

ПОДСИСТЕМА ЗАЩИТЫ ОТ УТЕЧЕК ТОКА В ОДНОФАЗНОЙ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НАПРЯЖЕНИЕМ 36/42 В

¹Иванилов В.В., студ.; ²Иванилов В.Н., доц., к.т.н.

¹(ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР);

²(Донбасская национальная академия архитектуры и строительства, г. Макеевка, ДНР)

Кабельные сети, соединяющие электрооборудования в подземных условиях угольных шахт, часто находятся в условиях, требующих особого контроля за их состоянием, особенно за состоянием изоляции. Нарушения изоляции, как известно, приводят к поражению человека электрическим током в случае появления утечек тока на землю. Кроме того, известно, что уменьшение сопротивления изоляции кабельных линий может приводить к их воспламенению из-за теплового нагрева, формируемого межфазными токами утечки, и последующему взрыву метано-воздушной смеси.

Кабельные неискробезопасные (силовые) сети в угольных шахтах имеют уровни напряжения переменного тока: 6000, 1140/660, 380, 220/127 В, оснащенные аппаратами защиты от утечек тока на землю, и 36/42 В.

Но известно, что причиной аварии на шахте «Красноармейская-Западная № 1» в декабре 2002 г. и аварии на шахте «Им. С.М. Кирова» в мае 2001 г. стали взрывы метано-воздушной смеси, причиной которых стали замыкания на землю в однофазных цепях переменного тока напряжением 42/36 В. [1]

Цель статьи – описание подсистемы защиты от утечек тока в однофазной цепи источника переменного тока напряжением 36/42 В.

Наиболее распространенным потребителем однофазного напряжения 36 В является аппаратура управления и контроля конвейерных линий типа АУК-1М. В качестве источника питания этой аппаратуры применяются магнитные пускатели типа ПВИ, ПВР и пр., имеющие в своем составе трансформатор со специальной обмоткой, формирующей напряжение 36 В и защищенной только плавким предохранителем, или устройства сигнализации и телефонной связи типа УСТ. Кроме аппаратуры АУК-1М, электрические цепи с однофазным напряжением 36 В применяются также для питания электрических светильников местного освещения в составе проходческих комбайнов, породопогрузочных машин типа ППМ, установках бурильных шахтных типа УБШ.

Сети электроснабжения напряжением до 42 В принято относить к неопасным по фактору поражения человека электрическим током.

Существующие разработки устройств защиты от утечек тока в однофазной цепи источника переменного тока напряжением 36/42 В в зависимости от построения и принципа действия электрических схем можно классифицировать таким образом:

- 1) работающие на оперативном постоянном токе, получаемом от дополнительного источника;
- 2) работающие на токах силовой цепи, выпрямленных с использованием вентильных устройств;
- 3) реагирующие на напряжение нулевой последовательности;
- 4) основанные на контроле изоляции постоянным током и одновременно реагирующие на ток или напряжение нулевой последовательности (комбинированные устройства).

Примерами таких устройств можно считать реле утечки типа НА-ER1, применяемое в многоконтактном выключателе (аналог отечественных станций управления СУВ) НА-dk9/9VAC/B-I фирмы «Hanscher» для защиты отходящего присоединения 42 В; реле утечки типа Ea2, контролирующее цепи 42 В, встраиваемое в пусковую аппаратуру фирмы «Hanson».

Более усложненным, построенным на принципе сравнения тока уставки с оперативным током контролируемой цепи, является реле типа PZ-34 фирмы «Aparator».

Наибольшее применение получили устройства, основанные на контроле изоляции постоянным током.

Преимущества таких схем защитного отключения состоят в способности контролировать появление повреждения изоляции и уровень ее сопротивления, а также возможность обеспечения заданных уставок срабатывания. К их недостаткам можно отнести контроль только активного сопротивления изоляции постоянному току.

Наряду с этим большую роль в уменьшении вероятности воспламенения метано-воздушной смеси и пожаров играет функция предупредительного контроля сопротивления изоляции сетей питания электропотребителей.

Отечественная промышленность выпускает несколько типов реле утечки для отходящих присоединений напряжением 42/36 В: АУЗТ, выпускаемое ЗАО «МЗША», Б32, производимое ЧАО «ИТЭП», блок защиты, выпускаемый «ТЭТЗ-Инвест».

Упомянутые изделия имеют блочную конструкцию, основаны на способе наложения постоянного оперативного тока заданной величины с последующим контролем уровня напряжения на измерительном резисторе с сопротивлением заданной величины, что упрощенно показано на рисунке 1.

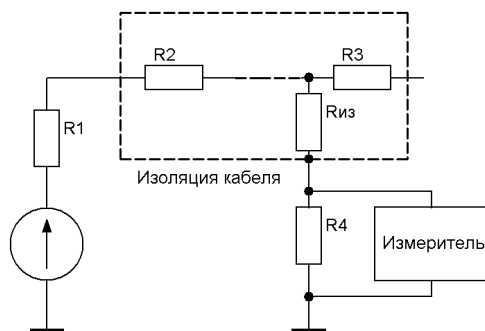


Рисунок 1 - Упрощенная схема измерения сопротивления изоляции кабеля.

- R1 – токозадающий резистор;
- R2 - R3 – сопротивление жилы кабеля;
- Rиз – сопротивление изоляции кабеля;
- R4 – измерительный резистор.

При реализации данного способа защиты было учтено следующее.

В шахтных неискробезопасных электрических сетях всякий разрыв электрической цепи сопровождается появлением перемежающегося искрения или стойкой электрической дуги, дающих искру, достаточную для воспламенения взрывоопасной газовой смеси. Опасности в отношении взрыва могут возникнуть не только при отключении или разрыве силовой сети, но и при возникновении однофазных замыканий и утечек тока на землю.

Для оценки искробезопасности электрических цепей используется экспериментальный статистический метод, позволяющий определить вероятность воспламенения P искрой газовой взрывной смеси для электрической цепи. Искробезопасными параметрами электрической цепи считаются такие, которые при аварийном режиме искрообразования дают вероятность воспламенения не выше $P=10^{-4}$ [2].

На рисунке 2 показан график вероятности воспламенения P метано-воздушной смеси от токов однофазных замыканий на землю в зависимости от величины активного сопротивления изоляции фазы относительно земли [3].

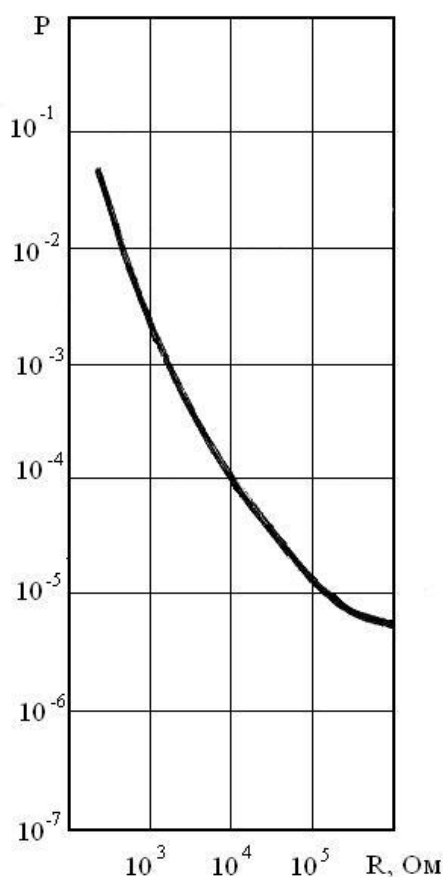


Рисунок 2 - Зависимость вероятности воспламенения метано-воздушной смеси от величины активного сопротивления изоляции R

Из графика можно увидеть, что искробезопасность с вероятностью $P = 10^{-4}$ может быть обеспечена в интервале изменения величины активного сопротивления изоляции $10^3 - 10^4$ Ом. В соответствии с ГОСТ 22782.5 [4] для омической цепи напряжением 36 В воспламеняющий ток составляет 0,4 А.

Стоит заметить, что сети 36 В не имеют большой длины (короткие) и потому емкостную составляющую токов в них можно не учитывать. Но сети напряжением 36 В имеют индуктивность, которая состоит из индуктивности обмотки питающего трансформатора и нагрузки. При индуктивности 10^{-1} Гн минимальный воспламеняющий ток снижается до 0,1 А, а при индуктивности 1 Гн – до 0,04 А [2]. В соответствии с ГОСТ 22782.5 [4] искробезопасный ток электрической цепи должен быть в 1,5 раза ниже воспламеняющего, то есть составлять 0,027 А. Несложно подсчитать, что сопротивление изоляции цепи при этом будет 1,4 кОм, что можно принять как значение уставки срабатывания. Если допустить, что аппарат защиты может эксплуатироваться в «длинных» цепях с увеличением емкости до $C = 1,0$ мкФ, то емкостное сопротивление изоляции провода равняется $X_c = \frac{3180}{C}$, что составляет 3,18 кОм.

Тогда значение полного сопротивления изоляции цепи с учетом ее емкости $Z_U = \sqrt{(R_U)^2 + (X_c)^2}$, что дает значение 3,5 кОм. Исходя из этих условий, величину уставки сопротивления срабатывания можно принять не менее 3,5 кОм.

Время отключения нагрузки выбрано исходя из условий, приведенных в ГОСТ 22929 [5] как для аппаратов защиты напряжением до 1200 В – 0,1 с.

Для разработанного отечественными производителями автоматического аппарата подсистемы защиты от утечек тока в однофазной цепи переменного тока напряжением 36/42 В приняты следующие технические характеристики, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Принятые технические характеристики

Наименование основных параметров	Значение
1. Номинальное напряжение защищаемой сети частотой (50±1) Гц, В	36/42
2. Допустимое отклонение напряжения питания от номинального, %	минус 15 плюс 10
3. Время срабатывания аппарата защиты, с, не более	0,1
4. Сопротивление однофазной утечки на землю, при котором срабатывает защита, кОм, не менее	3,5
5. Величина тока в измерительной цепи, мА, не более	2
5. Мощность, потребляемая аппаратом защиты при номинальном напряжении питания, В·А, не более	0,3

Для обеспечения таких технических характеристик была принята функциональная схема аппарата защиты, показанная на рисунке 3.

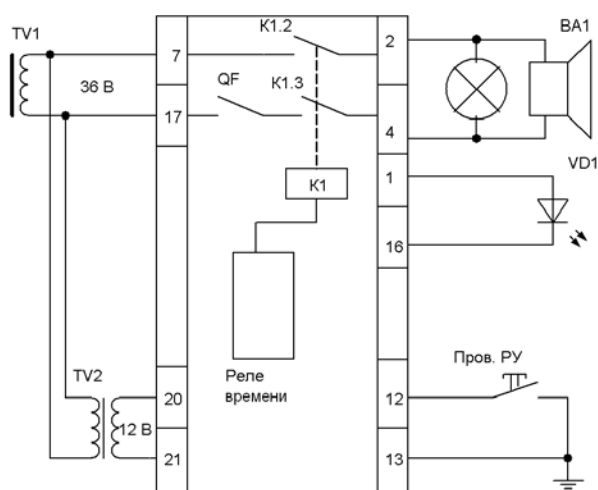


Рисунок 3 - Функциональная схема аппарата защиты

Аппараты защиты снабжены разъемами для подключения к трансформатору собственных нужд и к проходным зажимам сети 36/42 В в отделении выходов оболочки. Конструкция разъемов исключает ошибочные действия при подключении аппарата защиты.

Для упрощения контроля наличия короткого замыкания в защищаемой сети используется автоматический выключатель QF со встроенной токовой защитой. Аппарат защиты гальванически разделен трансформатором TV1 от других систем электротехнического оборудования и не влияет на их работоспособность.

Для повышения надежности аппарата защиты, снижения его стоимости и обеспечения высокой технологичности и повторяемости в условиях производства в аппарате использованы операционные усилители, транзисторы, диоды, реле, резисторы и конденсаторы. Использование микропроцессорной техники тоже возможно. Но небольшое количество контролируемых динамических процессов и формируемых аппаратом исполнительных команд, значительное усложнение схемы и необходимость контроля состояния программного обеспечения в условиях производства или эксплуатации делает первый вариант более предпочтительным.

Исходя из условий производства, применен корпус, который принят при производстве блоков управления типа БДУ. На рисунке 4 показан пример внешнего вида.

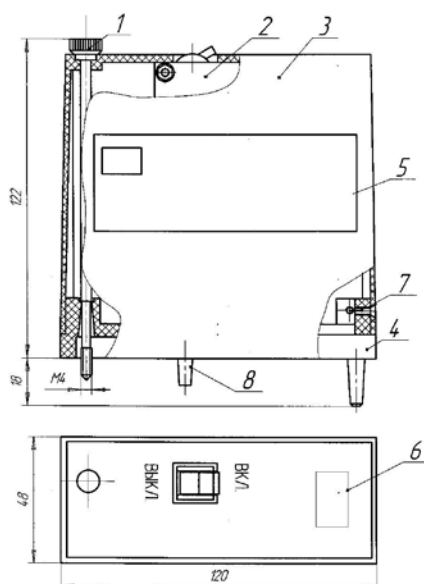


Рисунок 4 - Внешний вид аппарата защиты

- 1 – крепежный винт;
- 2 – автоматический выключатель токовой защиты;
- 3 – корпус;
- 4 – основание;
- 5, 6 – таблички;
- 7 – пломбируемый винт;
- 8 – ключевой элемент

Разработанная подсистема защиты от утечек тока в однофазной цепи переменного тока напряжением 36/42 В обеспечивает выполнение требований НПАОТ 10.0-1.01-10 «Правила безопасности в угольных шахтах» [6].

Широкое внедрение этой подсистемы позволило исключить взрывы метано-воздушной смеси, причиной которых были замыкания на землю в однофазных цепях переменного тока напряжением 42/36 В.

Перечень ссылок

1. В.П. Колосюк. О взрывоопасности электрических цепей напряжением 36 В. // Уголь Украины – 2002. – № 11.
2. Л.В. Гладилин, Б.Г. Меньшов, В.И. Щуцкий, Ю.П. Антонов, Н.И. Бородин. Изоляция подземных электроустановок шахт и электробезопасность. Гладилин Л.В.// М.: Недра.–1976. – 260с.
3. В.П. Колосюк. Защитное отключение рудничных электроустановок. Колосюк В.П. – М.: Недра.–1980. – 334с.
4. Электрооборудование взрывозащищенное с видом взрывозащиты «Искробезопасная электрическая цепь». Технические требования и методы испытаний. ГОСТ 22782.5–78. – [Введ. 1980-01-01]. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 70 с.
5. Аппараты защиты от токов утечки рудничные для сетей напряжением до 1200 В. Общие технические условия. ГОСТ 22929-78. – [Введ. 1980-01-01]. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 36 с.
6. Правила безопасности в угольных шахтах: НПАОТ 10.0-1.01-10 – [Введ. 2010-17-04]. – Киев: Редакция журнала «Охрана труда», 2010. – 430 с.