных ножей 9, охватывающих изогнутую под прямым углом пластину контактной стойки 11 неподвижного контакта 3.



- 1 - рама выключателя;
- 2-дугогасительная камера,
- 3 - неподвижный контакт,
- 4 -высоковольтный FU,
- 5 - рама предохранителей,
- 6 - скобы крепления дугогасительного ножа,
- 7 - буферные резиновые шайбы,
- 8 - отключающая пружина,
- 9 - нож подвижного контакта,
- 10 - дугогасительный нож,
- 11 - стойка основного контакта,
- 12 - полусферический наконечник.

Рисунок 17 - Выключатель нагрузки ВНП-16 с предохранителями ПК-10:
а – общий вид, б – узел неподвижного контакта

Дугогасительный нож 10, закрепленный между скобками 6, входит в дугогасительную камеру 2 и осуществляет контакт с полусферическим наконечником 12. Пружины 8 обеспечивают надежное и быстрое отключение выключателя. Ударная нагрузка, возникающая при этом, смягчается буферными резиновыми шайбами 7. Изучая работу выключателя нагрузки, следует обратить внимание на различную последовательность замыкания его основных и дугогасительных контактов. В процессе включения сначала замыкаются дугогасительные контакты в камере 2 (нож 10 входит в соприкосновение с полусферическим

наконечником, укрепленным на стойке 12). Затем замыкаются основные контакты выключателя (9 и 11). При отключении размыкание контактов происходит в обратной последовательности - сначала размыкаются главные, затем дугогасительные контакты. При этом под действием высокой температуры возникающей электрической дуги органическое стекло вкладышей дугогасительной камеры расплавляется, образуя большое количество газа, обладающего хорошими дугогасящими свойствами. Под действием дутья этого газа электрическая дуга гасится, и цепь тока разрывается. В полностью отключенном выключателе подвижные контакты с ножами 9 отходят, образуя видимый разрыв с дугогасительной камерой.

В последнее время получили распространение *Выключатели нагрузки серии ISARC*. Их конструкция:

- Полюсы выключателя нагрузки установлены на единой раме из оцинкованной стали и управляются одним встроенным пружинным приводом. Пружина взводится вручную с помощью рукоятки управления или моторным приводом.

- Конструкция аппарата обеспечивает механическое перекрытие отсека сборных шин изолирующими шторками. Предусмотрены все необходимые блокировки.

- Каждый полюс выключателя оборудуется автокомпрессионным воздушным дугогасительным устройством.

- Выключатели имеют встроенные предохранители (при соответствующем исполнении) и ножи заземления.

Основные узлы (рис. 18): На стальной раме установлены несущие опорные эпоксидно-резиновые изоляторы, на которых закреплены контактные элементы. На верхнем изоляторе 1 снаружи установлен верхний вывод 2, внутри располагается верхний неподвижный контакт 3, состоящий из контактного гнезда 4 и стержня контакта 5. При отключенном положении выключателя механическая заслонка 6, связанная с валом привода заземляющих ножей 7, закрывает доступ к верхнему контакту и сборным шинам. Это является особенностью выключателя ISARC. На нижнем изоляторе 8 закреплен нижний вывод 9, подвижный контактный цилиндр 10 и нижнее контактное гнездо 11.

Включение: Штатной рукояткой приводится в движение вал, взводящий пружину механизма включения. При срабатывании пружины нижний контакт перемещается по направляющему цилиндру 12 и контакты замыкаются. Под действием пружинного механизма замыкание контактов происходит быстро, что исключает риск возникновения дуги.

Выключение: Подвижный цилиндр, приводимый в движение пружинным механизмом, перемещаясь вниз по направляющему цилиндру, создает давление воздуха, который вырывается через сопло 13 и гасит дугу, образовавшуюся между неподвижным верхним контактом и подвижным контактом 14 (оба контакта сделаны из сплава Cu-W).

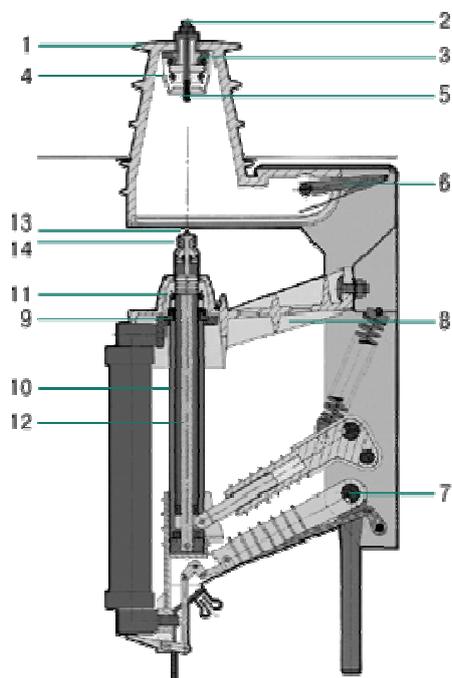


Рисунок 18 – Выключатель нагрузки серии ISARC

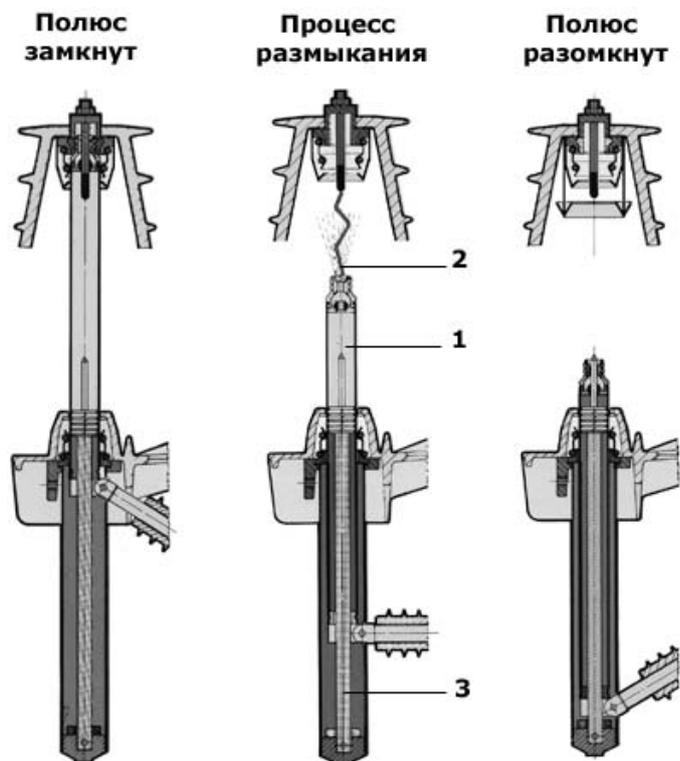


Рисунок 19

В выключателях нагрузки серии ISARC для гашения дуги используется продольное одностороннее дутье автокомпрессионного типа. При размыкании контактов, т.е. после выхода подвижного контакта 1 из контактного гнезда, из сопла 2 в дугогасительную камеру подается воздушный поток, возникающий вследствие сжатия воздуха подвижным контактом, перемещающимся по цилиндру 3. Под действием воздушного потока происходит деионизация и гашение дуги при переходе тока через ноль. Дуга находится внутри верхнего изолятора, который не дает ей перекинуться на соседние фазы и элементы конструкции, а также ограничивает объем, в котором происходит гашение дуги.

7 Типы, конструктивные особенности, принцип действия и область применения предохранителей напряжением выше 1000 В

Высоковольтные предохранители типа ПК, ПКТ и стреляющие типа ПСН имеют то же назначение, что и предохранители до 1000 В и предназначены для защиты силовых трансформаторов, воздушных и кабельных линий, конденсаторов, электродвигателей и трансформаторов напряжения от токов КЗ и перегрузки.

Предохранители серии ПК (предохранитель кварцевый), ПКТ (предохранитель кварцевый, трансформаторный) выполняются на напряжения 6...35кВ и номинальные токи 7,5...3000 А (рис. 5).

Конструкция представляет собой круглый патрон 1, изготовленный из фарфора или стекла, армированный латунными колпаками 2. Внутри корпуса помещена плавкая вставка 5 в виде одной или нескольких параллельно включенных тонких медных проволок, изготовленных чаще из посеребренной меди и намотанных на керамический сердечник (на ток 7,5 А) или выполненных спирально (на большие токи). Корпус (трубка) заполнен кварцевым песком 4, гер-

метически закрыт крышкой. Длина патрона определяется номинальным напряжением. Срабатывание предохранителя определяется по указателю 7 после перегорания стальной натяжной вставки 6. Для снижения перенапряжения (время срабатывания предохранителя – 0,008 с.) искусственно затягивается гашение электрической дуги путем применения вставок ступенчатого сечения по длине, параллельно основным рабочим вставкам включают вспомогательные вставки с искровыми промежутками. Последней перегорает стальная вставка указателя, сигнализируя о срабатывании предохранителя.

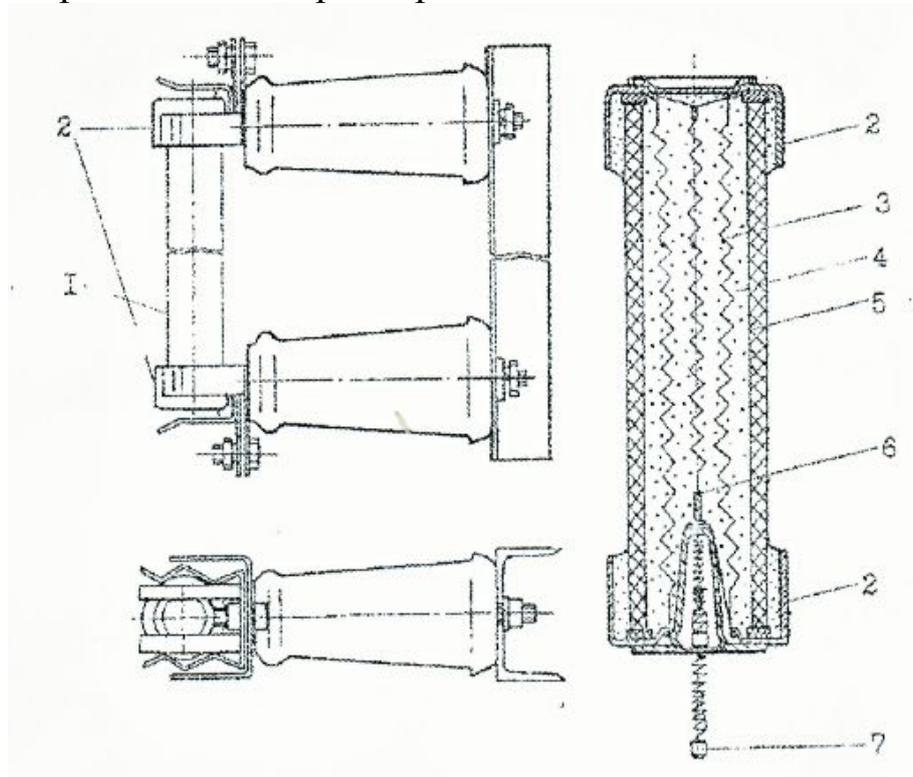


Рисунок 20 – Предохранитель типа ПК-10:

1 – круглый патрон, 2 – латунные колпаки, 3 – шарики олова, 4 – кварцевый песок, 5 – плавкая вставка, 6 – стальная натяжная вставка, 7 – указатель

Предохранители серии ПКТ, применяемые для защиты измерительных трансформаторов напряжения, по конструкции подобны ПК, но имеют одну константовую вставку, намотанную на керамический сердечник. Малое сечение вставки обеспечивает быстрое срабатывание, но при этом образуется значительный токоограничивающий эффект. Разновидностью предохранителей ПК является предохранитель типа ПКУ (усиленный с большой мощностью отключения).

Применение параллельных плавких вставок (при больших токах) позволяет при том же суммарном поперечном сечении вставок лучше использовать объем наполнителя, тем самым улучшить условия охлаждения вставок.

Предохранители серии ПСН (предохранитель стреляющий, наружной установки) выполняются на напряжения 10, 35, 110 кВ и номинальные токи 50...100 А (рис. 6). Этот вид предохранителей относится к предохранителям с автогазовым гашением дуги.

Основной частью предохранителя является газогенерирующая труба 4, выполненная из винипласта. Внутри трубы расположен гибкий проводник 2, с

контактным наконечником 3, соединенный с плавкой вставкой 1, патрон предохранителя крепится к опорному изолятору 6.

При перегорании плавкой вставки и действии высокой температуры дуги на внутренние стенки трубы происходит бурное газообразование. Пружинный контакт предохранителя, соединенный с наконечником 5, выбрасывает гибкий проводник из канала трубы. Электрическая дуга растягивается до критической длины и гаснет за счет автогазового дутья. Срабатывание сопровождается звуковым эффектом - выстрелом. Образующийся воздушный промежуток обеспечивает изоляцию в месте разрыва.

Предохранители ПСН устанавливаются в открытых РУ для защиты силовых трансформаторов от токов КЗ.

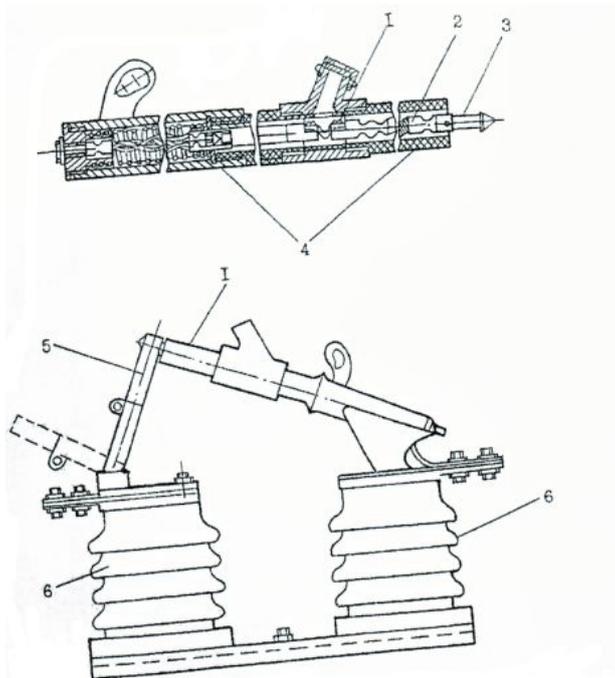


Рисунок 21 – Предохранитель типа ПСН-35:

1 – плавкая вставка, 2 – гибкий проводник, 3 – контактный наконечник,
4 – газогенерирующая труба, 5 – наконечник, 6 – опорный изолятор

8 Назначение выключателей напряжением выше 1000 В.

Типы, конструкции, достоинства и недостатки применяемых в энергетике выключателей: масляных баковых, маломасляных, воздушных, электромагнитных, вакуумных и элегазовых выключателей

Выключатель – основной коммутационный аппарат электрических станций и электрических сетей, предназначенный для включения и отключения тока в нормальных и аварийных режимах работы. Наиболее ответственной операцией является отключение токов короткого замыкания. В то же время выключатели сталкиваются с проблемой отключения небольших по значению реактивных токов. Как правило, коммутационный процесс связан с перенапряжениями, опасными для электрооборудования станций, сетевых подстанций и других электроустановок. Перенапряжения возникают как при отключении, так и при включении тока. Уровень возникающих перенапряжений в выключателях разного типа может отличаться в несколько раз.

Конструкция выключателя включает:

- контактную систему
- устройство гашения дуги
- корпус с вводами
- привод
- дополнительные устройства

В основу классификации выключателей положен принцип гашения электрической дуги. Различают выключатели для внутренней и наружной установки. Операции включения, отключения и удержание во включенном положении осуществляет *привод* выключателя. Для осуществления своих функций выключатель должен иметь технические характеристики, соответствующие условиям длительной работы установки и условиям коротких замыканий.

Наиболее важными параметрами выключателя являются:

- номинальное напряжение
- номинальный ток
- номинальный ток отключения

На сегодняшний день наиболее широко в электроустановках 6-10 кВ применяют современные вакуумные (рис.22 на стр. 24), элегазовые выключатели, в электроустановках 110-220 кВ – элегазовые и маломасляные выключатели, в электроустановках 330-500 кВ элегазовые и воздушные выключатели. В то же время продолжают эксплуатироваться устаревшие типы выключателей, например, масляные баковые выключатели, маломасляные и др.

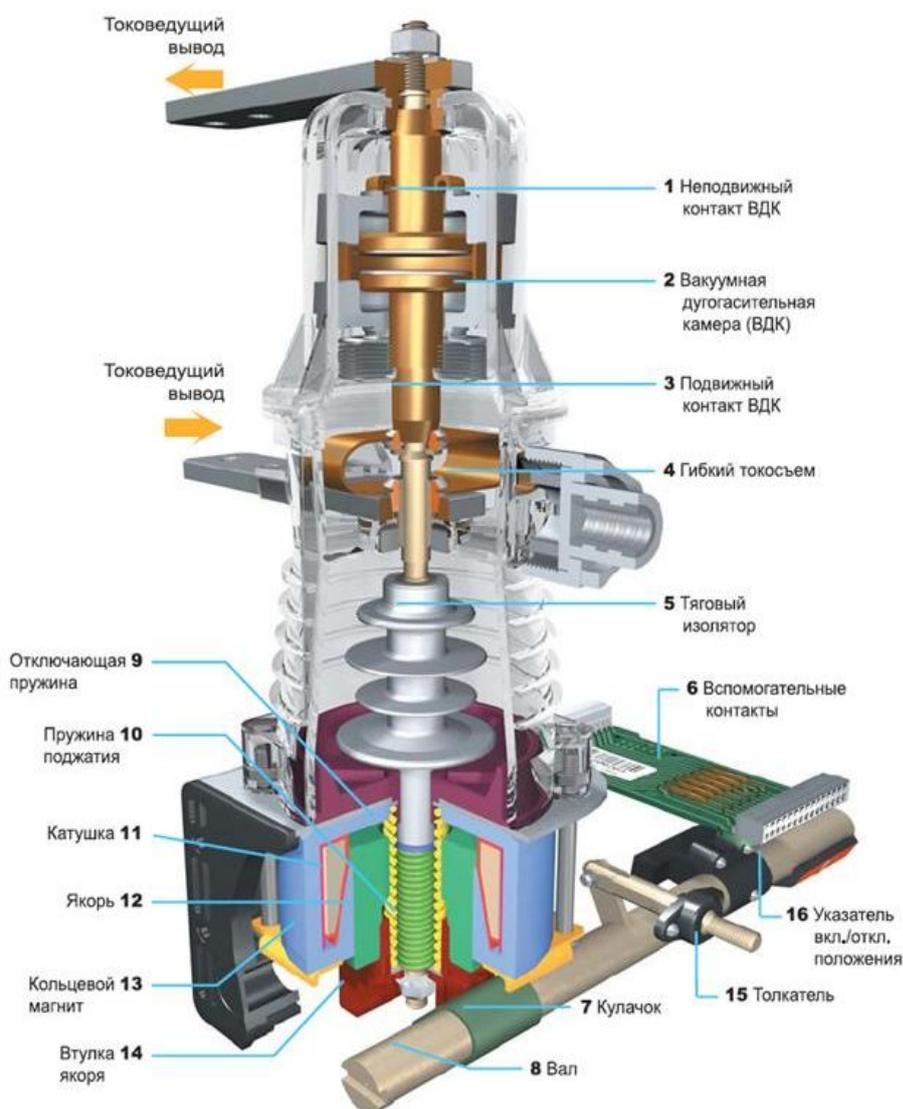


Рисунок 22 – Полус выключателя в отключенном положении:

Масляные баковые. Масло в этих выключателях служит для гашения дуги и изоляции токоведущих частей.

Основные преимущества баковых выключателей. Простота конструкции, высокая отключающая способность, пригодность для наружной установки встроенных трансформаторов тока.

Недостатки баковых выключателей. Взрывопожароопасность; необходимость периодического контроля за состоянием масла в баке и в вводах; большой объем масла, что обуславливает большую затрату времени на замену, необходимость больших запасов масла; непригодность для установки внутри помещений; непригодность для выполнения быстродействующего АПВ; большая затрата металла, большая масса, неудобство перевозки, монтажа и наладки.

Маломасляные выключатели. Маломасляные выключатели (горшковые) получили широкое распространение в закрытых и открытых распределительных устройствах всех напряжений. Масло в этих выключателях служит в основном дугогасящей средой и только частично изоляцией между разомкнутыми контактами. Изоляция токоведущих частей друг от друга и от заземленных конструкций осуществляется фарфором или другим твердым изолирующими материалами. Контакты выключателей для внутренней установки находятся в стальном бачке (горшке), отсюда сохранилось название выключателей «горшковые». Маломасляные выключатели напряжением 35 кВ и выше имеют фарфоровый корпус. Самое широкое применение имеют выключатели 6-10 кВ подвесного типа. В этих выключателях корпус крепится на фарфоровых изоляторах к общей раме для всех трех полюсов. В каждом полюсе предусмотрен один разрыв контактов и дугогасительная камера – главный и дугогасительный контуры.

Достоинствами маломасляных выключателей являются небольшое количество масла, относительно малая масса, более удобный, чем у баковых выключателей, доступ к дугогасительным контактам, возможность создания серии выключателей на разное напряжение с применением унифицированных узлов.

Недостатки маломасляных выключателей: взрыво- и пожароопасность, хотя и значительно меньшая, чем у баковых выключателей; невозможность осуществления быстродействующего АПВ; необходимость периодического контроля, доливки, относительно частой замены масла в дугогасительных бачках; трудность установки встроенных трансформаторов тока; относительно малая отключающая способность. Область применения маломасляных выключателей – ЗРУ электростанций и подстанций 6, 10, 20, 35 и 110 кВ, КРУ 6, 10, 35 кВ и ОРУ 35, 110, 220 кВ.

Воздушные выключатели. В воздушных выключателях гашение дуги происходит сжатым воздухом, а изоляция токоведущих частей и дугогасительного устройства осуществляется фарфором или другими твердыми материалами. Конструктивные схемы воздушных выключателей различны и зависят от их номинального напряжения, способа создания изоляционного промежутка между контактами в отключенном положении, способа подачи сжатого воздуха в дугогасительное устройство.

В выключателя на большие номинальные токи имеются главный и дугогасительный контуры. Основная часть тока во включенном положении выключателя проходит по главным контактам, расположенным открыто. При отключении выключателя главные контакты размыкаются первыми, после чего весь ток проходит по дугогасительным контактам, заключенным в камере. К моменту размыкания этих контактов в камеру подается сжатый воздух из резервуара, создается мощное дутье, гасящее дугу и т.д.

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

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

Электромагнитные выключатели. Электромагнитные выключатели для гашения дуги не требуют ни масла, ни сжатого воздуха, что является большим преимуществом их перед другими типами выключателей. Выключатели этого типа выпускают на напряжения 6-10 кВ, номинальный ток до 3600 А и ток отключения до 40 кА.

Достоинства. Полная взрыво- и пожаробезопасность, малый износ дугогасительных контактов, пригодность для работы в условиях частых включений и отключений, относительно высокая отключающая способность.

Недостатки. Сложность конструкции дугогасительной камеры с ситемой магнитного дутья, ограниченный верхний предел номинального напряжения (15-20 кВ), ограниченная пригодность для наружной установки.

Элегазовые выключатели. Элегаз SF₆ обладает высокими дугогасящими свойствами, которые используются в аппаратах высокого напряжения. Выключатели во многом напоминают конструкцию отделителей. Однако, для успешного отключения тока в них предусматривается устройства для вращения дуги в элегазе. В подвижный и неподвижный контакт встроены постоянные магниты, которые создают магнитные поля, направленные встречно. При размыкании контактов образуется дуга, ток которой взаимодействует с радиальным м.п., в результате чего создается сила F, перемещающая дугу по кольцевым электродам. Вращение дуги в элегазе способствует быстрому гашению. Чем больше ток, тем больше скорость перемещения дуги, это защищает контакты от обгорания. Контактная система описанной конструкции помещается внутри фарфорового корпуса, заполненного элегазом и герметически закрытого.

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

Недостатки: необходимость спец устройств для наполнения, перекачки и

очистки SF6, относительно высокая стоимость SF6.

9 Выбор выключателей

К выключателям высокого напряжения предъявляют требования:

1. надёжное отключение любых токов (от десятков ампер до номинального тока отключения);
2. быстрота действия, т.е. наименьшее время отключения;
3. пригодность для быстродействующего автоматического повторного включения (АПВ) – быстрое включение выключателя сразу после отключения;
4. возможность пофазного (пополюсного) управления для выключателей 110 кВ и выше;
5. удобство обслуживания;
6. взрыво- и пожаробезопасность.

Все выключатели характеризуются номинальным напряжением ($U_{\text{ном}}$), номинальным током ($I_{\text{ном}}$), которые они выдерживают длительное время и номинальным током отключения ($I_{\text{отк.ном}}$).

Параметры выключателя выбирают по техническим данным так, чтобы технические характеристики выключателя были больше расчётных. Поэтому при выборе аппарата необходимо соблюдать следующие **условия выбора**:

- по напряжению: $U_{\text{установки}} \leq U_{\text{ном}}$

- по току: $I_{\text{норм}} \leq I_{\text{ном}}$; $I_{\text{мах}} \leq I_{\text{ном}}$

где $I_{\text{норм}}$ и $I_{\text{раб.макс}}$ – наибольший ток нормального режима работы сети и наибольший ток ремонтного или послеаварийного режима;

- по отключающей способности: $I_{\text{пт}} \leq I_{\text{отк.ном}}$; $i_{\text{ат}} \leq i_{\text{а.ном}}$

где $I_{\text{пт}}$ – периодическая составляющая тока КЗ в расчетный момент времени τ , кА (расчетная величина);

$i_{\text{ат}}$ – аperiodическая составляющая тока КЗ в момент расхождения контактов выключателя, кА;

$I_{\text{отк.ном}}$ – номинальный ток отключения выключателя по каталогу, кА

$$i_{\text{а.ном}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{отк.ном}} \cdot \beta_{\text{н}}/100$$

где $\beta_{\text{н}}$ – допустимое относительное содержание аperiodической составляющей в токе отключения, %

- проверка на электродинамическую стойкости при токах КЗ:

$$I_{\text{п0}} \leq I_{\text{дин}} \quad i_{\text{уд}} \leq i_{\text{дин}}$$

где $I_{\text{п0}}$ – начальное действующее значение периодической составляющей тока КЗ, кА (расчетная величина);

$I_{\text{дин}}$ – действующее значение периодической составляющей предельного сквозного тока КЗ по каталогу, кА;

$i_{\text{уд}}$ – ударный ток КЗ в цепи выключателя, кА (расчетная величина);

$i_{\text{дин}}$ – ток электродинамической стойкости по каталогу, кА .

- проверка на термическую стойкости при токах КЗ: $W_k \leq I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}}$

где W_k – тепловой импульс тока КЗ, кА (расчетная величина);

$I_{\text{терм}}$ – ток термической стойкости по каталогу, кА;

$t_{\text{терм}}$ – длительность протекания тока термической стойкости по каталогу, с.

$$W_k = I_{\text{п0}}^2 \cdot (t_{\text{отк}} + T_a)$$

где $t_{\text{отк}}$ – время отключения выключателя (время действия тока КЗ), с;

T_a – постоянная времени затухания апериодической составляющей тока КЗ, с.

Время отключения выключателя определяется по выражению

$$t_{\text{отк}} = t_{\text{р.з}} + t_{\text{отк В}}$$

где $t_{\text{р.з}}$ – время действия основной релейной защиты данной цепи, с;

$t_{\text{отк В}}$ – полное время отключения выключателя по каталогу, с

Значение $t_{\text{р.з}}$ принимается равным 0,01с для первой ступени защиты. Для последующих ступеней оно зависит от ступени селективности релейной защиты Δt . Приблизительно можно принять $\Delta t = 0,3 \div 0,5$ с (для быстродействующих защит).

Значение T_a зависит от места короткого замыкания и определяется по каталогу.

10 Внутренняя и внешняя изоляция электрических аппаратов

Изоляция электрических установок делится на внешнюю и внутреннюю.

К внешней изоляции установок высокого напряжения относят изоляционные промежутки между электродами (проводами линий электропередачи (ЛЭП), шинами распределительных устройств (РУ), наружными токоведущими частями электрических аппаратов и т.д.), в которых роль основного диэлектрика выполняет атмосферный воздух. Изолируемые электроды располагаются на определенных расстояниях друг от друга и от земли (или заземленных частей электроустановок), укрепляются в заданном положении с помощью изоляторов.

К внутренней изоляции относится изоляция обмоток трансформаторов и электрических машин, изоляция кабелей, конденсаторов, герметизированная изоляция вводов, изоляция между контактами выключателя в отключенном состоянии, т.е. изоляция герметически изолированная от воздействия окружающей среды корпусом, оболочкой, баком и т.д. Внутренняя изоляция как правило представляет собой комбинацию различных диэлектриков (жидких и твердых, газообразных и твердых).

Важной особенностью внешней изоляции является ее способность восстанавливать свою электрическую прочность после устранения причины пробоя. Однако электрическая прочность внешней изоляции зависит от атмосферных условий: давления, температуры и влажности воздуха. На электрическую прочность изоляторов наружной установки влияют также загрязнения их поверхности и атмосферные осадки.

Особенностью внутренней изоляции электрооборудования является старение, т.е. ухудшение электрических характеристик в процессе эксплуатации. Вследствие диэлектрических потерь изоляция нагревается. Может произойти чрезмерный нагрев изоляции, который приведет к ее тепловому пробою. Под действием частичных разрядов, возникающих в газовых включениях, изоляция разрушается и загрязняется продуктами разложения.

Пробой твердой и комбинированной изоляции – явление необратимое, приводящее к выходу из строя электрооборудования. Жидкая и внутренняя газовая изоляция самовосстанавливается, но ее характеристики ухудшаются. Необходимо постоянно контролировать состояние внутренней изоляции в процессе ее эксплуатации, чтобы выявить развивающийся в ней дефекты и предотвратить аварийный отказ электрооборудования.

Внешняя изоляция электроустановок

При нормальных атмосферных условиях электрическая прочность воздушных промежутков относительно невелика (в однородном поле при межэлектродных расстояниях около $1 \text{ см} \leq 30 \text{ кВ/см}$). В большинстве изоляционных конструкций при приложении высокого напряжения создается резконеоднородное электрическое поле. Электрическая прочность в таких полях при расстоянии между электродами 1-2 м составляет около 5 кВ/см, а при расстояниях 10-20 м снижается до 2,5-1,5 кВ/см. В связи с этим габариты воздушных ЛЭП и РУ при увеличении номинального напряжения быстро возрастают.

11 Приводы коммутационных аппаратов

Для включения и отключения разъединителей, выключателей нагрузки, масляных выключателей и другой коммутационной аппаратуры используют специальные устройства – приводы. Для автоматически отключаемых или включаемых аппаратов привод удерживает их соответственно во включенном или отключенном положении.

По роду используемой энергии приводы разделяют на ручные, электрические (электромагнитные, электродвигательные), пружинные, пневматические. Раньше применялись грузовые приводы, которые оказались недостаточно надежными в работе.

Различают также неавтоматические, полуавтоматические и автоматические приводы. Первые дают возможность включать или отключать аппарат только вручную. Вторые обеспечивают автоматическое (дистанционное) отключение или в некоторых случаях включение аппарата. Автоматические приводы дают возможность автоматически (от соответствующих устройств защиты и автоматики) или дистанционно включать и отключать коммутационные аппараты.

Для управления разъединителями наиболее часто используют ручной рычажной привод. Он может быть установлен как в закрытых, так и в открытых распределительных устройствах. Рукоятка такого привода перемещается в вертикальной плоскости на угол $120 - 150^\circ$. Движение рукоятки при помощи тяг и рычагов передается валу ножей разъединителя. При отключении рукоятку привода поворачивают вниз, при включении – снизу вверх.

Ручные приводы устанавливаются на тех же опорных конструкциях, на которых размещается разъединитель. Наличие привода дает возможность осуществить механическую или электрическую блокировку разъединителя и выключателя для предотвращения неправильных операций с разъединителем при включенном выключателе.

Однополюсными разъединителями часто управляют при помощи изолирующей штанги, которой захватывается петля, специально предусмотренная на ноже разъединителя.

Короткозамыкателями и отделителями управляют при помощи приводов типа ПГ-10К и ПГ-10-0 или ШПК и ШПО. Эти приводы, имеющие одинаковую кинематическую схему, размещают в шкафах для наружной установки. Вал этих приводов при помощи соответствующих рычагов и тяг соединен с короткозамыкателями или отделителями.

В приводе короткозамыкателя можно установить два реле прямого действия максимального тока и один электромагнит отключения. При срабатывании реле или электромагнит освобождает защелку привода и короткозамыкатель включается под действием введенной при его отключении пружины.

Отключают короткозамыкатель вручную при помощи рукоятки управления приводом. В приводе отделителя устанавливают электромагнит отключения, который при срабатывании также освобождает защелку и обеспечивает автоматическое отключение отделителя под действием заведенной при его включении пружины. Раньше в этих приводах устанавливались специальные блокирующие реле (БРО), однако они оказались недостаточно надежными, и поэтому, чтобы предотвратить отключение отделителя при включенном короткозамыкателе, используют токовую блокировку в схеме автоматического управления.

Выключатели нагрузки могут быть оснащены приводами нескольких модификаций: с ручным включением и отключением (типа ПР-17), с ручным включением и ручным или дистанционным отключением (типа ПРА-17), с дистанционным или автоматическим включением и отключением (типа ПЭ-11).

Выключателями нагрузки с заземляющими ножами управляют при помощи отдельного, ручного привода с механической блокировкой, не позволяющей включить заземляющие ножи при включенном выключателе.

Для управления масляными и другими выключателями используются приводы, имеющие следующие основные узлы: включающий механизм, обеспечивающий включение выключателя, запирающий механизм (защелка), который удерживает выключатель во включенном положении, и расцепляющий механизм, освобождающий защелку, после чего выключатель отключается под действием отключающих пружин, заведенных при включении. Наибольшее усилие требуется при включении, так как в этом случае необходимо также преодолеть сопротивление отключающих пружин. Трение и силы инерции в подвижных частях. При включении на короткое замыкание. может потребоваться преодоление электродинамических усилий, отталкивающих контакты один от другого.

Наиболее часто для управления выключателями используют автоматические приводы. В сельских электрических сетях наибольшее распространение получили пружинные приводы. Более широкое применение их по сравнению с электромагнитными приводами объясняется тем, что для их работы не требуются аккумуляторные батареи и соответствующие зарядные агрегаты. В данном случае выключатель автоматически включается под действием заранее заведенных (натянутых) пружин.

Включающие пружины можно заводить от руки или специальным двигателем, который обычно снабжен редуктором (автоматический моторный редуктор – АМР). Пружинные приводы используют для управления масляными выключателями на напряжение 6 - 35 кВ. Они обеспечивают: ручное или дистанционное (посредством встроенных электромагнитов включения и отключения) включение и отключение выключателя, автоматическое отключение выключателя под действием защиты (при помощи встроенных реле или отдельного комплекта реле защиты), автоматическое повторное включение (АПВ) выключателя после его автоматического отключения при помощи специальной релейной схемы и встроенного электромагнита включения (возможно также механическое АПВ посредством рычажного механизма привода, которое в последнее время обычно не используется).

Имеется ряд конструкций пружинных приводов (типа ППМ-10, ПП-67, ПП-74 и др.). В сельских электрических сетях наиболее часто применяется привод типа ПП-67К.

Опыт эксплуатации пружинных приводов, в частности типа ПП-67, показал, что они относительно часто выходят из строя и из-за сложной механической части являются одним из наиболее ненадежных элементов электрооборудования. Поэтому существует несколько конструкций, в частности электромагнитные приводы с использованием мощных выпрямителей, для сельских электроустановок.

Электромагнитные приводы, получающие питание от аккумуляторной батареи, нашли широкое распространение в установках с постоянным оперативным током. Эти приводы представляют собой устройства управления выключателем прямого действия: энергия, необходимая для включения, непосредственно подается в процессе включения от источника большой мощности электромагниту включения. Отключение происходит под действием маломощного электромагнита отключения. Достоинство электромагнитных приводов - простота конструкции и надежность действия. Основной недостаток – большой ток, потребляемый электромагнитом включения.

Промышленность изготавливает электромагнитные приводы нескольких типов. Для выключателей на напряжение 10 кВ достаточно широко используются приводы типа ПЭ-11.

Большинство приводов различного типа снабжены устройством свободного расцепления. Это – механический узел привода, обеспечивающий свободное отключение выключателя независимо от положения подвижных элементов. Устройство свободного расцепления особенно необходимо для быстрого

отключения выключателя при включении его на короткое замыкание.

Воздушными выключателями, работающими от компрессора, управляют при помощи пневматического привода. Действие этого привода обеспечивается за счет энергии сжатого воздуха от той же компрессорной установки.

ТЕМА 2.2 НАЗНАЧЕНИЕ, ТИПЫ И КОНСТРУКЦИИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

1 Система измерений на подстанциях и электростанциях

Контроль за режимом работы основного и вспомогательного оборудования на электростанциях и подстанциях осуществляется с помощью контрольно-измерительных приборов, которые контролируют ряд параметров. Основными параметрами являются ток I и напряжение U . Остальные параметры: фаза (φ), мощность (P , Q), энергия (W), частота (f), определяются на основе информации о токе и напряжении.

Приборы могут быть показывающего типа (показывают текущее значение контролируемого параметра), регистрирующего (регистрируют контролируемый параметр в течение длительного времени с целью анализа работы установки) и интегрирующего (интегрируют некоторый параметр по времени, обычно это счетчики активной и реактивной энергии). На схемах приборы показывающего типа изображаются окружностью, а регистрирующего типа – квадратом с указанием внутри на измеряемый параметр (**A** – амперметр, **V** – вольтметр, **Hz** – частотомер, **W** – ваттметр, **var** – варметр, **φ** – фазометр, **Wh** – счетчик активной энергии, **varh** – счетчик реактивной энергии).

В зависимости от величин рабочего напряжения и тока, включение контрольно-измерительных приборов может быть непосредственным или через измерительные трансформаторы тока и напряжения, причем в последнем случае, как правило, применяется раздельное питание токовых обмоток контрольно-измерительных приборов, релейной защиты и автоматики.

Для мощных генераторов измерительные приборы устанавливаются на главном (для ТЭЦ) или блочном щите управления (для КЭС). В машинном зале на тепловом щите турбины устанавливаются ваттметр и частотомер.

На рабочих и резервных трансформаторах и линиях, питающих секции собственных нужд станции, устанавливаются: амперметры, ваттметры и счетчики активной энергии.

На электродвигателях собственных нужд напряжением 6 - 10 кВ и на мощных двигателях напряжением 380 В устанавливают амперметры и счетчики активной энергии, а на остальных двигателях - только по одному амперметру.

Тип и количество приборов, необходимых для контроля за режимом работы электрооборудования и качеством электроэнергии, в соответствии с ПУЭ и ПТЭ, приведены в Приложении А.

2 Назначение, типы и конструкции измерительных трансформаторов тока

Трансформаторы тока применяются в схемах измерений и учета электрической энергии. Они являются также элементами устройств релейной защиты и автоматики. Через них релейные схемы получают информацию о состоянии

электрических цепей высокого напряжения. При помощи трансформаторов тока первичный ток уменьшают до значений, наиболее удобных для питания измерительных приборов и реле. Номинальные вторичные токи принимают равными 1 или 5 А.

Первичная обмотка трансформатора тока включается в рассечку фазы электрической цепи. От первичной обмотки, находящейся под высоким напряжением, вторичная обмотка надежно изолируется, что гарантирует безопасное обслуживание вторичных цепей и подключенных к ним приборов и реле. Токосъемные цепи нагрузки подключаются к зажимам вторичных обмоток трансформаторов тока последовательно. Но даже при последовательном соединении сопротивление вторичной нагрузки невелико. Поэтому считают, что рабочий режим трансформаторов тока близок к режиму короткого замыкания. Размыкание вторичной обмотки приводит к исчезновению размагничивающего действия вторичного тока, и тогда весь первичный ток становится током намагничивания. В этом режиме резко возрастает магнитная индукция в стали магнитопровода, во много раз увеличиваются активные потери в стали, что приводит к ее перегреву, обгоранию изоляции обмотки и, в конечном счете, к повреждению трансформатора тока. Кроме того, большой магнитный поток наводит во вторичной обмотке значительную ЭДС, которая может достигнуть десятков киловольт, что представляет опасность, как для обслуживающего персонала, так и для изоляции вторичных цепей. В связи с указанным вторичные обмотки трансформаторов тока должны быть всегда замкнуты на реле, приборы или закорочены на испытательных зажимах. При необходимости замены реле или прибора предварительно должна устанавливаться шунтирующая их перемычка. Переносные измерительные приборы подключаются к вторичным цепям работающих трансформаторов тока с помощью разъемных испытательных зажимов или испытательных блоков, позволяющих производить включение и отключение приборов без разрыва вторичной цепи. Основной мерой безопасного производства работ во вторичных токовых цепях в случае повреждения изоляции и попадания на вторичную цепь высокого напряжения является заземление одного из концов каждой вторичной обмотки трансформатора тока.

Особенности конструкции:

Трансформаторы тока выпускаются для наружной установки, для внутренней установки, встроенные в проходные вводы силовых трансформаторов и баковых выключателей, накладные - надевающиеся сверху на вводы силовых трансформаторов. У встроенных и накладных трансформаторов тока первичной обмоткой служит токоведущий стержень ввода.

В зависимости от рода установки и класса рабочего напряжения первичной обмотки трансформаторы тока выполняются с литой эпоксидной изоляцией, с бумажно-масляной изоляцией, с воздушной изоляцией.

Изоляция трансформаторов тока для внутренней установки напряжением 3÷24 кВ выполняется из литой синтетической эпоксидной смолы.

В трансформаторах тока для наружной установки напряжением 35÷220 кВ в качестве основной изоляции используется пропитанная маслом кабельная бу-

мага. Кроме того магнитопровод с обмотками помещается в фарфоровой маслonaполненной кожух, имеющей ребристую поверхность.

Трансформаторы тока с фарфоровой изоляцией (серии ТПФ) за последние годы вытесняются из эксплуатации трансформаторами тока с литой эпоксидной изоляцией. Фарфоровые корпуса трансформаторов тока с бумажно-масляной изоляцией серий ТФН (новое обозначение серии ТФЗМ), ТРН (ТФРМ) заполняются маслом. Сверху на фарфоровом корпусе устанавливается металлический маслорасширитель, воспринимающий температурные колебания объема масла. Внутренняя полость маслорасширителя сообщается с атмосферой через силикагелевый воздухоосушитель.

При рабочем напряжении 330 кВ и выше трансформаторы тока изготавливаются в виде двух ступеней (двух каскадов), что позволяет выполнять изоляцию каждой ступени на половину фазного напряжения.

По числу витков первичной обмотки трансформаторы тока подразделяются на одновитковые и многовитковые, а по способу установки – на проходные, опорные и встроенные.

По конструктивному исполнению различают два вида одновитковых трансформаторов тока на напряжение 10 кВ для внутренней установки:

- а) стержневые трансформаторы тока типа ТПОЛ;
- б) шинные трансформаторы тока типа ТПШЛ, ТШ.

Шинные трансформаторы тока выпускаются на номинальные токи 2000 А и более. В качестве первичной обмотки в этих трансформаторах используют шину распределительного устройства. Это позволяет уменьшить число контактных соединений и упрощает монтажные работы.

Многовитковые катушечные трансформаторы тока типа ТКЛ используются в распределительных сетях с токами до 600 А и напряжением до 10 кВ.

Для наружной установки выпускаются многовитковые трансформаторы тока типов ТФН, ТФНД, ТФНКД.

Встроенные трансформаторы тока устанавливаются во вводах многообъемных масляных выключателей и силовых трансформаторов. Применение встроенных трансформаторов тока упрощает и удешевляет конструкцию распределительного устройства. Независимо от конструкции первичную обмотку трансформатора тока включают последовательно в цепь измеряемого тока.

3 Назначение, типы и конструкции измерительных трансформаторов напряжения

Трансформаторы напряжения служат для преобразования высокого напряжения в низкое стандартных значений (100, 100/3, 100/√3 В), используемое для питания измерительных приборов и различных реле управления, защиты и автоматики. Они, так же как и трансформаторы тока, изолируют (отделяют) измерительные приборы и реле от высокого напряжения, обеспечивая безопасность их обслуживания.

Для безопасного обслуживания вторичных цепей в случае пробоя изоляции и попадания высокого напряжения на вторичную обмотку один из зажимов вторичной обмотки или нулевая точка присоединяется к заземлению.

Трансформатор напряжения в отличие от трансформатора тока работает в режиме, близком к холостому ходу, так как сопротивление параллельных катушек приборов и реле большое, а ток, потребляемый ими, невелик.

Особенности конструкции:

По конструкции различают трехфазные и однофазные трансформаторы. Трехфазные трансформаторы напряжения применяются при напряжении до 18 кВ, однофазные – на любые напряжения.

По типу изоляции трансформаторы могут быть сухими, масляными и с литой изоляцией.

Обмотки сухих трансформаторов выполняются проводом ПЭЛ, а изоляцией между обмотками служит электрокартон. Такие трансформаторы применяются в установках до 1000 В НОС-0,5.

Трансформаторы напряжения с масляной изоляцией применяются на напряжение 6 - 1150 кВ в закрытых и открытых распределительных устройствах. В этих трансформаторах обмотки и магнитопровод залиты маслом, которое служит для изоляции и охлаждения.

Однофазные трансформаторы делятся на двухобмоточные: НОМ-6, НОМ-10, НОМ-15, НОМ-35 и трехобмоточные: ЗНОМ-15, ЗНОМ-20, ЗНОМ-35.

Трансформаторы типов ЗНОМ-15, ЗНОМ-20, ЗНОМ-24 устанавливаются в комплектных шинпроводах мощных генераторов. Для уменьшения потерь от намагничивания их баки выполняются из немагнитной стали.

В установках 110 кВ и выше применяются трансформаторы напряжения каскадного типа НКФ. В этих трансформаторах обмотка ВН равномерно распределяется по нескольким магнитопроводам, благодаря чему облегчается ее изоляция.

Чем выше напряжение, тем сложнее конструкция трансформаторов напряжения, поэтому в установках 500 кВ и выше применяются трансформаторные устройства с емкостным отбором мощности, присоединенные к конденсаторам высокочастотной связи с помощью конденсатора отбора мощности - емкостного трансформатора напряжения НДЕ.

4 Электрические схемы присоединения контрольно-измерительных приборов (КИП) на электрических подстанциях и электростанциях

На рис.23, 24, 25 показано расположение измерительных приборов применительно к блочной электростанции типа КЭС, на ТЭЦ с РУ генераторного напряжения и на подстанции. Пунктиром показаны приборы, устанавливаемые при определенных условиях.

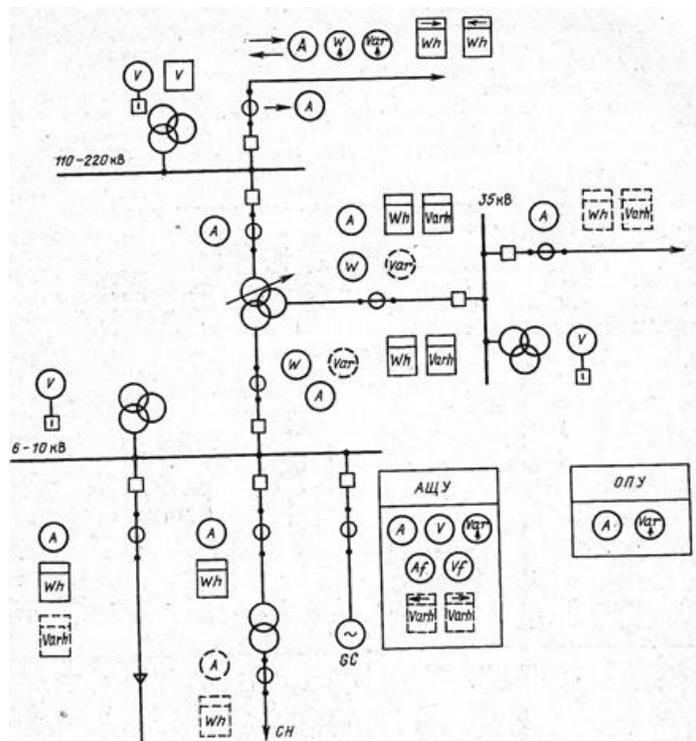


Рисунок 25 – Пример размещения измерительных приборов в основных цепях подстанции

5 Выбор измерительных трансформаторов

Трансформаторы тока выбирают по номинальному напряжению, номинальному току первичной цепи, классу точности и номинальной мощности вторичной цепи.

При выборе трансформаторов тока по номинальному напряжению и току первичной цепи должны быть выполнены следующие условия:

$$U_{н.уст} \leq U_{н.тт} \qquad I_{раб} \leq I_{н1}$$

- где $U_{н.уст}$ – номинальное напряжение электроустановки, кВ;
 $U_{н.тт}$ – номинальное напряжение трансформатора тока, кВ;
 $I_{раб}$ – рабочий ток в силовой цепи, А;
 $I_{н1}$ – номинальный ток первичной обмотки трансформатора тока,

Трансформаторы тока выбирают по классу точности в зависимости от типа и класса точности присоединяемых к ним приборов в соответствии с требованиями главы 1.6 ПУЭ.

Выбор трансформаторов тока по мощности сводится к сравнению его номинальной вторичной мощности с расчетной вторичной нагрузкой. При этом должно быть выполнено условие: $S_{расч.2} \leq S_{н2}$

- где $S_{расч.2}$ – расчетная мощность вторичной цепи трансформатора тока, ВА;
 $S_{н2}$ – номинальная мощность трансформатора тока, ВА.

$$S_{н2} = I_{н2}^2 \cdot Z_{н2}$$

- где $I_{н2}$ – номинальный ток вторичной обмотки трансформатора тока, А;
 $Z_{н2}$ – номинальное сопротивление вторичной цепи трансформатора тока, Ом.

Расчетная мощность вторичной цепи трансформатора тока $S_{\text{расч2}}$ определяется по формуле (зависит от схемы соединения ТТ):

$$S_{\text{расч2}} = \Sigma S_{\text{приб}} + I_{\text{н2}}^2 \cdot R_{\text{пров}} + I_{\text{н2}}^2 \cdot R_{\text{к}},$$

- где $S_{\text{приб}}$ – потребляемая мощность приборов, подключенных к ТТ, ВА;
 $R_{\text{пров}}$ – активное сопротивление соединительных проводов, Ом;
 $R_{\text{к}}$ – активное сопротивление контактов (принимается равным 0,05 Ом при двух-трех и 0,1 Ом — при большем числе приборов).

Сопротивление соединительных проводов определяют по формуле:

$$R_{\text{пров}} = \frac{S_{\text{н2}} - (\Sigma S_{\text{приб}} + I_{\text{н2}}^2 R_{\text{к}})}{I_{\text{н2}}^2}$$

или $R_{\text{пров}} = Z_{\text{н2}} - (\Sigma Z_{\text{приб}} + R_{\text{к}})$

Сечение соединительных проводов определяют по формуле:

$$F_{\text{пров}} = \rho \frac{I_{\text{расч}}}{R_{\text{пров}}}$$

- где ρ – удельное сопротивление материала провода: медь – $\rho = 0,0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$; алюминий – $\rho = 0,0283 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$

Расчетная длина соединительных проводов зависит от расстояния между трансформаторами тока и подключенными к ним приборами, а также от схемы включения приборов во вторичную цепь трансформаторов.

Если l – длина соединительных проводов в один конец, то при:

- соединении трансформаторов тока по схеме полной звезды – $l_{\text{расч}} = l$;
- при соединении ТТ по схеме неполной звезды – $l_{\text{расч}} = \sqrt{3} l$;
- при включении приборов в цепь одного трансформатора тока – $l_{\text{расч}} = 2l$.

При этом длина l , м, может быть принята ориентировочно:

все цепи ГРУ 6 - 10 кВ, кроме линий к потребителям40-60
 цепи генераторного напряжения блочных электростанций ...20-40
 линии 6 кВ к потребителям4-6

все цепи РУ:

35 кВ.....60-75
 110 кВ.....75-100
 220 кВ100-150
 330-500150-175
 Синхронные компенсаторы25-40

По рассчитанному значению $F_{\text{пров}}$ выбирается ближайшее большее стандартное сечение с учетом механической прочности: для токовых цепей минимальное сечение медных жил принимается $2,5 \text{ мм}^2$, алюминиевых – 4 мм^2 . В качестве контрольных кабелей рекомендуются многожильные кабели марки АКРВГ, АКРВБГ, АКРНГ, АКВВГ и др. с алюминиевыми жилами и КРВГ, КРВБ, КРВБГ, КВВГ и др. с медными жилами. Сечение подбирается по стан-

дартному ряду: для медных проводников – 2,5 мм², 4 мм², 6 мм²; для алюминиевых – 4 мм², 6 мм², 10 мм².

Определяется действительная нагрузка на трансформатор тока:

$$S_{расч2} = \sum S_{приб} + I_{ном}^2 \frac{\rho \cdot l_{расч}}{F_{пров}} + I_{ном}^2 R_k$$

Проверка трансформаторов тока производится по:

– электродинамической стойкости токам КЗ:

$$i_{уд} \leq i_{дин}; \quad i_{уд} \leq \sqrt{2} \cdot I_{ном.1} \cdot k_э$$

где $k_э$ – кратность электродинамической стойкости по каталогу

Примечание: Шинные трансформаторы тока (в типе буква Ш) на электродинамическую стойкость не проверяются.

– термической стойкости токам КЗ:

$$B_k \leq I_{терм}^2 \cdot t_{терм}$$

Выбор измерительных трансформаторов напряжения

Трансформаторы напряжения выбирают по номинальному напряжению, по конструкции и схеме соединения обмоток, классу точности и вторичной нагрузке.

При выборе трансформатора напряжения по номинальному напряжению должно быть выполнено условие:

$$U_{н.уст} \leq U_{т.н1} ,$$

где $U_{т.н1}$ – номинальное напряжение первичной обмотки ТН.

По классу точности трансформаторы напряжения выбирают в зависимости от допускаемой погрешности в измерениях присоединяемых приборов. Так как от одного трансформатора напряжения могут питаться приборы с различными требованиями к точности измерения, то класс точности трансформатора напряжения выбирают, ориентируясь на присоединяемый к нему прибор наивысшего класса точности. Работа трансформатора напряжения в принятом классе точности гарантируется, если отклонение напряжения не выходит за пределы $\pm 10\%$ номинального.

Трансформаторы напряжения по вторичной нагрузке проверяют по условию:

$$S_2 \leq S_{т.н2} ,$$

где S_2 – вторичная нагрузка трансформатора напряжения;

$S_{т.н2}$ – номинальная мощность трансформатора напряжения в принятом классе точности;

Вторичную нагрузку трансформатора напряжения, S_2 , ВА, определяют по формуле:

$$S_2 = \sqrt{\left(\sum P_{приб}\right)^2 + \left(\sum Q_{приб}\right)^2}$$

где $P_{\text{приб}}$ – суммарная активная мощность присоединяемых приборов;
 $Q_{\text{приб}}$ – суммарная реактивная мощность присоединяемых приборов.

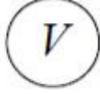
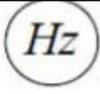
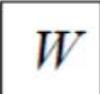
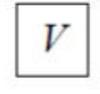
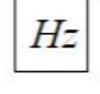
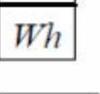
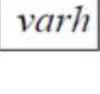
Так как обмотки в катушках приборов намотаны бифилярно, то:

$$S_{\text{приб}} \approx \Sigma P_{\text{приб}}.$$

Если нагрузка на фазы трансформатора напряжения неодинаковая, то мощность S_2 подсчитывают по наиболее нагруженной фазе.

Если в каталогах приведены нагрузки приборов, выраженные в Омах, то мощность приборов определяют по формуле:

$$S_{\text{приб}} = U_{\text{тн2}}^2 / Z$$

Приборы измерительные (показывающие)	
	Амперметры устанавливаются во всех электрических цепях, причем в цепях с равномерной нагрузкой они устанавливаются в одной фазе, а в цепях генераторов, воздушных линий напряжением 330 и 500 кВ. В цепях с неравномерной нагрузкой или четырехпроводных сетях амперметры устанавливаются во всех фазах.
 	Ваттметр и варметр - измеряет, соответственно, активную и реактивную мощность. Используются для контроля за работой генераторов по графику и учета распределения потоков мощности по основным элементам электроустановки (трансформаторы и линии связи).
	Вольтметры используются для контроля качества электроэнергии по напряжению. Они устанавливаются на сборных шинах и в цепи статора турбогенераторов.
	Частотомеры используются для контроля качества электроэнергии по частоте, устанавливаются на сборных шинах и в цепи статора турбогенераторов.
	Синхроскопы - используются для синхронизации при включении генераторов на параллельную работу.
Приборы регистрирующие (самопишущие)	
	Регистрирующий ваттметр - устанавливается в цепи генераторов. На станциях средней и большой мощностей устанавливаются суммирующие ваттметры, показывающие суммарную мощность станции в данный момент. Такие приборы устанавливаются и на диспетчерских пунктах энергосистем.
	Регистрирующие вольтметры - устанавливаются на шинах станции.
	Регистрирующие частотомеры - устанавливаются на шинах станции
Приборы интегрирующие	
 	Счетчики активной и реактивной энергии используются для учета вырабатываемой, отпускаемой потребителям и расходуемой на собственные нужды электроэнергии. Устанавливаются в цепях генератора, трансформаторов собственных нужд и потребительских линий.