

**ЗАЩИТА ПРИ ПРИКОСНОВЕНИИ К ПРОВОДНИКУ,
НАХОДЯЩЕМУСЯ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ**
(из учебника "Электрификация подземных горных работ")

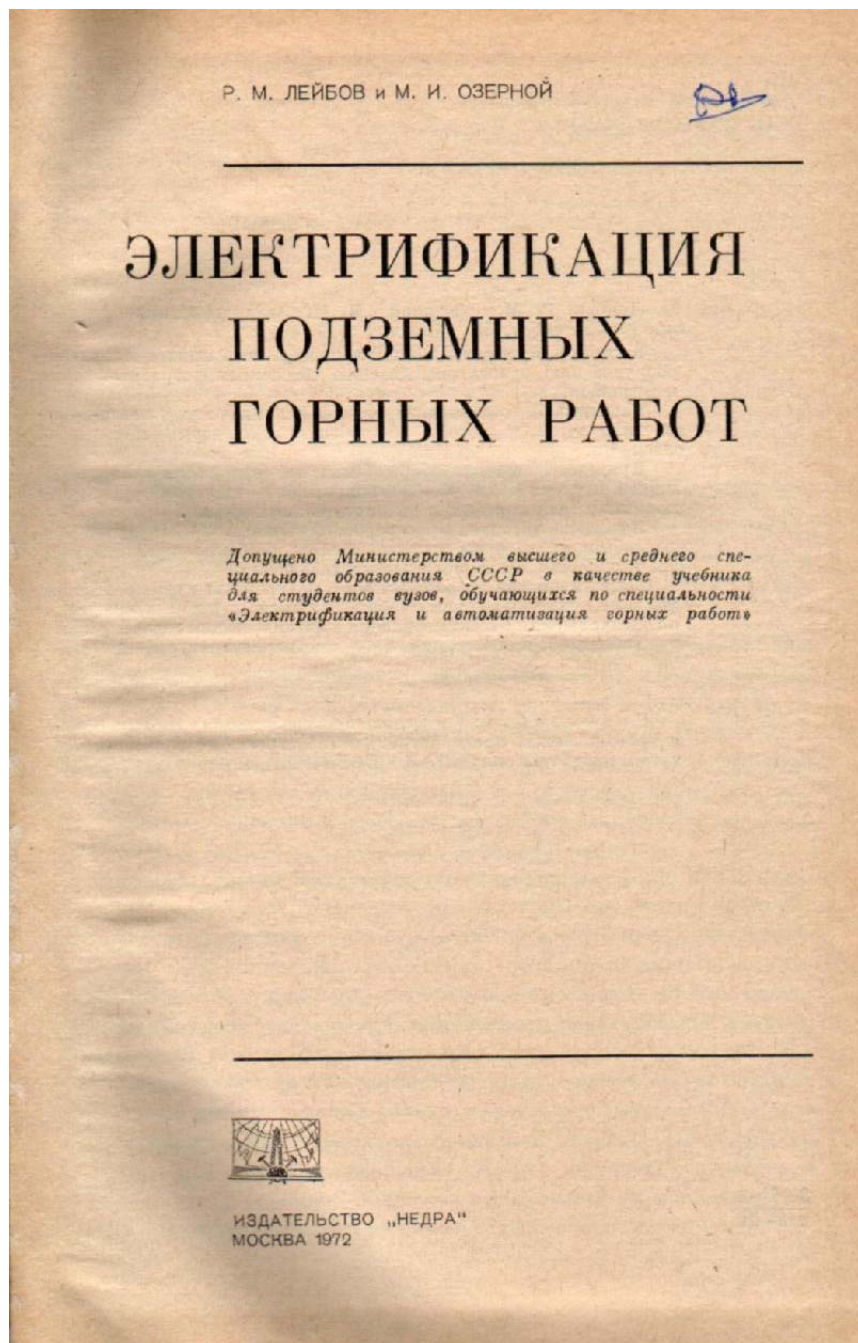
Лейбов Р.М. д.т.н., профессор

(Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Украина)

Сканована копія видання:

Сканированная копия издания:

Scan-copy of the publication:



Глава III

ЗАЩИТА ПРИ ПРИКОСНОВЕНИИ К ПРОВОДНИКУ, НАХОДЯЩЕМУСЯ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ

§ 1. Сущность и задачи защиты от утечек

В случае прикосновения человека к нормально находящимся под напряжениям частям электроустановки единственным способом обеспечения безопасности является автоматическое защитное отключение сети, получившее в электроустановках горной промышленности название «защита от утечек». Такое отключение должно производиться в каждом случае, когда возникает опасность для прикоснувшегося человека.

Помимо предупреждения поражения человека электрическим током, на защиту от утечек в шахтах возлагаются также задачи снижения вероятности воспламенения рудничного газа и угольной пыли открытыми электрическими искрами цепи утечки, предупреждения потери взрывозащитных свойств взрывобезопасных оболочек при их прожогах электрической дугой, предупреждения пожара от электрооборудования из-за токов утечек, а также улучшения защиты от токов к. з. в условиях, когда другие существующие меры оказываются неспособными проявить свое защитное действие.

До тех пор, пока сопротивления изоляции сети r и прикоснувшегося человека велики, длительный ток утечки I_y оказывается меньшим предельного длительного безопасного тока $I_{д.б}$ и может существовать сколь угодно продолжительное время, не создавая опасности и не требуя отключения сети, так как при таком токе прикоснувшийся к проводнику человек может самопроизвольно отсоединиться от сети.

После того как сопротивление изоляции сети или прикоснувшегося человека снизится, ток утечки возрастет. Если этот ток возрастет до величины $I_{д.б}$ или любой большей, сеть должна быть отключена. Отключение сети происходит не мгновенно, а за некоторое время $t_{от}$. Очевидно, что при протекании через человека тока, не превышающего $I_{д.б}$, время, за которое будет происходить отключение, существенного значения не имеет. Однако время, за которое будет отключен ток, превышающий $I_{д.б}$, приобретает существенное значение. Чем большей величины достигнет этот кратковременно существующий ток I_k , тем меньшим должно быть время отключения, в течение которого не проявилось бы опасное действие этого тока (см. § 1 гл. I).

Наибольший ток, оказывающийся безопасным при прохождении через человека в течение времени $t_{от}$, будем именовать наибольшим безопасным (допустимым) кратковременным током $I_{к.б}$.

В сети, не имеющей защиты от утечек, возможно возникновение значительного тока утечки, поскольку этот ток ничем, кроме сопротивления человека и неконтролируемого сопротивления изоляции

сети, ограничен не будет. Поэтому величина его легко может достигнуть опасного для человека значения (рис. III-1).

Этот значительный ток I_M может существовать неограниченно долго (см. рис. III-1, а), если только он не достигнет величины, на которую отрегулирована обычная эксплуатационная защита (от перегруза и тока к. з.), которая его отключит за время $t_{от}$ (см. рис. III-1, б). Защита человека при этом осуществлена не будет.

При применении в сети защиты от утечек, не обладающей способностью производить ограничение тока, этот значительный ток будет

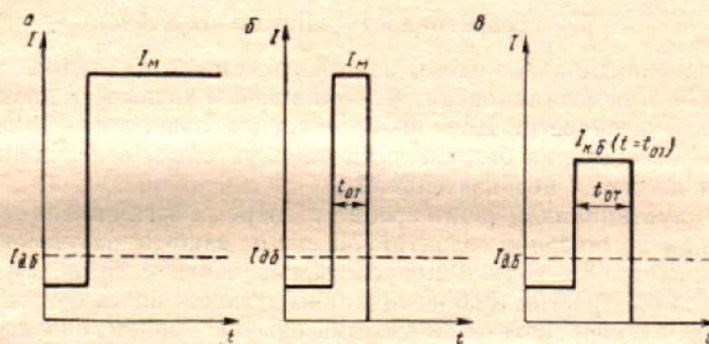


Рис. III-1. Кратковременные токи утечки и их продолжительность:

а — при отсутствии защиты от утечек; б — при наличии защиты от утечек, не создающей токоограничения; в — при наличии защиты от утечек, создающей токоограничение

существовать лишь кратковременно, в течение времени действия аппаратуры защиты и отключения. Но поскольку такое реле утечки окажется неспособным предотвратить возникновение значительных токов утечки I_M , для обеспечения безопасности потребуются столь малое время отключения, которое простыми средствами не может быть достигнуто.

Защита от утечек становится осуществимой лишь при применении рациональной схемы, обладающей способностью самоограничивать величину кратковременного тока утечки, т. е. не допускать возникновения тока, большего $I_{к. б}(t=t_{от})$.

При наличии такой защиты ток утечки не будет превышать $I_{к. б}$ и будет существовать лишь кратковременно, в течение времени отключения $t_{от}$, за которое этот ток не проявит опасного действия (см. рис. III-1, в).

Следовательно, защита от утечек сможет предупредить опасность поражения людей лишь при условии, что она будет удовлетворять следующим основным требованиям:

- 1) непрерывному действию, которое должно распространяться на всю защищаемую сеть¹;
- 2) отключению сети при наибольшем длительном безопасном токе при любом виде замыкания на землю;
- 3) ограничению наибольшего возможного кратковременно существующего тока утечки величиной $I_{к.б.}$
- 4) отключению сети за время $t_{от}$, в течение которого не успеет проявиться опасное действие максимально возможного кратковременного тока, равного по величине $I_{к.б. (t=t_{от})}$ при любом виде замыкания на землю.

2. Схемы защиты с паложеным оперативным напряжением

Этот метод обнаружения и определения величины тока утечки заключается в определении сопротивления сети относительно земли с помощью оперативного (вспомогательного) напряжения, приложен-

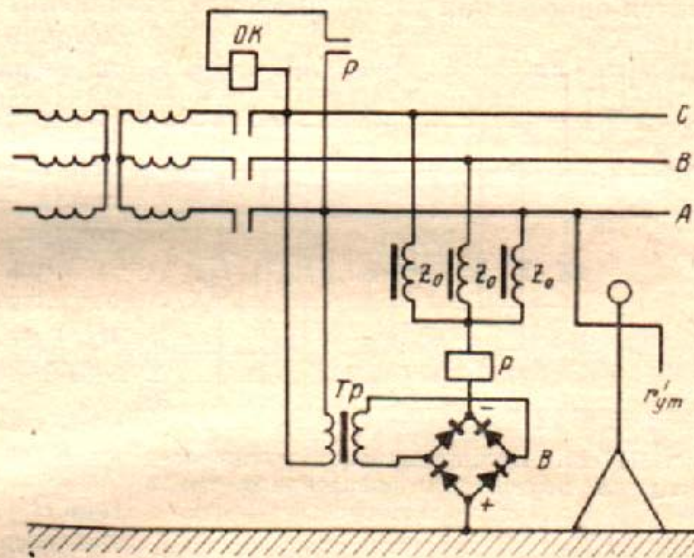
¹ По этой же причине в сетях до 1000 в не применяются схемы, построенные на использовании тока нулевой последовательности.

ного между сетью и землей. По величине оперативного тока в таких схемах можно определить величину сопротивления сети относительно земли.

Обычно для сетей переменного тока оказывается целесообразным применение защиты на постоянном оперативном токе, тем более что она оказывается наиболее простой в конструктивном отношении. Для сетей же постоянного тока неизбежно применение переменного оперативного тока.

Лишь переменный оперативный ток нестандартной частоты является универсальным видом оперативного тока, пригодным для

Рис. III-14. Принципиальная схема защиты от утечек на оперативном постоянном токе с индуктивной связью



любых сетей. Предпочтение при этом все же должно быть отдано переменному току пониженной, сравнительно со стандартной, частоты, учитывая влияние емкости сети C_c .

Схемы с наложенным постоянным оперативным током применяются в двух вариантах:

1. Схемы с индуктивной связью между источником оперативного тока и рабочей сетью.

Такая схема защиты от утечек с наложенным оперативным током изображена на рис. III-14. Здесь P — реле, осуществляющее защиту от утечки в сети переменного тока, z_0 — сопротивление фазы фильтра присоединения. Питается это реле постоянным оперативным током от выпрямителя B через трансформатор Tr .

2. Схемы с электрической связью между источником оперативного тока и рабочей сетью.

В таких схемах (рис. III-15) оперативный постоянный ток получается с помощью выпрямителей, непосредственно присоединенных к рабочей сети. В соответствии с количеством таких выпрямителей схема получила наименование ЗВ — с тремя выпрямителями. Работа этой схемы подобна работе схемы, приведенной на рис. III-14.

Разница между схемами, приведенными на рис. III-14 и III-15, заключается лишь в том, что в первой из них оперативное напряжение, получаемое через трансформатор, может быть выбрано произвольно, во второй — оперативное напряжение оказывается зависящим от напряжения сети, поскольку здесь выпрямители включены непосредственно на рабочее напряжение, и может быть лишь в ограниченных пределах уменьшено с помощью делителей напряжения.

Работа этих схем протекает следующим образом. До тех пор, пока изоляция провода А линии не повреждена, постоянный ток через реле Р не проходит. Если к проводу А прикоснется человек или появится однофазная утечка на землю, возникает цепь: зажим «минус»

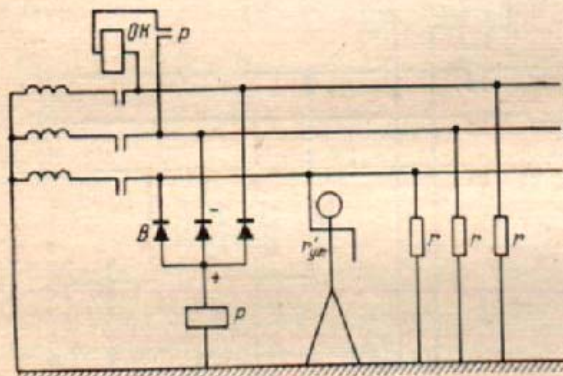


Рис. III-15. Принципиальная схема защиты на постоянном оперативном токе с электрической связью

источника постоянного тока — катушка реле Р — фаза фильтра z_0 (только в схеме рис. III-14) — провод А — человек (утечка) — земля — зажим «плюс» источника постоянного тока. При данной величине оперативного напряжения $U_{оп}$ и $r = \infty$ оперативный ток оказывается равным

$$I_{оп} = \frac{U_{оп}}{R_{сх} + r'_{ут}} \quad (III-8)$$

(где $R_{сх}$ — собственное сопротивление схемы), т. е. оказы-

вается зависящим от сопротивления утечки или человека. Если сопротивление утечки или человека достаточно высоко, чтобы обеспечить безопасность в данных условиях, этот ток не достигает величины тока срабатывания. Таким образом, в данной схеме реле является измерительным органом.

Подставляя в выражение (III-8) вместо тока $I_{оп}$ ток срабатывания реле $I_{ср}$, получаем отключающее сопротивление однофазной утечки при $r = \infty$:

$$r'_{ут. отк} = \frac{U_{оп}}{I_{ср}} - R_{сх}.$$

Величина отключающего сопротивления однофазной утечки при $r = \infty$ весьма характерна для работы защиты в целом. Поэтому впредь будем ее именовать *установкой отключающего сопротивления защиты от утечек* и обозначим

$$r'_{ут. отк. r \rightarrow \infty} = R_c.$$

При двухфазной утечке соответствующая зависимости при $r = \infty$ определяется аналогичным образом:

$$r''_{ут. r \rightarrow \infty} = 2 \left(\frac{U_{оп}}{I_{ср}} - R_{сх} \right) = 2R_c$$

и при трехфазной утечке

$$r_{ут.отк}''' \text{ при } r \rightarrow \infty = 3 \left(\frac{U_{оп}}{I_{ср}} - R_{сх} \right) = 3R_c.$$

Если сопротивление изоляции $r \neq \infty$, то соответствующие соотношения определяются из выражений, при выводе которых вместо $r_{ут}$ принято сопротивление, образующееся в результате параллельного соединения $r_{ут}$ и трех параллельно соединенных между собой сопротивлений изоляции каждой из фаз r [49].

Поэтому при однофазной утечке и $r \neq \infty$

$$r_{ут.отк}' = \frac{r \left(\frac{U_{оп}}{I_{ср}} - R_{сх} \right)}{r - 3 \left(\frac{U_{оп}}{I_{ср}} - R_{сх} \right)} = \frac{rR_c}{r - 3R_c}; \quad (III-9)$$

при двухфазной утечке и $r \neq \infty$

$$r_{ут.отк}'' = \frac{2r \left(\frac{U_{оп}}{I_{ср}} - R_{сх} \right)}{r - 3 \left(\frac{U_{оп}}{I_{ср}} - R_{сх} \right)} = \frac{2rR_c}{r - 3R_c}; \quad (III-10)$$

при трехфазной утечке и $r \neq \infty$

$$r_{ут.отк}''' = \frac{3r \left(\frac{U_{оп}}{I_{ср}} - R_{сх} \right)}{r - 3 \left(\frac{U_{оп}}{I_{ср}} - R_{сх} \right)} = \frac{3rR_c}{r - 3R_c}, \quad (III-11)$$

причем при достаточно большой величине r соотношение отключающих сопротивлений

$$r_{ут.отк}' : r_{ут.отк}'' : r_{ут.отк}''' = 1 : 2 : 3.$$

Такое соотношение является общим свойством всех схем, имеющих канонические характеристики. Зависимости $r_{ут}$ от r , характеризующие условия возникновения постоянного тока цепи защиты, равного $I_{ср}$, приведены на рис. III-16. Такие зависимости присущи любому аппарату защиты с каноническими характеристиками.

Поскольку при $r = \infty$ срабатывание аппарата защиты происходит при $r_{ут.отк}''' = 3R_c$, он сработает

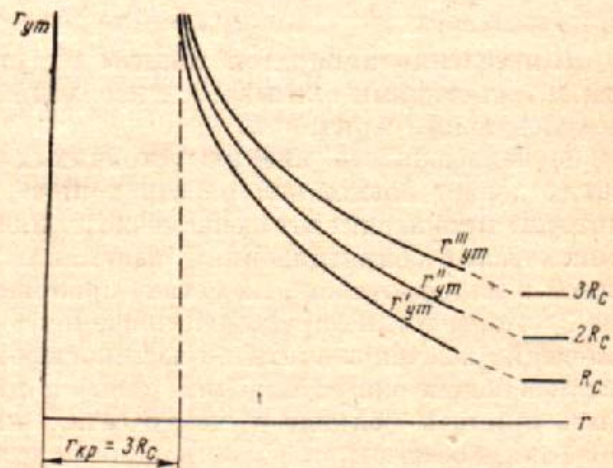


Рис. III-16. Характеристика аппарата защиты от утечек по схеме рис. III-14 и III-15

также при $r'_{ут} = r''_{ут} = r'''_{ут} = \infty$, когда сопротивление изоляции сети снизится до

$$r = 3R_c = r_{кр.}$$

Минимальная величина сопротивления изоляции сети, при которой не происходит ее отключение в условиях, когда $r'_{ут} = r''_{ут} = r'''_{ут} = \infty$, иными словами, минимальное неотключающее сопротивление изоляции сети при отсутствии утечек, как уже указывалось, именуется критическим сопротивлением изоляции $r_{кр.}$

С помощью выражений (III-9), (III-10) и (III-11) можно определить величину отключающего сопротивления одно-, двух- и трехфазной утечки при любом возможном сопротивлении изоляции сети от $r = \infty$ до $r = r_{кр.}$

Сравнивая характеристики этой защиты с характеристиками, обусловленными принципиальными требованиями к защите, можно признать наличие достаточного совпадения между ними. Во всяком случае, такая защита срабатывает при $r'_{ут}, r''_{ут}, r'''_{ут}$ и $r_{кр.}$, причем, как видно из рис. III-16, при одинаковых сопротивлениях изоляции сети r отключающие сопротивления трехфазных утечек больше, чем двухфазных, а отключающие сопротивления двухфазных утечек больше, чем однофазных, что соответствует и принципиальным требованиям.

Схема, изображенная на рис. III-14, была осуществлена в аппарате защиты для сетей 380 и 660 в типа РУВ, схема, изображенная на рис. III-15, — в аппарате защиты для сетей 127 в типа РУВ-127.

Производство реле утечки типа РУВ в настоящее время прекращено, но значительное число их еще находится в эксплуатации на шахтах. Однако схема ЗВ, изображенная на рис. III-15, используется в настоящее время как элемент схемы в более сложных аппаратах защиты.



Рис. III-18. Общий вид шахтного аппарата защиты от утечек УАКИ-380