

ЛЕКЦИЯ 3

ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

3.1 Общие положения

В системе электроснабжения ОГР, где широко применяются смешанные (воздушные и кабельные) сети (чаще всего нестационарные), передвижное электрооборудование (ПКТП, ППП различного напряжения и др.), а также машины, которые работают на открытом воздухе и постоянно перемещаются, возникают различные повреждения, ненормальные режимы работы и перенапряжения (как внутренние, так и атмосферные).

В результате механических повреждений, перенапряжения и ухудшения изоляции под воздействием атмосферных явлений и погодных условий происходят опасные утечки тока на землю и пробой в гибких кабелях. Воздушные ЛЭП повреждаются при сильных ветрах и взрывных работах, наездах на опоры и на линии негабаритными машинами и механизмами, а также средствами транспорта. Нередки случаи повреждения изоляторов, разъединителей и других элементов сети во время взрывных работ, атмосферных перенапряжений и от загрязнения (в связи с перекрытием), а также от других причин. В большинстве случаев повреждения вызывают однофазные замыкания на землю (80–90%) или наиболее опасные повреждения – междуфазные короткие замыкания (10–20%).

При ухудшении изоляции и однофазных замыканиях оказываются под напряжением нетоковедущие металлические части ЭО, горных машин и механизмов, транспортных средств и других коммуникаций, что повышает опасность поражения человека электрическим током. В целях обеспечения безопасного обслуживания СЭС ОГР наряду с организационными мерами применяют автоматическое отключение при снижении изоляции сети ниже определенных пределов и в других ненормальных режимах, а также заземляют корпуса ЭО, машин и металлоконструкций, которые могут оказаться под напряжением при нарушении изоляции.

К ненормальным режимам относятся различные неполадки в СЭС, связанные с перегрузками, снижением частоты, повышением или понижением напряжения в сети и на зажимах электродвигателей относительно номинального, а также режимы, при которых возможны выход из строя электроустановки и нарушение технологического процесса.

Наиболее распространенные виды релейной защиты в электроустановках ОГР – максимальная токовая защита (МТЗ) и защита от однофазных замыканий на землю (ОЗЗ) в сетях напряжением до и выше 1000 В.

Схема расстановки МТЗ и защиты от ОЗЗ в СЭС ОГР приведена на рис.16.

На РП 6–10 кВ понизительных подстанций 110-35/6-10 кВ преимущественное распространение получили схемы управления и релейной защиты на переменном оперативном токе. Источником оперативного тока является ТСН мощностью до 63 кВА. Подключение ТСН между выводом силового трансформатора и выключателем 6–10 кВ вводной ячейки обеспечивает наличие оперативного тока при отключении ввода 6–10 кВ. Особенность релейной защиты на переменном оперативном токе – использование тока повреждения как источника энергии для приведения в действие устройств релейной защиты и приводов коммутационной аппаратуры. Это вызвано тем, что при близком КЗ напряжения на ТСН недостаточно для работы защитной аппаратуры.

Отключение поврежденного участка сети осуществляется установленным на этом участке выключателем под воздействием средств защиты; максимального токового реле, реле защиты от однофазного замыкания, реле минимального напряжения и т.п.

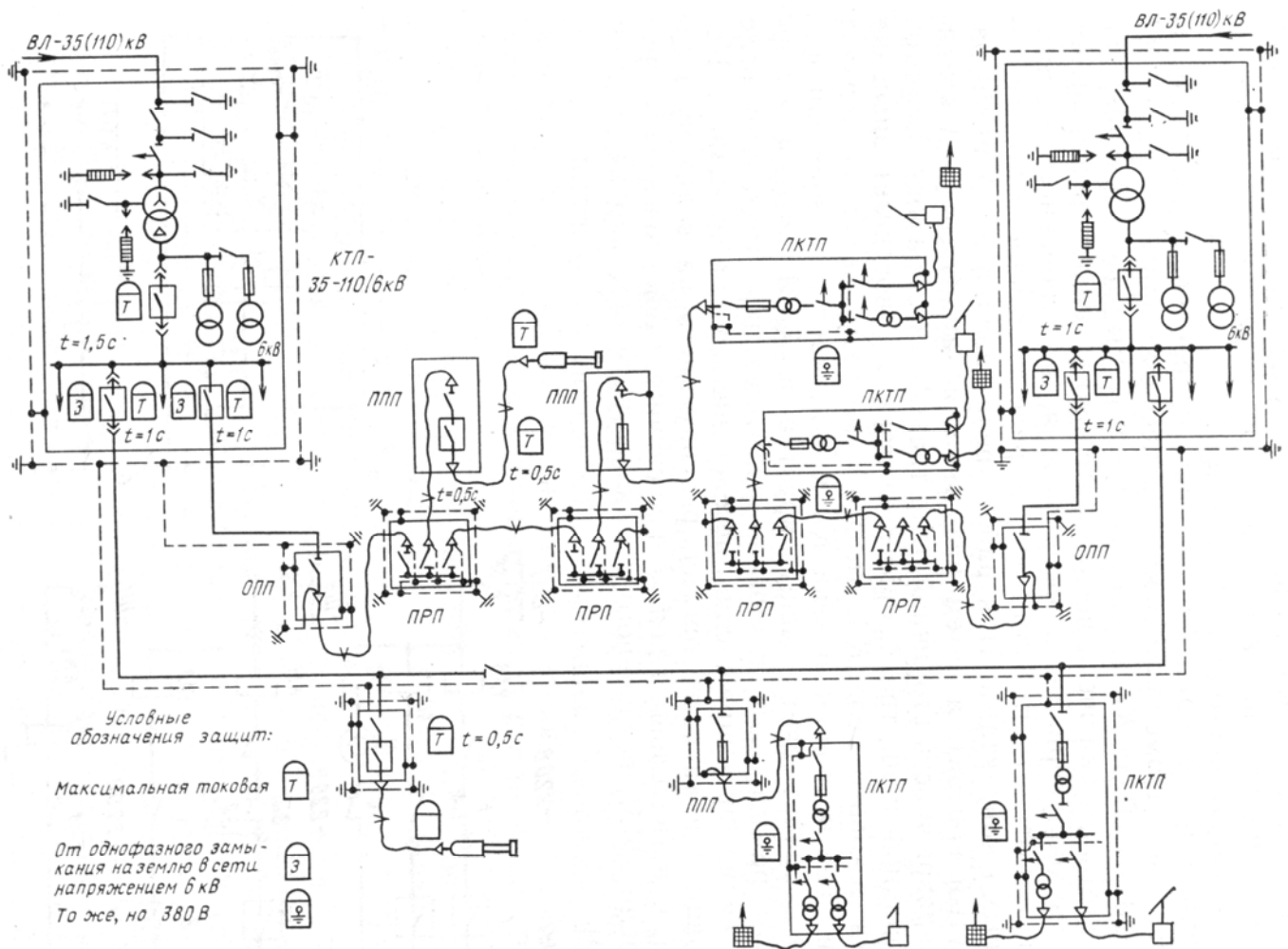


Рис.16. Схема расстановки защит на ОГР

В соответствии с ПУЭ и Едиными правилами безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом, электрические сети напряжением выше 1000 В на ОГР должны оснащаться устройствами релейной защиты от многофазных и однофазных замыканий на землю. Защита от многофазных замыканий выполняется в виде МТЗ в двухфазном исполнении с установкой трансформаторов тока в одни и те же фазы по всей электрически связанной сети. Устанавливается такая защита, как правило, на каждом отходящем присоединении подстанции, РП и в ППП.

Защита от ОЗЗ на ОГР должна действовать на отключение и выполняться в виде двухступенчатой защиты. Первая ступень защиты должна устанавливаться на каждом отходящем от шин карьерной подстанции или РП присоединении и действовать на отключение соответствующего выключателя без выдержки времени (возможна установка защиты и в ППП). Устройства защиты первой ступени выполняются в виде селективных устройств, обеспечивающих поперечную селективность действия и реагирующих в основном на ток или мощность нулевой последовательности. Обеспечить у защит первой ступени продольную селективность (избирательность) действия, учитывая недопустимость введения выдержек времени, практически не представляется возможным. Для исправления продольной неселективности действия первой ступени устройств защит от ОЗЗ допускается однократное автоматическое повторное включение при срабатывании указанной защиты с обязательным выполнением опережающего контроля изоляции.

Вторая ступень защиты от замыканий на землю выполняется в виде устройств, реагирующих на напряжение нулевой последовательности и действующих на отключение вводного выключателя (в РУ подстанции или РП) с выдержкой времени до 0,5 с.

Названные виды релейной защиты призваны обеспечить защиту распределительных сетей и установок ОГР от всех видов повреждений, включая и несимметричные. Значительное преобладание ОЗЗ, не явно выраженный аварийный характер работы сети при таком повреждении, а также значительный диапазон изменения параметров нулевой последовательности обусловили необходимость разработки большого количества разнообразных устройств защиты от ОЗЗ, которые классифицируются на четыре группы по принципу действия, а именно по реагированию:

- на параметры установившегося режима замыкания;
- на параметры переходного процесса при замыкании на землю;
- на наложенные токи не промышленной частоты;
- комбинированные устройства.

Защита силовых трансформаторов

Для защиты трансформаторов напряжением 35-110/6-10 кВ предусматриваются следующие виды защиты:

1. Дифференциальная токовая защита, которая действует мгновенно при коротких замыканиях внутри зоны защиты, ограниченной трансформаторами тока со стороны высшего и низшего напряжения для трансформаторов мощностью 6300 кВА и более.

2. Токовая отсечка, устанавливаемая со стороны высшего напряжения трансформатора и действующая мгновенно при КЗ на стороне высшего напряжения и в части обмотки трансформатора. Если трансформатор оборудован дифференциальной защитой, то токовую отсечку не устанавливают.

3. Газовая защита, действующая мгновенно на отключение трансформатора при интенсивном газообразовании внутри бака и на сигнал при слабом газообразовании.

4. Максимальная токовая защита – резервная для основных защит трансформатора, которая защищает трансформатор от сверхтоков при внешних КЗ. Защита выполняется двухступенчатой по времени. С меньшей выдержкой времени защита действует на отключение выключателя 6–10 кВ, с большей выдержкой – на отключение трансформатора со стороны высшего напряжения.

5. Защита от перегрузки, действующая на включение вентиляторов обдува при достижении нагрузкой трансформатора величины более 2/3 номинальной мощности и на сигнал при превышении номинальной мощности трансформатора.

Защита линий 6–10 кВ

Линии оборудуются следующими видами защит:

1. Токовой отсечкой, которая выполняется встроенным в привод выключателя реле тока мгновенного действия, включенным на разность токов двух фаз.

2. Максимальной токовой защитой, осуществляемой встроенным в привод реле тока с зависимой выдержкой времени, включенным на фазные токи.

3. Защитой от замыкания на землю с использованием чувствительного электромагнитного токового реле, которое подключается к трансформатору тока нулевой последовательности типа ТЗЛ для КЛ или к трансформаторному фильтру токов нулевой последовательности для ВЛ.

Защита двигателей 6 кВ

На линиях к двигателям 6 кВ устанавливают следующие виды защит:

1. Токовую отсечку или дифференциальную токовую защиту для двигателей мощностью более 5000 кВт или менее 5000 кВт, если токовая отсечка не удовлетворяет требованиям чувствительности.

2. Защиту от перегрузки, действующую на отключение.

3. Защиту от однофазного замыкания на землю.

4. Защиту минимального напряжения.

Три первых вида защит выполняют аналогично защитах линий. Защита минимального напряжения осуществляется с помощью встроенного в привод реле минимального напряжения РНВ, подключаемого ко вторичным цепям трансформатора напряжения.

3.2 Средства защиты в системах электроснабжения ОГР

3.2.1 Максимальная токовая защита электрических сетей

Воздушные и кабельные линии подвергаются повреждениям значительно чаще, чем все остальное электрооборудование ОГР. Для защиты ВЛ и КЛ применяют максимальную токовую защиту. Для обеспечения селективности действия защиты последовательно соединенных участков сети МТЗ должны иметь различное время срабатывания, возрастающее в направлении к источнику питания. Правильная ликвидация аварии будет лишь в том случае, если сработает только МТЗ и отключит выключатель, ближайший к месту повреждения. Для применяемых реле и выключателей ступень времени (разница между временем действия двух смежных защит) принимается равной 0,5–0,6 с.

Схемы МТЗ со встроенными в привод выключателя реле прямого действия типа РТВ показаны на рис.17.

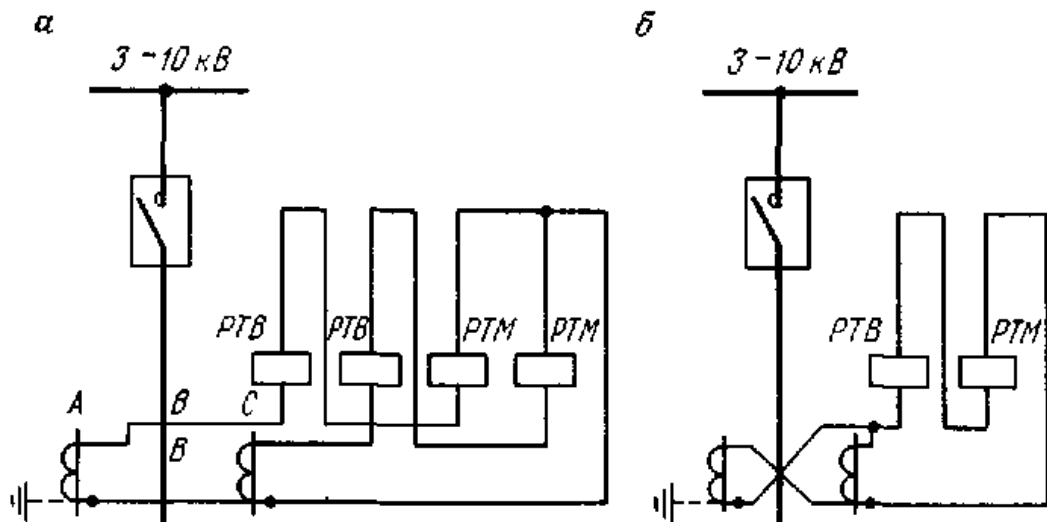


Рис.17. Схемы МТЗ с реле РТВ и токовой отсечки с реле РТМ: а – с двумя реле РТВ и РТМ; б – с одним реле РТВ и РТМ.

Ток срабатывания реле выбирается по выражению:

$$I_{cp} = \frac{K_n K_{cx} I_p^{\max}}{K_\epsilon K_{mm}},$$

где $K_n = 1,3$ – коэффициент надежности; K_{cx} – коэффициент схемы, т.е. отношение тока в обмотке реле к току во вторичной обмотке трансформатора тока в нормальном режиме; I_p^{\max} – максимальный рабочий ток линии, А; $K_\epsilon = 0,6-0,9$ – коэффициент возврата реле; K_{mm} – коэффициент трансформации трансформаторов тока.

При соединении ТТ в звезду или неполную звезду (рис.17, а) $K_{cx} = 1$, при соединении в открытый треугольник и на разность токов двух фаз (рис.17, б) $K_{cx} = \sqrt{3}$.

Для быстрого отключения линии при КЗ предусматривается токовая отсечка без выдержки времени, отличие которой от МТЗ заключается в том, что ток срабатывания

отсечки определяется по току КЗ при повреждении в конце линии (рис.18). Ток срабатывания реле отсечки

$$I_{cp} = \frac{K_n K_{cx} I_k^{max}}{K_{mm}},$$

где I_k^{max} – максимальный ток трехфазного короткого замыкания в конце линии.

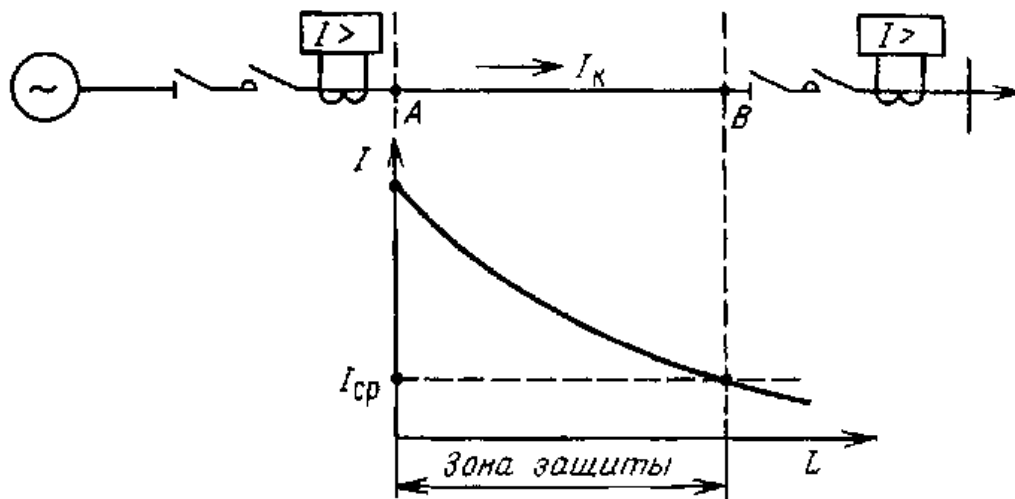


Рис.18. Зона защиты токовой отсечки

Селективность действия токовой отсечки достигается ограничением зоны ее действия. Принцип действия отсечки основан на том, что ток КЗ уменьшается при удалении места КЗ от источника питания (рис.18). По условию селективности отсечка без выдержки времени должна работать при КЗ в зоне защиты (линия АВ) и не должна работать за пределами защищаемой линии АВ. В схеме защиты, показанной на рис.17, токовая отсечка выполнена с реле РТМ.

На коротких воздушных и кабельных линиях мгновенная токовая отсечка не используется, так как ее невозможно отстроить от тока КЗ в конце линии. Для улучшения характеристик токовых защит линий в случае необходимости применяют защиты с реле косвенного действия и дешунтированием встроенных реле.

3.2.2 Защита от однофазных замыканий на землю в сетях 6–10 кВ

Все отходящие от подстанций линии напряжением выше 1000 В должны иметь селективную защиту от ОЗЗ, удовлетворяющую следующим требованиям:

- защита должна охватывать все электрически связанные сети карьера и других присоединенных потребителей;
- время срабатывания основной защиты внутрикарьерных линий должно быть не более 0,2 с, а резервная должна иметь выдержку времени, не превышающую 0,5 с.

В связи с малыми токами ОЗЗ на ОГР возникают большие трудности в создании надежной селективной защиты.

На рис.19, а приведена схема распределительной сети при ОЗЗ, на которой показано направление токов ОЗЗ, обусловленных емкостью фаз сети относительно земли. Ток I_{c3} поврежденной линии ЛЗ имеет направление от шин, токи I_{c1} и I_{c2} неповрежденных линий Л1 и Л2 направлены к шинам подстанции. Для селективного действия защиты необходимо отключение только поврежденной линии ЛЗ. Селективная защита от ОЗЗ может быть токовой и направленной.

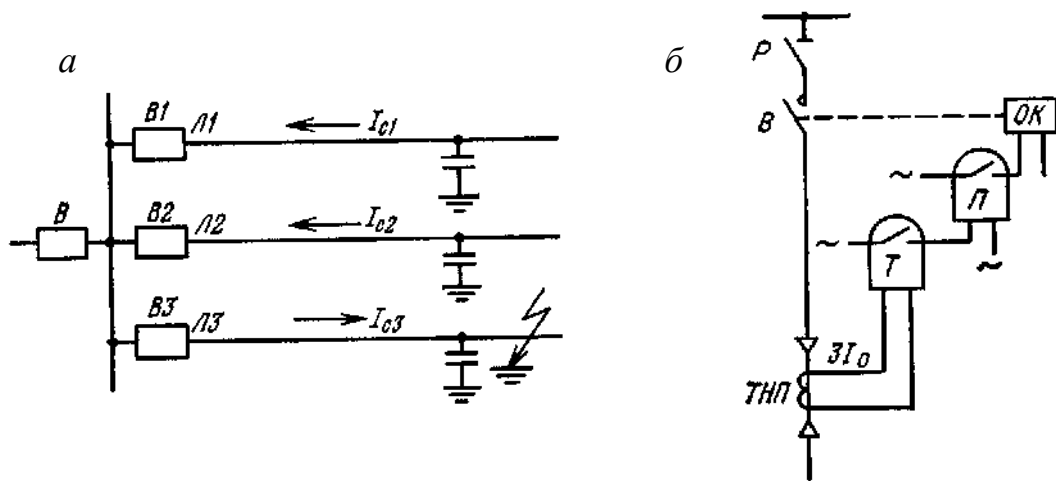


Рис.19. Однофазное замыкание на землю в распределительной сети (а) и схема токовой защиты от ОЗЗ (б)

На рис.19, б показана схема токовой защиты от ОЗЗ. К обмотке трансформатора тока нулевой последовательности *ТНП* подключено токовое реле *Т*. При отсутствии однофазного замыкания на землю токи фаз равны и ток нулевой последовательности $3I_0$ равен нулю. При замыкании одной из фаз сети на землю симметрия токов нарушается и во вторичной обмотке *ТНП* появляется ток $3I_0$; реле *Т* срабатывает, включает своим контактом промежуточное реле *П*, которое дает питание на отключающую катушку *ОК* выключателя для отключения поврежденную линию.

Недостатком селективной токовой защиты является то, что селективности ее действия можно достичь при собственных емкостных токах линий (I_{c1} , I_{c2} и I_{c3}), не превышающих 10–15% общего тока ОЗЗ.

Значительно лучшей в отношении селективности является направленная защита, т.е. защита, реагирующая на направление мощности нулевой последовательности, которое различно в поврежденной и неповрежденной линиях (см. рис.19, а).

На рис.20, а приведена схема направленной защиты от ОЗЗ. Реле направления мощности *М* имеет обмотки токовую и напряжения. Первая подключается к трансформатору *ТНП* ($3I_0$), вторая – к обмотке трансформатора напряжения *НТМИ* ($3U_0$). В этой защите в настоящее время применяют реле ЗЗП-1м и РЗН-3.

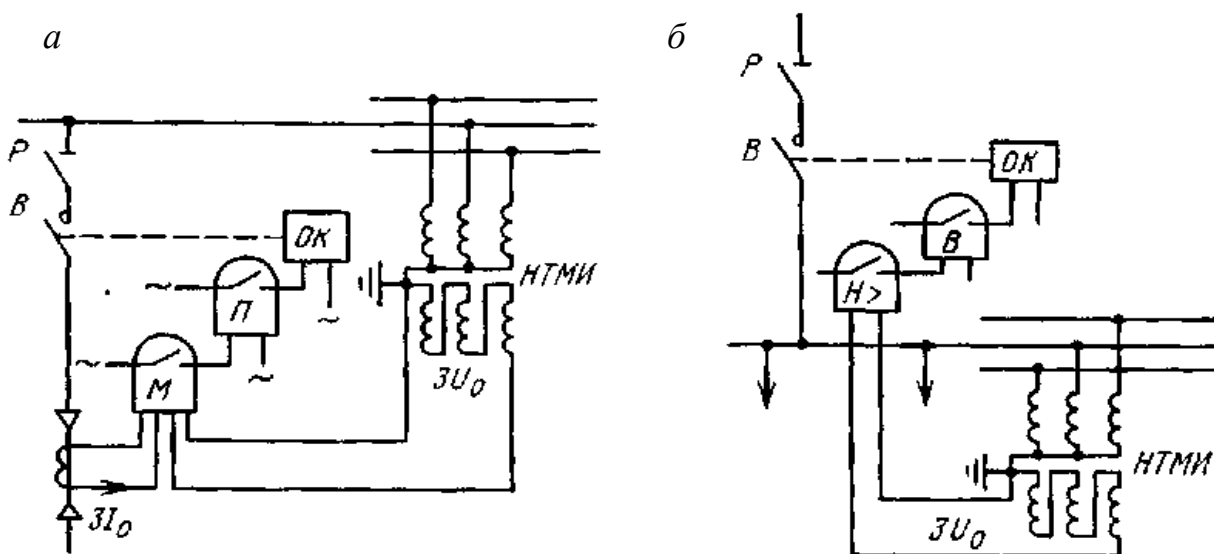


Рис.20. Схемы защит от ОЗЗ: а – направленной, б – реагирующей на напряжение нулевой последовательности.

В качестве резервной защиты, которая действует на отключение общего выключателя B (см. рис.19, a), при отказе основных защит линий применяют неселективную защиту, реагирующую на напряжение нулевой последовательности $3U_0$. Схема такой защиты приведена на рис.20, $б$. При ОЗЗ в любой линии, отходящей от подстанции, на обмотке трансформатора $HTMI$ и реле напряжения H появляется напряжение нулевой последовательности $3U_0$. Реле H срабатывает, своим контактом H замыкает обмотку реле времени B и, если не сработает основная защита линий, через 0,4–0,5 с контакт реле времени включит отключающую катушку выключателя B . Шины подстанции и все линии отключатся от электроснабжения.

Серийно выпускаемые защита $ЗЗП-1$ и ее модификация $ЗЗП-1м$ предназначены для селективного отключения защищаемого присоединения при ОЗЗ в сетях ОГР напряжением 6–10 кВ с суммарными емкостными токами от 0,2 до 20 А и с использованием кабельных трансформаторов тока нулевой последовательности (ТТНП) типов ТЗЛ, ТЗ, ТФ и др.

Защита непригодна для работы в среде: взрывоопасной; насыщенной токопроводящей пылью (угольной, абразивной и т. п.); насыщенной водяными парами (и в местах, не защищенных от попадания воды); содержащей активные химические газы и пары, разрушающие изоляцию и металл, а также в условиях вибрации и тряски.

На рис.21, a показана схема включения $ЗЗП-1$ ($ЗЗП-1М$) в РУ-6 кВ подстанции или РП. $ЗЗП$ подключается к трансформатору напряжения TV ($HTMI$) через контакты реле максимального напряжения (а не тока) и вспомогательное устройство $ВУ$ к трансформатору тока нулевой последовательности $ТА$, защищаемой линии и к источнику постоянного тока напряжением 24 В. Устройство $ВУ$ представляет собой LC-фильтр, настроенный на частоту 50 Гц и предназначенный для защиты элементов фазочувствительного усилителя от перенапряжения. На одно $ВУ$ может быть включено до 10 защит.

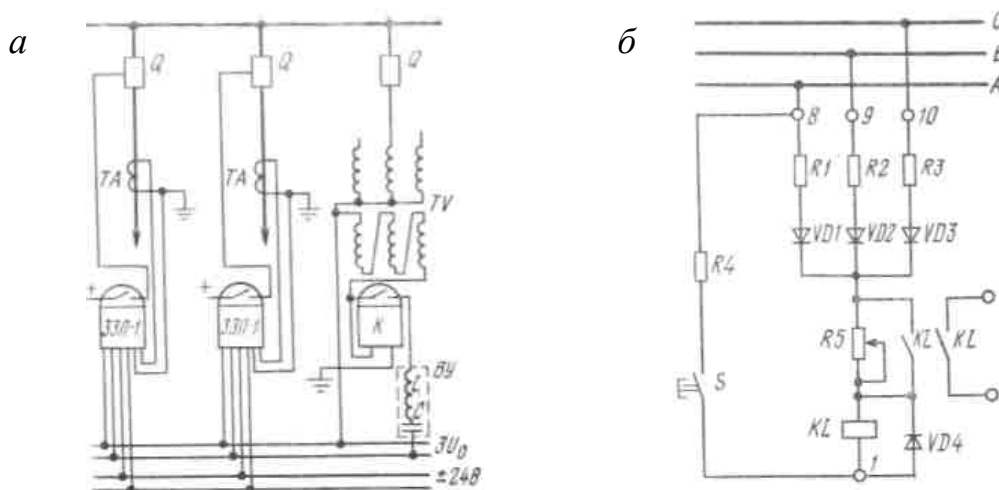


Рис.21. Схема включения $ЗЗП-1м$ в РУ-6 кВ (а) и принципиальная схема реле контроля изоляции РКЗ-Н51 (б).

$ЗЗП-1М$ по сравнению с $ЗЗП-1$ обладает повышенной надежностью и помехоустойчивостью благодаря наличию в усилителе переменного тока частотно-зависимой обратной связи. В остальном схема $ЗЗП-1$ и ее модификации $ЗЗП-1М$ аналогичны.

Защита $РЗН-3$ рассчитана на применение в сети 6–35 кВ с полным током замыкания на землю 0,5 А, а также в некоторых случаях при меньших емкостных токах, но с использованием трансформатора напряжения типа $HTMI$ с короткозамкнутой вторичной обмоткой нулевой последовательности.

Основными элементами реле РЗН-3, выполняющими функцию фазочувствительного органа, являются два реле с герметизированными контактами – герконы, которые имеют высокий коэффициент возврата (близкий к 1), небольшую массу, малую инерционность, подвижность частей и длительный срок службы. При возникновении однофазного замыкания на землю оба геркона срабатывают в один период времени и подают питание на катушку промежуточного реле, которое срабатывает и дает сигнал на отключение выключателя данного присоединения.

3.2.3 Защита от однофазных замыканий на землю в сетях до 1000 В

Контроль состояния изоляции и отключения в сетях напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью осуществляется с применением устройств защиты от утечек тока на землю. Защита от утечек тока на землю в сетях до 1000 В должна реагировать:

- на снижение только активной составляющей сопротивления изоляции сети;
- на симметричные и несимметричные снижения сопротивления изоляции;
- на касание человека к токоведущим частям. Время срабатывания защиты и коммутационного аппарата не должно превышать 0,2 с. Защита не должна срабатывать при коммутационных переходных процессах.

Для непрерывного контроля сопротивления изоляции в сетях переменного тока до 1000 В используют либо токи нулевой последовательности, либо выпрямленные токи. При контроле изоляции токами нулевой последовательности применяют асимметры, состоящие из трех равных по величине сопротивлений (активных и реактивных), соединенных в звезду. Нулевая точка звезды через реле и измерительные приборы присоединяется к заземленному ЭО. Другие концы сопротивлений звезды асимметра присоединяются к трем фазам сети. При повреждении изоляции через асимметр проходят токи нулевой последовательности, которые воздействуют на измерительные приборы и реле. Для контроля изоляции выпрямленными токами применяют три полупроводниковых вентиля, подключенных к фазам контролируемой сети.

Реле контроля изоляции РКЗ-Н51 (рис.21, б), применяемое для защиты от токов утечки в сетях напряжением 380, 220 и 127 В, состоит из трехфазного выпрямителя (диоды VD1, VD2, VD3) и реле KL (постоянного тока типа МКУ-48). При снижении полного сопротивления изоляции ниже установленного предела (1200–6000 Ом в зависимости от напряжения сети) реле KL срабатывает и замыкающими контактами либо включает сигнал, либо воздействует на выключатели. Вторые контакты реле KL закорачивают сопротивление R5, что предотвращает возможное подгорание контактов реле при перемежающихся замыканиях на землю. Сопротивления R1, R2, R3 служат для ограничения тока в случае пробоя одного из диодов или междуфазного КЗ, а также для снижения обратного напряжения, приложенного к диодам. Защита имеет одинаковую чувствительность к симметричным и несимметричным утечкам тока через изоляцию на земле.

Значительно лучшие технические характеристики имеют рудничные (шахтные) устройства защиты УАКИ-220/127, УАКИ-380, АЗАК-380, РУ-127/220, которые получили наибольшее распространение на ОГР. Однако длительный опыт эксплуатации таких реле утечки и различных устройств контроля изоляции на экскаваторах выявил целый ряд конструктивных недостатков, снижающих эффективность их применения. В связи с этим потребовалась разработка специального аппарата защиты АБЭК-1 (аппарат электробезопасности экскаваторный комплексный).

Этот аппарат – устройство многофункционального назначения, предназначенное для повышения электробезопасности при обслуживании экскаваторов с ковшом вмести-

мостью до 25 м³ и для снижения аварийности в сетях постоянного тока главных электроприводов. Аппарат обеспечивает защиту людей от поражения электрическим током и от других опасных последствий утечек тока на землю в электрических сетях трехфазного переменного тока напряжением 127, 220, 380 В и постоянного тока систем главных приводов напряжением до 900 В, а также контроль целостности заземляющей жилы кабеля, питающего экскаватор.

3.2.4 Защита от атмосферных перенапряжений

В процессе эксплуатации изоляция ЭО периодически подвергается воздействию кратковременных повышений напряжения сверх номинального. Различают внешние и внутренние перенапряжения. Внешние или атмосферные перенапряжения появляются в электрических системах в результате грозовой деятельности. Внутренние перенапряжения возникают при коммутациях в сети и при некоторых переходных режимах, связанных с несимметричными короткими замыканиями. Электрические сети, ЭО и другие объекты ОГР вследствие разветвленности, большой протяженности и расположения на открытом воздухе часто подвергаются воздействию атмосферных перенапряжений.

На ОГР защите от атмосферных перенапряжений подлежат воздушные ЛЭП, подстанции и вращающиеся машины, которые работают во время грозы.

Наиболее надежная защита линий от атмосферных перенапряжений – тросовые молниеотводы, заземленные на каждой опоре. Защитное действие тросов по отношению к крайним проводам линии характеризует защитный угол α (рис.22, а), значение которого рекомендуется $\alpha = 20\text{--}30^\circ$. Внутренняя область защиты двух тросовых молниеотводов ограничивается дугой окружности, проходящей через тросовые молниеотводы и точку, расположенную между ними.

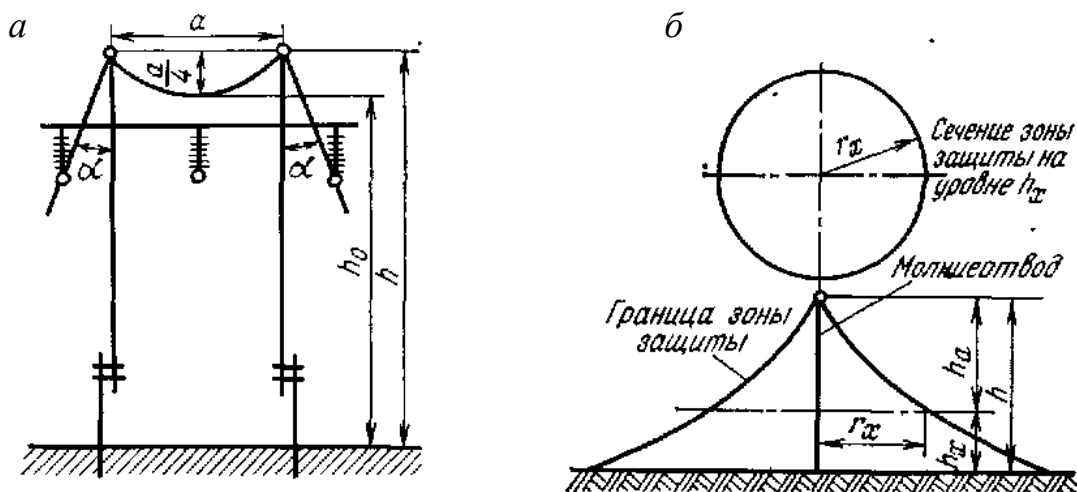


Рис.22. Защитная зона стержневого (б) и тросовых (а) молниеотводов

Защита тросами по всей длине осуществляется для линий напряжением 110 кВ и выше с металлическими и железобетонными опорами. Линии напряжением 35 кВ и ниже от прямых ударов молнии не защищаются, а защищаются только от перенапряжений в местах с ослабленной изоляцией трубчатыми разрядниками (места пересечения линий, отдельные металлические и железобетонные опоры на линии с деревянными опорами).

Грозозащита подстанций и вращающихся машин состоит из двух видов защиты: от прямых ударов молнии и от грозовых волн, набегающих с ЛЭП. Защита от прямых ударов молнии выполняется с помощью стержневых (отдельно стоящих и установленных на

заземленных конструкциях подстанций) или тросовых молниеотводов, обеспечивающих высокую надежность защиты от прямых ударов. Каждый молниеотвод состоит из молниеприемника, установленного над защищаемым объектом, заземлителя и токоотводящих спусков, соединяющих молниеприемник с заземлителем. В соответствии с требованиями грозоупорности электротехнических установок сопротивления заземлений молниеотводов на линиях должны быть $\leq 10\text{--}15$ Ом, а на подстанциях – $\leq 4\text{--}5$ Ом.

Защита электрических сетей

В стационарных ВЛ местами ослабленной изоляции считают и защищают от атмосферных перенапряжений:

а) в районах со слабой и умеренной грозовой активностью – переходы "воздушная линия – кабель", пересечения с другой электрической линией либо с линиями связи;

б) в районах с сильной грозовой активностью – то же и линейные разъединители, места перехода с опор одного типа на другой.

Передвижные ВЛ от атмосферных перенапряжений защищаются исходя из срока службы (или срока между передвижками) линии: при сроке службы более двух лет – как стационарные ВЛ; менее двух лет – только в местах пересечения.

Места перехода с ВЛ на КЛ защищают одним комплектом трубчатых разрядников, устанавливаемых на опоре перехода. Кабельные вставки должны быть защищены с обеих сторон трубчатыми разрядниками. Для защиты мест перехода с деревянных опор на железобетонные и металлические применяют трубчатые разрядники, которые устанавливают на первых железобетонных или металлических опорах.

При пересечении между собой ВЛ на деревянных опорах устанавливают трубчатые разрядники. Если расстояние от места пересечения до ближайшей опоры не превышает 40 м, то разрядники предусматривают только на этой опоре.

На деревянных опорах ВЛ, ограничивающих пролет пересечения с линиями связи и сигнализации, устанавливают трубчатые разрядники, если расстояние по вертикали между ними < 4 м. Разъединители на ВЛ защищаются со стороны источника питания комплектом трубчатых разрядников. На линиях с двусторонним питанием трубчатые разрядники устанавливаются с обеих сторон разъединителей. В передвижных электрических распределительных сетях установка защитных промежутков не допускается.

Для защиты от атмосферных перенапряжений стационарных и передвижных контактных и питающих сетей электрифицированного ж.д. транспорта предусматривается установка вентильных и трубчатых разрядников. Места установки и их количество зависят от рода тока, принятого на ОГР для откатки.

Защита ПКТП и РУ

ОРУ и ПКТП напряжением 35/6–10 кВ с трансформаторами мощностью 1600 кВА и более защищаются в районах с числом грозовых часов > 20 от прямых ударов молний и волн перенапряжений, набегающих с линий, и < 20 от волн перенапряжений, набегающих с линий (защита от прямых ударов молнии не требуется). ПКТП-35/6-10 кВ с трансформаторами мощностью менее 1600 кВА защищается только от волн перенапряжений, набегающих с линий, независимо от числа грозовых часов в году.

Защита ПКТП напряжением 6–10/0,23–0,4 кВ при мощности трансформатора 630 кВА и менее осуществляется со стороны высшего напряжения установкой комплекта вентильных разрядников на вводе подстанции или на сборе у трансформатора (до предохранителей). Со стороны низшего напряжения при длине отходящих ВЛ или КЛ до 500 м защита не предусматривается. При длине ВЛ > 500 м и изолированной нейтрали осуществляется защита со стороны низшего напряжения установкой низковольтных вентильных разрядников, присоединенных к шинам РУ-0,23-0,4 кВ.

Защита ПКТП-6-10/0,23-04 не требуется, если они подключены к ВЛ через ППП, оборудованные вентильными разрядниками. В случаях применения шахтных подстанций ТСШВП, ТСВП и других с пониженной импульсной прочностью изоляции трансформаторов защита необходима.

Защита вращающихся электрических машин

Экскаваторы, получающие питание по гибким кабелям и не отключаемые во время грозы, защищаются от атмосферных перенапряжений следующим образом:

- одноковшовые экскаваторы с ковшом вместимостью 13 м^3 и более, роторные комплексы, многоковшовые экскаваторы, отвалообразователи и транспортно-отвальные мосты путем установки двух комплектов вентильных разрядников в приключательном пункте и на экскаваторе (рис.23, а);

- одноковшовые экскаваторы с ковшом вместимостью менее 13 м^3 с помощью комплекта вентильных разрядников, установленных в приключательном пункте (рис.23, б).

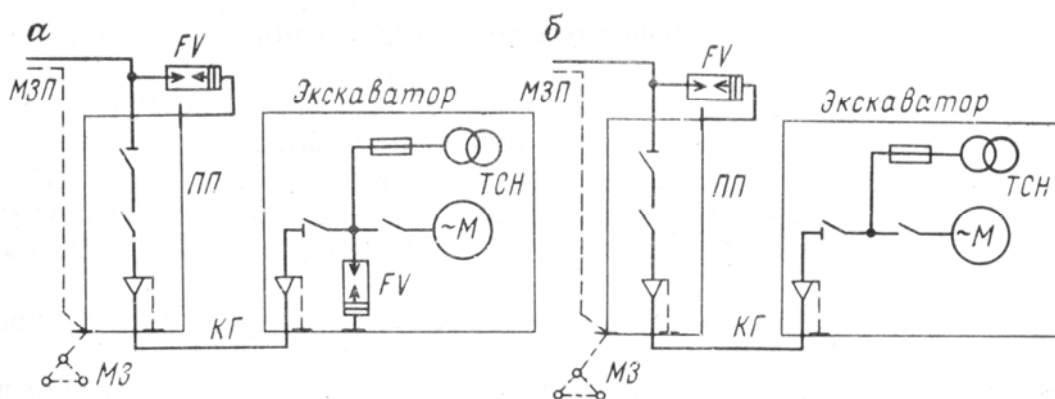


Рис.23. Схема защиты экскаваторов от атмосферных перенапряжений

Защита двигателей насосов, землесосов, установок гидромеханизации, насосов водоотливных установок и т.п., присоединенных к ВЛ 6–10 кВ непосредственно или через короткие (до 50 м) кабельные вставки с учетом грозовой активности и мощности двигателей, осуществляется:

- в районах с сильной грозовой активностью при единичной или суммарной мощности двигателей, одновременно работающих от одних шин, более или менее 1000 кВт соответственно по схемам на рис.24, а и б;

- в районах с умеренной и слабой грозовой деятельностью при суммарной мощности двигателей 3000 кВт и более и при суммарной мощности двигателей менее 3000 кВт без установки защитных емкостей соответственно по схемам на рис.24, б и в.

Защита двигателей напряжением $< 1000 \text{ В}$ осуществляется только при питании их по ВЛ длиной более 500 м установкой искрового разрядника с зазором 7–10 мм.

Для защиты оборудования РУ и трансформаторных подстанций от набегающих с линии волн импульсного напряжения применяют вентильные разрядники (рис.25, в). Эти разрядники состоят из фарфорового корпуса 1, искровых промежутков 2 и вилитовых дисков 3. Сопротивление вилита зависит от напряжения, с его увеличением сопротивление уменьшается. При подходе волны импульсного напряжения сопротивление вилитовых дисков резко уменьшается и энергия импульса отводится в землю. При восстановлении нормального напряжения сопротивление дисков увеличивается, что способствует быстрому гашению электрической дуги.

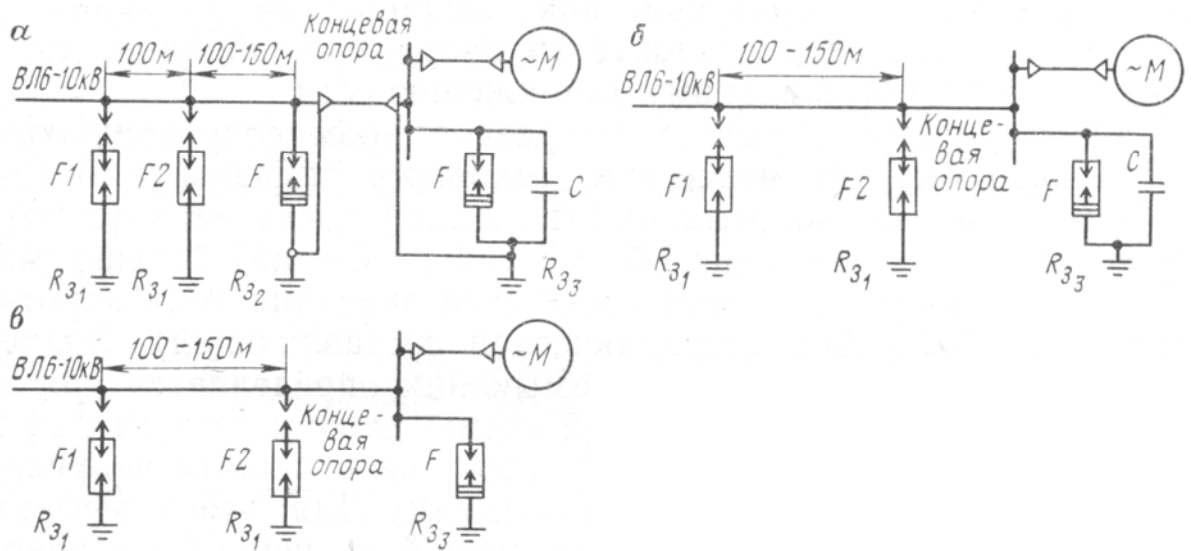


Рис.24. Схемы защиты двигателей 6–10 кВ от атмосферных перенапряжений

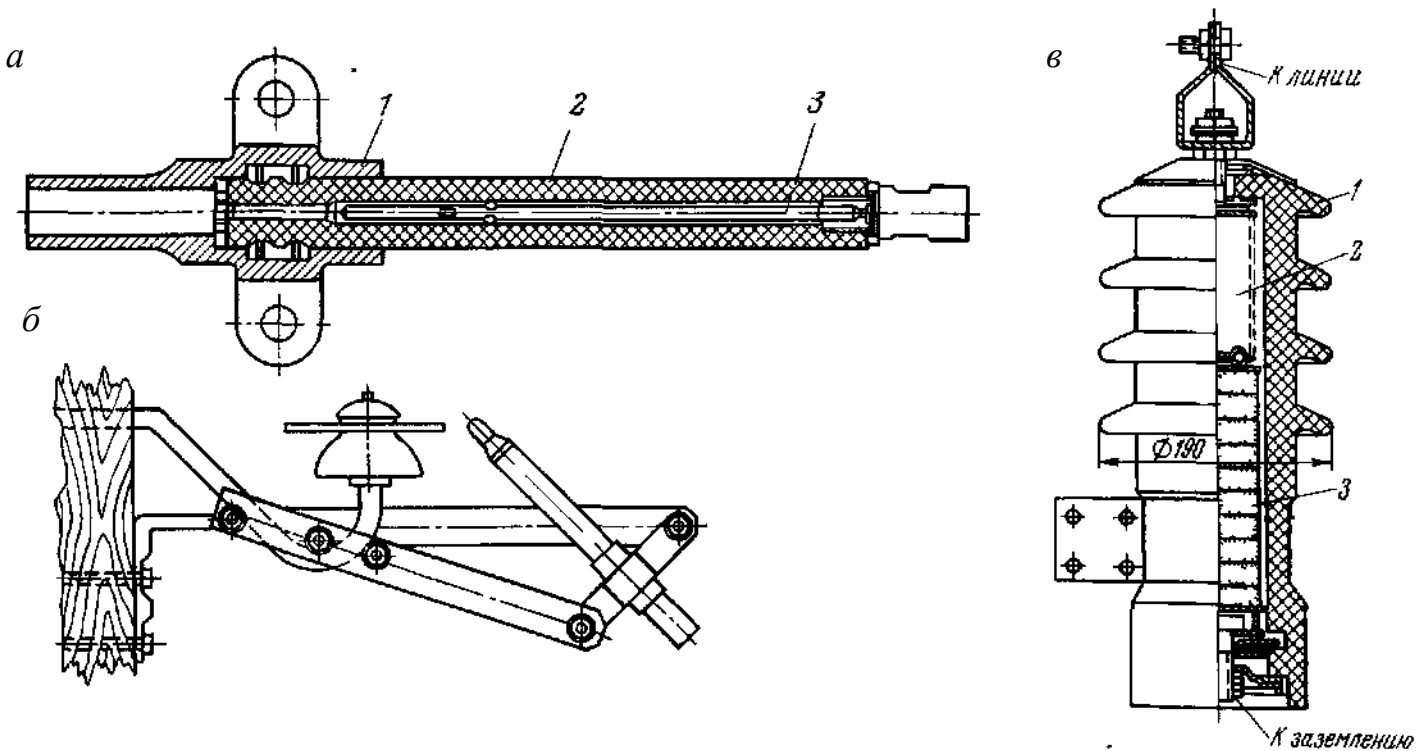


Рис.25. Общий вид (а) и установка (б) трубчатого разрядника, а также общий вид вентильного разрядника (в)

Для ограничения амплитуды, приходящей на подстанцию волны импульсного напряжения, на линиях с деревянными опорами, защищенных только на подходе, устанавливают трубчатые разрядники.

Трубчатый разрядник (рис.25, а) состоит из трубки 2, изготовленной из газогенерирующего материала (фибры, винилпласта или оргстекла), которая закреплена в металлической обойме 1. Внутри трубки находится стальной стержень 5. Внутри трубки между стержнем и обоймой имеется внутренний искровой промежуток, а между его другим концом и проводом линии – внешний искровой промежуток (рис.25, б). Обойма разрядника заземляется. При подходе к разряднику волн перенапряжения пробиваются оба промежутка и энергия импульса отводится в землю. Горящая дуга внутри трубки вызывает выделение газов, которые через отверстие выдувают и гасят дугу.

3.2.5 Защита от внутренних перенапряжений

Внутренние перенапряжения возникают в результате переходных электромагнитных процессов при коммутации в системе, резонансных и феррорезонансных явлениях, наложении двух или нескольких переходных режимов. Внутренние перенапряжения характеризуются уровнем или кратностью по отношению к амплитудному значению наибольшего фазового напряжения, длительностью, повторяемостью, степенью распространения по всей системе или только в ее ограниченных частях. В системах с изолированной нейтралью наибольшая кратность перенапряжений возможна также при однофазных замыканиях на землю. При металлическом замыкании напряжение неповрежденных фаз относительно земли становится равным линейному. Система содержит емкости и индуктивности, поэтому переход от начального состояния (нормальный режим) к установившемуся аварийному режиму является следствием колебательного процесса, в ходе которого потенциалы фаз могут превысить установившиеся значения. В переходном процессе перенапряжение носит характер кратковременного пика с амплитудой, достигающей $(2,1-2,3) U_{\phi}$.

ПУЭ предусматривается защита от внутренних перенапряжений в сетях напряжением 3–35 кВ двумя способами:

- выравниванием емкости фаз сети относительно земли (при необходимости компенсации емкостных токов однофазных замыканий). В этом случае степень несимметрии емкостей по фазам допускается не более 0,75%;

- включением активного сопротивления 25 Ом в цепь соединенных в разомкнутый треугольник трансформаторов напряжения, работающих по схеме контроля изоляции (при необходимости компенсации емкостных токов ОЗЗ (рис.26)).

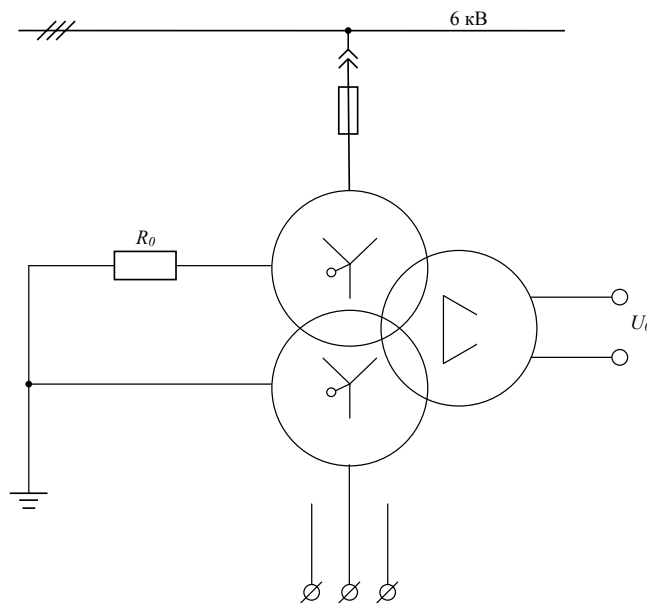


Рис.26. Схема включения сопротивления в нейтраль трансформатора НТМИ

На ОГР наряду с применением устройств защиты от ОЗЗ, работающих на автоматическое отключение, в целях компенсации емкостного тока замыкания на землю в сетях 6–10 кВ, нейтрали питающих подстанций заземляют через дугогасящие катушки (компенсированная нейтраль). Такой режим нейтрали рекомендуется для систем электропитания с токами замыкания на землю более 5 А, так как токи замыкания 5–10 А создают наиболее неустойчивые дуги и, следовательно, наибольшую вероятность максимальных перенапряжений. Успешное дугогашение и минимальные перенапряжения при

дуговых замыканиях на землю имеют место при отклонении отстройки от резонансной в пределах $\pm 5\%$.

В связи с переменным характером емкости сети из-за постоянного изменения работающих в СЭС кабелей и ЭО на ОГР не нашли применения дугогасящие катушки со ступенчатым регулированием индуктивности, а применяют включение дугогасящей катушки с автоматическим регулированием индуктивности. Для настройки дугогасящей катушки используют автоматическое устройство, основанное на зависимости напряжения на катушке от ее тока подмагничивания.

3.3 Средства автоматики в системах электроснабжения ОГР

Автоматизация систем электроснабжения ОГР повышает надежность электроснабжения, позволяет управлять подстанциями и карьерными распределительными пунктами без постоянного дежурного персонала на них, повышает качество энергии.

В системах электроснабжения ОГР в основном применяют: автоматическое повторное включение (АПВ) линий, автоматическое включение резерва (АВР), автоматическое регулирование коэффициента трансформации (автоматическое регулирование напряжения), автоматическое регулирование мощности конденсаторных установок, телемеханическое управление подстанциями и РП.

Сущность *автоматического повторного включения* состоит в том, что отключившаяся под действием релейной защиты ЛЭП через некоторое время (0,5–1,5 с) снова автоматически включается под напряжение. Если причина, вызвавшая срабатывание релейной защиты, исчезла, то линия остается в работе. При успешном действии АПВ резко сокращается длительность перерывов электроснабжения и простои горнотранспортных машин и механизмов.

Особенностью АПВ линий электропередач на ОГР является то, что оно должно иметь опережающий контроль изоляции сети, который запрещает действие АПВ при сопротивлении изоляции сети ниже допустимого.

Автоматическое включение резерва предназначено для быстрого и безотказного включения резервного источника питания. Устройство АВР должно удовлетворять следующим основным требованиям:

- резервное питание должно включаться только после отключения потребителя электроэнергии от основного источника питания;
- действие устройства должно быть однократным;
- для предотвращения нарушения технологического процесса АВР должно быть быстродействующим;
- при КЗ на линиях, отходящих от подстанции или РП, АВР не должно срабатывать;
- при срабатывании АВР должен быть подан сигнал.

Автоматическое регулирование мощности конденсаторных установок. При искусственной компенсации реактивных нагрузок и значительном их колебании необходимо применять устройства автоматического регулирования мощности конденсаторных установок в зависимости от уровня напряжения сети и потребности предприятия в покрытии реактивных нагрузок в различное время суток. Регулирование мощности конденсаторных установок может производиться вручную эксплуатационным персоналом, дистанционно и автоматически.

Автоматическое регулирование может быть одноступенчатым, когда автоматически включается и отключается вся конденсаторная установка, или многоступенчатым,

когда автоматически включаются или отключаются отдельные их секции, снабженные своими переключателями. Автоматическое регулирование мощности конденсаторных установок может выполняться по времени суток, напряжению, току нагрузки, направлению реактивной мощности, коэффициенту мощности и комбинированно.

Регулирование по времени суток наиболее простое, надежное и эффективное и может применяться для конденсаторных установок малой и средней мощности. Если дополнить регулирование по времени суток коррекцией по напряжению, т.е. блокировкой от реле напряжения, то такой принцип регулирования может удовлетворить максимуму условий и требованиям технологии производства и энергоснабжающих организаций.

Телемеханическое управление электроснабжением ОГР предусматривает управление подстанциями и распределительными пунктами с диспетчерского пункта.

В этом случае осуществляется телеуправление (ТУ), телесигнализация (ТС) и телеизмерение (ТИ). Телеуправление служит для передачи команд управления ("Включить", "Отключить"). Телесигнализация – передача сигнала о состоянии объекта управления ("Включено", "Выключено"). Телеизмерение применяют для передачи значений измеряемых величин (тока, мощности и т.п.).

На ОГР применяют в основном системы ТУ и ТС.

Передача сигналов телемеханики на ОГР возможна по специальным проводным линиям связи, высокочастотным каналам, совмещенным с существующими распределительными электрическими сетями и радиоканалам.

3.4 Заземление электроустановок на ОГР

Способы защиты от поражения электрическим током

Способы защиты от поражений электрическим током подразделяют на две группы: защиту от прикосновения к токоведущим частям (см. п.3.5) и защиту от опасности перехода напряжения на нетоковедущие части.

Для защиты от прикосновения к токоведущим частям требуется надежно "закрывать" или "оградить" все голые токоведущие части, напряжение которых превышает 65 В в помещениях без повышенной опасности, 36 В в помещениях с повышенной опасностью и 12 В – в особо опасных помещениях. Весьма важно обеспечить защиту людей от опасности, которая угрожает им в случае прикосновения к нетоковедущим металлическим частям, оказавшимся под напряжением вследствие нарушения изоляции.

Пробой изоляции на корпус двигателя, пускателя, на металлическую конструкцию распределительного устройства и т.п. влечет за собой переход напряжения на корпус ЭО. В этом случае оказываются под напряжением такие части механизмов, машин и аппаратуры, с которыми соприкасается обслуживающий персонал при работе. В результате этого человек оказывается под воздействием напряжения и при отсутствии соответствующих защитных устройств происходит несчастный случай.

Защита от поражения электрическим током при пробое изоляции на корпус может выполняться:

- защитными заземлениями;
- защитными отключениями;
- выравниванием потенциала;
- покрытием нетоковедущих частей изоляцией или изготовлением их из изолирующего материала;
- применением изолирующих подставок;
- применением пониженного напряжения.

На ОГР применяют главным образом защитное заземление и отключение.

Выравнивание потенциала производят главным образом при ремонте ВЛ напряжением свыше 1000 В без снятия напряжения. Пониженное напряжение (12 и 36 В) применяют при подземных разработках горнорудных шахт.

Защитное заземление

В соответствии с требованиями правил безопасности на ОГР должны заземляться корпуса и наружные металлические части всех машин и механизмов (конвейерные приводы, лебедки, электробуры, экскаваторы, буровые станки и т.п.), корпуса трансформаторов и измерительных приборов, каркасы РУ, арматура кабелей, трубопроводы и др.

Назначение защитного заземления – снизить до безопасной величины напряжение относительно земли на металлических частях ЭО, оказавшегося под напряжением вследствие нарушения изоляции. Этим устраняется опасность поражения электрическим током при прикосновении к оборудованию.

Защитное заземление устраивается и действует по-разному в сетях с изолированной и глухо заземленной нейтралью трансформаторов. На рис.27 приведены схемы защитных заземлений в системах с разной нейтралью трансформатора.

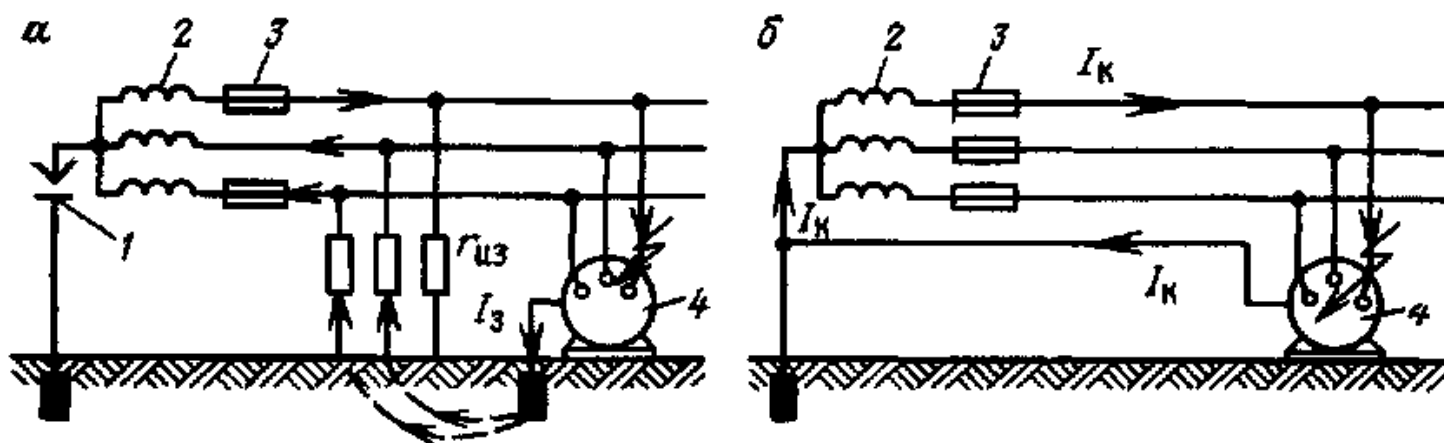


Рис.27. Схемы защитных заземлений: *а* – в системе с изолированной нейтралью; *б* – в системе с глухозаземленной нейтралью; 1 – пробивной предохранитель; 2 – трансформатор; 3 – плавкие предохранители; 4 – двигатель.

При пробое изоляции на корпус в системе с глухозаземленной нейтралью получается однофазное короткое замыкание, под действием которого срабатывает МТЗ и ЭО отключается от сети. МТЗ в этом случае должна быть на всех трех фазах. При таком исполнении защитного заземления необходимо уделять особое внимание надежной работе МТЗ при однофазных замыканиях. Только правильно выполненная и настроенная токовая защита обеспечит безопасность от поражения электрическим током.

Устройство защитного заземления

Защитное заземление работающих на ОГР стационарных и передвижных электрических установок, машин и механизмов, напряжением до и свыше 1000 В выполняется общим. Общая часть заземления стационарных и передвижных установок, машин и механизмов должна осуществляться путем непрерывного электрического соединения между собой заземляющих проводов и заземляющих жил гибких кабелей, с помощью которых заземляющие части присоединяются к заземлителям. Заземляющая сеть должна иметь автоматический контроль ее непрерывности.

Общее заземляющее устройство ОГР состоит из центрального и местных заземляющих устройств. Центральные заземляющие устройства располагаются возле ГПП

карьера или отдельно на его борту. Местные заземляющие устройства выполняют в виде заземлителей, сооружаемых у ППП, ПКТП 6–10/0,4 кВ и других установок. Схема устройства защитного заземления на ОГР приведена на рис.28.

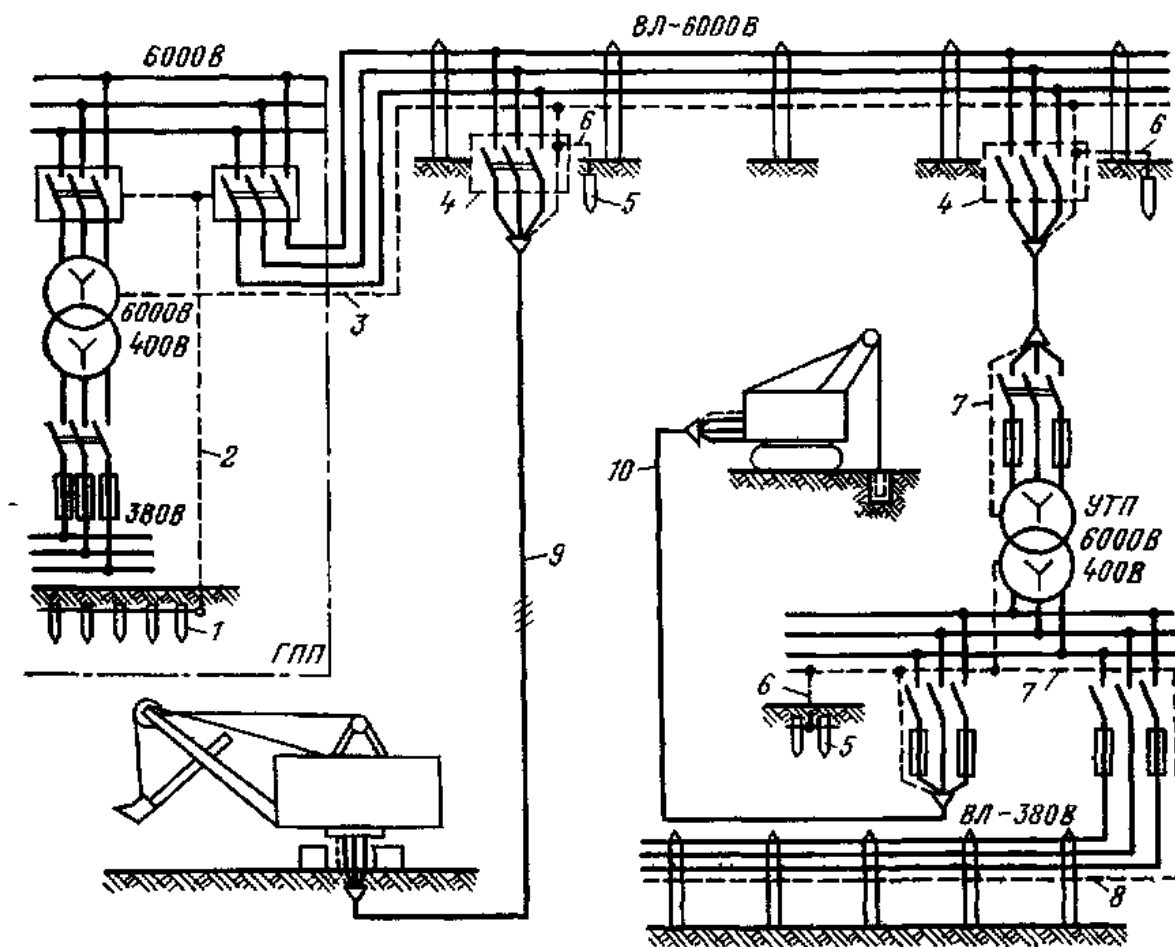


Рис.28. Схема устройства защитного заземления на ОГР: 1 – главный заземлитель; 2 – заземляющие шины ГПП; 3 – заземляющий провод; 4 – ППП; 5 – местные заземлители; 6 – отводы от местных заземлителей; 7 – заземляющие жилы УТП, 8 – заземляющий провод; 9 – кабель КШВГ; 10 – кабель ГРШС.

ППП, ПКТП-6-10/0,4 кВ и другие передвижные установки, расположенные на ОГР с удельным сопротивлением грунта свыше 200 Ом·м, должны заземляться присоединением к одному из центральных заземляющих устройств. Общее сопротивление заземления любого ЭП должно быть не более 4 Ом.

Если удельное сопротивление грунта в карьере меньше или равно 200 Ом·м, то все ЭП должны дополнительно заземляться путем подсоединения их к местным заземляющим устройствам, выполненным непосредственно у передвижных объектов. Сопротивление местных заземляющих устройств не нормируется.

В районах со скалистым грунтом и вечной мерзлотой с удельным сопротивлением грунта более 500 Ом·м допускается увеличение нормируемого сопротивления защитного заземления, но не более десятикратного (т.е. не более 40 Ом).

В качестве магистральных заземляющих проводов, прокладываемых на опорах воздушных ЛЭП на ОГР, рекомендуется применять для стационарных установок стальные однопроволочные и сталеалюминовые провода, для передвижных установок – алюминиевые и сталеалюминовые провода.

Сечение магистральных заземляющих проводов должно быть: стальных однопроволочных – диаметром не менее 6 мм, стальных многопроволочных, сталеалюминевых и алюминиевых проводов – не менее 35 мм².30.8.

Контроль изоляции и защитное отключение

В сетях ОГР напряжением до 1000 В контроль изоляции и защитное отключение осуществляются с помощью устройства защиты от утечек (реле утечек). В этих устройствах используют два принципа контроля сопротивления изоляции сети: наложение оперативного постоянного тока на переменный от независимого источника тока и вентильные схемы.

На рис.29, в приведена упрощенная схема реле утечки с использованием оперативного постоянного тока. Обмотка реле Р трехфазным дросселем ТД подключается к трем фазам сети. Второй конец обмотки реле Р подключен к источнику постоянного оперативного тока Е. Контакт реле Р включен в цепь отключающей катушки ОК автоматического выключателя А. Дроссель ТД имеет большое индуктивное сопротивление и сравнительно небольшое омическое сопротивление. Поэтому включение его в сеть переменного тока не снижает существенно сопротивление изоляции сети, в то же время постоянному оперативному току дроссель значительного сопротивления не оказывает.

До повреждения изоляции сети или касания человеком одной из фаз сети при высоком сопротивлении изоляции сети ток, протекающий через обмотку реле Р, меньше тока срабатывания. Контакт реле Р в цепи отключающей катушки ОК разомкнут. При снижении сопротивления изоляции сети до величины, равной или меньшей сопротивления срабатывания реле, ток реле будет равен или больше тока срабатывания. Реле работает и замкнет свой контакт Р в цепи катушки ОК. Автоматический выключатель отключит аварийный участок сети. На этом принципе основано действие реле утечки РУВ, САЗУ. Недостатком этих реле является сравнительно большое время срабатывания из-за большой индуктивности дросселя.

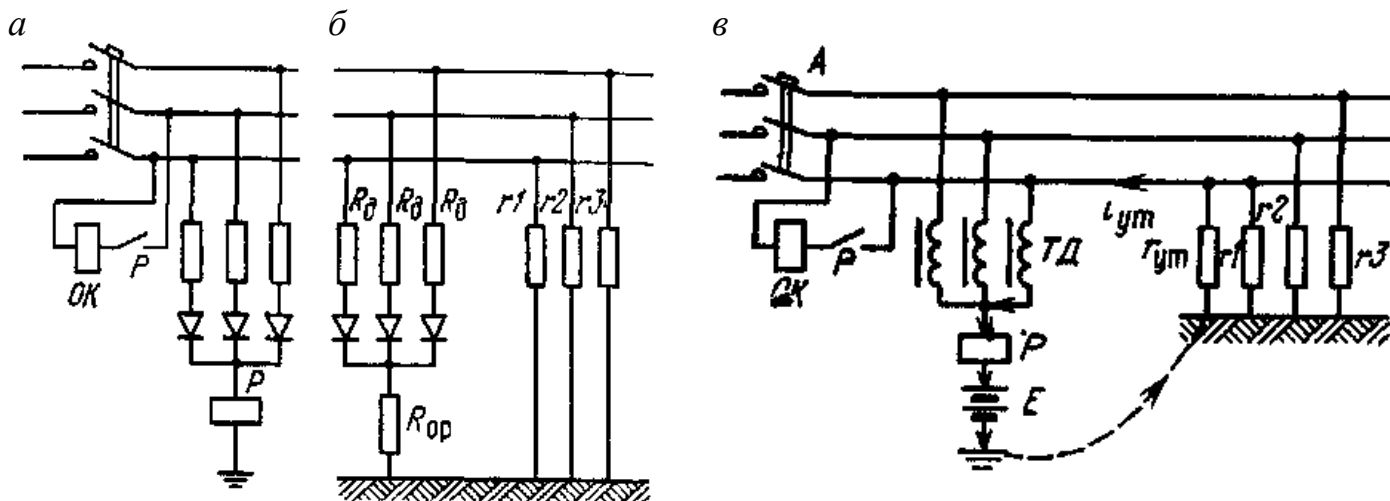


Рис.29. Принципиальная (а) и эквивалентная (б) схемы реле утечки с трехфазным выпрямителем, а также упрощенная схема реле утечки с оперативным постоянным током (в)

На рис.29, а и б приведены упрощенная принципиальная и эквивалентная схемы реле утечки с трехфазным выпрямителем. Для этого случая ток, протекающий через обмотку реле Р, будет зависеть от сопротивления изоляции сети r (всех трех фаз) или сопротивления утечки r_{ym} (например, при касании к фазе сети человека). При $I_p \geq I_{cp}$, т.е.

$r \leq r_{cp}$, реле сработает и своими контактами включит отключающую катушку автоматического выключателя.

На этом принципе основано действие автоматического устройства контроля изоляции УАКИ. В связи с отсутствием электромагнитной инерции время срабатывания таких реле равно сотым долям секунды.

3.5 Защитные средства от поражения электрическим током

Для защиты персонала, обслуживающего электроустановки, от поражения электрическим током, воздействия электрической дуги, электрического поля и т.п., требуется применение защитных средств, которые разделяют на три группы: изолирующие, ограждающие и предохранительные.

Изолирующие защитные средства предназначены для изоляции человека от токоведущих частей. Они делятся на основные и дополнительные. Основные изолирующие защитные средства имеют изоляцию, способную длительно выдерживать рабочее напряжение электроустановки, ими разрешается касаться токоведущих частей, находящихся под напряжением. К ним относятся:

- в электроустановках до 1000 В – диэлектрические перчатки, изолирующие штанги, изолирующие и электроизмерительные клещи, слесарно-монтажный инструмент с изолирующими рукоятками и указателем напряжения;

- в установках выше 1000 В – изолирующие штанги, изолирующие и электроизмерительные клещи, указатели напряжения и средства для ремонтных работ под напряжением выше 1000 В.

Дополнительные изолирующие средства обладают изоляцией, не способной выдержать рабочее напряжение электроустановки. Их назначение – усилить защитное действие основных изолирующих средств, вместе с которыми они должны применяться. К дополнительным изолирующим защитным средствам относятся:

- в электроустановках до 1000 В – диэлектрические галоши и коврики, изолирующие подставки;

- в электроустановках выше 1000 В – диэлектрические перчатки, боты и коврики, изолирующие подставки.

Ограждающие защитные средства применяют для временного ограждения токоведущих частей и для предупреждения ошибочных операций с коммутационными аппаратами. К ним относятся: временные переносные ограждения, изолирующие накладки, временные переносные заземления и предупредительные плакаты.

Предохранительные защитные средства предназначены для индивидуальной защиты работающего. К ним относятся: защитные очки, специальные рукавицы, защитные каски, предохранительные монтерские пояса и когти и т.д.

Правила пользования защитными средствами. Изолирующие штанги должны применять в закрытых электроустановках. На открытом воздухе применение их допускается только в сухую погоду. Работать штангой разрешается только персоналу, обученному этой работе. Как правило, при этом должен присутствовать второй человек, который контролирует действия оператора. При работе штангой должны применяться диэлектрические перчатки, без них можно работать только в установках до 1000 В.

Изолирующие клещи можно применять в закрытых электроустановках и в сухую погоду – в открытых. При пользовании клещами в установках выше 1000 В необходимо иметь на руках диэлектрические перчатки, а при снятии и установке предохранителей под напряжением необходимо, кроме того, пользоваться защитными очками.

Электроизмерительные клещи можно применять в закрытых, а в сухую погоду и в открытых электроустановках. Человек, выполняющий измерение, должен иметь на руках диэлектрические перчатки и стоять на изолирующем основании. Второй человек должен стоять сзади, несколько сбоку первого, и читать показания приборов клещей.

При пользовании указателями напряжения до 1000 В можно обходиться без защитных средств. При пользовании указателями напряжения выше 1000 В необходимо применять диэлектрические перчатки.

При работе инструментами с изолирующими рукоятками на токоведущих частях, находящихся под напряжением, работающий должен иметь на ногах диэлектрические калоши или стоять на изолирующем основании. Находящиеся под напряжением соседние токоведущие части, должны быть ограждены изолирующими накладками.

Диэлектрические перчатки, предназначенные для установок до 1000 В, являются основным защитным средством, в этом случае можно применять перчатки для работы в установках свыше 1000 В. Перчатки, предназначенные для работы в установках выше 1000 В, являются дополнительным средством при работе с основными защитными средствами. Каждый раз перед применением перчатки должны проверяться на герметичность заполнением их воздухом.

Диэлектрические боты и калоши являются дополнительными защитными средствами при операциях, выполняемых основными защитными средствами. Боты могут применяться как в закрытых так и в открытых электроустановках любого напряжения. Калоши – только в закрытых электроустановках до 1000 В. Боты и калоши одеваются на обычную обувь.

Диэлектрические коврики применяют в помещениях с повышенной опасностью и опасных по условиям поражения электрическим током. При этом помещения не должны быть сырыми и пыльными. Коврики расстилают по полу перед оборудованием, где возможно соприкосновение с токоведущими частями, находящимися под напряжением до 1000 В при эксплуатационно-ремонтном обслуживании. Диэлектрические коврики должны иметь размеры не менее 75×75 см.

Изолирующие подставки представляют собой деревянный решетчатый настил размером не менее 50×50 см без металлических деталей, укрепленный на изоляторах. В сырых и пыльных помещениях их применяют вместо диэлектрических ковриков.

Для проверки диэлектрических свойств все изолирующие защитные средства, находящиеся в эксплуатации, подвергают периодическим электрическим испытаниям повышенным напряжением.