

**М.М. Белый, канд. техн. наук**

*(Украина, Днепрпетровск, Национальный горный университет)*

**В.В. Коренский, канд. техн. наук**

*(Россия, Мирный, филиал Якутского государственного университета)*

## **АНАЛИЗ ПРИЧИН, ЗАТРУДНЯЮЩИХ РЕАЛИЗАЦИЮ СРЕДСТВ ЗАЩИТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ ШАХТНЫХ КОНТАКТНЫХ СЕТЕЙ**

Анализируя принципиальные возможности средств защитного отключения, основанных на различных методах контроля утечек тока, и их серийное производство и внедрение в контактных сетях рудных и угольных шахт, неминуемо приходим к выводу, что, несмотря на различия (иногда принципиальные, иногда количественные) механизмов их функционирования, всем им присуще одно общее качество – низкая реализуемость.

Этот факт в работах, посвященных рассматриваемой проблеме, находит качественную оценку и выражается, как правило, фразами типа "ввиду очевидной сложности", "в силу трудности реализации" и т.д. Для выхода из тупика, в который зашли работы, имеющие целью создание эффективных средств защитного отключения шахтных контактных сетей, необходимо конкретизировать качественные оценки и показатели сложности, найти причину (или причины) их вызывающие, дать их количественное выражение с целью минимизации результирующей сложности (стоимости) путем выработки методов построения средств защитного отключения.

Из возможных методов контроля утечек тока тщательного анализа заслуживают те, которые реализуют частотное и временное разделение каналов оперативного и рабочего тока. Другие не представляются реальными (ваттметровый метод, ультразвуковое зондирование, контроль биотоков).

Попытаемся качественно проанализировать сложности создания средств защитного отключения, реализующих эти методы в пространстве функционально-стоимостных показателей. Обобщенная стоимость средств защитного отключения характеризуется суммой затрат на их проектирование и изготовление, а также стоимостью эксплуатации, которая, в свою очередь, определяется как затратами на обслуживание и ремонт, так и влиянием на другие технологические системы.

Защитное отключение может рассматриваться как управление комплексом электрического оборудования электровозной откатки в случае возникновения травмоопасных утечек с помощью вспомогательных средств, которыми являются устройства защитного отключения, на основании информации, полученной в результате зондирования контактной сети. Такое представление процедуры защитного отключения, кроме смыслового соответствия, оправданно еще и тем, что в ряде реализаций отдельные составляющие силового комплекса одновременно являются функциональными звеньями средств защитного отключения. В частности, в защитах, реализующих временное разделение каналов оперативного и рабочего токов, тяговый преобразователь формирует оператив-

ные паузы, во время которых осуществляется зондирование контактной сети [1, 2]. В качестве исполнительного органа средств защитного отключения во всех без исключения случаях используется контактная и бесконтактная коммутационная аппаратура, входящая в комплекс технических средств электровозной откатки. Таким образом, обеспечение безопасных условий труда с помощью средств защитного отключения предполагает взаимодействие силового и вспомогательного оборудования. При таком взаимодействии, кроме основных (технологических) связей, между элементами комплекса возникают дополнительные связи и влияния. В частности, осуществляется зондирование контактной сети и информационная обработка сигнала отклика, выполняются прерывания питающего напряжения или тока, заграждение силовых цепей электровозов, вырабатываются, в случае необходимости, команды на отключение контактной цепи.

Прерывания питающего напряжения (тока) отрицательно влияют на функционирование силового оборудования: трансформатор перегружается высокочастотными составляющими тягового тока, ухудшаются условия работы тяговых двигателей, чувствительных к пульсациям тока, сокращается срок службы управляемых вентилях, работающих в режиме циклической коммутации тягового тока, появляется необходимость в установке на электровозах специальных заградителей и т.д. Эти дополнительные связи порождают вторичные взаимодействия и влияния, затрудняющие функционирование электротехнических систем и служб. Высокочастотные составляющие электромагнитного поля, создаваемого в пространстве горных выработок при протекании по контактному проводу пульсирующего тока, затрудняют работу средств связи и телемеханики. Высокая повреждаемость электровозных заградителей, ухудшение условий работы коммутационной аппаратуры тяговых двигателей и трансформатора повышают затраты на обслуживание этих средств и эксплуатацию электровозного транспорта в целом.

При временном разделении каналов рабочего и оперативного токов преобладающими являются: потери, обусловленные влиянием на системы связи и телемеханики; энергетические, а также потери, обусловленные снижением надежности тягового преобразователя из-за работы тиристоров в режиме форсированной циклической коммутации больших токов.

Реально уменьшить потери, обусловленные влиянием на системы связи и телемеханики можно сужением спектра гармонических составляющих питающего напряжения и тягового тока за счет увеличения оперативной паузы. Это утверждение базируется на известном из теории спектров положении: чем шире импульс, тем уже его спектр. В частности, модуль спектральной плотности прямоугольного импульса.

$$F(j\omega) = E_{\tau} \left| \frac{\sin \frac{\omega\tau}{2}}{\frac{\omega\tau}{2}} \right|,$$

где  $E$  - амплитуда импульса;  $\tau$  - длительность импульса.

Основная часть энергии импульса содержится в диапазоне частот

$$0 < \omega < \frac{2\pi}{\tau}.$$

Следовательно, увеличивая оперативную паузу, можно сузить энергетически значимую часть спектра до нужных пределов. Однако при этом ухудшаются энергетические показатели электровозной откатки. При фиксированной частоте коммутаций, а, следовательно, фиксированном периоде цикла, увеличение длительности оперативной паузы приводит к уменьшению среднего значения питающего напряжения в пропорции

$$\frac{T - \tau}{T}.$$

Чтобы не допустить ухудшения тяговых характеристик электровозов, что увеличило бы эксплуатационные затраты, необходимо увеличить амплитуду питающих импульсов. Последнее, в свою очередь, требует ужесточения требований к устройствам защитного отключения, так как чувствительность и быстродействие последних, определяются максимальным значением питающего напряжения.

Кроме того, увеличение длительности оперативной паузы при неизменном питающем напряжении изменяет соотношение между действующим и средним значениями питающего напряжения в пользу действующего:

$$\frac{U}{U_{cp}} = \sqrt{\frac{T}{T - \tau}}.$$

А поскольку потери энергии определяются действующим значением питающего напряжения, то такое решение приводит к увеличению энергетических затрат.

Увеличивать длительность цикла  $T$  не представляется возможным по условиям безопасности. Она должна быть не более предельно допустимого времени воздействия электрического тока на организм человека. При напряжении питания контактной сети 275 В полное время цикла  $T_{\text{ц}} = T_{\text{у}} + T_{\text{н}}$  не превышает 200 мс, причем пауза  $T_{\text{н}}$  составляет примерно  $T_{\text{ц}}/60$ .

Таким образом, соотношения, принятые в разработках МакНИИ и ВНИИБТГ, следует оценить как близкие к оптимальным, а возможности улучшения эксплуатационных устройств защитного отключения за счет изменения этих соотношений - исчерпанными.

При частотном разделении каналов рабочего и оперативного тока энергетика тяговой откатки остается практически неизменной [2]. При разумном выборе параметров оперативного напряжения устраняется также влияние на системы связи и телемеханики. Таким образом, эти составляющие эксплуатационных затрат исключаются. Основным недостатком такого рода устройств явля-

ется необходимость оборудования электровозов громоздкими заградителями. Пассивные заградители представляют собой дроссели, настроенные в резонанс на частоте, близкой к частоте оперативного напряжения. Необходимость обеспечить довольно высокое и стабильное сопротивление оперативному току накладывает определенные требования на конструкцию заградителя. Дроссель должен быть хорошо экранированным, чтобы изменение конфигурации ферромагнитных масс вблизи него не влияло на параметры контура.

Кроме того, дроссель не должен существенно нагреваться протекающим через него тяговым током, так как при этом меняется сопротивление потерь, а, следовательно, и параметры образованного дросселем контура. Реально удовлетворительные результаты получаются при намотке дросселя проводом типа "литцендрат", причем сечение провода определяется тяговым током электровоза. Такой провод является очень дорогим и чрезвычайно дефицитным, что приводит к росту эксплуатационных затрат при применении пассивных заградителей.

Активные заградители содержат два дросселя и источник напряжения. В отличие от пассивного заградителя здесь к дросселям не предъявляется особенно высоких требований ни метрологических, ни конструктивных. Обусловленные ими эксплуатационные затраты сравнительно невелики. Основной недостаток – необходимость установки на электровозе электронных устройств, выполняющих функции источника заграждающего напряжения. С учетом условий эксплуатации электровозов и уровня квалификации обслуживающего персонала обеспечение надежной работы прецизионных электронных устройств, установленных на электровозе, – дело весьма дорогостоящее.

Общим недостатком для всех устройств, реализующих частотное разделение каналов, является не совсем полная достоверность измерительной информации, связанная с тем, что утечки постоянного тока контролируются переменным током частотой 5 – 15 кГц. Наиболее лаконично последнее утверждение можно аргументировать таким примером. Если на постоянном токе сопротивление  $I$  м провода радиусом «а» из материала с проводимостью  $\gamma$  составит

$$R_0 = \frac{1}{\pi a^2 \gamma},$$

то на переменном токе частотой  $\omega$  этот провод будет обладать как активным

$$R = \frac{\sqrt{\omega \mu_a b_0}}{2\pi a \gamma b_1} \cos(\beta_0 - \beta_1 - 45^\circ),$$

так и реактивным сопротивлением

$$x = \frac{\sqrt{\omega\mu_a b_0}}{2\pi a \gamma b_1} \sin(\beta_0 - \beta_1 - 45^\circ).$$

Здесь  $\mu_a$  – абсолютная магнитная проницаемость материала провода;  $b_0$  и  $\beta_0$  – модуль и аргумент, соответствующий функции Бесселя нулевого порядка первого рода;  $b_1$  и  $\beta_1$  – модуль и аргумент, соответствующий функции Бесселя первого порядка первого рода.

По мнению специалистов, обобщенная стоимость средств защитного отключения является, примерно, одинаковой независимо от того, какой метод контроля утечек тока они реализуют. Это позволяет предположить, что она (обобщенная стоимость) определяется неким общим фактором, находящимся вне методологии контроля утечек тока. На взгляд авторов таким фактором является требуемая информативная способность средств защитного отключения.

Процедура защитного отключения подразделяется на две части: принятие решения и его исполнение. Что касается второй части, то здесь сложностей и неопределенностей не существует. Современная коммутационная аппаратура позволяет осуществить отключение с достаточной скоростью и надежностью. Первая же часть процедуры: принятие решения – является более сложной и неопределенной. Она предполагает способность технических средств установить сам факт возникновения ситуации, опасной в плане поражения человека электрическим током на основании результатов контроля параметров электрической цепи, оценки их изменений и селекции по степени опасности в соответствии с принятыми и узаконенными первичными критериями безопасности.

Абстрагируясь от схемных решений защит, можно утверждать, что первая часть процесса защитного отключения представляет получение, обработку и оценку информации о функционировании электрической цепи в плане обеспечения электробезопасности. Естественно предположить, что сложность, стоимость и реализуемость технических средств, выполняющих указанные действия, зависят от количества информации, необходимой для принятия решения о необходимости отключения тяговой сети. Такое предположение основывается на одном из известных постулатов теории информации: "если объект просто устроен, то для его описания достаточно небольшого количества информации, если же он сложен, то его описание должно содержать много информации". Здравый смысл подсказывает, что верно и наоборот: чем больше информации вырабатывает объект, тем он сложнее.

Из рассмотренного следует, что временное разделение каналов рабочего и оперативного токов для контроля состояния изоляции контактной сети вызывает ухудшение энергетических показателей силового электрооборудования, затрудняет работу средств связи и телемеханики, что повышает затраты на эксплуатацию шахтного электровозного транспорта.

Частотное разделение каналов рабочего и оперативного токов в контактной сети практически не влияет на системы связи и телемеханики, а также на энергетику рудничной тяговой откатки. Однако такого рода устройства требуют оборудования электровозов громоздкими пассивными или активными за-

градителями, что снижает эксплуатационные показатели рудничного рельсового транспорта. Кроме того устройства, реализующие частотное разделение каналов, обеспечивают не совсем полную достоверность измерительной информации в связи с тем, что утечки постоянного тока контролируются переменным током. Таким образом, разработанные средства защиты рудничных контактных сетей от токов утечки с использованием оперативного напряжения при частотном разделении каналов рабочего и оперативного токов требуют коренного совершенствования.

#### Список литературы

1. Електрифікація гірничих робіт/Г.Г. Півняк, М.М. Білий, Л.П. Ворохов та ін.; За ред. акад. НАН України Г.Г. Півняка. – Д.: Національний гірничий університет, 2005. – 615 с.
2. Колосюк В.П., Трач А.И. Электроснабжение шахтных контактных электровозов. – М.: Недра, 1992 – 256 с.