

**В. М. Друй**

**З**АЩИТА ОТ ОПАСНЫХ  
ТОКОВ УТЕЧКИ НА  
ЗЕМЛЮ В УЧАСТКОВЫХ  
СЕТЯХ ПОДЗЕМНОГО  
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Методические указания

**В. М. Друй**

**З**АЩИТА ОТ ОПАСНЫХ  
ТОКОВ УТЕЧКИ НА  
ЗЕМЛЮ В УЧАСТКОВЫХ  
СЕТЯХ ПОДЗЕМНОГО  
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Методические указания

**Кемерово  
ГУ КузГТУ  
2009**

## **ЗАЩИТА ОТ ОПАСНЫХ ТОКОВ УТЕЧКИ НА ЗЕМЛЮ В УЧАСТКОВЫХ СЕТЯХ ПОДЗЕМНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

### Цель работы

1. Изучить назначение устройств контроля изоляции (УКИ), принцип выполнения и требования к нему.
2. Изучить работу УКИ по электрической схеме.
3. Изучить основные правила эксплуатации УКИ.

### 1. Общие сведения, требования и определения

Ток утечки – это ток, проходящий от токоведущих частей, через их изоляцию на землю. С ухудшением сопротивления изоляции этот ток увеличивается. При достижении определенной величины опасное действие тока утечки проявляется в возможности поражения человека электрическим током при прикосновении к токоведущим частям (ТВЧ) или к корпусу электрооборудования с поврежденной изоляцией, возникновению пожара от нагрева элементов электрооборудования и воспламенения взрывоопасной смеси искрами токов утечки.

При этом единственным способом обеспечения безопасности является автоматическое отключение сети, получившее в электроустановках горной промышленности название «защита от утечек». Защита от утечек в шахтах бывает весьма эффективной при прожогах электрической дугой оболочки кабеля, при возможности возникновения КЗ, при этом защита от утечек срабатывает раньше, чем возникнет КЗ.

Утечки в зависимости от числа фаз с пониженным сопротивлением изоляции относительно земли бывают однофазные, двухфазные, трехфазные.

Токи утечки по их значению разделяют на два вида: длительные, которые не представляют опасности и не вызывают необходимости срабатывания защитной аппаратуры и поэтому могут протекать в течение неограниченного времени, и кратковременные, представляющие опасность, требующие срабатывания аппаратов защиты от токов утечки и отключения сети.

Предельный длительный ток утечки – это переменный ток утечки, появляющийся при снижении сопротивления изоляции до такой величины, при которой начинается и заканчивается срабатывание реле утечки под действием возросшего оперативного постоянного тока. Для существующих реле утечки предельный длительный ток утечки принят  $0,025 \div 0,03$  А. При снижении сопротивления изоляции до величины, соответствующей этому току, реле утечки срабатывает нечетко, с некоторой выдержкой времени. Но так как ток весьма мал, то в случае прикосновения человека в этот момент к токоведущей части поражения человека за время отключения сети не произойдет.

Предельный кратковременный ток утечки – это переменный ток утечки, появляющийся при снижении сопротивления изоляции до 1000 Ом, т. е. до величины принятого для подземных условий минимального сопротивления человека. Для реле утечки этот ток принят 0,1 А.

Время отключения сети – это время от момента возникновения опасного тока утечки до полного разрыва цепи питания сети от источника питания (подстанции). Оно складывается из времени срабатывания аппарата защиты и времени срабатывания коммутационного аппарата (автомата) с учетом гашения дуги на его контактах. Общее время отключения поврежденной сети напряжением 380, 660 В и контактных сетей не должно превышать 0,2 с, а напряжением 1140 В – 0,12 с. Для сетей напряжением 127 и 220 В, а также для зарядных сетей постоянного тока время срабатывания реле утечки должно быть в пределах, указанных в заводской инструкции.

Основные причины возникновения опасных токов утечки:

- снижение активного сопротивления изоляции элементов электрооборудования;
- механическое повреждение или перекрытие изоляционных деталей;
- прямой контакт человека с токоведущими элементами.

При прикосновении к одной фазе реальной силовой сети ток, протекающий через человека,  $I_{\text{ч}}$  состоит из двух составляющих: активного тока  $I_{\text{а}}$ , обусловленного результирующим активным сопротивлением изоляции неповрежденных фаз А и В ( $R_{\text{а}}$ ) с

активным сопротивлением человека  $R_{ч}$ , и емкостной составляющей тока  $I_c$ , обусловленной емкостным сопротивлением изоляции  $X_c$  этих же фаз относительно земли (рис. 1).

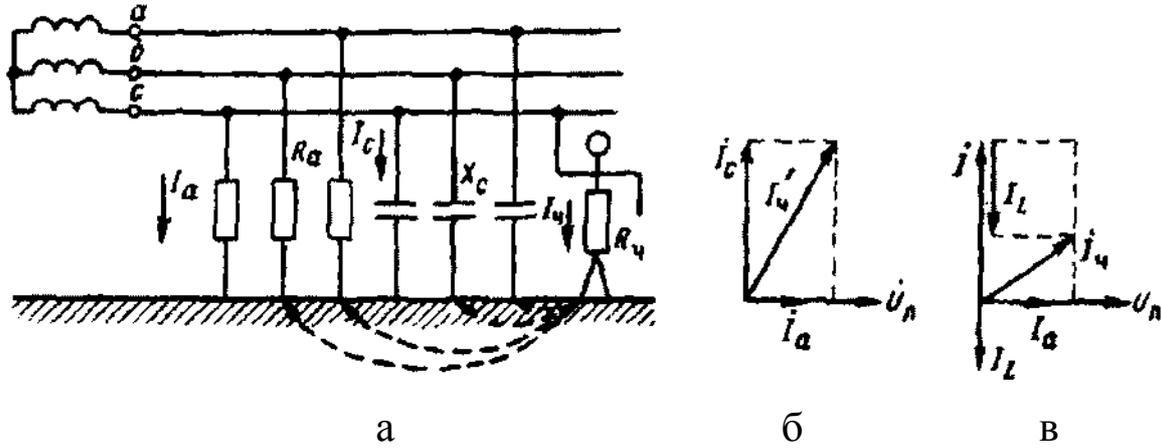


Рис. 1. Схема протекания тока утечки через тело прикоснувшегося к сети человека (а). Векторные диаграммы при некомпенсированной емкости сети (б), при частичной компенсации емкости сети относительно земли (в)

Вероятность поражения человека электрическим током определяется значением этого тока и длительностью его протекания. Чтобы избежать поражения человека электрическим током, необходимо как можно быстрее отключить электроэнергию и ограничить ток, протекающий через человека, до такой величины, чтобы за полное время отключения сети этот ток был безопасен. Поэтому для обеспечения безопасности обслуживающего персонала кроме отключения сети в случае прикосновения к токоведущим частям, находящимся под напряжением, необходимо применять устройства, ограничивающие значение или длительность тока, проходящего через тело человека, таким образом, чтобы количество электричества, проходящего через тело человека с сопротивлением 1 кОм, не превышало 50 мА·с (ГОСТ 22929-78).

Для ограничения тока  $I_{ч}$  необходимо повышать активное  $R_a$  и емкостное  $X_c$  сопротивления сети путем сокращения длины кабеля контролируемой сети. Увеличить  $R_a$  можно также улучшением качества и состояния изоляции, а  $X_c$  – практически только

компенсацией емкости сети, не изменяя ее протяженности.

Суммарная емкость шахтных участков электросетей колеблется в пределах  $0,3 \div 3,0$  мкФ, т. е.  $0,1 \div 1,0$  мкФ на фазу. Это довольно значительная величина, которая в первую очередь определяет величину токов утечки, а затем активное сопротивление изоляции. Так как емкость сети снизить практически нельзя (она зависит от протяженности кабельной сети), то принимают меры по снижению ее влияния на токи утечки путем компенсации емкостных токов. Для этого параллельно емкостям сети включают индуктивность, создавая колебательный контур.

Время воздействия электрического тока на человека, оказавшегося под напряжением, не равно времени отключения сети защитной аппаратурой, так как электродвигатели, присоединяемые к сети, после ее отключения продолжают генерировать напряжение в течение примерно  $3 \div 5$  с. Таким образом, при требуемом быстром действии максимально возможное время прохождения тока через тело человека определяется электромагнитной постоянной времени снижения обратной ЭДС отключенных от источника питания электродвигателей, присоединенных к сети.

Минимальное активное сопротивление изоляции сети, при котором никакими средствами невозможно ограничить общий ток утечки до безопасной величины для человека, прикоснувшегося к токоведущей части, называется *критическим сопротивлением изоляции*  $r_{кр}$ . **При снижении сопротивления изоляции до  $r_{кр}$  сеть должна быть отключена.** Значение критического сопротивления изоляции принимают за уставку защиты от утечек.

В отношении опасности поражения электрическим током различают сопротивление изоляции и сопротивление трехфазной утечки. Сопротивление изоляции – это сопротивление относительно земли, составленное из параллельно включенных сопротивлений множества исправных изоляционных деталей. Сопротивление трехфазной утечки – это сопротивление поврежденных изоляционных деталей, определяющее сосредоточенные в них токи утечки.

Различают аппараты защиты от утечек, осуществляющих

непрерывный контроль активного сопротивления изоляции и утечек всей находящейся под рабочим напряжением сети (аппараты общесетевой защиты от утечек), и аппараты защиты от утечек ответвлений сети, находящейся в отключенном состоянии.

Согласно ГОСТ 22929-78, аппараты общесетевой защиты от утечек должны при снижении указанных сопротивлений ниже критического значения воздействовать на коммутационный аппарат и отключить сеть с поврежденной изоляцией от источника.

Устройства, контролирующие сопротивления изоляции ответвлений в отключенном состоянии, устанавливаются в магнитные пускатели, которые коммутируют цепь потребителя. При поврежденной изоляции эти устройства блокируют цепи управления, осуществляя запрет включения пускателя (подачи напряжения на участок с поврежденной изоляцией). Поэтому они называются блокирующими реле утечки (БРУ).

Основные параметры реле утечки всех видов выбирают, исходя из безопасных величин факторов воздействия электрического тока на человека (ток срабатывания защиты и время срабатывания).

Сопротивление срабатывания аппарата общесетевой защиты при симметричной трехфазной утечке для аппаратов на напряжение 127; 220 и 380; 660; 1140 В должно быть не менее соответственно 3,3; 10; 30; 60 кОм.

Реле утечки в комплексе с фидерными автоматами, используемые в качестве общесетевых, должны непрерывно контролировать утечки тока на землю (сопротивление изоляции сети) и отключать защищаемую сеть при токе утечки 0,03 А в сетях 380 и 660 В (в сетях 1140 В – 0,025 А и выше).

Защиту от опасных токов утечек тока следует применять:

а) согласно ПБ в сетях напряжением выше 1140 В – в схемах защит линий, трансформаторов и электродвигателей;

б) во всех электрически связанных сетях напряжением до 1140 В, подключенных к одному или группе параллельно работающих трансформаторов автоматическими выключателями в комплексе с одним реле утечки. При его срабатывании должна отключаться вся сеть, подключенная к силовым трансформато-

рам, кроме кабеля длиной не более 10 м, соединяющего общесетевой автоматический выключатель с трансформатором.

Требование защиты от утечек тока не распространяется на искробезопасные системы, цепи напряжением до 42 В, цепи дистанционного управления и блокировки КРУ, а также цепи местного освещения ПУПП.

Защиту от опасных утечек на землю необходимо выполнять с блокировкой, исключающей подачу напряжения на сеть с поврежденной изоляцией относительно земли. Защита выполняется блокировочными реле утечки (БРУ). В низковольтных коммутационных аппаратах применяются БРУ типа БРУ-2С и БКИ.

Аппараты защитного отключения выполняют либо в виде отдельно установленного взрывозащищенного аппарата, либо в виде блоков, встроенных в распределительное устройство низшего напряжения (РУНН) передвижной подземной подстанции (ПУПП). Отечественной промышленностью выпускались аппараты общесетевой защиты следующих типов: УАКИ, АЗАК, БЗП, АЗШ, АЗУР в сетях переменного тока и УЗО-2, РУКС-4 в сети постоянного тока контактной сети.

## 2. Контроль изоляции цепи, находящейся под напряжением

Одним из первых аппаратов общесетевой защиты был аппарат УАКИ (устройство автоматического контроля изоляции), электрическая схема которого представлена рис. 2. Он выпускался на напряжения 127, 380, 660 В.

Принцип его действия основан на протекании оперативного (вспомогательного) выпрямленного тока через контролируемое сопротивление изоляции. Источником оперативного тока является трехфазный выпрямитель, состоящий из трех вентилей  $B1$ ,  $B2$ ,  $B3$ , питаемый от сети через делитель напряжения  $R1-R2$ , являющимся фильтром напряжения нулевой последовательности и связанный с землей через диод  $B4$ . Реле  $P$  имеет рабочую обмотку  $I$  и тормозную  $II$ . Количество витков обмоток и их направления подобраны так, что при отсутствии утечек ( $r_{ym} = \infty$ ) и большом сопротивлением изоляции ( $r = \infty$ ) токи, протекающие через них, одинаковые, их магнитные потоки уравновешиваются и реле

не работает. При такой дифференциальной схеме включения обмоток реле реагирует на результирующий магнитный поток, равный разности потоков обмотки  $I$ , по которой проходит оперативный (измерительный) ток  $I_{оп}$ , и обмотки  $II$ , по которой проходит тормозной ток  $I_T$ , что повышает чувствительность схемы.

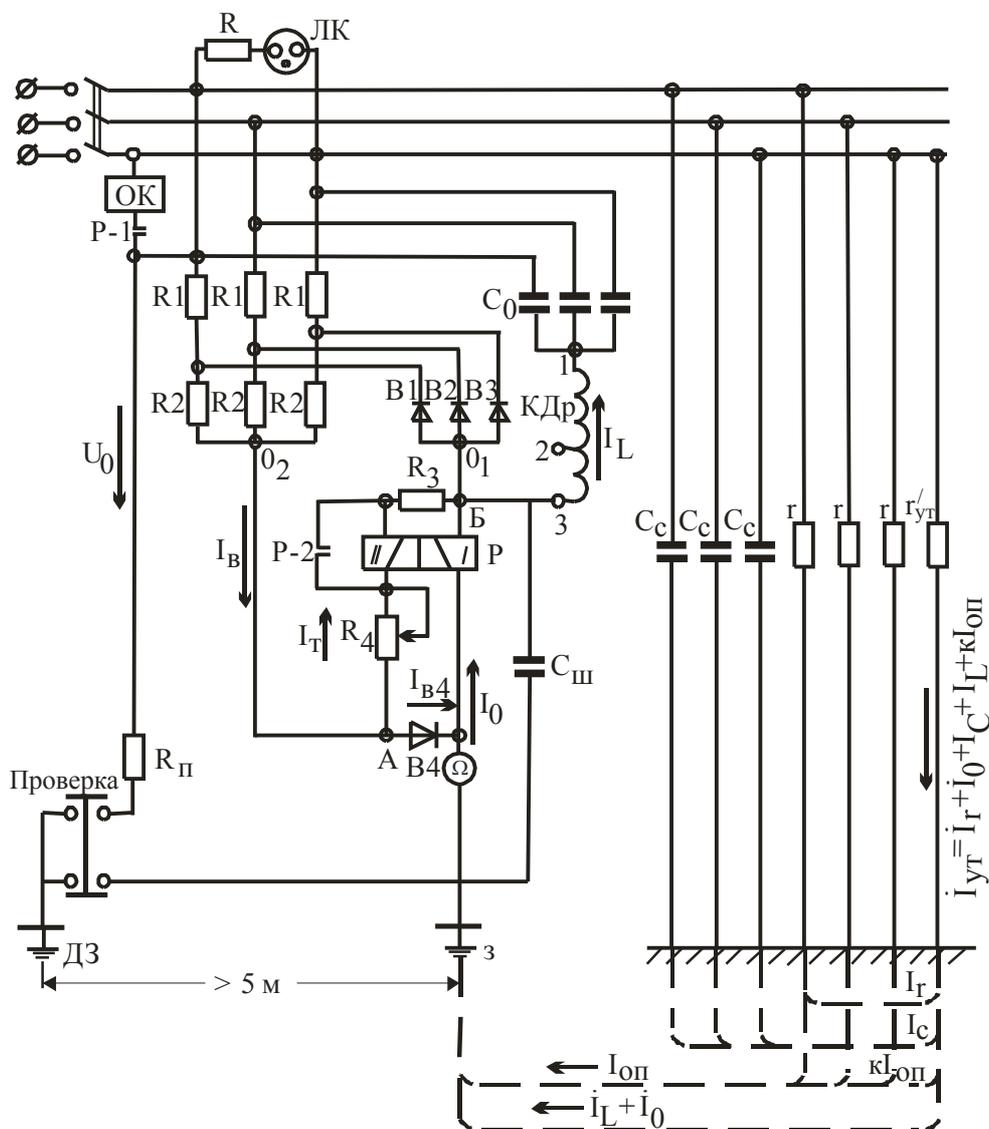


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема аппарата УАКИ защиты от утечек

Действительно, в этом случае между точками  $O_1$  и  $O_2$  имеется разность потенциалов, под воздействием которой протекает внутренний ток  $I_B$ , одинаковый через обе обмотки. Величина тока через обмотку  $II$  зависит от параметров схемы. Ток через обмотку  $I$  зависит от сопротивления изоляции и утечки.

Поскольку реально сопротивление изоляции не может быть равным бесконечности, то от источника оперативного тока ( $B1-B3$ ) протекает оперативный ток  $I_{on}$  по цепи: вентили  $B1, B2, B3$  – резисторы  $R1$  – сеть, сопротивление изоляции сети  $r$  – земля – заземление аппарата  $з$  – омметр – обмотка  $I$  реле  $P$  – точка  $O_1$ . При этом заряжается присоединенный параллельно цепи конденсатор  $C_{ин}$  (служит для улучшения характеристики реле). Величина этого тока определяется соотношением

$$I_{on} = \frac{U_{on}}{R_{cx} + r/3},$$

где  $R_{cx}$  – внутреннее сопротивление схемы УАКИ.

При отсутствии сосредоточенной утечки и симметричном снижении сопротивления изоляции сети до критической величины, результирующий ток реле, равный разности токов в обеих обмотках реле, достигает значения тока срабатывания, реле срабатывает и замыкает свой контакт  $P-1$  в цепи отключающей катушки  $OK$  фидерного автоматического выключателя. Одновременно контактом  $P-2$  шунтируется обмотка  $II$  и ток в ней падает до нуля (для надежного срабатывания реле).

При появлении утечки  $r_{ym}$  кроме оперативного постоянного тока возникает переменный ток нулевой последовательности  $I_0$ , вызванный появившейся несимметрией сопротивления изоляции отдельных фаз. Путь этого тока и его величина меняются каждый полупериод. При положительном полупериоде тока  $I_0$  (его направление показано на рис. 2 стрелкой) цепь этого тока будет: сеть – утечка  $r_{ym}$  – земля – заземление аппарата  $з$  – омметр – обмотка  $I$  – вентили  $B1, B2, B3$ , резисторы  $R1$  – сеть. Этот ток складывается с оперативным постоянным током  $I_{on}$ , который протекает по этой же цепи.

При отрицательном полупериоде цепь тока меняется: сеть – резисторы  $R1-R2$  – точка  $O_2$  – точка  $A$  – вентиль  $B4$  – омметр – заземление аппарата  $з$  – земля – утечка  $r_{ym}$  – сеть (т. е. ток через реле не проходит).

Таким образом, при однофазной утечке в течение положительного полупериода по обмотке  $I$  проходит суммарный ток  $I_{on} + I_0$  и чувствительность реле повышается.

Работа участковой электрической сети без подключения реле утечки или при неисправном аппарате защиты запрещена.

В аппаратах УАКИ применен компенсатор емкости в виде дросселя  $KДр$  (с воздушным зазором в магнитопроводе), снижающий емкостную составляющую тока утечки (см. рис. 2).

Дроссель  $KДр$  одним зажимом присоединен к нулевой точке звезды, образованной тремя конденсаторами  $C_0$  по 1 мкФ, создающими искусственную нейтраль сети. Эти конденсаторы служат для предотвращения замыкания на землю выпрямленного оперативного тока. Вторым зажимом дроссель  $KДр$  присоединен через конденсатор  $C_{ш} = 20$  мкФ к земле. Дроссель  $KДр$  имеет обмотку с двумя отпайками 2 и 3, позволяющими регулировать величину индуктивности в зависимости от суммарной протяженности защищаемой сети. Отпайка 3 используется при емкости сети до 0,5 мкФ/фаза, отпайка 2 – при емкости в пределах 0,5 ч – 1 мкФ/фаза.

В схеме имеется омметр, предназначенный для непрерывного замера сопротивления изоляции сети  $r$ , в качестве которого использован миллиамперметр магнитоэлектрического типа, реагирующий только на проходящий через него выпрямленный ток  $I_{он}$ . Так как этот ток зависит от сопротивления изоляции сети  $r$ , шкала миллиамперметра проградуирована в омах. Омметр во всех случаях будет показывать величину сопротивления изоляции контролируемой сети.

Для освещения шкалы омметра и контроля включения аппарата служит неоновая лампа  $ЛК$ . Правила безопасности предписывают проводить проверку исправности реле утечки в начале каждой смены. Это делается нажатием кнопки "Проверка", при этом создается искусственная утечка тока с фазы  $a$  через сопротивление  $R_6$  и дополнительное заземление  $ДЗ$ .

Для того чтобы кроме исправности аппарата при проверке можно было убедиться в наличии соединения схемы аппарата с землей (при нарушении которого прекращается действие защиты от утечек), кнопка «Проверка» присоединяется не к корпусу аппарата, а к специальному дополнительному заземлению  $ДЗ$ , которое должно быть расположено на расстоянии не менее 5 м от местного заземления 3.

### 3. Контроль изоляции участков сети

Как было сказано выше, эти устройства (БРУ) предназначены для контроля сопротивления изоляции участков сети, отходящих от магистрали, при отсутствии на них напряжения, а также блокировки, препятствующей подаче напряжения на участок сети при снижении сопротивления изоляции в них ниже допустимого значения. Устройства встраиваются во взрывобезопасные аппараты (магнитные пускатели, автоматические выключатели, магнитные станции).

Отечественная промышленность выпускает в настоящее время устройство в виде блока БКИ на базе полупроводниковых элементов. Удобно рассмотреть принцип действия устройства БРУ на примере ранее выпускавшихся (рис. 3).

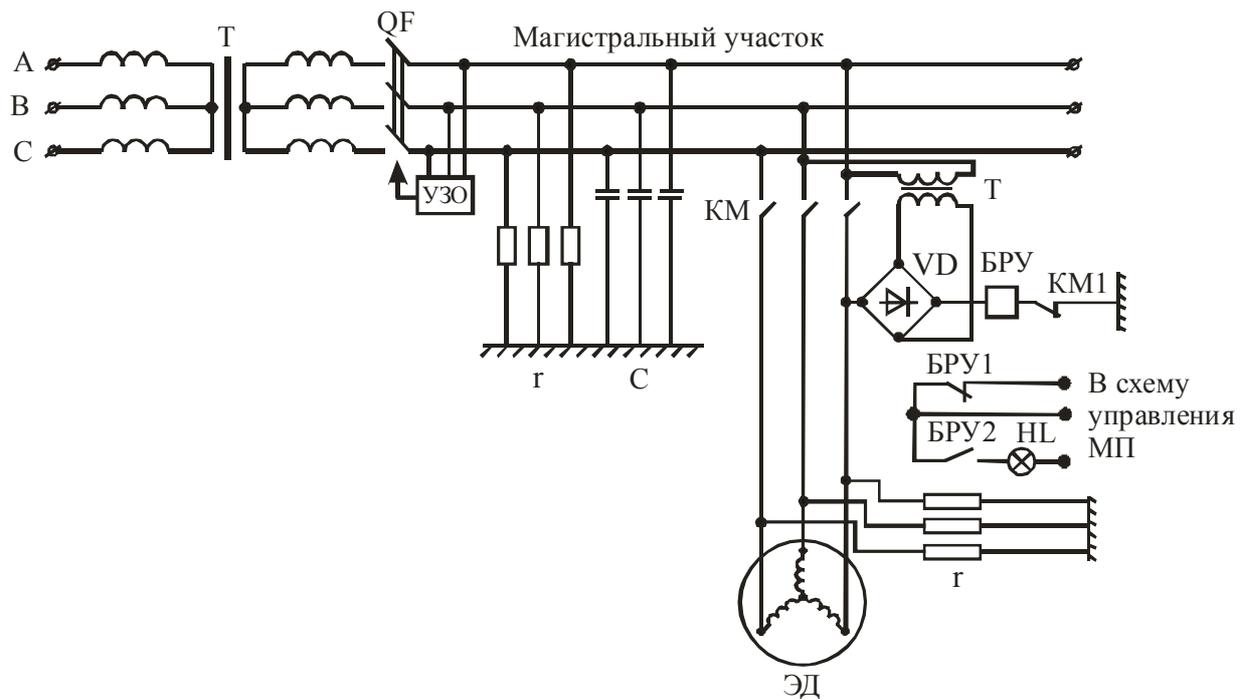


Рис. 3. Принципиальная схема опережающего контроля изоляции:  $r$ ,  $C$  – сопротивление изоляции и емкость магистрального участка;  $МП$  – контактор магнитного пускателя, включающий от- ветвление;  $VD$  – выпрямитель;  $БРУ$  – блокировочное реле утечки

После включения фидерного автомата  $QF$  на вторичной об- мотке трансформатора управления  $T$  появляется напряжение и

протекает оперативный ток по цепи: плюс выпрямителя  $VD$  – катушка реле  $БРУ$  – нормально-закрытый контакт  $КМ1$  – земля – сопротивление изоляции ответвления  $r$  обмотка двигателя  $ЭД$  – минус выпрямителя.

При токе, соответствующем сопротивлению изоляции ответвления 30 кОм (660 В) или 60 кОм (1140 В) реле  $БРУ$  срабатывает, контакт  $БРУ1$  разрывает цепь пуска пускателя, а контакт  $БРУ2$  замыкает цепь сигнальной лампы  $НЛ$ .

При нормальной изоляции ответвления контакт  $БРУ1$  замкнут и после включения пускателя блок-контакт пускателя  $КМ1$  рвет цепь оперативного тока. Таким образом, контроль сопротивления изоляции ответвления производится при отключенном состоянии пускателя (осуществляется опережающий контроль сопротивления изоляции).

#### 4. Автоматическая компенсация емкости участковой сети

Существующая в сети электрическая емкость повышает ток утечки и, в частности, ток через человека в случае прикосновения его к частям, находящимся под напряжением. Общий ток утечки определяется как сопротивлением изоляции сети, так и ее емкостной составляющей, которая в основном зависит от напряжения и протяженности сети.

Опасное влияние емкости может быть снижено компенсацией емкостной составляющей тока утечки. Для этой цели присоединяют между сетью и землей индуктивность в виде дросселя, величина которого подбирается таким образом, чтобы компенсировать емкостную составляющую тока утечки и тем самым свести ее к минимуму. При правильно подобранном индуктивном сопротивлении сеть с компенсированной емкостью становится аналогичной сети без емкости.

Однако обеспечить постоянную и полную компенсацию емкости затруднительно в связи с тем, что емкость сети не остается постоянной и значительно изменяется в процессе эксплуатации участковой сети в зависимости от включения и отключения отдельных электроустановок, изменения их количества, протяженности кабелей и т. п. Эту задачу решает лишь автоматическая компенсация, обеспечивающая непрерывное изменение индук-

тивности дросселя в соответствии с изменением емкости сети, сохраняя условие

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}.$$

На рис. 4 представлена принципиальная схема аппарата с автоматической компенсацией емкостной составляющей тока утечки.

Основными элементами в схеме являются: компенсирующий дроссель  $KДр$  и измерительный генератор  $ИГ$ , питающийся от сети через трансформатор  $Тр1$ .

Компенсирующий дроссель  $KДр$  выполнен в виде трех-стержневого магнитопровода, на крайних стержнях которого размещены обмотки  $W_p$  переменного тока, имеющие одинаковое число витков и включенные встречно. На среднем стержне расположена обмотка управления  $W_y$ , питаемая от вторичной обмотки трансформатора  $Тр2$  через усилитель-выпрямитель  $УВ$ .

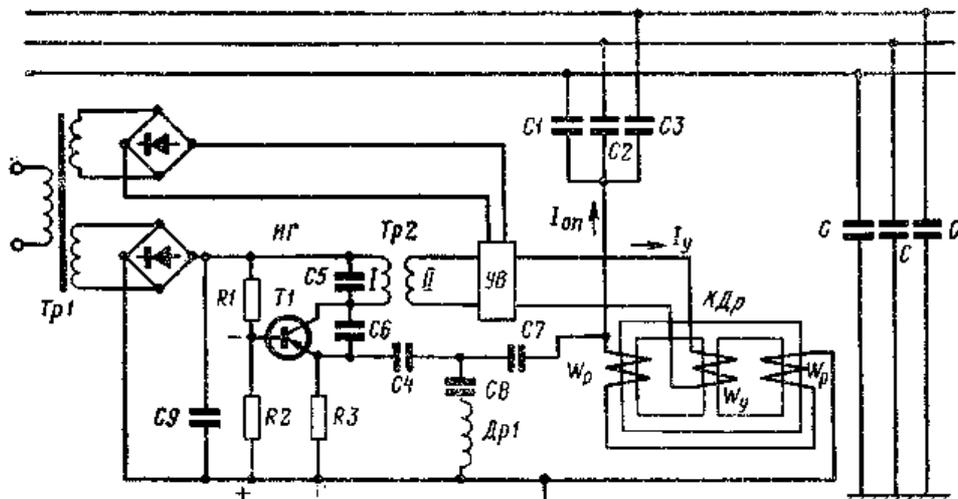


Рис. 4. Принципиальная электрическая схема аппарата автоматической компенсации емкостной составляющей тока утечки

Измерительный генератор  $ИГ$ , являющийся источником оперативного тока частотой 2 кГц, собран на транзисторе  $T1$  и  $T$ -образном фильтре, состоящем из конденсаторов  $C4$ ,  $C7$ ,  $C8$  и дросселя  $Др1$ . Часть напряжения оперативной частоты тока, снимаемого с коллектора  $T1$ , через конденсатор  $C6$  подается к сопротивлению обратной связи  $R3$  и параллельно соединенной емкости

сети через конденсаторы  $C4$ ,  $C7$ ,  $C1$ ,  $C2$ ,  $C3$ . Это напряжение через резистор  $R2$  подается на базу триода  $T1$  и возбуждает незатухающие синусоидальные колебания в  $L$ - $C$  контуре, включенном в цепь коллектора и состоящем из емкости  $C5$  и индуктивности обмотки  $I$  трансформатора  $Tr2$ .

Таким образом, для оперативного тока повышенной частоты цепь компенсирующего дросселя  $KДр$  и дросселя  $Др1$ , обладающая значительной индуктивностью, представляет большое сопротивление и оперативный ток через них не проходит. В цепи  $C4$ ,  $C7$ ,  $C1$ ,  $C2$ ,  $C3$  емкостное сопротивление конденсаторов сравнительно невелико и величина оперативного тока определяется в основном емкостью сети. Этот ток определяет такой режим работы генератора  $ИГ$ , при котором через обмотку управления  $W_y$  дросселя  $KДр$  пройдет ток управления, изменяющий индуктивность дросселя  $KДр$  до величины, близкой к резонансному значению.

С ростом емкости сети увеличивается ее шунтирующее действие на сопротивление обратной связи  $R3$ , в связи с чем растет выходное напряжение генератора, что вызывает рост тока  $I_y$ , а следовательно, уменьшение индуктивности компенсирующего дросселя  $KДр$ . При снижении емкости сети процесс протекает в обратном направлении.

Резисторы  $R1$  и  $R2$  устанавливают режим транзистора  $T1$  по постоянному току, конденсатор  $C9$  служит для снижения пульсаций выпрямленного тока. Емкость  $C8$  и индуктивность  $Др1$  выбраны так, что создают резонанс на промышленной частоте; поэтому напряжение сети не передается на резистор  $R3$  и, следовательно, не влияет на работу генератора  $ИГ$ .

В настоящее время для защиты шахтных сетей применяются различные реле утечки (АЗАК, АЗПБ, АЗШ, АЗУР в сетях переменного тока и УЗО-2, РУКС-4 в сети постоянного тока контактной сети).

Правила безопасности предписывают проверку исправности реле утечки в начале каждой смены. Это делается нажатием кнопки "Проверка", при этом создается искусственная утечка тока с фазы  $a$  через сопротивление  $R6$  и дополнительное заземление  $ДЗ$ .

## 5. Система защиты от токов утечки в сетях напряжением 1140 В

В сетях 1140 В, как и в сетях 660 В, защита от утечки тока на землю выполняется специальными аппаратами (реле утечки), которые встраиваются в распределительные устройства низкого напряжения подстанции РУНН.

В комплект аппаратов защиты входят: блок БЗО-1140 – блок защитного отключения, который контролирует сопротивление изоляции при включенной и отключенной силовой сети и в случае снижения этого сопротивления до опасного уровня отключает аварийную сеть.

Блок БКЗ-1140 – блок короткозамыкателя, предназначен для снижения кратковременных токов утечки, в частности, тока через человека, прикоснувшегося к фазе электрической сети, находящейся под напряжением. Эта задача выполняется путем компенсации емкостной составляющей тока утечки, обнаружения фазы сети с поврежденной изоляцией и замыкания ее на землю.

## 6. Особенности эксплуатации защиты от утечек

Как было уже сказано ранее, основная задача защиты от утечек – автоматическое отключение участка при появлении утечек в любой точке защищаемой сети. Поэтому аппарат защиты от утечек устанавливается вблизи участкового трансформатора, а при наличии передвижной участковой трансформаторной подстанции встраивается в нее и воздействует на общий фидерный автоматический выключатель.

В случае установки реле утечки (РУ) не вблизи трансформатора, а у распределительного пункта лавы (РП) защита от утечек распространялась бы только на РП и отходящие присоединения, оставляя без защиты фидерный кабель, что недопустимо.

В такой же мере недопустима одновременная установка реле утечки у трансформатора и у РП лавы, поскольку в этом случае оба реле утечки оказывались бы подключенными параллельно к общей сети. При появлении утечки через каждое реле проходила бы часть тока утечки (около половины  $I_y$ ) и ни одно из реле могло бы не сработать. Поэтому на всю участковую сеть дол-

жен предусматриваться лишь один общий аппарат защиты, устанавливаемый в камере трансформаторной подстанции или встраиваемый внутрь передвижной трансформаторной подстанции.

При двух и более отходящих фидерах от участковой подстанции реле утечки должно воздействовать только на общий фидерный автоматический выключатель, как показано на рис. 5.

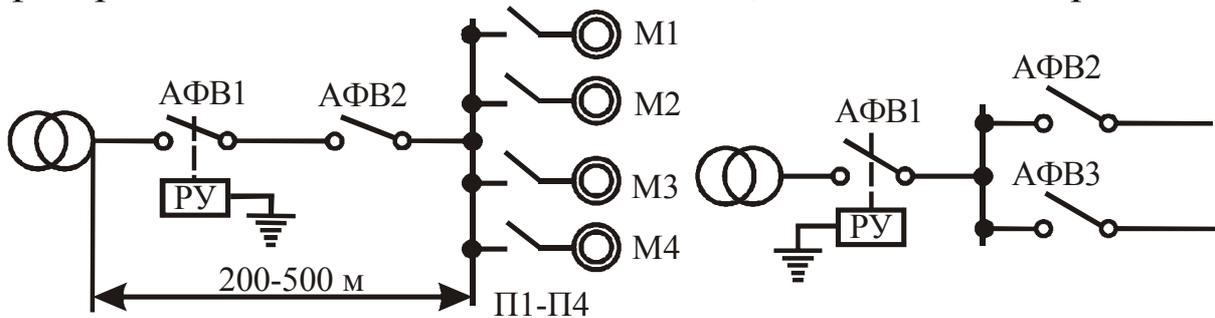


Рис. 5. Схема установки реле утечки

Наличие в реле утечки килоомметра с освещаемой шкалой позволяет визуально определять уровень сопротивления изоляции сети. Визуальный контроль сопротивления бывает необходим как для профилактического контроля сопротивления изоляции, так и для отыскания присоединения сети, которое имеет сниженное сопротивление изоляции. Показания килоомметра соответствуют результирующему сопротивлению изоляции трех фаз включенной сети относительно земли. Для того чтобы судить о сопротивлении изоляции всей сети, измерения должны выполняться тогда, когда все потребители включены в работу. При этом сопротивление изоляции считается допустимым, если его значение находится в диапазоне значений незакрашенной части шкалы килоомметра. Если же сопротивление изоляции находится в диапазоне значений закрашенной части шкалы, то это значит, что оно ниже уставки сопротивления срабатывания реле утечки, т. е. сеть находится в аварийном состоянии, а реле утечки – в неработоспособном, иначе сеть была бы отключена защитой.

В случае установления факта ненормального состояния реле утечки и сопротивления изоляции должны быть приняты меры по устранению неисправностей. Работа участка на этот период должна быть прекращена, а напряжение сети отключено.

Необходимость отыскания присоединения сети с поврежденной изоляцией возникает тогда, когда при работе участка происходят срабатывания защиты от утечек и отключение сети фидерным автоматическим выключателем. При этом под действием нулевой защиты отключаются все магнитные пускатели. В этом случае следует снова включить АФВ. Если и после этого АФВ немедленно отключится, то это означает, что повреждена изоляция в фидерном кабеле. Если же фидерный кабель после отключения всех пускателей не вызывает срабатывания устройства при включении АФВ, то нужно поочередно включать все пускатели. В пускателе с поврежденной изоляцией должна гореть белая лампа «Работа БРУ».

При поисках присоединения с поврежденной изоляцией следует иметь в виду возможность случая, когда в цепи каждого из пускателей не существует утечки, способной вызвать отключение, но суммарное сопротивление изоляции всей сети мало. Например, при параллельном включении трех гибких кабелей, каждый из которых имеет сопротивление утечки 70 кОм (для сетей 660 В), фактическое (общее) сопротивление утечки всей сети составит 23,3 кОм, что вызовет отключение сети.

Сопротивления утечек отдельных участков сети могут быть приближенно определены килоомметром, расположенным в корпусе устройства защиты, при поочередном включении и отключении пускателей с учетом сопротивления изоляции фидерного кабеля. В отдельных случаях отключение АФВ может произойти из-за действия максимальной защиты. При необходимости в более точном определении сопротивления изоляции ответвления, его подсчитывают по формуле

$$R_{от} = R_{об} \cdot R_c / (R_c - R_{об}),$$

где  $R_{об}$  и  $R_c$  – показания килоомметра соответственно при включении части сети с контролируемым ответвлением и без ответвления.

Когда установлено присоединение с поврежденной изоляцией, то само повреждение отыскивается мегомметром или омметром.

В процессе эксплуатации необходимо контролировать исправность и правильность подключения дополнительного зазем-

лителя  $Dз$ .

Дополнительный заземлитель  $Dз$  следует подключать кабелем. Применение голого или изолированного провода вместо кабеля недопустимо, так как при проверке исправности защиты кнопкой устройство может сработать даже при отсутствии заземления корпуса аппарата, создав ложное представление об исправности защиты (в случае касания голого проводника корпуса аппарата). При несоблюдении этих условий возможно поражение человека, производящего проверку реле. Опасность эта значительно возрастает при нарушении местного заземлителя  $Mз$ .

Дополнительный заземлитель  $Dз$  подключен к заземленным участкам схемы реле утечки, т. е. резервирует  $Mз$  и общешахтное заземление корпуса реле. При обрыве цепи  $Mз$  реле утечки продолжает исправно работать через  $Dз$ . При нажатии кнопки «Проверка»  $Dз$  отключается от заземленного участка схемы реле и через сопротивление  $R_n$  подключается к одной из фаз сети. При этом создается искусственная утечка сети на землю, и исправное реле с исправным  $Mз$  сработает, а исправное реле с нарушенным  $Mз$  – нет. Таким образом, наличие  $Dз$  позволяет проверить исправность как самого реле, так и  $Mз$ .

Требование удаления  $Dз$  от  $Mз$  на расстояние не менее 5 м объясняется следующим. При проверке исправности реле  $Dз$  оказывается под потенциалом сети. Если бы  $Mз$  и  $Dз$  были расположены в непосредственной близости друг от друга, то при достаточно большом удельном сопротивлении грунта растекание тока искусственной утечки создавало бы опасность поражения человека, производящего проверку реле, так как он в этот момент прикасается рукой с кнопкой (заземленным корпусом) реле, а ногами – с землей. Эта опасность значительно возрастала бы при нарушении  $Mз$  корпуса реле. При удалении  $Dз$  от  $Mз$  на 5 м и более опасность практически не существует. Отсюда ясно также предъявляемое требование к  $Dз$  о его присоединении к реле только кабелем с хорошей изоляцией.

## 7. Содержание отчета

В отчете необходимо ответить на вопросы:

1. Причины появления опасных токов утечки.
2. Функции, выполняемые УКИ.
3. Принципы выполнения УКИ в сетях с изолированной нейтралью.
4. Требования, предъявляемые к УЗО.
5. В каких сетях применяется УЗО?
6. Почему на всю сеть одного трансформатора устанавливается одно УЗО?
7. Чем вызвана необходимость применения  $Dz$ , расположения его на расстоянии не ближе 5 м от  $Mz$  и подключение его кабелем.
8. Работа устройства УАКИ.
9. Необходимость компенсации емкостных токов  $I_c$ , принцип компенсации и работа узла автоматической компенсации устройства УЗО.
10. Чем отличаются УЗО и БРУ?

## Список рекомендуемой литературы

1. Правила технической эксплуатации угольных и сланцевых шахт. – М.: Недра, 1976.
2. Руководство по ревизии, наладке и испытанию подземных электроустановок шахт / под ред. В. В. Дегтярева, Л. В. Седакова. – М.: Недра, 1984.
3. Озерной М. И. Электрооборудование и электроснабжение подземных разработок угольных шахт. – М.: Недра, 1975.
4. Губко А. А. Электрообору / А. А. Губко, Е. А. Губко. – Белово, 2005.

СОСТАВИТЕЛЬ  
Владислав Михайлович Друй

**ЗАЩИТА ОТ ОПАСНЫХ ТОКОВ УТЕЧКИ НА ЗЕМЛЮ  
В УЧАСТКОВЫХ СЕТЯХ  
ПОДЗЕМНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

Методические указания по дисциплине «Электрооборудование и электроснабжение горного производства» специальности «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых» и «Горные машины и комплексы» всех форм обучения

Рецензент В. И. Масорский

Печатается в авторской редакции.

Подписано в печать 25.03.2009. Формат 60×84/16.

Бумага офсетная. Отпечатано на ризографе. Уч.-изд. л. 1,0.

Тираж 120 экз. Заказ \_\_\_\_.

ГУ КузГТУ, 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28.

Типография ГУ КузГТУ, 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4А.