

*Г.Г.Пивняк, Ф.П.Шкрабец, д-ра техн. наук, А.А.Дворников
(Украина, Днепрпетровск, Национальный горный университет)*

СОСТОЯНИЕ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ И ПРОТИВОАВАРИЙНОГО УПРАВЛЕНИЯ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ КАРЬЕРОВ

Преимущественным видом повреждений в карьерных распределительных сетях напряжением 6 кВ являются однофазные замыкания на землю. По этой же причине наблюдаются простои карьерных машин и происходят более тяжелые для электрооборудования повреждения.

С целью минимизации последствий от указанных повреждений следует предусматривать качественную реализацию следующих мероприятий:

- быстрое и селективное отключение повреждения;
- автоматическое исправление неселективного действия средств защиты;
- предупреждение появления замыканий на землю.

Цель статьи. Дать оценку уровню развития и эксплуатационным характеристикам современных средств защиты и системной автоматики в системах электроснабжения открытых горных работ.

Результаты исследований.

Средства защиты от замыканий на землю

Основным назначением устройств защиты от замыканий на землю 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.

Научный и практический интерес представляют исследования работоспособности известных средств защиты при всех возможных режимах работы нейтрали распределительных сетей.

К устройствам защиты, реагирующих на параметры установившегося режима однофазного замыкания на землю в распределительных сетях напряжением выше 1000 В следует отнести:

- устройства, реагирующие на ток нулевой последовательности (максимальные токовые защиты нулевой последовательности);
- устройства, реагирующие на напряжение нулевой последовательности;
- устройства, реагирующие на ток и напряжение нулевой последовательности и угол между этими величинами (направленные устройства защиты).

Токовые устройства защиты от замыканий на землю являются наиболее простыми по устройству, обладают достаточно высокой аппаратной надежно-

стью, 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. В общем случае ток срабатывания простой токовой защиты определяется выражением:

$$I_{сз} = K_{\delta} I_{oc} \quad (1)$$

где K_{δ} – коэффициент надежности, вводимый для отстройки от бросков собственного емкостного тока при переходном процессе, принимается $K_{\delta} = 4\div 5$; I_{oc} – собственный емкостной ток защищаемого присоединения.

Применение простой токовой защиты оправдано по условиям чувствительности при емкости защищаемой линии меньше в $5\div 7,5$ раз емкости всей электрически связанной сети. При несоблюдении указанного условия селективность работы нарушается. Необходимость выполнения этого условия значительно ограничивает область применения токовых защит, тем более, если учитывать, что в процессе эксплуатации емкость всей сети, а также отдельных линий значительно меняется.

В сетях с компенсированной нейтралью в установившемся режиме замыкания на землю при настройке компенсирующего устройства в резонанс с емкостью сети относительно земли, а также при незначительных расстройках от резонансного режима (на 10 - 20 %), ток нулевой последовательности защищаемого присоединения (собственный ток присоединения) оказывается, как правило, больше тока нулевой последовательности при повреждении в защищаемом присоединении. Это обстоятельство практически исключает возможность применения токовых защит 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. Наличие высших гармонических составляющих в токе замыкания обусловлено нелинейным характером нагрузок (главным образом вентильно-преобразовательных установок и силовых трансформаторов). Ток в поврежденном присоединении равен сумме основной и высших гармоник емкостных токов всех неповрежденных присоединений и гармоник тока дугогасящей катушки:

$$I_3 = I_2^{(1...n)} + I_3^{(1...n)} + \dots + I_m^{(1...n)} + I_k^{(1...n)} \quad (2)$$

где m – число присоединений в сети; n – порядковый номер гармонической составляющей тока замыкания; $I_k^{(1...n)}$ – гармонические составляющие тока дуго-

гасящей катушки.

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.

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. Указанные устройства 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 в сетях с изолированной нейтралью 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 $/3/$.

Одной из причин возникновения замыканий на землю является электрический пробой изоляции от действия перенапряжений. В большинстве случаев замыкания на землю возникают при приближении к положительному или отрицательному максимуму кривой фазного напряжения и могут носить характер однократного импульсного перекрытия или пробоя с последующим восстановлением прочности изоляции; устойчивого металлического или дугового замыкания; многократно повторяющегося импульсного перекрытия изоляции или дугового замыкания. Повторные кратковременные импульсные перекрытия могут возникать через несколько секунд после начального перекрытия, что способствует появлению импульсов тока и напряжения переходного процесса.

Дуговые замыкания на землю появляются вследствие нескольких импульсных перекрытий в течение периода и сопровождаются также переходными

ми процессами с последующим установлением тока дугового замыкания промышленной частоты. Длительность горения электрической дуги и интервалы, через которые она повторяется, определяются быстродействием и режимом настройки дугогасящего реактора в компенсированных сетях, а также временными характеристиками процессов ионизации и деионизации поврежденной изоляции.

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.

К недостатком 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. В тоже время воздушные электрические сети характеризуются высокой вероятностью механического повреждения изоляции, что может происходить в моменты, соответствующие не максимуму напряжения поврежденной фазы, когда переходный процесс практически не возникает.

2. Наличие переходного сопротивления в точке замыкания фазы на землю приводит к уменьшению амплитудных и временных характеристик переходного процесса. Опыт эксплуатации распределительных сетей показывает, что при значении переходного сопротивления порядка нескольких сотен Ом переходный процесс практически не возникает.

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. Кроме того, распределительные сети, как правило, смешанными (воздушно-кабельными), то есть обладают неоднородностью, что также приводит к затруднению использования в таких сетях переходных процессов для определения поврежденных присоединений.

4. Отсутствие повторности действия защитных устройств при квитировании сигнала в условиях устойчивого замыкания на землю. С целью устранения этого недостатка разработчики используют комбинированные принципы выполнения защит (например, введение дополнительного органа, реагирующего на высшие гармонические составляющие в токе нулевой последовательности), что значительно, и не всегда оправдано, усложняет схему устройства защиты.

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 промышленной частоты, значение наложенного тока складывается из составляющих, определяемых, кроме уровня напряжения источника, величиной переходного сопротивления в месте замыкания и суммой фазных емкостей сети относительно земли.

Средства противоаварийного управления.

Релейная защита и системная автоматика—это два вида автоматического управления в энергосистемах, взаимосвязанных и взаимодополняющих друг друга.

В настоящее время сложилось вполне отчетливое представление о составе устройств, объединяемых понятием системной автоматики. Кроме линейной (сетевой) автоматики, к их числу относят также устройства автоматики нормального режима и противоаварийной автоматики. Автоматика нормального режима — это обычно (за некоторыми исключениями) достаточно медленная автоматика, предназначенная в основном для помощи оперативному персоналу. Ее влияние на процессы при авариях в энергосистеме ограничено и сказывается главным образом на послеаварийном режиме. Противоаварийная автоматика, напротив, должна обладать большим быстродействием при интенсивном воздействии на процессы при авариях в энергосистемах и послеаварийном режиме, приближаясь в этом смысле к релейной защите /4/.

Характерной для противоаварийной автоматики (ПА) является ее тесная связь с режимом работ энергосистем, благодаря чему ее часто называют противоаварийной режимной автоматикой.

Задача управления в аварийном режиме - отключение поврежденного элемента, предотвращение распространения аварии на соседние участки энергосистемы, восстановление значений всех параметров режима до уровней, допустимых в течение определенного времени (минуты, десятки минут), которое необходимо оперативному персоналу для восстановления нормального режима. Вследствие быстроты протекания аварийных процессов управление, в аварийном режиме обеспечивается, в основном устройствами релейной защиты и противоаварийной автоматики.

Характер управления в послеаварийном режиме определяется параметрами установившегося после нарушения режима и наличием или отсутствием отключенных потребителей. В некоторых случаях, например при успешном АПВ, осуществляется непосредственный автоматический переход от аварийного режима к нормальному.

Деятельность оперативного персонала в послеаварийном режиме обычно сосредоточивается на следующих основных задачах: устранение опасных отклонений параметров режима, создающих угрозу аварийных нарушений; восстановление питания потребителей.

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. Устройств АПВ с опережающим контролем изоляции в настоящее время не существует. 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) /1,3/.

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. Вильгейм Р. Уотерс М. Заземление нейтрали в высоковольтных системах. -М.;-Л.: Госэнергоиздат, 1959. -415 с.
2. Бухтояров В.Ф., Маврицын А.В. Защита от замыканий на землю электроустановок карьеров. -М.: Недра, 1986. 184 с.
3. Пивняк Г.Г., Шкрабец Ф.П. Несимметричные повреждения в электрических сетях карьеров: Справочное пособие. -М.: Недра, 1993. – 192 с.
4. Пивняк Г.Г., Дворников А.А. Восстановление электроснабжения при неполнофазных режимах и двухфазных коротких замыканиях // Гірничя електромеханіка та автоматика: Наук. – техн. зб. – 2001. – Вип. 68. –С.10-15.
5. Самойлович И.С., Синчук О.Н., Панасенко Н.В., Ксендзов В.В. Электроэнергетика карьеров с циклично поточной технологией. – Киев, 2000. -209 с.