

А.В.Останчук, Д.В.Цыпленков, кандидаты техн. наук

(Украина, Днепрпетровск, Национальный горный университет),

А.И.Ковалев

(Украина, Кривой Рог, ОАО "ЮГОК")

ВОПРОСЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ КАРЬЕРНЫХ СЕТЕЙ

Введение. Как показывает практика эксплуатации карьерных распределительных сетей напряжением 6-10 кВ, наибольший процент отказов оборудования возникает из-за однофазных замыканий на землю (ОЗЗ). Существенное влияние на характер и процесс протекания ОЗЗ оказывает режим заземления нейтрали. До настоящего времени в практике эксплуатации электрических сетей напряжением 6-35 кВ на горнорудных предприятиях Украины использовались в основном два режима работы нейтрали: изолированная нейтраль – в сетях с токами ОЗЗ, не превышающими соответствующих значений при напряжениях 6 кВ – 30 А, 10 кВ – 20 А, 35 кВ – 10 А; компенсированная нейтраль – при токах, превышающих приведенные значения. В последней редакции ПУЭ [1] существует также способ заземления нейтрали через активное сопротивление. Данное обстоятельство вызвало у специалистов профессиональный интерес к проблеме выбора рационального способа заземления нейтрали, тем самым повысить надежность и электробезопасность всей сети в целом.

Анализ последних достижений. Достоинства и недостатки каждого из способов заземления широко освещались в научной литературе [2, 3]. Проблема выбора режима нейтрали состоит в комплексной оценке ряда факторов и должна проводится для каждого конкретного предприятия. Наиболее существенными являются: значение тока ОЗЗ, наличие резервных источников питания, тип используемой защиты от ОЗЗ и т. д. [4].

Формулирование целей и постановка задачи. В результате выполненного анализа приведенных выше факторов можно рекомендовать способ заземления. Целью данной работы является выбор оптимального режима работы нейтрали и согласование работы существующих устройств защиты для повышения надежности и электробезопасности карьерных сетей.

Изложение основного материала. Характер динамики значений токов ОЗЗ и их влияния на работоспособность устройств защиты от замыканий на землю проследим на примере карьерных подстанций № 96 и 97 ЮГОКа. После введения в эксплуатацию эти подстанции работают с изолированной нейтралью. В процессе выемки полезного ископаемого и углубления карьера изменяется протяженность питающих и распределительных карьерных сетей, увеличивается число подключаемых экскаваторов, что приводит к расширению гальванически связанной сети и увеличению суммарной емкости сети относительно земли. Поэтому первым этапом анализа сети является пересчет значений тока

ОЗЗ с использованием параметров реальных кабельных и воздушных линий. Значения емкостных токов однофазного замыкания на землю для установившегося режима замыкания могут быть рассчитаны с достаточной точностью по удельным емкостям фаз относительно земли основного электрооборудования и ЛЭП. В общем случае расчетная формула имеет вид [4]:

$$I_C = 3U_\phi \omega \cdot 10^{-3} \left(\sum_1^n C_{B_i} l_{B_i} + \sum_1^n C_{K_i} l_{K_i} + \sum_1^n C_{д_i} N_{д_i} + \sum_1^n C_{тр_i} N_{тр_i} \right),$$

где U_ϕ – фазное напряжение сети, кВ; C_{B_i} , C_{K_i} – емкости на фазу по отношению к земле токоведущих жил (мкФ/км) соответственно 1 км воздушной и кабельной линии определенного сечения; l_{B_i} , l_{K_i} – суммарные длины воздушной и кабельной линий заданного сечения, км; $C_{д_i}$, $C_{тр_i}$ – емкости на фазу соответственно электродвигателей и силовых трансформаторов по отношению к корпусу оборудования, мкФ; $N_{д_i}$, $N_{тр_i}$ – соответственно число электродвигателей и трансформаторов заданной мощности, подключенных к сети.

Результаты расчета емкостных токов по секциям шин сведены в табл. 1 – 4:

Таблица 1

Результаты расчета емкостных токов по 1-й секции карьерной подстанции № 96

№ фидера	5	11	13	4	6	12
Наименование фидера	Л-1 "Западная"	Л-2 "Западная"	Л-3 "Западная"	Л-96-3	Л-96-5	Л-108-1
Собственный емкостной ток, А	1,11	1,09	1,07	0,21	0,21	0,23
Защита от ОЗЗ	РЗД-2М	РЗД-2М	ЭТД-551	РЗД-2М	РЗД-2М	РЗД-2М

Таблица 2

Результаты расчета емкостных токов по 2-й секции карьерной подстанции № 96

№ фидера	15	17	19	23	22	24	28
Наименование фидера	Л-4 "Западная"	Л-5 "Западная"	Л-6 "Западная"	Л-7 "Западная"	Л-96-4	Л-10 "Западная"	Л-108-2
Собственный емкостной ток, А	1,08	1,07	0,99	1,06	0,21	0,42	0,21
Защита от ОЗЗ	РЗД-2М	РЗД-2М	РЗД-2М	РЗД-2М	РЗД-2М	РЗД-2М	РЗД-2М

Таблица 3

Результаты расчета емкостных токов по 1-й секции карьерной подстанции № 97

№ фидера	31	35	39	41	45	31
Наименование фидера	Л-10 "Северная"	Л-2 "Северная"	Л-15 "Северная"	Л-96-1 Ввод №1, на п/с 96	Л-3 "Северная"	Л-10 "Северная"
Собственный емкостной ток, А	1,06	0,77	1,44	5,1	0,89	1,06
Защита от ОЗЗ	РЗД-2М	РЗД-2М	ЭТД-551	РЗД-2М	РЗД-2М	РЗД-2М

Результаты расчета емкостных токов по 2-й секции карьерной подстанции № 97

№ фидера	8	10	36	40	48
Наименование фидера	Л-4 "Северная"	Л-96-2 Ввод №2, на п/с 96	Л-14 "Северная"	Л-5 "Северная"	Л-1 "Северная"
Собственный емкостной ток, А	0,88	6,08	1,25	0,98	0,84
Защита от ОЗЗ	РЗД-2М	РЗД-2М	РЗД-2М	РЗД-2М	РЗД-2М

При сборе информации учитывалась суммарная длина кабеля между двумя точками (независимо от физического расстояния между этими объектами). По справочным данным для конкретного типа кабеля устанавливалась удельная емкость на фазу, мкФ/м, и с учетом длины кабеля рассчитывался емкостной ток по секциям в соответствии с приведенной выше формулой для конкретного потребителя и суммарные значения емкостных токов однофазного замыкания на землю для п/с 96 и 97. При расчете этих токов принимался во внимание обычный режим работы подстанций, т.е. не учитывался режим работы при аварии на каком-либо РУ, когда все его потребители подключаются к другой секции. Полученные результаты показали: ток ОЗЗ на шинах подстанции № 96 – 3,95 А и 5,05 А соответственно первая и вторая секции шин; на подстанции № 97 – 10,27 А и 10,03 А.

Возможность резервирования подстанций осуществляется от подстанции № 22 – тяговая, а подстанция № 96 частично питается от подстанции № 97, что допускает возможность перевода части потребителей на резервное питание. В перспективе возможно построение большего количества резервных линий.

Следующим важным вопросом является анализ принципа действия используемых средств защиты от ОЗЗ. Согласно указаний [5] в сетях с повышенной опасностью, к которым относятся и карьерные сети, используется двухступенчатая система защиты с действием на отключение. Первая ступень – токовая (направленная) защита поврежденного присоединения, вторая ступень – “земляная” (общесетевая) защита, установленная на подстанции и действующая на отключение вводного выключателя. В зависимости от режима нейтрали изменяются параметры сети, на которые настроены устройства защиты. Емкостные токи отходящих присоединений изменяются в пределах 0,21-1,15А, что гораздо ниже рабочих токов. В данном случае обеспечить селективность ступеней срабатывания особенно трудно. Для таких сетей целесообразно применять защиты направленного действия. На подстанциях № 96 и 97 используется защита от ОЗЗ типа РДЗ-2М. Основными элементами первой ступени этих защит являются реле направленного действия типа РЗД и трансформатор тока нулевой последовательности типа ТЗЛ или ТНП-1М. Реле РЗД реагирует на направление мощности тока нулевой последовательности и может быть использовано как при полностью изолированной нейтрали сети, так и при заземлении нейтрали через высокоомный резистор; в последнем случае возникает дополнительная активная составляющая тока замыкания на землю. Проблема обеспечения про-

дольной селективности действия защит от однофазных замыканий на землю карьерных подстанций № 96 и 97 усугубляется взаимной гальванической связью указанных подстанций.

Влияние на повышение безопасности обслуживания электроустановок связано с сокращением времени горения дуги, поскольку защита отключает дуговое замыкание, являющееся источником перенапряжений. Кратность перенапряжений при дуговых перемежающихся замыканиях (представляющих наибольшую опасность для людей) уменьшается, если активный ток составляет 50-100% полного емкостного тока замыкания на землю, а также может работать на чисто активном токе. В случае неустойчивого перемежающегося замыкания фазы на землю уменьшаются также действующие значения тока и падения напряжения на контуре защитного заземления, а следовательно напряжения прикосновения и шага. При отсутствии активной составляющей тока значения напряжения прикосновения и шага достигают 5 – 6 - кратных величин (по сравнению с устойчивым металлическим замыканием на землю), а при наличии активной составляющей они снижаются приблизительно в 2 раза. Основной причиной ложных срабатываний защит от ОЗЗ в сетях с полностью изолированной нейтралью следует считать возникновение в сети после отключения поврежденного присоединения колебательного процесса с частотой, близкой к частоте 50 Гц. Естественно, что для устранения ложных срабатываний устройств защиты от замыканий на землю, вызванных указанными колебаниями, необходимо исключить или резко сократить длительность переходных процессов. Одним из эффективных методов устранения колебания является уменьшение добротности колебательного контура, что достигается уменьшением значения активного сопротивления изоляции сети относительно земли, которое включено параллельно с реактивным сопротивлением изоляции. В результате появляется активная составляющая тока, которая накладывается на электрическую сеть и увеличивает активную составляющую тока однофазного замыкания на землю. Эффективность метода подавления переходного процесса существенно проявляется при значении создаваемого активного тока замыкания на землю на уровне не менее 40 % от емкостного. Значение накладываемой на сеть активной составляющей должно быть на уровне 40–50 % от емкостной, что обеспечивает сохранение селективности действия используемых направленных устройств защиты от внесения фазовых искажений в параметры нулевой последовательности.

Выводы:

Исходя из приведенного анализа можно сформулировать следующие рекомендации, направленные на повышение надежности и электробезопасности карьерных распределительных сетей:

1. При токе замыкания на землю до 10 А наблюдается неустойчивое горение заземляющей дуги, что приводит к многократной перезарядке емкости сети и возникновению перенапряжений. Поэтому для такого рода сетей целесообразно использовать способ заземления нейтрали через активное сопротивление.

Данный способ заземления позволяет устранить главный недостаток сети с изолированной нейтралью – уменьшить кратность перенапряжений с 4 до 2,5 раза.

2. Наложение активной составляющей повышает значение тока ОЗЗ присоединения, тем самым обеспечивая селективность и чувствительность работы токовых устройств защиты, однако при этом вносятся фазовые искажения, которые могут отразиться на качестве работы направленных устройств защиты от замыканий на землю.

Список литературы

1. ПУЭ. Глава 1.7. Заземления и защитные мероприятия электробезопасности. – К.: – 2006 г. С. 3-5
2. Пивняк Г.Г., Шкрабец Ф.П. Несимметричные повреждения в электрических сетях карьеров: Справ. пособие. – М.: Недра, 1993. – 192 с.
3. Режимы нейтрали электрических сетей карьеров/ Под ред. И.С. Самойловича. – М.: Недра, 1976. – 175 с.
4. Пивняк Г.Г., Шкрабец Ф.П., Горбунов Я.С. Релейная защита электроустановок на открытых горных работах: Справ. пособ. – М.: Недра, 1992. – 240с.
5. Инструкция по безопасной эксплуатации электрооборудования и электросетей на карьерах – М.: Недра, 1983. – 87 с.