

Некоторые технические аспекты проблемы защиты от замыканий на землю распределительных сетей среднего напряжения¹

Гуревич В. И., канд. техн. наук (Израиль)

В соответствии с данными мировой статистики на долю однофазных замыканий на землю в сетях среднего напряжения (6 - 36 кВ) приходится до 70 - 80 % всех повреждений. С учетом того, что такие сети — наиболее протяженные и разветвленные, проблема совершенствования защиты от замыканий на землю весьма актуальна.

Известно, что замыкание одной фазы на землю не является аварийной ситуацией для распределительной сети с изолированной нейтралью, поэтому в некоторых странах допускается работа сети в таком режиме, а вместо защиты применяется лишь сигнализация. При этом вопрос электробезопасности как бы и не обсуждается. Однако такой подход приемлем далеко не для всех отраслей промышленности и не для всех стран. Например, в электрических сетях карьеров, угольных разрезов и шахт применяется защитное отключение линии при замыканиях на землю. Так же действует защита и в сетях Израиля, многих стран Европы и других государств с большой плотностью населения. И это несмотря на то, что большинство таких сетей имеет компенсированную нейтраль, а катушка Петерсена (КП) снабжена автоматической системой настройки в резонанс, благодаря чему токи замыкания на землю не превышают 7-10 А. Считается, что даже при таких малых токах замыкания на землю появление человека в зоне повреждения опасно для его жизни и поэтому линия должна быть немедленно отключена, несмотря на очевидные убытки, которые при этом терпит энергетическая компания за недоотпуск электроэнергии и штрафы потребителям.

Действительно, исследования [1-4] показывают, что в сети с КП остаются некомпенсированными свободные емкостные токи переходного режима с бросками амплитудой, в 30 - 40 раз превышающей амплитуду установившегося значения тока. Причем эти броски возникают многократно при перемежающейся дуге в месте замыкания. Наряду с указанным имеет место медленно затухающая свободная

составляющая индуктивного тока собственно КП с начальной амплитудой, равной 1,41 свободной составляющей тока. Кроме того, в сети существуют остаточные токи и высшие гармонические составляющие. На основании этого в [3] делается вывод о том, что опасные для жизни человека значение и длительность напряжения в зоне повреждения в компенсированных сетях с КП выше, чем в сетях без нее. Аналогичные выводы были получены и в Донецком политехническом институте, где исследования проводились в кабельных линиях. Было установлено, что снижение в них тока замыкания на землю путем компенсации емкостной составляющей сети даже при очень точной настройке КП, близкой к резонансу не исключает горения дуги в месте замыкания, а лишь увеличивает в несколько раз период возникновения пробоев и вторичных зажиганий дуги. Кроме того, применение КП значительно затрудняет функционирование релейной защиты, реагирующей на однофазные замыкания.

Одним из эффективных средств борьбы с замыканиями на землю считается защитное закорачивание на землю поврежденной фазы. В СНГ интенсивные исследования в этой области проводились в ИГД им. А. А. Скочинского под руководством профессора В. И. Щуцкого [1-3 и др.] в основном в сетях карьеров, угольных шахт и разрезов, а в некоторых европейских странах — в распределительных сетях общего назначения [5]. При этом предлагалось закорачивать поврежденную фазу непосредственно на подстанции специальным высоковольтным тиристорным короткозамыкателем [3] или стандартным короткозамыкателем (выключателем нагрузки) с механическим приводом [5] (последний работает на подстанции "Guebwiller" во Франции). В качестве чувствительного органа используется микропроцессорное ваттметровое реле фирмы "Merlin Gerin".

При закорачивании поврежденной фазы точка замыкания переносится к месту установки короткозамыкателя, т. е. на подстанцию, и обеспечивается надежное металлическое замыкание на землю без перемежающихся дуг, перенапряжений и прочих негативных явле-

ний, сопровождающих неустойчивые замыкания через грунт. Однако электробезопасность при этом полностью не гарантируется, так как в протяженных и разветвленных сетях (а сети 10-36 кВ именно такие) в точке замыкания на землю, удаленной от подстанции с короткозамыкателем на расстояние 5-10 км и более, напряжение может достигать 600 - 700 В. Даже в относительно коротких карьерных сетях оно может составлять 400 В [4, 6].

Теоретически эта проблема решается путем многократного закорачивания поврежденной фазы через каждые 2 - 3 км или более (в зависимости от параметров линии), чтобы напряжение в точке замыкания на землю не превосходило десятков вольт. В данной статье рассматриваются чисто технические аспекты реализации такого способа ее решения. Очевидно, что установка стандартных короткозамыкателей, обычно применяемых в электроэнергетике (но с разделенным механическим приводом для каждой фазы), или выключателей нагрузки, или даже разъединителей через каждые 2 - 3 км экономически нецелесообразна и технически не реализуема. В [3] предлагается конструкция короткозамыкателя на базе мощных высоковольтных тиристоров для установки на подстанции (при этом не приводится стоимость такого устройства). Простейшие расчеты показывают, что при стоимости одного тиристора на ток 240А и напряжение 2200В (высоковольтные тиристоры на меньшие токи обычно не выпускаются) около 60 долл. и количестве 78 шт. таких тиристоров для сети 24 кВ (в трех фазах по две встречно-параллельных ветви, каждая из которых состоит из 13 последовательно включенных тиристоров) стоимость только комплекта тиристоров составит около 5000 долл. А ведь такой короткозамыкатель состоит не только из тиристоров, он включает в себя: элементы, выравнивающие распределение напряжений на последовательно соединенных тиристорах; элементы, защищающие каждый тиристор от перенапряжений, возникающих из-за их неодновременного отпирания и запираения; элементы высоковольтной гальванической развязки, обеспечивающие передачу сигналов управления с блока управления, находящегося под низким потенциалом, на тиристоры, находящиеся под полным потенциалом линии; элементы защиты тиристоров от перегрузки по току, а также защиты от сетевых коммутационных и атмосферных перенапряжений. Кроме

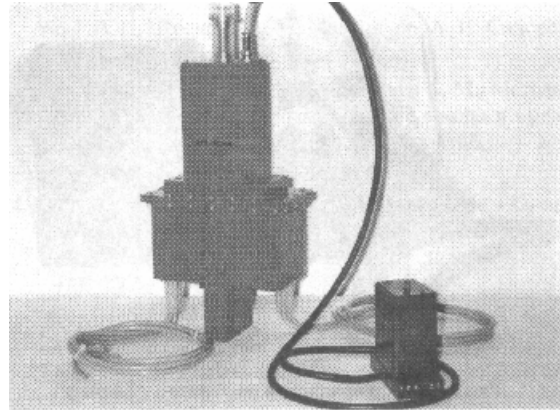


Рис. 1. Коммутационный аппарат "Голиаф" с блоком управления (справа)

того, для такого устройства необходим специальный высоковольтный корпус, обеспечивающий необходимое сжатие тиристоров (так как обычно это тиристоры таблеточного типа с прижимными контактами). С учетом указанных дополнительных элементов и узлов стоимость такого аппарата может достигать 10 - 15 тыс. долл., что делает мало перспективной их установку через каждые 2 - 3 км протяженной и разветвленной сети.

Автором предлагается использовать для многократного закорачивания поврежденной фазы ранее разработанный им компактный аппарат "Голиаф" (рис. 1) [7], имеющий на порядок меньшую стоимость. Это новый тип коммутатора с магнитоуправляемым контактом, в котором подвижное контактное звено не содержит осей вращения или изгибающихся упругих элементов (как в традиционных магнитоуправляемых контактах) и представляет собой автономный узел, состоящий из мостикового контакта, ферромагнитного сердечника и постоянного магнита, свободно перемещающихся внутри диэлектрического баллона (вдоль его продольной оси) под действием магнитного поля катушек управления, расположенных на этом баллоне. Ход подвижных частей аппарата, коммутирующего напряжение до 48 кВ переменного тока, достигает 60 мм, а максимальный межконтактный зазор — 120 мм. Электрическая прочность изоляции между всеми разнопотенциальными частями составляет 100 кВ, длительно пропускаемый ток через замкнутые контакты — 60А, кратковременно пропускаемый ток — 700 А, габариты — 415 x 205 x 105 мм. С целью упроще-

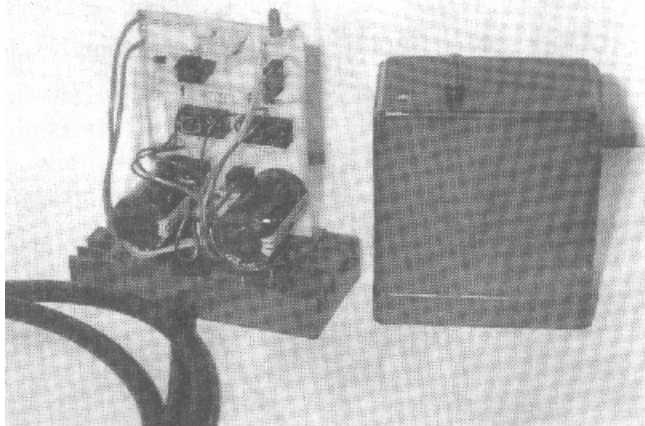


Рис. 2. Блок управления аппаратом "Голиаф"

ния конструкции и удешевления аппарата он выполнен без дугогасительной камеры и не предназначен для размыкания тока под напряжением. При этом предполагается, что возврат всех аппаратов "Голиаф" в исходное положение (т. е. размыкание после ликвидации повреждения) осуществляется в обесточенном состоянии после кратковременного отключения линии головным выключателем.

Значительно удешевить аппарат удалось также за счет упрощения его контактной системы, обеспечивающей относительно небольшие токи коммутации, характерные для сетей с компенсированной нейтралью. Каждый аппарат управляется от блока управления (рис. 2), содержащего два входных миниатюрных реле, два накопительных конденсатора, разрядный тиристор и несколько других вспомогательных элементов. Аппарат снабжен магнитной фиксацией положения контактов в обоих положениях и нуждается в питании только в момент переключения из одного состояния в другое. Блок управления выдает на "Голиаф" импульсы включения и отключения при поступлении соответствующих команд, обеспечивает возможность его переключения при кратковременных исчезновениях питания, а также выполняет функцию взаимной блокировки, не допускающей одновременного срабатывания более одного аппарата даже при ошибочных действиях внешнего устройства и выдаче команды на включение сразу двух аппаратов.

Группа из трех аппаратов "Голиаф" устанавливается в закрытом пластмассовом кожухе, защищающем от прямого попадания осадков. Подключение к линии осуществляется отрезками высоковольтного провода. Аппараты предназначены для размещения на опорах ВЛ

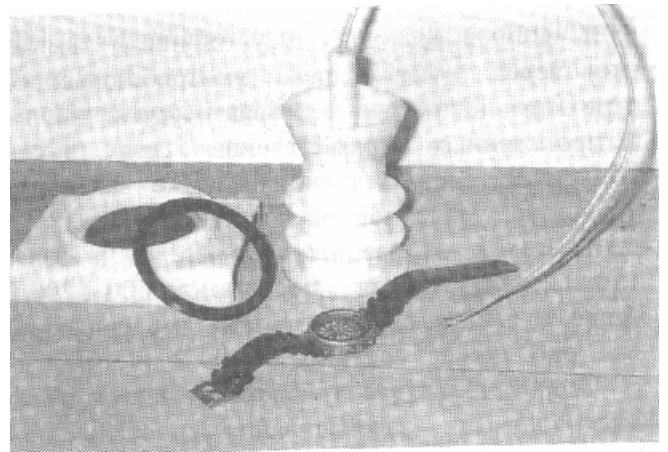


Рис.3. Малогабаритный высокочувствительный датчик однофазных замыканий и элементы его крепления (слева) на токоведущей шине

в первую очередь в местах установки систем автоматизации (устройств автоматического секционирования, систем типа "SIMAGIK" и аналогичных), так как там уже имеются источники питания — трансформаторы напряжения. В крайнем случае для питания группы из трех аппаратов "Голиаф" может быть использован отдельный трансформатор напряжения.

Еще одна проблема, требующая решения. — повышение чувствительности и надежности устройства обнаружения заземленной через большое переходное сопротивление фазы. По данным [5], такое устройство должно реагировать на сопротивление примерно 100 к(Ом. в то время как существующие типы защит, включая цифровые ваттметровые реле, обеспечивают чувствительность не более 5-10 кОм. что является причиной их неудовлетворительной работы. Эта проблема успешно решается с помощью ранее разработанного автором датчика высокого напряжения с релейным выходом [8] (рис. 3), чувствительность которого составляет многие сотни килоом. Датчик может быть снабжен специальным креплением для установки непосредственно на токоведущую шину или на провод, находящийся под рабочим потенциалом линии. Он легкий, имеет небольшие габариты и низкую стоимость. При необходимости наружной установки три таких датчика (по одному на каждую фазу) можно разместить в том же защитном кожухе, в котором размещены аппараты "Голиаф". При этом каждый такой комплекс "Голиаф" — датчик может работать автономно. Другим возможным вариантом является использование только одного комплекта датчиков на подстанции и передача сигналов управления по кана-

лам телемеханики на все аппараты "Голиаф", относящиеся к данной фазе.

Выводы

1. Реализация известной концепции защиты распределительных сетей среднего напряжения путем закорачивания поврежденной фазы требует наличия недорогих малогабаритных коммутационных аппаратов упрощенного типа, удаленных друг от друга на расстоянии, при которых остаточное напряжение в месте замыкания на землю не будет превосходить десятки вольт. В качестве такого коммутационного аппарата предлагается использовать аппарат типа "Голиаф".

2. В качестве датчика, обеспечивающего надежное и эффективное выявление поврежденной фазы, рекомендуется применять индикатор напряжения с релейным выходом.

Список литературы

1. Щуцкий В. И., Жидков В. О., Ильин Ю. Н. Защитное шунтирование однофазных повреждений -электростановок. -- М: Энергоатомиздат. 1986.
2. **Электробезопасность** на открытых горных работах/ В. И. Щуцкий. А. М. Маврицын. А.И.Сидоров и др. — М.: Недра. 1983.
3. Серов В. И., Щуцкий В. И., Ягудаев Б. М. Методы и средства борьбы с замыканиями на землю в высоковольтных системах горных предприятий. - М: Наука, 1985.
4. Сирота И. М., Масляник В. В. Свободные емкостные токи замыкания на землю в электрических сетях с малыми токами замыкания. — Электричество. **1977. №3.**
5. **Bergeal J., Berthet L., Grob O.** Single-Phase faults on compensated neutral medium voltage networks.- Electricite de France. Direction des Etudes at Recherches, 93NR00032, 1992.
6. Ягудаев Б. М., Шишкин Н. Ф., Назаров В. В. Защита от электропоражения в горной промышленности. — М: Недра, 1982.
7. Гуревич В. И. Высоковольтный коммутатор с магнитоуправляемым контактом нового типа. — Электротехника, 1992. № 12.
8. Гуревич В. И. Шинные индикаторы высокого напряжения для комплектных распределительных устройств 6- 10 кВ. - Электрические станции. 1991. №8.