

А.И.Ковалев

(Украина, Кривой Рог, ОАО "Криворожсталь")

Ф.П.Шкрабец, д-р техн. наук

(Украина, Днепропетровск, Национальный горный университет)

АНАЛИЗ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ИЗОЛЯЦИИ, СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ И ПРОТИВОАВАРИЙНОГО УПРАВЛЕНИЯ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ КАРЬЕРОВ

В общем случае знание состояния изоляции электроустановок напряжением выше 1000 В, эксплуатирующихся в различных условиях горного производства являются важным составным элементом решения задачи по обеспечению безопасности и безаварийности систем электроснабжения.

Параметрами, характеризующими состояние изоляции, являются: полное сопротивление $Z_{из}$, активное $R_{из}$, емкостное $X_{из}$ и омическое $R_{ом}$ сопротивления. Одним из решающих факторов в деле обеспечения безопасной и надежной эксплуатации электроустановок и сетей является уровень активного сопротивления относительно земли, измеренного на переменном токе. Локальное снижение активного сопротивления изоляции любого участка может явиться причиной резкого снижения общего сопротивления относительно земли электрической сети в целом и привести к возникновению аварийного режима.

Целью настоящей статьи является дать оценку состояния и перспективам использования известным методам контроля и защиты карьерных распределительных сетей напряжением 6 кВ.

Контроль изоляции.

Оценка состояния изоляции электроустановок и сетей может быть произведена по значению омического сопротивления изоляции $R_{ом}$. Этот параметр не зависит от емкости электроустановок относительно земли и характеризует наличие сквозных проводящих мостиков между токоведущими частями электрооборудования и землей. Высокий уровень этого параметра говорит о достаточно хорошем состоянии изоляции электроустановок, надлежащем качестве профилактики и уровне технической эксплуатации электрохозяйства. Низкий уровень этого параметра сигнализирует о наличии слабых мест в изоляции, значительных токах утечки на землю, что опасно в отношении поражения персонала электрическим током, возникновении пожаров.

Омическое сопротивление изоляции гибких кабелей, эксплуатирующихся в условиях открытых горных разработок, подвержено сезонным изменениям. Анализ показывает, что количество пробоев изоляции кабелей находится в тесной взаимосвязи с годовым ходом температуры воздуха и количеством осадков в данном районе и относительной влажности. Изложенное указывает

на необходимость осуществления постоянного контроля уровня сопротивления изоляции или проведения профилактических испытаний изоляции сети, что позволило бы значительно снизить число пробоев изоляции в процессе эксплуатации.

Все известные в настоящее время методы определения параметров изоляции электроустановок и сетей с изолированной нейтралью можно классифицировать следующим образом:

- использующие в качестве измерительного рабочее напряжение электроустановки;
- использующие в качестве измерительного напряжение постороннего источника промышленной частоты;
- использующие в качестве измерительного напряжение постороннего источника не промышленной частоты;
- использующие в качестве измерительного напряжение постороннего источника постоянного тока.

Для контроля изоляции на практике пользуются косвенными методами, а именно, по значению тока однофазного замыкания на землю вычисляют полное сопротивление изоляции определенной сети относительно земли. Различные методы измерения токов однофазного замыкания на землю можно условно разделить на методы прямого и косвенного измерения.

Прямой метод измерения при металлическом замыкании фазы на землю позволяет непосредственно оценить все необходимые значения, но обладает недостатком, резко ограничивающим его применение. В сетях с изолированной нейтралью металлические однофазные замыкания на землю сопровождаются появлением на здоровых и поврежденной фазах кратковременных перенапряжений, превышающих фазное напряжение в 3,5 – 4 раза. Указанные перенапряжения являются причиной пробоя изоляции в других местах, в результате чего могут возникнуть двойные замыкания на землю, которые представляют опасность для обслуживающего персонала и оборудования/1, 4/.

Учитывая изложенное, более широко рекомендуется применять косвенные методы измерения токов замыкания, наиболее простой из которых для сетей с изолированной нейтралью, является замыкание фазы на землю через эталонное сопротивление /3/. Основное преимущество метода заключается в простоте опыта и практически исключается (при величине эталонного сопротивления несколько сотен Ом) возможность повреждения изоляции сети относительно земли в других точках карьерной сети, так как при замыкании на землю через активное сопротивление резко снижается уровень перенапряжений. Находит применение метод создания искусственной несимметрии путем подключения дополнительной емкости к одной из фаз. Если в нормальном режиме работы сети напряжение несимметрии не превышает 1—1,5 %, то к одной из фаз сети подключают дополнительную емкость ΔC , значение которой должно составлять примерно 20 % от предполагаемой суммарной емкости сети, и измеряют напряжение относительно земли $U_{\text{Л}}$ фазы, к которой подключена дополнительная емкость и линейное напряжение сети $U_{\text{Л}}$. Емкостный ток однофазного металлического

замыкания на землю в этом случае находится по выражению $I_3 = U_{\text{Л}} U_{\text{П}} \omega \Delta C / (U_{\text{Л}} - \sqrt{3} U_{\text{П}})$.

В сетях с компенсированной нейтралью для измерения емкостных токов пользуются резонансным методом, суть которого состоит в том, что дугогасящая катушка настраивается в резонанс с емкостью всей сети в нормальном режиме и по известному индуктивному сопротивлению дугогасящей катушки находят емкостное сопротивление.

Также используют метод оперативного напряжения, подводимого к нейтрали. Напряжение от оперативного источника $U_{\text{оп}}$ прикладывается к параллельным контурам, образуемым емкостной проводимостью сети и проводимостью компенсирующего устройства, и создает токи, уменьшенные против действительных составляющих (емкостной и индуктивной) в $n = U_{\phi} / U_{\text{оп}}$ раз.

Определение уровня полной проводимости изоляции относительно земли и ее составляющих (активной и емкостной) в трехфазной электрической сети с изолированной нейтралью напряжением выше 1000 В без снятия рабочего напряжения предлагается осуществлять способом, основанном на искусственном получении напряжения нулевой последовательности путем включения дополнительной активной проводимости в одну из фаз электрической сети [6]. К основному недостатку этого способа контроля параметров изоляции можно отнести то, что он пригоден для электрических сетей с симметричной (в нормальном режиме) изоляцией фаз относительно земли. При несимметрии системы до 3%, случайная относительная среднеквадратичная погрешность определения активной, емкостной и полной проводимости изоляции относительно земли электрической сети будет находиться в пределах 10 %.

Средства защиты.

Основным назначением устройств защиты от замыканий на землю в электрических сетях напряжением выше 1000 В следует считать обеспечение электробезопасности при действии напряжения прикосновения, надежности электроснабжения и недопущение дальнейшего развития аварий. Исходя из этого, основными требованиями, предъявляемыми к устройствам защиты распределительных сетей от несимметричных повреждений являются:

- чувствительность к параметрам контролируемых величин;
- селективность (избирательность) действий;
- высокая функциональная и аппаратная надежность;
- работоспособность в широком диапазоне изменения входных сигналов.

Токовые устройства защиты от замыканий на землю являются наиболее простыми по устройству, обладают достаточно высокой аппаратной надежностью, реагируют как на однофазные, так и на двойные замыкания на землю, получили распространение в распределительных сетях с током однофазного замыкания на землю 5 А и более. Широкое применение токовых защит ограничивается относительно низкой чувствительностью, которая связана с необходимостью выбора тока срабатывания, исходя из условия

отстройки от собственного емкостного тока защищаемого присоединения и, как правило, с учетом переходного процесса. Применение простой токовой защиты оправдано по условиям чувствительности при емкости защищаемой линии меньше в $5 \div 7,5$ раз емкости всей электрически связанной сети [3]. Принцип обеспечения селективности действия токовых защит, а также соотношение значений токов нулевой последовательности при внутренних и внешних однофазных замыканиях на землю, не способствует применению их в сетях с компенсированной нейтралью.

Одним из видов токовых защит от замыканий на землю, получивших применение в сетях с компенсированной нейтралью, являются устройства, реагирующие на высшие гармонические составляющие тока нулевой последовательности. Гармонические составляющие установившегося остаточного тока замыкания на землю могут быть использованы для действия защиты при условии, что в сети имеется достаточно стабильный состав и уровень гармоник. Необходимая чувствительность защиты может быть обеспечена лишь при небольшом (несколько Ом) переходном сопротивлении в точке замыкания, так как в противном случае уровень гармоник резко снижается. Кроме того, для защиты, использующей естественные гармоники установившегося тока замыкания на землю, трудно одновременно обеспечить селективность действия и чувствительность.

Общим недостатком устройств, реагирующих на высшие гармонические составляющие в токе нулевой последовательности, является сложная зависимость состава и уровня естественных гармоник от числа линий, режима настройки компенсирующего реактора и от сопротивления в месте повреждения, а также наличие помех. Исследования Института электродинамики НАН Украины показали, что при однофазных замыканиях на землю через переходное сопротивление несколько десятков Ом уровень высших гармонических составляющих резко уменьшается. Так, при изменении коэффициента полноты замыкания от 1 до 0,4 ток нулевой последовательности для 5-й гармоники уменьшается в 11,5, для 7-й – в 16, для 11-й – в 25 раз [5].

Устройства направленной защиты от однофазных замыканий на землю, реагирующие на параметры установившегося режима замыкания, работают на основе сравнения по фазе тока и напряжения нулевой последовательности рекомендованы только для сетей с полностью изолированной нейтралью, так как в таких сетях углы между токами и напряжением нулевой последовательности практически не зависят от параметров изоляции сети и переходного сопротивления в точке повреждения при однофазных замыканиях на землю. В сетях с компенсированной нейтралью указанный принцип выполнения защит не нашел применения по причине нарушения фазовых соотношений между токами и напряжением нулевой последовательности.

Основными причинами неудовлетворительной работы направленных устройств защиты следует считать наличие переходных процессов, сопровождающих как возникновение замыкания фазы на землю, так и отключение поврежденного присоединения. В последнем случае наблюдаются массовые ложные срабатывания защит. Объясняется это тем, что переходный

процесс, сопровождающий процесс восстановления напряжений фаз сети относительно земли, носит колебательный, затухающий и довольно продолжительный характер с частотой близкой к промышленной /3/.

Устройства защиты, реагирующие на параметры переходного процесса, находят применение в сетях с компенсированной нейтралью, так как компенсация емкостного тока замыкания на землю не позволяет, как правило, использовать для действия защиты токов или напряжений промышленной частоты.

Информация, получаемая при контроле электрических величин переходного процесса при замыкании на землю имеет следующие особенности:

- независимость рабочих режимов системы;
- кратковременное действие, характеризующее появление повреждений, но не характеризующее состояние системы после появления повреждения;
- возможность определения не только устойчивых, но и кратковременных, исчезающих однофазных повреждений.

К недостаткам устройств защиты от замыканий на землю, реагирующих на амплитудные и волновые характеристики переходного процесса, в значительной степени ограничивающих их распространение в распределительных сетях, следует отнести следующее.

1. Броски начального емкостного тока, а также токи и напряжения волн разрядной стадии переходного процесса в значительной степени определяются значениями напряжения и его фазы в момент замыкания на землю.

2. Наличие переходного сопротивления в точке замыкания фазы на землю приводит к уменьшению амплитудных и временных характеристик переходного процесса.

3. При распространении волн по линиям с реальными параметрами их фронты сглаживаются за счет потерь в активных сопротивлениях проводов и земли даже при глухих замыканиях на землю.

4. Отсутствие повторности действия защитных устройств при повторении сигнала в условиях устойчивого замыкания на землю.

Устройства защитные от замыканий на землю, реагирующие на наложенные на сеть токи не промышленной частоты, могут применяться в сетях с любым режимом нейтрали.

Недостатками устройств защиты от замыканий на землю, реагирующих на постоянный оперативный ток, являются отсутствие селективности действия (отключается, как правило, питающий трансформатор), а также ограниченная зона применения (ограничение по суммарной емкости сети относительно земли и по максимальной длине отходящих присоединений, которые определяются опасностью для человека зарядов в распределенных емкостях сети).

Для устройств, реагирующих на наложенный переменный ток не промышленной частоты, значение наложенного тока складывается из составляющих, определяемых, кроме уровня напряжения источника, значением переходного сопротивления в месте замыкания и суммой фазных емкостей сети относительно земли.

Общим недостатком для защит, реагирующих на наложенный ток как пониженной, так и повышенной частоты, является невозможность создания высокочувствительных устройств, так как необходимо отстраиваться от утечек оперативного тока через емкость защищаемой линии. Кроме того, следует отметить возможность ложной работы устройств защиты при переходных процессах, так как в токах переходного процесса возможно наличие составляющих оперативной частоты.

Противоаварийная автоматика.

Из средств противоаварийного управления в карьерных распределительных сетях в настоящее время применяется, и то ограничено, автоматическое включение резерва. Широкое использование в системах электроснабжения карьеров устройств автоматического повторного включения (АПВ) ограничивается необходимостью (в соответствии с требованиями Правил безопасности) предварительного контроля изоляции отключенного присоединения. Применение же устройств АПВ с предварительным осмотром или контролем изоляции обслуживающим персоналом теряет смысл.

Несомненную пользу, как с точки зрения эксплуатационной надежности (исключение развития аварии), так и по условиям электробезопасности, карьерным распределительным сетям обеспечил бы такой, к сожалению отсутствующий, вид противоаварийного управления, как защитное отключение присоединения при обрыве провода одной из фаз воздушной линии электропередачи. По данным статистики, такие повреждения составляют до 10%, все они заканчиваются возникновением однофазных замыканий на землю, но не всегда на такие повреждения реагирует штатная защита, например, при обрыве провода со стороны источника (замыкание на землю через потребитель), или при касании оборванного провода сухого или мерзлого грунта или льда (замыкание на землю через большое переходное сопротивление) /3, 4/.

Выводы.

1. В распределительных сетях карьеров в силу специфических особенностей не получили распространения средства системной автоматики, противоаварийного управления и диагностики, позволяющие предотвратить аварийный режим и исправить неселективное действие средств защиты.

2. В решении проблемы улучшения качественных эксплуатационных показателей систем электроснабжения карьеров важное место принадлежит методам и средствам опережающего обнаружения мест с ослабленной изоляцией и обеспечивающим снижение повреждаемости элементов систем электроснабжения.

Список литературы

1. Лихачев Ф.В. Повышение надежности распределительных сетей 6-10 кВ.// Электрические станции. – 1981. – N11. – С.51-56.
2. Маврицын А.М. Петров О.А. Электроснабжение угольных разрезов. – М.: Недра, 1977. – 184 с.

3. Пивняк Г.Г., Шкрабец Ф.П. Несимметричные повреждения в электрических сетях карьеров: Справочное пособие. – М.: Недра, 1993. – 192 с.
4. Самойлович И.С. Режимы нейтрали электрических сетей карьеров. – М.: Недра, 1976. – 175 с.
5. Сирота И.М. Влияние режимов нейтрали в сетях 6-35 кВ на условия безопасности.// Режимы нейтрали в электрических системах. – К.:1974. – С.84 – 104.
6. Шкрабец Ф.П., Скосырев В.Г. Теоретическое обоснование способа определения параметров изоляции электрических сетей // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць / Ін-т геотехнічної механіки НАН України, – Дн-ськ, 2000. – Вип.22. – С. 13-18.