

УДК 621.311

**А.Р. Бакиров, А.Ю. Васильева, А.И. Ширковец,
А.В. Телегин**

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ РЕЗИСТИВНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ НЕЙТРАЛИ В СЕТЯХ 6-10 КВ ГОРНОРУДНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Обобщен и систематизирован опыт применения резисторов для заземления нейтрали в сетях 6-10 кВ угольных разрезов ОАО «СУЭК» и ряда горнообогатительных комбинатов России, Украины, Казахстана. Показано, что реализация резистивного заземления нейтрали позволяет решить проблемы, связанные с настройкой релейной защиты от замыканий на землю и перенапряжениями при горении однофазной дуги. Нормативное обоснование целесообразности способа заземления нейтрали через резистор и сопутствующей этому способу возможности построения селективной защиты от ОЗЗ приведены в действующих Инструкциях по горнорудной промышленности – РД 06-572-03 (глава 10, п. 171) [1] и РД 05-334-99 (Часть 1, п. 1) [2].

Ключевые слова: резистор, однофазное замыкание на землю, ограничение перенапряжений, сеть электроснабжения, угольный разрез, горнообогатительный комбинат.

Постановка задачи

Высоковольтное оборудование сетей 6-10 кВ предприятия горнорудной промышленности зачастую работает в экстремально тяжелых условиях эксплуатации, приводящих к значительному числу повреждений, значительная часть которых приходится на долю однофазных замыканий на землю.

Процессы при однофазных замыканиях на землю (особенно при однофазных замыканиях на землю через перемежающуюся дугу) и соответственно, возникающие при этом перенапряжения, приводящие к повреждению высоковольтного оборудования, во много определяются режимом заземления нейтрали сети.

Математическое и физическое моделирование ОЗЗ показывает, что в зависимости от режима заземления нейтрали меняется как количество повторных пробоев, так и энерговыделение в канале пробоя [3]. При этом в случае резистивно заземленной нейтрали излишний заряд успевает стечь через ре-

зистор к моменту воздействия каждого нового полупериода напряжения. В режиме изолированной нейтрали заряды не стекают, их величина случайна. Поэтому напряжение на промежутке может иметь более высокие значения. Это способствует как возникновению повторных пробоев, так и росту энерговыделения в каждом из пробоев. В результате полное энерговыделение в дуговом промежутке оказывается больше в режиме с изолированной нейтралью по сравнению с режимом резистивно-заземленной нейтрали. При этом можно ожидать, что в случае резистивно-заземленной нейтрали менее вероятен переход от однофазного к многофазному замыканию.

Для повышения надежности электроснабжения, обеспечения выполнения возрастающих производственных планов добычи и переработки сырья в связи с вышесказанным в настоящее время предприятия горнорудной промышленности проявляют активный интерес к проблеме режима нейтрали.

Преимущества режима заземления нейтрали через резистор

Накопленный мировой и отечественный опыт эксплуатации сетей среднего класса напряжения показывает, что переход к резистивному заземлению нейтрали позволяет существенно повысить надежность работы электрических сетей 6-10 кВ за счет устранения ряда опасных процессов, приводящих к возникновению значительных перенапряжений либо сверхтоков в обмотках электромагнитных трансформаторов напряжения [4, 5].

Резистивное заземление нейтрали сети позволяет:

1) эффективно ограничить перенапряжения при ОДЗ до уровня, допустимого для изоляции оборудования (обычно до уровня испытательного для вращающихся машин), что позволяет предотвратить развитие аварии;

2) подавить опасные феррорезонансные явления, обусловленные насыщением магнитопроводов трансформаторов напряжения;

3) обеспечить селективность определения поврежденного присоединения защитой от однофазных замыканий на землю (при высокоомном заземлении нейтрали защита может действовать на сигнал или отключение) [1].

4) обеспечить правильное функционирование защит от замыканий на землю за счет подавления резонансных процессов.

Ограничение перенапряжений при дуговых однофазных замыканиях на землю в случае резистивного заземления нейтрали осуществляется за счет уменьшения постоянной времени разряда емкости здоровых фаз за время бестоковой паузы и снижения напряжения на нейтрали до значения, исключаящего эскалацию перенапряжений при последующих пробоях ослабленной изоляции аварийной фазы.

В сетях 6 и 10 кВ наиболее предпочтительны варианты подключения резистора к нейтрали ТЗН или специальных фильтров нулевой последовательности типа ФМЗО.

Подключение резистора к сети с помощью трансформатора со схемой соединения обмоток Y_0/Δ может быть выполнено между нулевой точкой обмотки высокого напряжения ТЗН и контуром заземления и показано на рис. 1, а. В случае отсутствия трансформатора со схемой соединения обмоток Y_0/Δ требуется применение специального нейтралеобразующего устройства и схема подключения показана на рис. 1, б.

Схема подключения резистора определяется структурой сети и параметрами установленного оборудования. При этом мощность устройств определяется исходя из необходимости длительной работы в режиме однофазного замыкания и обеспечения апериодического процесса разряда емкости фаз в течение бестоковой паузы.

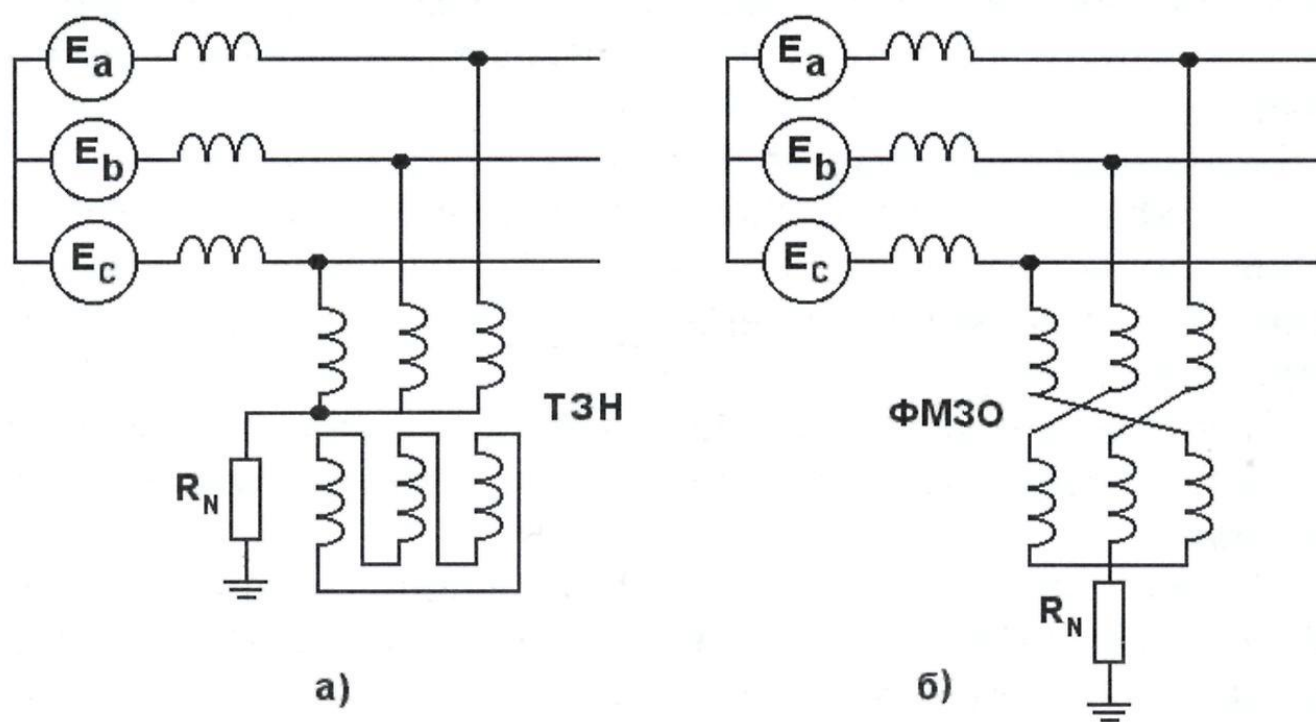


Рис. 1. Схемы подключения резистора к нейтрали сети через трансформатор заземления нейтрали (а) и специальный фильтр ФМЗО (б)

Теоретические исследования и опыт эксплуатации [5] показывают, что за счет включения в нейтраль сети высокоомного резистора можно уменьшить величину дуговых перенапряжений и число замыканий на землю без значительного увеличения тока замыкания на землю.

В то же время введение в цепь нулевой последовательности резистивного элемента, соизмеримого с реактивной емкостной мощностью схемы сети относительно земли, является эффективной мерой по устранению феррорезонансных перенапряжений, а следовательно устранения повреждения как ТН (за счет возникновения недопустимых величин тока в высоковольтных обмотках), так и другого высоковольтного оборудования за счет длительно приложенного повышенного напряжения $(2 - 3)U_{\phi}$ с частотой близкой к 50 Гц.

Внедрение резистивного заземления нейтрали в горнорудной промышленности

Резистивное заземление нейтрали широко внедряется на предприятиях угольной и горной промышленности как в сетях карьеров и разрезов, так и на перерабатывающих фабриках.

Непосредственно в местах добычи полезных ископаемых на карьерах и разрезах, где возникновение однофазного замыкания на землю обуславливает возникновение аварийных ситуаций, характеризующихся повышенной опасностью поражения людей, применение резистивного заземления нейтрали в первую очередь направлено на решение задачи электробезопасности и позволяет организовать эффективную, селективную работу защиты от однофазных замыканий на землю. Данная защита должна действовать на отключение поврежденной линии без выдержки времени (первая ступень). Это позволяет ограничить длительность существования ОЗЗ, уменьшить вероятность поражения электрическим током и возникновения несчастных случаев с тяжелым исходом.

На предприятиях переработки (фабрики дробления, обогащения и т.п.) электрическая сеть 6-10 кВ имеет развитую структуру, выполнена с использованием значительного количества кабельных линий, содержит множество мощных высоковольтных двигателей. Высоковольтное оборудование работает в условиях запыленности проводящими частицами, повышенной температуры, длительной максимальной нагрузки. Все это способствует возникновению большого числа однофазных за-

мыканий на землю. Возникающие однофазные замыкания на землю зачастую переходят междуфазные либо многоместные короткие замыкания со значительным количеством поврежденного оборудования, приводящим к остановке технологического цикла. Это помимо возникновения экономических потерь на ремонт поврежденного оборудования приводит к огромному экономическому ущербу от недоотпуска готовой продукции.

Применение резистивного заземления нейтрали в сетях 6-10 кВ перерабатывающих предприятий позволяет эффективно ограничивать перенапряжения, устранять возможность повреждение изоляции высоковольтного оборудования, предотвращать дальнейшее развитие аварии с возникновением многоместных повреждений, в целом способствует повышению надежности электроснабжения и эффективности производства.

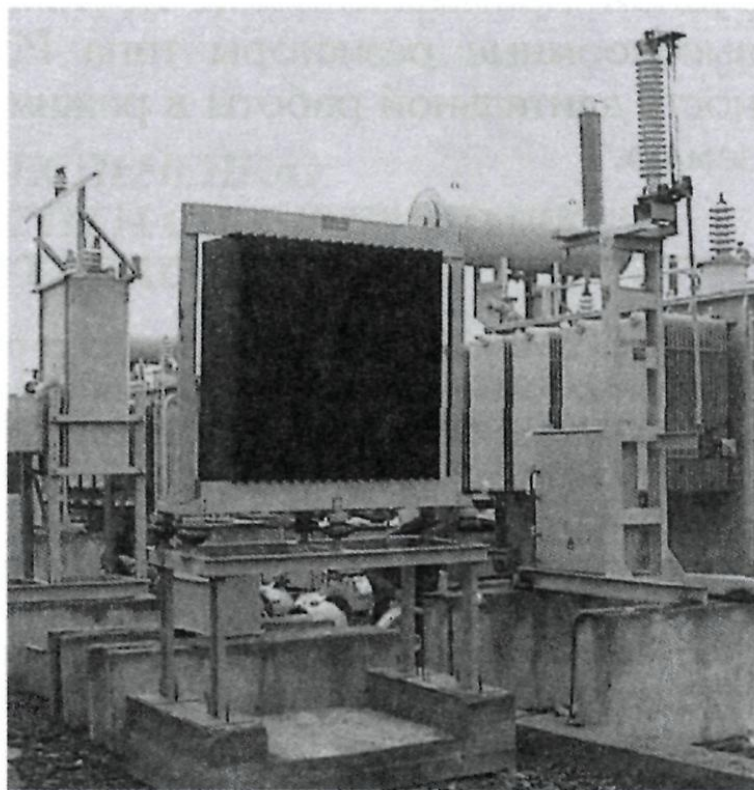
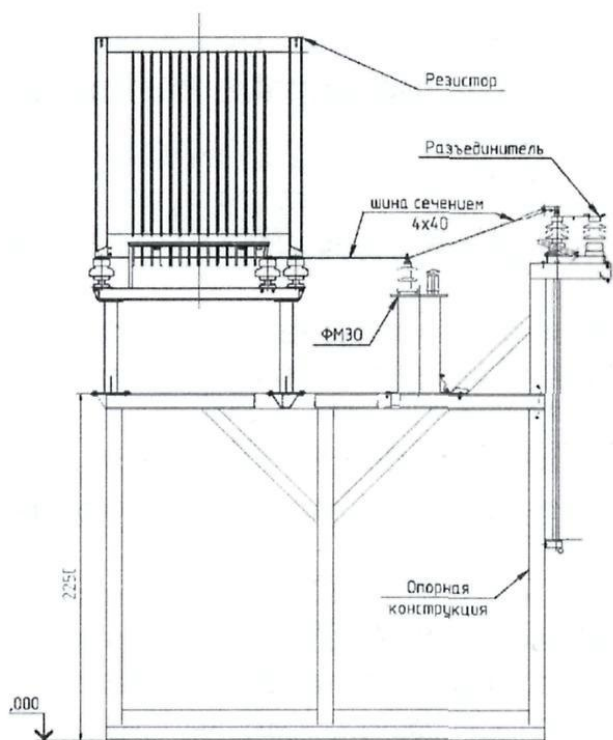
В частности, высоковольтные резисторы типа РЗ установлены в сети электроснабжения карьеров "Иршанского ГОК" (Украина) 2008 г., "Карельского Окатыша" (г. Костамукша) 2006 г., карьера и обогатительной фабрики "Соколовско-сарбаевского ГОКа" (г. Рудный, Республика Казахстан) 2006-2007 г, ОА «Жайремского ГОКа» (Республика Казахстан).

Установка высокоомных резисторов на обогатительной фабрике "Соколовско-сарбаевского ГОКа" позволила решить наблюдавшуюся на протяжении многих последних лет проблему - многоместных повреждений высоковольтных двигателей при однофазных замыканиях на землю (практически при каждом однофазном замыканий на землю наблюдалось повреждение двух и более двигателей).

Применение резистивного заземления на подстанциях карьеров «Иршанского ГОК», «Карельского Окатыша» решило задачу обеспечения надежной работы защит присоединений от однофазных замыканий на землю с действием на отключение.

Применение высоковольтных резисторов в сетях электроснабжения угольных разрезов

В 2010 году разработана унифицированная конструкция устройства резистивного заземления нейтрали 6-10 кВ для угольных карьеров ОАО «СУЭК» (рис. 2, а). На рис. 2, б представлен внешний вид резистивной установки, предполагаемого к включению в нейтраль силового трансформатора.



а)

б)

Рис. 2. Унифицированная конструкция устройства резистивного заземления нейтрали 6-10 кВ (а) и внешний вид одноблочной резистивной установки на «Карельском окатыше» (б)

На сегодняшний день резисторы установлены в сети 6 кВ ПС «Карьерная-2» Разреза Тугнуйский, пяти ПС 6 кВ Разреза Назаровский (ПС «Торцевая», ПС «Временная», ПС «Драглайн-2», ПС «Роторная-2», ПС «Транзитная»), четырех ПС 6 кВ Разреза Бородинский (ПС «КАТЭК», ПС «Карьерная», ПС «КТПБ», ПС «Наклонный ствол»).

Проведенные экспериментальные исследования в сети 6 кВ ПС «Карьерная-2» Разреза Тугнуйский для режима изолированной и резистивно заземленной нейтрали наглядно подтвердили эффективность резистивного заземления нейтрали.

Планируется дальнейшая установка на подстанциях разрезов Тугнуйский, Березовский, Черногорский ОАО «СУЭК».

Выводы

Положительный опыт эксплуатации высокоомных резисторов подтверждает необходимость и экономическую целесообразность для снижения уровня перенапряжений при однофазных дуговых замыканиях на землю и подавления феррорезонансных явлений, обеспечения правильной надежной работы защит от однофазных замыканий на землю рекомендовать применение в сетях 6-10 кВ предприятий угольной и горно-

рудной промышленности постоянно включенные в нейтраль высокоомные резисторы типа РЗ, рассчитанные на возможность длительной работы в режиме однофазного замыкания на землю.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. РД 06-572-03 «Инструкция по безопасной эксплуатации электроустановок в горнорудной промышленности» (утв. Постановлением Госгортехнадзора РФ от 5 июня 2003 г. № 65).

2. РД 05-334-99 «Нормы безопасности на электроустановки угольных разрезов и требования по их безопасной эксплуатации» (утв. Постановлением Госгортехнадзора России от 24 декабря 1999 г. № 96).

3. *Коробейников С.М., Сарин Л.И., Ильиных М.В.* Особенности пробоя воздушного промежутка в опытах искусственного ОДЗ при различных режимах заземления нейтрали // Ограничение перенапряжений и режимы заземления нейтрали сетей 6-35 кВ: Труды Второй Всероссийской научно-технической конференции. – Новосибирск, 2002. – с. 123-127.

4. *Сарин Л.И., Ширковец А.И., Ильиных М.В.* Опыт применения резистивного заземления нейтрали в электрических сетях 6-35 кВ// Энергетик. – 2009. – №4 – с. 13-14.

5. *Емельянов Н.И., Ширковец А.И.* Актуальные вопросы применения резистивного и комбинированного заземления нейтрали в электрических сетях 6-35 кВ.// Энергоэксперт. – 2010. – № 2. - С.44-50. **ИИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Бакиров А.Р. – доктор технических наук, профессор, каф. ЭЭПП МГГУ,
e-mail: arbakirov@rambler.ru

Васильева А.Ю. – старший инженер научно-исследовательского отдела «Болид», e-mail nio_bolid@ngs.ru

Ширковец А.И. – ведущий инженер научно-исследовательского отдела «Болид», e-mail nio_bolid@ngs.ru

Телегин А.В. – инженер научно-исследовательского отдела «Болид»,
e-mail nio_bolid@ngs.ru

