

УДК 621.316.5

А.В. Ляхомский, В.В. Коренский

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

Семинар № 20

Анализируя принципиальные возможности средств защитного отключения, базирующихся на различных методах контроля утечек тока, и опыт реализации этих средств путем их серийного производства и широкого внедрения в контактных сетях рудных и угольных шахт, неминуемо приходим к выводу, что, несмотря на различия механизмов функционирования средств защитного отключения всем им присуще одно общее качество: низкая реализуемость.

Этот факт в работах, посвященных рассматриваемой проблеме, находит качественную оценку и выражается, как правило, фразами - "виду 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 причины их вызывающие, дать им количественное выражение с целью минимизации результирующей сложности (стоимости) путем выработки рациональных алгоритмов диагностики контактных сетей и методов построения средств защитного отключения.

Попытаемся качественно проанализировать сложности реализации

средств защитного отключения, в пространстве функционально-стоимостных показателей. Обобщенная стоимость средств защитного отключения определяется суммой затрат на их проектирование, изготовление и 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 звенями средств защитного отключения. В частности, в защите, реализующих временное разделение каналов оперативного и рабочего токов, тяговый преобразователь формирует оперативные паузы, во время которых осуществляется зондирование контактной сети. В качестве исполнительного органа средств защи-

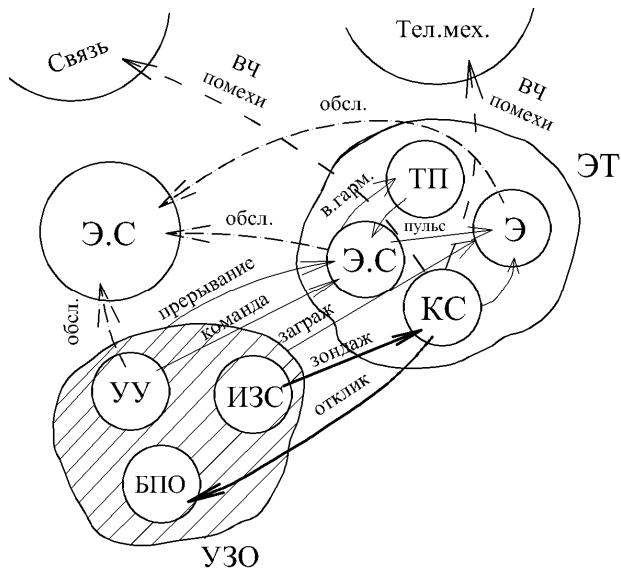


Рис. 1. Зондирование контактной сети и информационная обработка сигнала отклика

ного отключения во всех без исключения реализациях используется контактная и бесконтактная коммутирующая 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 (рис. 1). В частности, в период зондирования контактной сети и информационной обработки сигнала отклика, осуществляется прерывание питающего напряжения или тока, заграждение силовых цепей электровозов, вырабатываются, в случае необходимости, команды на отключение контактной цепи.

Прерывания питающего напряжения (тока) вызывают нежелательное влияние на функционирование силового оборудования: трансформатор перегружается высокочастотными

составляющими тягового тока, ухудшаются условия работы тяговых двигателей, чувствительных к пульсациям тока, сокращается срок службы управляемых вентилей, работающих в режиме циклической коммутации тягового тока, появляется необходимость устанавливать на электровозах специальные заградители и т.д.

Эти дополнительные связи и влияния 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 коммутирующей аппаратуры тяговых двигателей и трансформатора повышают потери 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 потери и потери, обусловленные снижением надежности тягового преобразователя в силу работы тиристоров в режиме форсированной циклической коммутации больших токов.

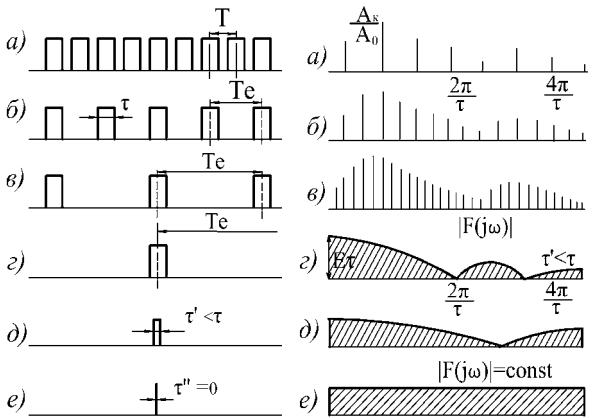


Рис. 2. Сужение спектра гармонических составляющих питающего напряжения

Реальным путем уменьшения потерь, обусловленных влиянием на системы связи и телемеханики, может быть сужение спектра гармонических составляющих питающего напряжения и тягового тока за счет увеличения оперативной паузы (рис. 2). Это утверждение базируется на известном из теории спектров положении, гласящем, что чем шире импульс, тем уже его спектр. В частности модуль спектральной плотности прямоугольного импульса:

$$F(j\omega) = E_\tau \left| \frac{\sin \frac{\omega T}{2}}{\frac{\omega T}{2}} \right| \quad (1)$$

где E_τ - амплитуда импульса; τ - длительность импульса.

Основная часть энергии импульса содержится в диапазоне частот:

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

Следовательно, увеличивая его, 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:

$$\frac{T - \tau}{T}. \quad (2)$$

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 τ при неизменном T , изменяет соотношение между действующим и средним значениями питающего напряжения в пользу действующего:

$$\frac{U}{U_{cp}} = \sqrt{\frac{T}{T - \tau}}. \quad (3)$$

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 наихудших условиях электротравм. Так, например, при напряжении питания контактной сети $275 V$, $T \leq 0,2 s$.

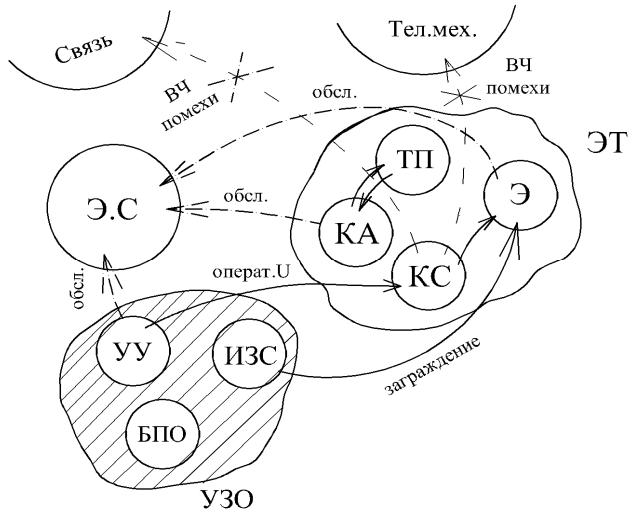


Рис. 3. Частотное разделение каналов оперативного и тягового токов

При частотном разделении каналов рабочего и оперативного тока, энергетика электровозной откатки остается практически неизменной. При разумном выборе параметров оперативного напряжения устраняется также влияние на системы связи и телемеханики (рис. 3).

Таким образом, эти составляющие эксплуатационных затрат исключаются. Основным недостатком такого рода устройств является необходимость оборудования электровозов громоздкими заградителями.

При этом дроссель пассивного заградителя не должен существенно нагреваться протекающим через него тяговым током, т.к. при нагреве 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 чрезвычайно дефицитным.

В отличие от пассивного заградителя, активные заградители содержат два дросселя и источник напряжения.

При этом к дросселям не предъявляется особенно высоких требований ни метрологических, ни конструкционных, а обусловленные ими эксплуатационные затраты сравнительно невелики. Основным недостатком является необходимость установки на электровозе электронных устройств, выполняющих функции источника загрязняющего напряжения [1].

Общим недостатком, присущим всем устройствам, реализующим частотное разделение каналов, является не совсем полная достоверность измерительной информации, т.к. 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 a из материала с проводимостью γ составит:

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

то на переменном токе частотой ω , этот провод будет обладать как активным

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

так и реактивным сопротивлением

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

Здесь μ_a - абсолютная магнитная проницаемость материала провода: b_0 и β_0 - модуль и аргумент, соответст-

вующий функции Бесселя нулевого порядка первого рода: b_1 и β_1 - модуль и аргумент соответствующей функции Бесселя первого порядка первого рода.

По мнению специалистов, обобщенная стоимость средств защитного отключения является примерно одинаковой, независимо от того, какой метод контроля утечек они реализуют. Это позволяет предположить, что она определяется неким общим фактором, находящимся вне методологии контроля утечек тока. На наш взгляд 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 коммутирующая аппаратура позволяет осуществить отключение с достаточной скоростью и надежностью. Первая же часть процедуры: принятие решения - является значительно более сложной и неопределенной. Она предполагает способность технических средств установить сам факт возникновения ситуации, опасной в плане поражения человека электрическим током на ос-

новании результатов контроля параметров электрической цепи, оценки их изменений и селекции по степени опасности, в соответствии с принятыми и узаконенными первичными критериями безопасности.

Абстрагируясь от технических условий эксплуатации сети можно утверждать, что первая часть процедуры защитного отключения представляет собой получение, обработку и оценку информации о функционировании электрической сети в плане обеспечения электробезопасности. Естественно предположить, что сложность, стоимость и реализуемость технических средств, зависят от количества информации, необходимой для принятия решения о необходимости отключения электрической установки. Такое предположение основывается на одном из постулатов теории информации, гласящем, что "если объект просто устроен, то для его описания достаточно небольшого количества информации, если же он сложен, то его описание должно содержать много информации" [2]. Здравый смысл подсказывает, что верно и наоборот: чем большее количество информации вырабатывает объект, тем он сложнее.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колосюк В.П., Трач А.И. Электроснабжение рудничных контактных электрозвозов. – М.: Недра, 1992. – 256 с.
2. Эльясберг П.Е. Измерительная информация. Сколько ее нужно, как ее обрабатывать? – М.: Наука, 1983. – 208 с. ГИАБ

Коротко об авторах

Ляхомский А.В. – доктор технических наук, профессор, декан горно-электромеханического факультета, заведующий кафедрой "Электрификации и энергоэффективности горных предприятий", Московский государственный горный университет,

Коренский В.В. – кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой ОГД, МГТИ(ф) ЯГУ.