

УДК 621.316

Сивокобыленко В.Ф.¹, Дергнлёв М.П.², Лебедев В.К.³ПОВЫШЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ
С РЕЗИСТИВНО - ЗАЗЕМЛЁННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

Рассмотрены достоинства и недостатки сетей с резистивно-заземленной нейтралью. Предложен способ повышения надёжности работы указанных сетей, заключающийся в том, что при возникновении в сети однофазного замыкания на землю сеть переводится в режим однофазного глухого замыкания путём дополнительного подключения к земле повреждённой фазы с помощью разработанного устройства выбора повреждённой фазы и выключателя с пофазным управлением. Даны рекомендации по выбору параметров нелинейных ограничителей перенапряжений и устройств автоматики.

В условиях сильной изношенности изоляции распределительных сетей и высокой ответственности их перед потребителями электрической энергии, вопросам повышения надёжности работы этих сетей постоянно уделяется большое внимание. Эти сети первоначально были предназначены для работы с изолированной нейтралью, чтобы при замыкании фазы на землю (одним из наиболее частых видов повреждений) не отключать повреждённое присоединение на определённое время, что позволяет предотвращать нарушение электроснабжения технологически ответственных потребителей. Однако перенапряжения в этих сетях при дуговых замыканиях на землю, трудности обеспечения чувствительности и селективности работы защит поставили задачу повышения надёжности работы рассматриваемых сетей.

В связи с этим было предложено заземлить нейтраль сети через дугогасящую катушку (ДГК) или через активное сопротивление (бетэловый резистор). Однако этим мероприятиям также присущи недостатки, что требует более подробного их исследования и совершенствования.

Работа сетей с заземлённой через ДГК нейтралью рассмотрена в [1], где показано что использование ДГК может снизить предельные для данной сети кратности перенапряжений примерно на 20 % и уменьшить до минимума число повторных зажиганий дуги. Однако, как отмечается в [2,3] желаемый эффект от применения ДГК может быть получен только в строго симметричных сетях (напряжение несимметрии не должно превышать 0,75 %) и резонансной или близкой к ней (в пределах 1-1,5 %) расстройке катушки, что в настоящее время трудно выполнимо. Заземление нейтрали сети через резистор величиной порядка 100 Ом впервые было рекомендовано использовать в системе собственных нужд тепловых электростанций, а затем и на АЭС [4]. Цель этого мероприятия заключалась в ограничении дуговых перенапряжений до уровня $2,2-2,4 U_{\phi}$ и повышении уровня токов однофазного замыкания на землю (ОЗЗ), что позволило бы обеспечить надежное срабатывание релейной защиты от замыканий на землю.

В [5] приведена схема и тип оборудования для реализации резистивного заземления. Применяются бетэловые резисторы типа РШ-2-ССН и два комплекта оксидно-цинковых нелинейных ограничителей перенапряжения (ОПН) с разными порогами ограничения. Резисторы рекомендовано подключать к нейтрали специального присоединительного трансформатора.

Однако опыт эксплуатации резистивного заземления нейтрали, по данным [6], показал, что в некоторых режимах горения дуги наблюдается даже противоположный эффект в смысле ограничения перенапряжений. Не исследованы также вопросы о последствиях существенного

¹ ДонНТУ, д-р техн. наук, проф.

² ДонНТУ, канд. техн. наук, доц.

³ ДонНТУ, канд. техн. наук, доц.

увеличения тока замыкания на землю в сети с частичным заземлением нейтрали через небольшое активное сопротивление и надежности срабатывания релейной защиты от однофазных замыканий на поврежденном присоединении, выполненной на базе широко распространенных токовых реле РТЗ-51, РТЗ-50, РТ-40/0,2 и др. в случае неустойчивого перемежающегося горения дуги в месте замыкания фазы на землю. В данной работе была поставлена задача исследования переходных процессов в сетях с резистивным заземлением нейтрали и разработка способов повышения надежности работы этих сетей. С этой целью были составлены дифференциальные уравнения математической модели применительно к схеме замещения, приведенной в [7], где учитывались питающий трансформатор сети, ёмкости фаз сети на землю, междуфазные ёмкости, активное сопротивление изоляции, трансформатор с заземлением нейтрали через реактор или резистор и ограничители перенапряжения.

При возникновении дугового замыкания в сети с изолированной нейтралью и погасании дуги в момент перехода через нуль тока промышленной частоты и высокочастотной составляющей, **заряженные емкости сети не имеют пути разряда, что и является причиной возникновения перенапряжений величиной в пределах до $(3-4)U_{\phi}$ и более при повторных зажиганиях дуги. Включение резистора в нейтраль создаёт пути для быстрого разряда емкости сети, что предотвращает процесс накопления зарядов на ней, а следовательно исключается возможность для генерации больших кратностей перенапряжений.** Поэтому величина заземляющего резистора должна выбираться такой, чтобы время разряда емкостей было не более 0,012 с, т.е. около половины периода промышленной частоты. Исследования на ПЭВМ показали, что при $R=100$ Ом это время составляет 0,0025 с.

Математическое и физическое моделирование дуговых замыканий на землю показало, что при наличии резистора в нейтрали, в зависимости от условий горения дуги, наблюдается различный характер протекания дугового процесса и при любой величине сопротивления заземляющего резистора не исключается возможность возникновения перемежающегося характера горения дуги. Так как, скорость восстановления напряжения на поврежденной фазе после погасания дуги зависит от величины сопротивления заземляющего резистора и тем выше, чем меньше сопротивление, то для заданной величины пробивного напряжения дугового промежутка, число повторных пробоев за полпериода промышленной частоты возрастает и может достигать десяти и более, что подтверждается осциллограммой, приведенной на рис.1. Такой характер изменения тока замыкания в сети с резистивным заземлением нейтрали исключает возможность успешного срабатывания защит от замыкания на землю, выполненных, например, на реле РТЗ-51, РТЗ-50, РТ-40/0,2 и др., реагирующих на токи промышленной частоты, что и подтверждается опытом эксплуатации сетей собственных нужд 6кВ, работающих с резистивно-заземлённой нейтралью. Улучшение работы этих защит в сети с резистивным заземлением нейтрали может быть достигнуто путём разработки новых устройств, реагирующих на параметры переходного процесса при дуговом замыкании на землю.

Одним из недостатков циркуляров Ц-01-88 и Ц-01-97 является также и то, что они предписывают отключение без выдержки времени всех присоединений, на которых возникает замыкание на землю. Это положение противоречит требованиям действующих правил ОПБ-88 (п. 4.8.3) о приоритете выполнения функций обеспечивающих систем перед собственными защитами. Согласно этих циркуляров защита от замыканий на землю действует на отключение всех присоединений, кроме тех, которые питают обеспечивающие системы реактора АЭС. При однофазных замыканиях на этих присоединениях или неуспешном и неселективном срабатывании защит других присоединений с выдержкой времени порядка 0,5 с должен отключаться соединительный трансформатор вместе с заземляющим резистором и сеть переводится в режим с изолированной нейтралью. При этом место замыкания сохраняется, где может длительное время гореть перемежающаяся дуга с вытекающими последствиями. Устранение этого противоречия при практической реализации положений циркуляров на АЭС или аналогичных ответственных объектах химической, металлургической, горнодобывающей и других промышленности требует выполнения сложных блокировок и дополнительных связей между секциями, что сильно затрудняет его внедрение.

На основании выполненных расчетно-экспериментальных исследований нами предложено техническое решение ограничения дуговых и резонансных перенапряжений, заключающееся в комплексном использовании ОПН с разными порогами ограничения и дополнительно уста-

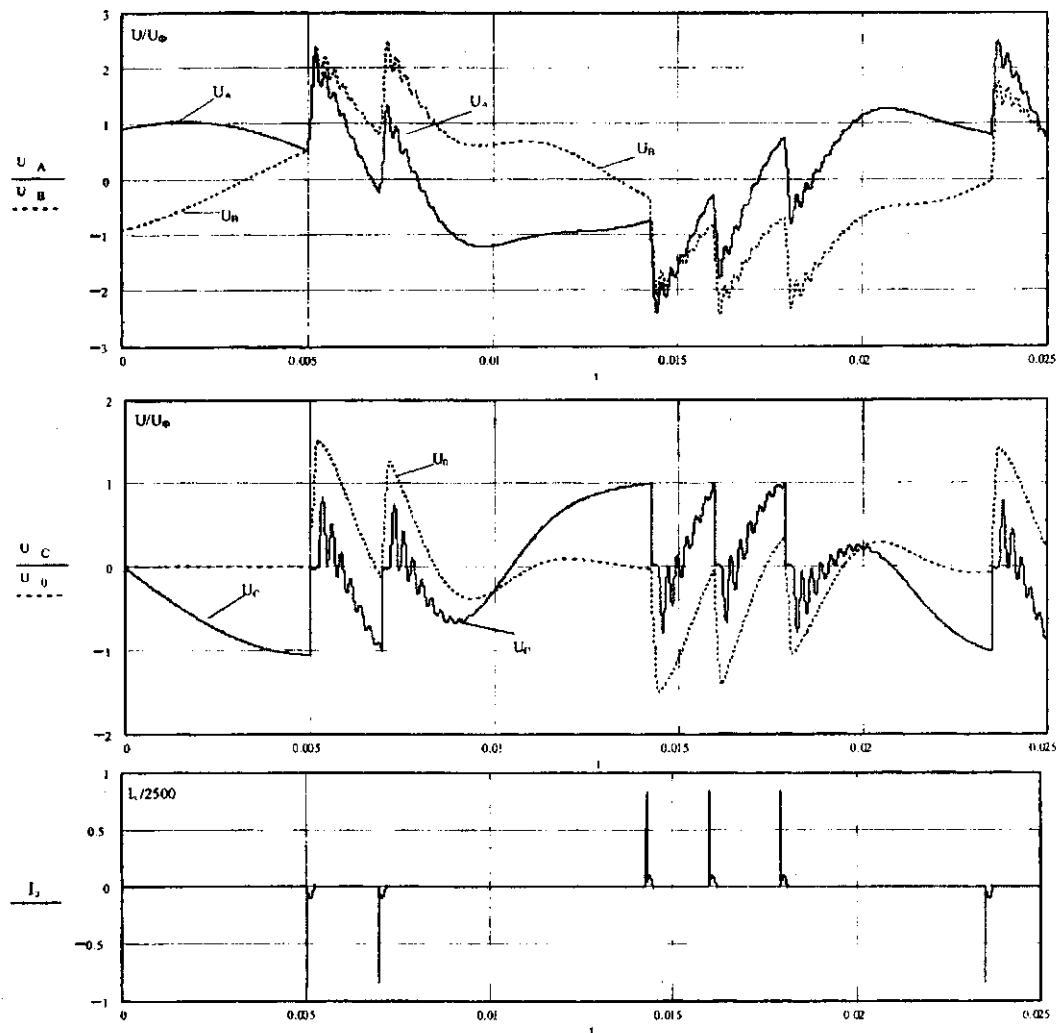


Рис.1-Характер переходного процесса в сети 6 кВ при дуговом замыкании на землю фазы С (ёмкость сети 2 мкФ, нейтраль сети заземлена через резистор 100 Ом)

навливаемых трёх однополюсных или трёхполюсного вакуумного выключателя с пофазным управлением. При наличии этих выключателей автоматического шунтирования повреждённой фазы (АШПФ) в случае возникновения ОЗЗ на присоединении технологически ответственных установок, где защита действует только на сигнал, или же при отказе защиты на остальных присоединениях, устройство выбора повреждённой фазы (УВПФ) подаёт сигнал на включение шунтирующего выключателя повреждённой фазы. Это происходит с небольшой выдержкой времени, порядка 0,25с, достаточно отстроенной от времени действия защит отходящих присоединений. Предлагаемая схема технического решения представлена на рис.2.

Согласно этой схемы однофазные замыкатели (шунтирующие выключатели устройства АШПФ) установлены в одной ячейке с присоединительным трансформатором и подключены к выходным зажимам выключателя, подсоединенного к секции, на котором установлена быстродействующая защита от междуфазных КЗ (максимальная токовая отсечка).

Схема предлагаемого технического решения повышения надёжности работы трёхфазных электрических сетей с резистивно – заземлённой нейтралью от последствия дуговых замыканий на землю работает следующим образом. Например, при появлении замыкания на землю на одном из присоединении 1 распределительной сети, ток, протекающий через место замыкания фазы на землю, должен обеспечить надёжное срабатывание элементов токовой защиты нулевой последовательности этого присоединения КА и без выдержки времени отключить его выключателем от шин питающего напряжения 2, устранив, таким образом, место повреждения в сети и восстановив нормальный режим работы её.

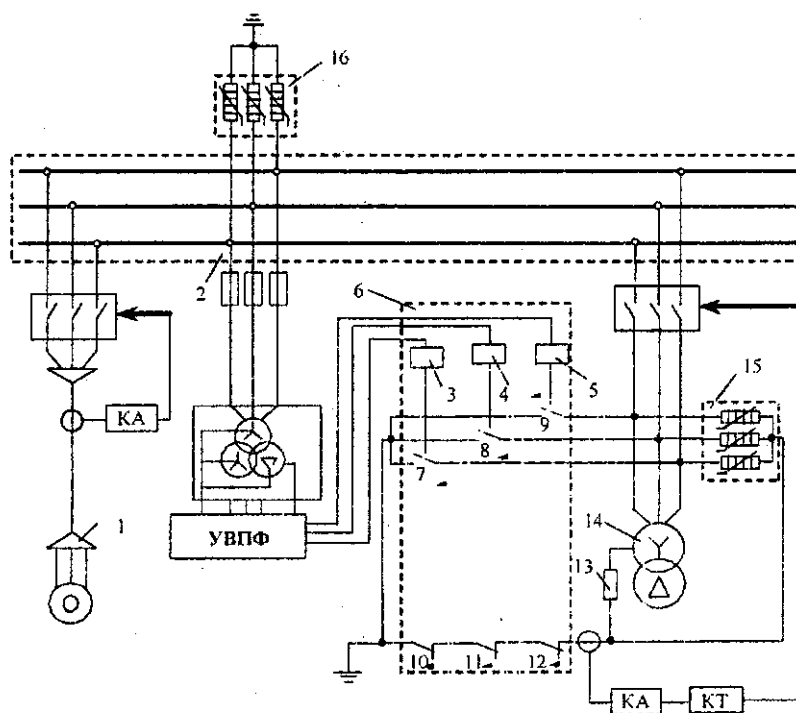


Рис.2 - Принципиальная схема предложенного технического решения для повышения надёжности работы сетей с резистивно-заземленной нейтралью при замыканиях фазы на землю

Если по какой либо причине повреждённое присоединение не отключилось (отказ выключателя, недостаточная чувствительность или селективность защиты и т.д.) или замыкание произошло на технологически не отключаемом присоединении, то УВПФ с выдержкой времени до 0,25 с подаёт импульс на соленоид включения 3, 4, 5 соответствующей фазы шунтирующего выключателя 6 и включает его замыкаемый контакт 7, 8, 9 шунтируя тем самым место пробоя или перекрытия изоляции на повреждённой фазе и размыкает один из размыкаемых контактов 10, 11, 12 в цепи между общей точкой звезды ОПН с порогом ограничения перенапряжений $2U_{\phi}$, 15 и вторым концом заземляющего резистора 13, подключённого к нейтральной точке обмоток ВН присоединительного трансформатора 14, переводя таким образом сеть в режим с изолированной нейтралью и наглухо подключенной к земле повреждённой фазой сети. Присоединительный трансформатор к шинам секции подключается через выключатель, который необходим для его отключения на случай возникновения двух или трёхфазных коротких замыканий. Комплект релейной защиты токов нулевой последовательности этого присоединения КА и КТ, действующей с выдержкой времени примерно 1,0 с, предусмотрен на случай отказа в работе шунтирующего выключателя с пофазным управлением.

Применение такого устройства позволяет все виды ОЗЗ переводить в глухие за время не более чем 0,25 с. Благодаря этому, представляется возможным исключить длительное горение дуги в месте замыкания. Режим работы распределительной сети с металлическим замыканием фазы на землю через шунтирующий выключатель системы АШПФ, в условиях отсутствия дуги, а следовательно и дуговых перенапряжений, допустим по ПУЭ в течении не менее двух часов. Это позволяет оперативному персоналу обнаружить и устранить повреждение, не отключая источников питания потребителей. В промежутке времени с момента замыкания фазы на землю до момента замыкания контактов шунтирующего выключателя перенапряжения в сети ограничиваются, до безопасной для электрооборудования величины, нелинейным ограничителем перенапряжения с более низким порогом ограничения в пределах до $2U_{\phi}$. Время работы этого ограничителя в таком режиме составляет не более 2 с.

Отключение от земли нулевой точки звезды ОПН с более низким уровнем ограничения и заземляющего резистора с помощью размыкающегося контакта шунтирующего выключателя соответствующей фазы обеспечивает сохранение их термической стойкости. Ограничители пе-

перенапряжений с более низким порогом ограничения переводятся при этом в облегченный режим работы, так как один из них шунтируется на поврежденной фазе, а два других оказываются соединенными последовательно и включаются на линейное напряжение, в то время как через заземляющий резистор полностью прекращается протекание тока. Разработан способ поиска поврежденного присоединения без отключения замыкателя, что исключает возможность появления опасных перенапряжений при коммутациях. Кратковременные коммутационные перенапряжения, возникающие в сети во время проведения поисковых переключений или других плановых коммутаций ограничиваются вторым нелинейным ограничителем перенапряжений /б, подключенным к шинам секции распределительного устройства в одной ячейке с измерительным трансформатором напряжения, с уровнем ограничения порядка $2,6 U_{\phi}$. Допустимая длительность работы этого ограничителя в таком режиме составляет не менее двух часов.

После устранения замыкания на землю в сети, схема возвращается в исходное положение. Для этого ключом управления сначала отключается шунтирующий поврежденную фазу выключатель, а затем включается размыкающийся контакт в цепи звезды ОПН с более низким порогом ограничения и заземляющего резистора.

Таким образом, в случае возникновения дуговых и резонансных перенапряжений при замыканиях в сети фазы на землю, они будут ограничены в первый момент с помощью ОПН с более низким порогом ограничения до $2U_{\phi}$, а затем, после шунтирования поврежденной фазы, исчезнут, в связи с переводом дугового замыкания в металлическое. В работе определены типы и разработана методика выбора параметров принятых в схеме ограничителей перенапряжений с более низким и более высоким порогами ограничения. Исследование предложенной схемы на физической модели 6 кВ и опыт эксплуатации в реальной сети собственных нужд электростанций подтвердили высокую эффективность и надежность при использовании её в распределительных сетях 6-10 кВ.

Выводы

Практическая реализация предлагаемого технического решения защиты распределительных сетей от последствия ОЗЗ позволяет существенно улучшить условия работы электрооборудования с ослабленной изоляцией, сократить повреждаемость электродвигателей, а также уменьшить вероятность появления и снизить количество однофазных замыканий, переходящих в междуфазные или многоместные пробои изоляции с групповым выходом из строя электрооборудования.

Перечень ссылок

1. Лихачев Ф.А. Замыкание на землю в сетях с изолированной нейтралью и компенсацией емкостных токов / Ф.А. Лихачев - М., Энергия, 1971.
2. Петров О.А. Точность систем автоматической настройки компенсации емкостных токов однофазного замыкания на землю в электрических сетях / О.А. Петров - Электрические станции, 1989.
3. Евдокунин Г.А. Выбор способа заземления нейтрали в сетях 6-10 кВ / Г.А. Евдокунин, С.В. Гудилин, А.А. Корепанов — Электричество, 1998, №12.
4. Циркуляр Ц-01-88. О повышении надежности сетей 6 кВ собственных нужд энергоблоков АЭС.- М., 1988.
5. Глубокое ограничение перенапряжений при замыканиях на землю в сети 6 кВ собственных нужд ТЭС / В.Н. Подъячев, М.А. Плессер, Н.И. Беляков и др. - Энергетик, 1999, №2.
6. Ограничение перенапряжений в системе собственных нужд электростанций / В.Ф. Сивокобыленко, М.П. Дергилев, С.А. Иванов и др, - Энергетика и электрификация, 1996, №4.
7. Сивокобыленко В. Ф. Математическая модель для исследования переходных процессов при замыкании фазы на землю в сетях 6 - 10 кВ / В. Ф. Сивокобыленко, В. К. Лебедев, Сильва Махинда II Сб. научн. тр. ДонГТУ (Серия: электротехника и энергетика). -Выпуск 4. - Донецк, 1999.-С. 221-226.

Статья поступила 10.03.2005