

УДК 621.316.9

Ф. П. Шкрабец, д-р техн. наук

(Україна, Днепропетровск, Національний горний університет),

А.И.Ковалев

(Україна, Кривой Рог, ОАО "ЮГОК")

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ КАРЬЕРНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Введение. Как показывает практика эксплуатации карьерных распределительных сетей напряжением 6-10 кВ, наибольший процент повреждений (до 80%) приходится на однофазные замыкания на землю. При этом повреждаемость элементов систем электроснабжения карьеров и тяжесть повреждений (развитие аварии) во многом зависят от режима работы нейтрали электрических сетей и качества действия средств защиты от замыканий на землю. Указанная защита в соответствии с ПУЭ и отраслевыми правилами должна выполняться двухступенчатой и действовать на отключение без выдержки времени (первая ступень) или с выдержкой времени 0,5 с (вторая ступень), что создает дополнительные проблемы в системах электроснабжения с многоступенчатым распределением [1, 2].

Цель статьи – изложить разработанные принципы обеспечения селективности действия защит от однофазных замыканий на землю в карьерных сетях при двухступенчатом построении распределительных сетей и рекомендации по повышению надежности электроснабжения за счет режима заземления нейтрали динамичных карьерных сетей.

Изложение основного материала.

Как уже отмечалось, надежность электроснабжения потребителей карьеров в значительной степени зависит от качества функционирования средств защиты от замыканий на землю в распределительных сетях. При этом следует отметить, что при прочих равных условиях качество функционирования названных защит зависит от структуры построения (количества ступеней распределения) и режима работы нейтрали распределительной сети [5].

Достаточно распространенная двухступенчатая система электроснабжения потребителей карьера (рис.1) характеризуется тем, что (в соответствии с требованиями ПУЭ и отраслевых Правил и инструкций) защиты от замыканий на землю линии питающей *КРП* и линий, отходящих от *КРП*, не могут быть согласованы по условиям селективности действия, так как и те, и другие должны выполняться без выдержки времени.

Для исправления указанного недостатка авторами предлагается:

1. Если от трансформаторной подстанции к *КРП* отходит одна линия (рис.1, а), то для обеспечения селективности действия защит следует установить в начале и в конце линии *Л1* направленные устройства защиты от замыканий на землю. Защита, установленная на вводе в *КРП*, должна реагировать на замыкания на линии и действовать на выключатель *Q3* без выдержки времени, что позволит защите, установленную в начале линии *Л1*, выполнить с выдержкой времени 0,4 – 0,5 с. Штатная вторая ступень защиты от замыканий на землю (реагирующая на напряжение нулевой последовательности) будет действовать на отключение выключателя *Q1* с выдержкой времени 0,7 с.

2. Если у трансформаторной подстанции отходящих линий две и более (рис.1, б), то для обеспечения селективности действия защит от замыканий на землю в системе электроснабжения карьера, на линиях, отходящих от трансформаторной подстанции (ГПП) и питающих *КРП*, следует установить продольную дифференциальную защиту, реагирующую на ток нулевой последовательности и действующую на отключение выключателей *Q2* и *Q3* без выдержки времени. На линиях, отходящих от *КРП*, при этом должны устанавливаться направленные устройства защиты от однофазных замыканий на землю для исключения срабатывания защит при повреждениях "за спиной", т.е. на питающей линии.

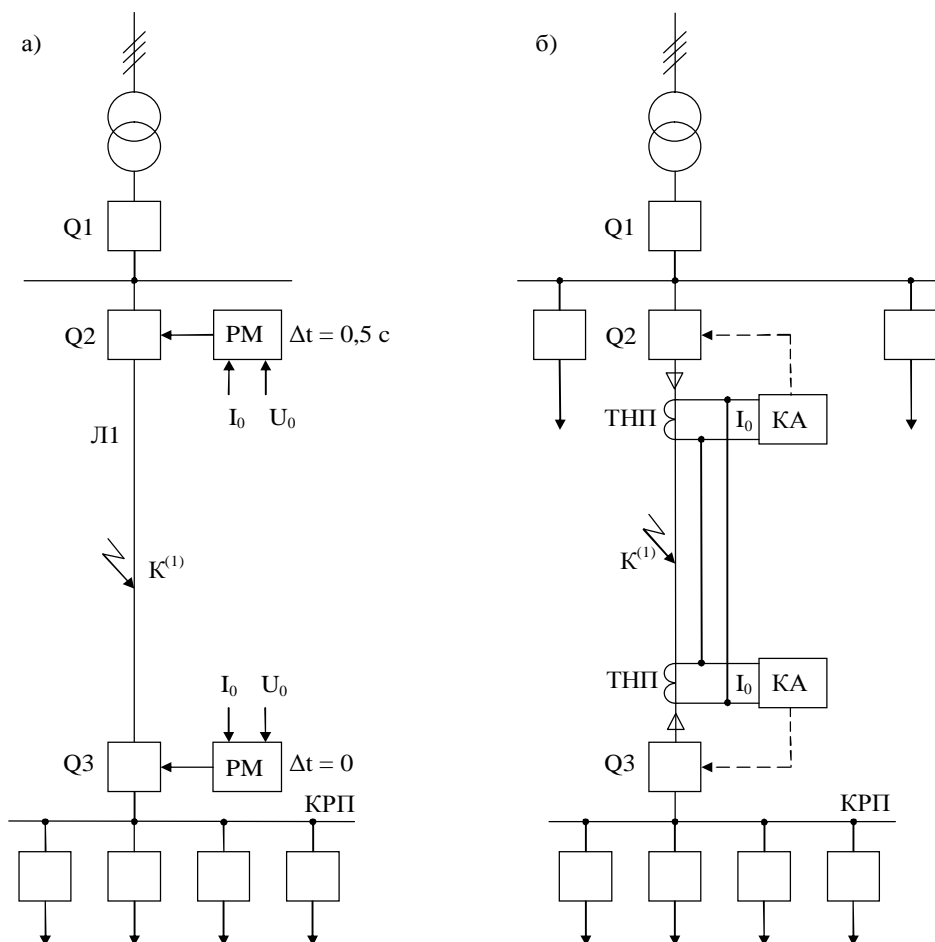


Рис. 1. Обеспечение селективности действия защит от замыканий на землю при двухступенчатой системе распределения

Режим работы нейтрали (полностью изолированная нейтраль, компенсированная нейтраль, с резистором в нейтрали) карьерных электрических сетей напряжением выше 1000 В существенно влияет не только на работоспособность устройств защиты от замыканий на землю, но и на уровень внутренних перенапряжений, сопровождающих такие аварийные режимы, т.е. на повреждаемость электрических сетей и оборудования [3, 4].

Распределительные сети напряжением выше 1000 В с полностью изолированной нейтралью получили преимущественное распространение в большинстве стран. Однако такой режим нейтрали сети не всегда является оптимальным с точки зрения указанных ранее критериев. Для реальных параметров распределительных сетей с полностью изолированной нейтралью максимальное значение перенапряжений (напряжения между здоровыми фазами и землей) при замыканиях на землю находится на уровне 4,5 фазного напряжения. Для этих же сетей теоретический максимум напряжения смещения нейтрали составляет трехкратное фазное напряжение. Однофазные замыкания на землю сопровождаются переходными процессами, возникающими в момент появления замыкания и в момент отключения поврежденного участка (процесс восстановления напряжения в сети). Отмеченные переходные процессы обеспечивают значительную часть ложных срабатываний устройств защиты от замыканий на землю в сетях с полностью изолированной нейтралью.

Эффективность компенсации емкостных токов и эффективность работы электрических сетей с компенсированной нейтралью в значительной степени зависит от режима настройки компенсирующего устройства. Большинство исследователей при этом отдают предпочтение резонансной настройке индуктивности компенсирующего устройства с емкостью сети относительно земли.

Если оценивать надежность электроснабжения электроприемников повреждаемостью элементов сети и качеством работы релейной защиты, то следует констатировать, что в основном применение компенсированных сетей, где требуется действие защиты на отключение, сдерживается вторым условием. Что касается повреждаемости элементов распределительных сетей, то необходимо отметить непосредственную связь этого показателя с режимом настройки компенсирующего устройства, так как именно настройкой компенсирующего устройства определяется уровень перенапряжений в сети при однофазных замыканиях на землю. При резонансной настройке компенсирующего устройства, а также при его расстройке в пределах 5%, даже теоретически перенапряжения на неповрежденных фазах не могут превысить $2,75 U_{\phi}$. Увеличение степени расстройки компенсации сверх 5 % приводит к быстрому нарастанию уровня перенапряжений, а при расстройке компенсирующего устройства на 20% от резонансной, эффективность компенсирующих устройств в части ограничения перенапряжений при замыканиях на землю практически не ощущается по сравнению с сетями с полностью изолированной нейтралью.

Основной причиной ложных срабатываний защит (сигнализаций) от замыканий на землю в сетях с полностью изолированной и компенсированной нейтралью следует считать возникновение в сети после отключения повреж-

денного присоединения (или после самоликвидации повреждения) колебательного процесса с частотой близкой к частоте 50 Гц.

Электрические сети с резистором в нейтрали обладают, по сравнению с сетями с полностью изолированной или компенсированной нейтралью, более высокой надежностью за счет улучшения качества работы устройств защиты от однофазных замыканий на землю (подавление возникающих после отключения поврежденного присоединения или после самоликвидации повреждения колебательного переходного процесса), исключения феррорезонансных процессов и уменьшения повреждаемости элементов системы электроснабжения. Последнее обусловлено значительным снижением внутренних перенапряжений, сопровождающих однофазные замыкания на землю. Эффективность таких сетей существенно проявляется при значении создаваемого активного тока замыкания на землю на уровне не менее 40 % от емкостного. По мере роста активной составляющей тока замыкания по отношению к емкостной составляющей кратность перенапряжений уменьшается до значения 2,4 при равенстве активного и емкостного тока замыкания.

Анализ влияния заземления нейтрали электрических сетей на надежность и условия электробезопасности систем электроснабжения в целом, на повреждаемость распределительных сетей и электрооборудования, а также на работоспособность средств релейной защиты позволяет дать оценку каждому конкретному режиму работы нейтрали и разработать рекомендации, направленные на усиление позитивных показателей соответствующих режимов.

Исследования показали, что самый низкий уровень эксплуатационной надежности соответствует сетям с полностью изолированной нейтралью, а также сетям с компенсированной нейтралью при расстройках компенсации на 20% и более от резонансной, что обусловлено высокой повреждаемостью элементов систем электроснабжения от действия внутренних перенапряжений и феррорезонансных явлений. Наиболее высокая эксплуатационная надежность обеспечивается в распределительных сетях с наложением дополнительной активной составляющей на ток замыкания на землю (сети с резистором в нейтрали). В таких сетях при определенных условиях резко ограничиваются уровни внутренних перенапряжений сопровождающих несимметричные повреждения, практически исключается развитие феррорезонансных процессов, а также практически исключается ложная работа устройств защиты от замыканий на землю за счет резкого подавления (практически устранения) переходных процессов при появлении и отключении повреждений.

По условиям обеспечения электробезопасности электрических сетей при непосредственном прикосновении человека к токоведущим частям ни один из возможных режимов нейтрали нельзя признать благоприятным. Независимо от режима нейтрали с учетом реальных параметров изоляции относительно земли распределительных сетей и времени действия устройств защиты, а также времени действия применяемой в таких сетях коммутационной аппаратуры, значения тока через тело человека будут значительно превышать безопасные уровни. Степень же косвенной опасности электрической сети (например, от действия напряжения прикосновения) в значительной степени зависит от режима ней-

трали. Для установившегося режима однофазного замыкания в этом случае предпочтение следует отдать электрическим сетям с компенсированной нейтралью при резонансной (или близкой к резонансной) настройке компенсирующего устройства. Если учитывать переходные процессы, сопровождающие металлические и дуговые однофазные замыкания на землю, то наиболее благоприятным следует считать электрическую сеть с резистором в нейтрали.

В карьерных сетях напряжением 6 – 10 кВ при применении дугогасящих реакторов, которые в большинстве случаев не оборудованы устройствами автоматической настройки режима компенсации, рекомендуется использовать комбинированный режим работы нейтрали. Суть комбинированного режима заземления нейтрали состоит в том, что, кроме создания индуктивной составляющей тока однофазного замыкания на землю, предлагается также одновременно накладывать на ток замыкания и активную составляющую. Значение накладываемой на сеть активной составляющей тока замыкания на землю должно быть на уровне 30 – 50 % от емкостной составляющей, что обеспечивает эксплуатационные показатели, адекватные сетям с резистором в нейтрали, даже при расстройках дугогасящего реактора до 50% (рис.2).

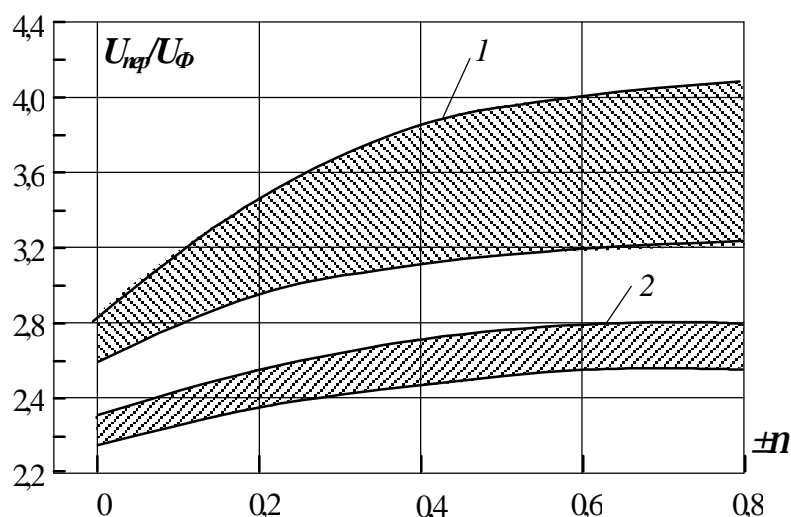


Рис. 2. Зависимость кратности перенапряжений от степени расстройки реактора при компенсированном (1) и комбинированном (2) режимах заземления нейтрали

Выводы

1. Селективность и согласованность действия устройств защиты от однофазных замыканий на землю в системах электроснабжения карьеров при двухступенчатой структуре построения распределительных сетей может быть обеспечена установкой дополнительных устройств защиты (направленной или дифференциальной) на ЛЭП, питающих карьерные распределительные устройства.

2. Для электрических сетей напряжением 6 – 10 кВ систем электроснабжения рекомендован режим работы с резистором в нейтрали, значение которого выбирают из условия создания дополнительной активной составляющей тока замыкания на землю не менее 40 % емкостного тока.

3. В случае компенсированных сетей при емкостном токе замыкания более 10 А и при отсутствии автоматической резонансной настройки режима компенсации рекомендован комбинированный режим работы нейтрали, т.е. параллельно индуктивности в нейтрали рекомендуется включать резистор по выше указанному условию.

4. Комбинированное заземление нейтрали обеспечивает, по сравнению с сетями с полностью изолированной нейтралью, значительное уменьшение повреждаемости за счет ограничения перенапряжений, возникающие при дуговых замыканиях, и уменьшения вероятности развития феррорезонансных процессов.

Список литературы

1. Инструкция по безопасной эксплуатации электрооборудования и электросетей на карьерах. – М.: Недра, 1983 – 87 с.
2. Пивняк Г.Г., Шкрабец Ф.П. Несимметричные повреждения в электрических сетях карьеров: Справочное пособие. – М.: Недра, 1993. – 192 с.
3. Режимы нейтрали электрических сетей карьеров. / И.С. Самойлович – М.: Недра, 1976 – 175 с.
4. Режимы нейтрали электрических сетей. / И.М. Сирота, С.Н. Кисленко, А.М. Михайлов. – К.: Наукова думка, 1985. – 264 с.
5. Электроэнергетика карьеров с циклично-поточной технологией / И.С. Самойлович, О.Н. Синчук, Н.В. Панасенко и др. – К.: Из-во "АДЕФ-Украина". – 208 с.