

УДК 62-50:519.216

АНАЛИЗ ЗАЩИТ БЛОКОВ ГЕНЕРАТОР-ТРАНСФОРМАТОР И ГЕНЕРАТОРОВ, РАБОТАЮЩИХ НА СБОРНЫЕ ШИНЫ ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ*

ВИШТИБЕЕВ А.В.

Новосибирский Государственный Технический Университет

В статье производится анализ существующих защит от замыканий на землю (ОЗЗ) блоков генератор-трансформатор. Также рассматриваются вопросы совершенствования и резервирования этих защит. На основе анализа сделаны выводы о наиболее целесообразных способах защиты и алгоритмах реализации защиты.

Введение

Опасность не отключенного замыкания в обмотке статора генератора заключается в том, что резко увеличивается вероятность второго замыкания на землю на одной из двух других фаз, в любой точке сети. Генератор оказывается в зоне двойного замыкания на землю, что приводит к его повреждению (выходу из строя) и большому технико-экономическому ущербу. В процессе развития электроэнергетики релейная защита блоков генератор-трансформатор от замыканий на землю постоянно изменяется и совершенствуется. Предлагаются новые, более эффективные алгоритмы работы схем релейной защиты. Рассматривается введение дополнительных защит, которые смогут более точно выявлять замыкания на землю в обмотке статора генератора. К защите от однофазных замыканий генераторов, работающих на сборные шины, предъявляются требования как можно более высокой чувствительности и большей защищаемой зоны. В этой связи, целесообразно проанализировать варианты защит от замыканий на землю генераторов и выявить общепризнанный вариант, обладающий существенными преимуществами перед всеми остальными.

1. Обзор существующих защит от замыканий на землю в обмотке статора генератора

Защита от замыканий на землю в обмотке статора генератора, осуществляемая с использованием напряжения третьей гармоники

Каждое из устройств защиты состоит из максимального реле напряжения нулевой последовательности основной частоты, защищающего большую часть витков обмотки статора генератора со стороны линейных выводов, и органа напряжения третьей гармоники, защищающего часть обмотки статора, примыкающего к нейтрали, и саму нейтраль (в зависимости от выбранного рабочего торможения).

Для обеспечения надежного функционирования органа третьей гармоники, реагирующего на установившиеся значения составляющих ЭДС E_3 , используется действие U_B и U_H - напряжение третьей гармоники на выводах генератора и на нейтрали генератора в различных комбинациях.

В защите, разработанной ВНИИЭ [1], в качестве органа третьей гармоники используется реле напряжения с торможением. Рабочая цепь этого реле включена на сумму

* К сожалению, в статье не приводятся структурные схемы и диаграммы, поясняющие работу каждого из рассмотренных вариантов защит, вследствие ограниченного объема статьи.

напряжений (U_H+U_B), а тормозная - на напряжение U_H . Отношение их модулей, при снижении которого до заданного значения этот орган срабатывает, представляет собой результирующее сопротивление обмотки статора со стороны нейтрали по отношению к земле, отнесенное к удвоенному сопротивлению генератора. Таким образом, защита реагирует непосредственно на переходное сопротивление в месте замыкания на землю.

Срабатывание органа третьей гармоники определяется установкой коэффициента торможения равного отношению напряжению рабочей цепи к напряжению тормозной цепи.

$$k_T = \frac{U_{РАБ}}{K_H \cdot U_{ТОРМ}} = \frac{1}{Z_{CP}}.$$

При замыкании на землю на нейтрали генератора напряжение U_H снижается до нуля, вследствие чего исчезает торможение, а напряжение U_B повышается до значения $U_B=E_3$. При этом орган третьей гармоники надежно срабатывает. При удалении места повреждения от нейтрали напряжение U_H снижается не до нуля, торможение уменьшается, но не исчезает, а напряжение на рабочей цепи возрастает меньше, чем при замыкании на землю на нейтрали.

Применяется также защита с органом третьей гармоники, реагирующим на производную по времени напряжения третьей гармоники U_H (разработана ВНИИЭ). Выполнение защиты основано на том, что скорость изменения напряжения U_B при возникновении замыкания на землю намного больше, чем при любых изменениях режима работы генератора. Это объясняется тем, что при замыканиях на землю, напряжение на защите повышается скачкообразно, только за счет увеличения составляющей ЭДС третьей гармоники со стороны линейных выводов при неизменности самой ЭДС, а при изменениях режима работы генератора меняется магнитное поле машины с большой постоянной времени (не менее 0.8 секунды) и напряжение U_B нарастает медленно.

Также применяется защита, где орган третьей гармоники представляет собой максимальное реле напряжения с фильтром высших гармоник, пропускающим только напряжение первой гармоники, что позволяет существенно улучшить настройку защиты от напряжения нулевой последовательности, появляющегося на выводах генератора при коротких замыканиях на землю на стороне ВН блока за счет имеющейся емкостной связи между обмотками ВН и НН трансформатора блока. Такой орган 3-ей гармоники имеет достаточно высокую чувствительность при надежной отстройке от нагрузочных режимов [1].

Достоинства: реагирует на переходное сопротивление установившегося режима замыкания на землю; имеет достаточно высокую чувствительность при надежной отстройке от нагрузочных режимов (время срабатывания ≈ 0.5 с).

Недостатки: первая ступень чувствительна к переходным процессам в сетях высокого напряжения; при замыканиях со стороны линейных выводов орган третьей гармоники имеет мертвую зону в середине обмотки; неэффективна при отсутствии переходного процесса (постепенное снижение уровня изоляции); сложность настройки.

Схемы внутренних соединений и включения устройств защит, (33Г-1 и 33Г-2) подробно рассмотрены в [1].

Многолетний опыт эксплуатации защит типа 33Г [2] показал, что защиты от замыканий на землю в сетях генераторного напряжения для отключаемых присоединений необходимо использовать с выдержкой времени 0.3-0.5 с. Эта выдержка необходима при включении присоединения в работу, потому что некоторые выключатели (например, ВЭМ-6) имеют собственное время включения ~ 0.45 с. Использование комплекса токовых защит нулевой последовательности в режиме "отключение" с выдержкой времени 0.5 с приведет к тому, что информация о кратковременных (< 0.5 с) дуговых замыканиях будет не доступна, поэтому необходим постоянный мониторинг за состоянием измерительных токовых органов защит от замыканий на землю с регистрацией происходящих процессов цифровыми регистраторами аварийных процессов (ЦРАП). Опыт эксплуатации сетей собственных нужд на электростанциях, где выполнены мероприятия по [3], говорит о том, что часты случаи

отключения присоединений с последующим неопределяемым местом замыкания. Это обстоятельство позволяет сделать вывод о правильности предыдущих рассуждений.

В [4] предложен комплекс токовых защит нулевой последовательности для сетей собственных нужд электростанций и алгоритм работы комплекса. Комплекс позволит уменьшить время нахождения сети в режиме замыкания на землю и, как следствие, уменьшить вероятность перехода однофазных замыканий на землю в короткие замыкания, что, безусловно, повысит надежность и безопасность блоков электрических станций и увеличит коэффициент использования установленной мощности.

ИЭД АН УССР предложил *защиту, выполняемую с наложением на цепь статора второй гармоники переменного тока* [5].

Защита содержит два органа - реле напряжения нулевой последовательности, защищающее 85-90% витков обмотки статора со стороны линейных выводов, и реле, работающее на наложенном токе, предназначенное для защиты остальной части обмотки статора, включая нейтраль. При срабатывании реле напряжения нулевой последовательности орган, защищающий часть обмотки статора со стороны нейтрали, блокируется. Схема защиты подробно рассмотрена в [1,5].

Достоинства: высокая чувствительность; отстройка от помех.

Недостаток: при осуществлении защиты на энергоблоках, где защита от замыканий на землю в обмотке статора выполнена на реле напряжения нулевой последовательности, требуется дополнительно установить трехфазный ТН с трансформатором тока в нейтрали обмоток ВН и с элементами цепи торможения.

Защита от замыканий на землю в обмотке статора генератора, выполняемая без использования токов нулевой последовательности (с использованием высших гармонических составляющих)

Во ВНИИЭ разработана защита ЗЗГШ-5 [6], реагирующая на геометрическую сумму высших гармоник токов в дифференциальной цепи каждой фазы генератора, при превышении уровня в одной из них над двумя, примерно равными другими. Высшие гармонические составляющие определяются наличием в сети элементов с нелинейной вольтамперной характеристикой и несинусоидальностью ЭДС, а также, различными преобразователями и т.п. Уровень высших гармоник в сети не остается постоянным, а имеет четко определенный минимум [7]. Устойчивая работа защиты обеспечивается, если она реагирует на соотношение гармонических составляющих, а ее аппаратная чувствительность достаточна для работы при указанном минимуме гармонических составляющих. При перемещении точки замыкания ближе к нейтрали обмотки статора определяющую роль начинают играть гармоники кратные трем, обусловленные этими составляющими в фазных ЭДС генератора. В результате обеспечивается достаточная чувствительность защиты при замыкании в любой точке обмотки статора, причем независимо от режима компенсации сети. При замыканиях в различных точках обмотки статора, а также при различных видах замыканий (перемежающейся дуге, через переходное сопротивление и т.д.) требуется разная чувствительность защиты. Для исключения эксплуатации защиты с постоянной максимальной чувствительностью в защиту введена автоматическая регулировка чувствительности, которая обеспечивает весьма низкую чувствительность в исходном режиме и регулировку на требуемую величину в процессе замыкания. Наличие автоматической регулировки чувствительности позволяет применять защиту в широком диапазоне изменяющихся условий. Запуск регулировки чувствительности производится при срабатывании пускового органа защиты.

Принципы, алгоритмы функционирования и схемы защиты подробно приведены в [6].

Достоинства: отсутствие зоны нечувствительности к замыканиям на землю в обмотке статора (100% защита); автоматическая регулировка чувствительности.

Недостатки: достаточно сложная элементная база; возможность неселективного срабатывания при токах небаланса, соизмеримых с рабочими; срабатывание при ликвидации однофазного замыкания вне зоны действия защиты вблизи выводов генератора (необходимость принудительного возврата).

Защита от замыканий на землю в обмотке статора генератора, выполняемая с наложением на цепь статора переменного тока

Защита РЗГ-100 [8] на наложенном, на цепь статора переменном токе частотой 25 Гц, разработана Томским политехническим институтом. Действие защиты обеспечивается за счет искусственного наложения контрольного тока с частотой 25 Гц с помощью специального источника контрольного тока (ИКТ-25). Так как при этом имеется возможность отстройки от тока небаланса по частоте, то защита может подключаться к трехтрансформаторному фильтру токов нулевой последовательности (ФТНП) из типовых трансформаторов тока (ТТ). Измеренные вторичные токи небаланса ФТНП (в нулевом проводе цепей ТТ) составляют 3-5 мА – при имитации сочетания неблагоприятных факторов. Токи небаланса содержат составляющую 50 Гц и гармоники, кратные трем. Защита, основанная на измерении низкочастотных гармоник, отстроена от тока небаланса ФТНП в рабочем режиме генератора. Собственный емкостный ток генераторов небольшой (около 1 А), что облегчает отстройку защиты при внешних перемежающихся замыканиях на землю. При внешних многофазных КЗ, когда составляющая тока 50 Гц превысит 60-70 мА, в защите формируется блокирующий тормозной сигнал. Торможение не позволяет защите работать при двойных замыканиях на землю, когда одно из них находится в обмотке статора генератора, а второе – во внешней сети. При этом работает продольная дифференциальная защита генератора с уставкой не менее номинального тока (например, с реле ДЗТ-11/5). При устойчивом замыкании на землю действие защиты обеспечивает ИКТ-25.

Достоинства: контролирует динамический процесс ухудшения изоляции; не имеет «мертвой зоны» - защищает 100% обмотки статора; простота настройки.

Недостатки: необходимость специального источника контрольного тока, устройств выделения и усиления сигнала частоты наложенного тока; сложность обеспечения функционирования при условии, когда в сети используются разнотипные ТТ нулевой последовательности или имеются линии, состоящие из нескольких параллельных кабелей, на каждом из которых установлен свой трансформатор тока нулевой последовательности.

Защита от замыканий на землю в обмотке статора генератора, реагирующая на емкостный ток

Для защиты от замыканий на землю в обмотке статора турбогенераторов мощностью до 160 МВт, работающих непосредственно на сборные шины генераторного напряжения или в блоках турбогенератор-трансформатор с ответвлениями на генераторном напряжении, а также электродвигателей собственных нужд 6 кВ ТЭЦ и АЭС, широко применяется защита, реагирующая на емкостный ток. Датчиком емкостного тока для этой защиты является трансформатор тока нулевой последовательности с подмагничиванием типа ТНП-Ш, разработанный в ИЭД АН УССР [1,9]. Подмагничивание улучшает трансформацию емкостных токов нулевой последовательности за счет повышения магнитной индукции в стали сердечника ТНП-Ш. В связи с малыми значениями тока нулевой последовательности при отсутствии подмагничивания ТНП-Ш работал бы в начальной части характеристики намагничивания, и ЭДС вторичной обмотки была бы слишком мала для создания тока, достаточного для работы реле. Для исключения трансформации тока из обмотки подмагничивания в обмотку, присоединяемую к реле, ТНП-Ш выполняется из двух сердечников с двумя обмотками на каждом. Обмотки, используемые для реле, соединяются последовательно-согласно (практически это одна обмотка, охватывающая оба сердечника), а обмотки подмагничивания соединяются последовательно-встречно. При этом в левой обмотке наводятся от обмоток подмагничивания одинаковые встречные ЭДС. Для

предотвращения излишних срабатываний защиты от однофазных замыканий на землю и от токов небаланса она блокируется защитами от внешних симметричных и несимметричных КЗ. Защита имеет выдержку времени 1.5-2 с, предусмотренную для отстройки от переходных процессов при внешних замыканиях на землю, сопровождающихся бросками емкостного тока. Ток срабатывания защиты от однофазных замыканий на землю выбирается по условию отстройки от токов небаланса.

Однако в настоящее время сняты с производства трансформаторы тока нулевой последовательности с подмагничиванием кабельного и шинного типов ТНП и ТНП-Ш, которые повсеместно применялись и применяются на территории бывшего СССР для выполнения защиты от замыканий на землю статорных цепей генераторов, работающих непосредственно на сборные шины, а также генераторов, работающих в блоке с трансформаторами и имеющих потребителей и собственные нужды, питающиеся от ответвлений между генератором и трансформатором [9]. Эти трансформаторы применяются также для защиты электродвигателей высокого напряжения. Единственное предприятие в бывшем СССР, выпускавшее эти трансформаторы, в условиях современной экономической политики считает их производство невыгодным. Как решится вопрос выполнения защиты с технической точки зрения для проектируемых и вводимых генераторов, устанавливаемых в местах концентрированного потребления электроэнергии на генераторном напряжении, например, на ТЭЦ крупных промышленных предприятий - ответа пока нет.

Достоинства: простота исполнения и наладки; надежность; высокая чувствительность; удовлетворение всем техническим требованиям.

Недостатки: достаточно большая выдержка времени; снятие с производства трансформаторов тока нулевой последовательности с подмагничиванием кабельного и шинного типов ТНП и ТНП-Ш; усложнение выполнения первичных цепей генератора, за счет введения конструктивного блока заданных размеров с трансформатором ТНП-Ш внутри.

2. Предложения по усовершенствованию защиты блока генератор-трансформатор от замыканий на землю

Микропроцессорная система защиты блока генератор-трансформатор

В 1990 году в ИЭД АН УССР были проведены исследования и разработана система защит мощного блока генератор-трансформатор. Экспериментальный образец был установлен на блоке 800 МВт Угледорской ГРЭС Донбассэнерго. Структурно рассмотренная микропроцессорная система защиты мощного блока генератор-трансформатор, представляет собой двухуровневую, иерархическую систему, в которой в качестве вычислительных блоков используются микроконтроллеры [10]. В этой системе из 31 сигнала один отведен для защиты от замыканий на землю в обмотке статора генератора.

Совершенствование защиты блока генератор-трансформатор от замыканий на землю с помощью коммутационных методов

Действия средств защиты от однофазных замыканий на землю в цепях статора с изолированной нейтралью, на которые возлагаются ответственные функции предупреждения аварий, могут стать более эффективными, если применить специальные наиболее продуктивные алгоритмы работы [11]. Хорошие перспективы открывают коммутационные методы, своеобразие которых проявляется в способности контролировать состояние изоляции в нормальных условиях и определять характер и место возникновения повреждения в аварийных ситуациях. Эти методы основаны на анализе сигналов, формируемых с помощью коммутатора в специально созданных цепях, соединяющих защищаемую сеть генераторного напряжения с землей. С помощью коммутатора одновременно выбираются фазы с наибольшим и наименьшим напряжением относительно земли и соединяются с землей через отдельные ограничительные сопротивления. Измеряется

сумма токов утечки на землю в этих сопротивлениях и фазные напряжения сети. По отношению этих величин определяется сопротивление изоляции сети, относительно земли, которое сравнивается с допустимым значением, и, если оно оказывается меньше допустимого, формируется сигнал на отключение защищаемой сети. Измеряются параметры, характеризующие форму сигнала, пропорционального разности токов в ограничительных сопротивлениях, и по ним определяется место повреждения изоляции. Изменение сопротивления изоляции относительно земли вызывает изменение среднего значения тока утечки. Замыкание на землю в нейтральной точке обмотки представляет собой предельный случай симметричного режима. Интегральное (среднее) значение тока можно использовать в качестве информационного параметра для определения сопротивления изоляции. Эквивалентное сопротивление изоляции сравнивается с уставкой. Если оно оказывается меньше допустимого значения, формируется сигнал, который поступает на вход блока определения места повреждения.

Необходимо отметить, что применение рассмотренных выше методов требует изменения общепринятой схемы включения ТН. Для нормальной работы устройства следует исключить все искусственно созданные цепи утечки на землю, кроме тех, которые образованы устройством. В частности, нейтраль первичных обмоток ТН должна быть отсоединена от земли. Это влечет за собой вывод из работы традиционной защиты генератора от однофазных замыканий на землю по напряжению нулевой последовательности, необходимость в которой отпадает в связи с вводом в работу нового устройства.

Вместе с тем, изменение схемы включения ТН существенно улучшает условия работы этого ТН. Действительно, при однофазном замыкании на землю и традиционной схеме включения ТН две фазные первичные обмотки его оказываются подключенными на линейные напряжения, что, как правило, вызывает повышение тока намагничивания и насыщение магнитопровода. В этом случае неизбежно создаются благоприятные условия для возникновения феррорезонансных колебаний в контурах, образованных нелинейными индуктивностями ТН и емкостями фаз относительно земли, которые часто являются причинами повреждения ТН.

Использование ТН без заземления нейтрали первичной обмотки смягчает режимы работы трехфазного ТН в экстремальных условиях и снижает вероятность выхода из строя при однофазных замыканиях. Кроме того, можно отказаться от трехфазных трансформаторов типа НТМИ и для цепей, не связанных с защитой от однофазных замыканий на землю. Использовать на генераторном напряжении однофазные ТН, включенные по схеме неполного треугольника.

В случаях, когда заземление нейтрали ТН необходимо, возможно использование другого варианта схемы включения трехфазного ТН - с заземлением нейтрали первичной обмотки через конденсатор, емкость которого должна выбираться по условиям получения приемлемой точности работы защиты по напряжению нулевой последовательности, для исключения феррорезонансных явлений и составлять несколько десятков микрофарад. При этом варианте схемы включения ТН возможна совместная работа предлагаемого устройства и традиционной защиты по напряжению нулевой последовательности.

Резервирование защиты блока генератор-трансформатор от замыканий на землю

В [12] справедливо отмечено, что, так как блоки генератор-трансформатор являются основными элементами электрических систем необходимо уделять вопросам их релейной защиты большее внимание. Необходимо предусматривать резервные защиты, которые при выходе из строя одного из источников оперативного тока и возникновении однофазного замыкания на генераторном напряжении, могли предотвратить повреждение оборудования и дальнейшее развитие аварии.

Выполнение защиты блока генератор-трансформатор от замыканий на землю с помощью заземления нейтрали генератора через активное сопротивление

Все рассмотренные выше защиты (и предложения по их усовершенствованию) разработаны для изолированной или компенсированной нейтрали генератора.

В зарубежной практике широко распространен способ создания в системах генераторного напряжения больших токов замыкания на землю путем заземления нулевых точек системы (обычно нулевых точек соединенных в звезду статорных обмоток генераторов) через активные сопротивления [13]. Сопротивления при этом выбираются такой величины, чтобы создать при металлическом замыкании на землю на зажимах генераторов ток порядка 50-150% от номинального тока генератора. При наличии столь больших токов (50-200 А) вопрос защиты генераторов от однофазных замыканий решается весьма просто - продольная дифференциальная защита генератора приходит в действие как при замыканиях между фазами, так и при однофазных замыканиях на землю.

В последнее время и в странах бывшего СССР обоснована целесообразность перехода к заземлению нейтрали генераторов через высокоомное активное сопротивление. При этом накладывается небольшой активный ток, достигающий по величине 50-100 % емкостного тока замыкания на землю генератора. Благодаря наличию активного тока достигается ограничение перенапряжений на поврежденной и неповрежденной фазах, а также обеспечение простого выполнения защиты от замыкания на землю, в том числе в виде дифференциальной токовой защиты, включенной на трехтрансформаторный фильтр токов нулевой последовательности на выводах генератора и трансформатор в нейтрали генератора [9].

В работе [14] показано, что основной мерой, предупреждающей возникновение многоместных повреждений при ОДЗ и дающей возможность сконструировать простую и надежную защиту от замыканий на землю, является установка резистора в нейтрали. Величина резистора $R_N \leq 1/(3-5)\omega C_\Phi$ практически исключает возможность появления многоместных повреждений изоляции при ОДЗ, так как перенапряжения при возможных повторных зажиганиях дуги не превышают уровня при первом зажигании дуги порядка $2.4 U_{\Phi max}$, не опасного для статорной изоляции генератора. Энергия, поглощаемая резистором в течение процесса металлического замыкания на землю (порядка 0.5 с) составляет для блока с генераторным напряжением 15.75 кВ - 10–60 кДж.

Оснащение нейтрали генераторов резисторами не требует коренной перестройки релейной защиты, реагирующей (в большинстве) на напряжение третьей гармоники (БРЭ-1301.01, 1301.02). При резистивном заземлении нейтрали (формировании активной составляющей тока однофазного замыкания на землю) напряжение первой и третьей гармоник уменьшается, что позволяет выставить даже меньшую уставку срабатывания, чем при изолированной нейтрали генератора, и, тем самым увеличить чувствительность защиты. При этом, необходимо увеличить коэффициент торможения k_T .

Отметим, что величина сопротивления резистора должна выбираться таким образом, чтобы не совпадали «мертвые зоны» блока основной составляющей и блока третьей гармоники.

На наш взгляд, более предпочтительно при резистивном заземлении нейтрали защиту выполнять токовой: есть ток замыкания, есть мощность нулевой последовательности - защита не подвержена помехам. Во Франции, Канаде и Великобритании сети генераторного напряжения крупных энергоблоков эксплуатируются в режиме резистивно-заземленной нейтрали.

3. Вопросы электробезопасности

Согласно Правилам технической эксплуатации электроустановок потребителей, п.2.8.12. «В сетях генераторного напряжения, а также в сетях, к которым подключены

электродвигатели высокого напряжения, при появлении однофазного замыкания в обмотке статора машина должна автоматически отключаться от сети, если ток замыкания на землю превышает 5 А. Если ток замыкания на землю не превышает 5А, допускается работа не более 2 ч, по истечении которых машина должна быть отключена. Если установлено, что место замыкания на землю находится не в обмотке статора, по усмотрению технического руководителя Потребителя допускается работа вращающейся машины с замыканием в сети на землю продолжительностью до 6 ч». В работе [15] отмечается, что из этого требования ПТЭЭП ясно следует, что генератор (электрооборудование) ценится выше человеческой жизни.

В Правилах технической эксплуатации электрических станций и сетей, согласно 6.5. "Предупреждение и ликвидация аварий", записано, что

6.5.1. Основными задачами оперативно-диспетчерского управления при ликвидации аварийных нарушений являются:

предотвращение развития нарушений, исключение поражения персонала и повреждения оборудования, не затронутого аварией;

срочное восстановление энергоснабжения потребителей и нормальных параметров энергии.

То есть, необходимо предотвратить развитие однофазного замыкания в более серьезные аварии и, и исключить электропоражение персонала - наличия опасного напряжения прикосновения. И *срочно* восстановить электроснабжение потребителей. Эти требования никак не согласуются со временем 6 часов, на которое ориентируется эксплуатационный персонал. Цифра эта неоправданно завышена и непонятна технически.

В [16] совершенно справедливо предлагается, что для генераторов, работающих на сборные шины, и на блоках генератор-трансформатор при токах ОЗЗ менее 5А предусматривать защиту с действием на отключение. Подчеркнем, что прохождение тока существенно меньше 5А, представляет опасность в отношении повреждения пакетов стали.

Современное состояние защит сетей 6-35 кВ генераторного напряжения от однофазных замыканий на землю не удовлетворяет требованиям надежности эксплуатации и электробезопасности сетей (длительное существование ОЗЗ - до 6 часов), а также, селективности, помехоустойчивости, чувствительности и быстродействию. Нормативные документы, в которых сформулированы требования к режиму заземления нейтрали и защита от ОЗЗ в этих сетях, нуждаются и исправлениях и дополнениях. Поэтому, необходимо четко сформулировать требования к времени эксплуатации сети в режиме ОЗЗ, согласованно отразив их во *всех* нормативных документах.

3. Анализ защит генераторов от замыканий на землю

Защита, реагирующая на емкостный ток с трансформаторами ТНП зарекомендовала себя, как достаточно простая и надежная. Но в настоящее время эти трансформаторы сняты с производства. Кроме того, современное развитие средств релейной защиты и микропроцессорной техники может не совпадать с концепцией данной защиты (даже при возобновлении производства ТНП), вследствие усложнения выполнения первичных цепей генератора, за счет введения конструктивного блока заданных размеров с трансформатором ТНП-III внутри.

В настоящее время на большинстве генераторов установлена защита от замыканий на землю в обмотке статора генератора, осуществляемая с использованием напряжения третьей гармоники (БРЭ-1301.01, 1301.02), имеющая ряд недостатков, которые необходимо исключить для ее надежной эксплуатации. Существует ряд предложений по усовершенствованию этой защиты.

Защита от замыканий на землю в обмотке статора генератора, выполняемая без использования токов нулевой последовательности (с использованием высших гармонических

составляющих) – БРЭ-1301.03 испытана и оставлена в эксплуатации а сетях Омскэнерго и Киевэнерго. При длительной промышленной эксплуатации этой защиты (первая партия защит в количестве 8 экземпляров была изготовлена в 1989-1990 г.г.) возникла необходимость модернизировать некоторые узлы защиты.

Защита от замыканий на землю в обмотке статора генератора, выполняемая с наложением на цепь статора переменного тока частотой 25 Гц в настоящее время внедрена и эксплуатируется в течение 20 лет на ряде электростанций Сибири и Казахстана (около 200 комплектов защит).

К сожалению ни защита, выполняемая без использования токов нулевой последовательности, ни защита, выполняемая с наложением на цепь статора переменного тока частотой 25Гц, в серийное производство еще не запускаются.

Что касается предложений по усовершенствованию существующих защит с помощью коммутационных методов, или создание микропроцессорных систем и систем резервирования защит блока генератор-трансформатор, то, они, безусловно, должны быть приняты во внимание.

Считаем необходимым обратить внимание на целесообразность перехода к заземлению нейтрали генераторов через высокоомное активное сопротивление, с внесением соответствующих изменений и дополнений в нормативные документы.

Выводы

Необходимо:

1. Обобщить весь опыт эксплуатации различных исполнений защит генераторов, работающих непосредственно на сборные шины генераторного напряжения или в блоках генератор-трансформатор от замыканий на землю, рассмотреть все предложения по усовершенствованию этих защит, позволяющих исключить недостатки и повысить надежность их эксплуатации.
2. Рассмотреть все предлагаемые новые и альтернативные алгоритмы функционирования защит от однофазных замыканий на землю.
3. На основе анализа всех существующих предложений по выполнению защиты от данного вида повреждений, выбрать общепризнанный вариант, обладающий существенными преимуществами перед всеми остальными, так как в настоящее время таковой отсутствует.

1. *Вавин В.Н.* Релейная защита блоков турбогенератор – трансформатор. М.: Энергоатомиздат, 1982. - 256 с.

2. *Циркуляр Ц-01-97(Э)* от 19.02.97г. «О предотвращении ложных срабатываний защиты типа ЗЗГ-1 от замыканий на землю в обмотке статора генератора».

3. *Циркуляр Ц-01-97(Э)* от 02.06. 1997г. «О повышении надежности сетей 6 кВ собственных нужд атомных станций».

4. *Гаврилко А.И.* Комплекс токовых защит нулевой последовательности для сетей собственных нужд электростанций. Труды Второй Всероссийской научно-технической конференции. Новосибирск, 2002. С.191-195.

5. *Кискачи В.М.* Использование гармоник э.д.с. генераторов энергоблоков при выполнении защиты от замыканий на землю // *Электричество*, №2, 1974 г., С. 56-59.

6. *Кискачи В.М.* Защита без зоны нечувствительности от однофазных замыканий на землю в обмотке статора генераторов, работающих на сборные шины. Учебно-методическое пособие. – М.: ИПКгосслужбы, 2002. – 68 с.

7. *Кискачи В.М.* Расчет минимального уровня высших гармоник при однофазных замыканиях на землю в сетях с изолированной и компенсированной нейтралью // Труды ВНИИЭ, 1966, Вып. 26, с. 4-9.

8. *Вайнштейн Р.А., Головки С.И., Григорьев В.С., Коберник Е.Д., Максимов В.Н., Юдин С.М.* Защита от замыканий на землю в компенсированных сетях 6-10 кВ // Электрические станции, №7, 1998 г., С. 26-30.

9. *Сирота И.М., Богаченко А.Е., Каневский Д.М.* Опыт работы защиты от замыканий на землю статорных цепей генераторов, работающих непосредственно на сборные шины, и электродвигателей ВН // Электрические станции, №7, 1993 г., С. 43-47.

10. *Стогний Б.С., Рогоза В.В., Холоденко Ю.Н., Сорочинский В.В., Бондаренко Ю.Н., Израилевский Н.Л.* Микропроцессорная система защиты мощного блока генератор-трансформатор // Электрические станции, №6, 1990 г. С. 79-82.

11. *Булычев А.В., Ванин В.К.* Совершенствование защиты блока генератор-трансформатор от замыканий на землю // Электричество, №1, 1999 г., С. 9-16.

12. *Сивокобыленко В.Ф., Гребченко Н.В.* О резервировании основных защит блоков генератор – трансформатор на электрических станциях // Электрические станции , №9, 2002 г. С. 51-55.

13. *Basilesko J., Taylor J.* – Electra, 1998, No. 121.

14. *Виштитбеев А.В., Кадомская К.П., Максимов Б.К., Хныков В.А.* Защита от перенапряжений сетей генераторного напряжения блоков электрических станций // Электрические станции, № 7, 2000. – С. 27–33.

15. *Виштитбеев А.В.* Допустимое время существования однофазного замыкания на землю в сетях 6-35 кВ // Передача энергии переменным током на дальние и сверхдальние расстояния // Труды международной научно-технической конференции, том 2 (15-19 сентября, 2003, Новосибирск, Россия). – Новосибирск: СИБНИИЭ, 2003. – 400 с. С. 134-141.

16. *Масляник В.В., Манилов А.М.* О пересмотре требований ПУЭ по вопросам электробезопасности // Электрические станции, №10, 2003. С. 44-46.

YIĞMA ŞİNLƏRƏ İŞLƏYƏN GENERATOR-TRANSFORMATOR VƏ GENERATORLARIN BLOKLARININ YERLƏ QISA QAPANMADAN MÜHAFİZƏ ÜSULLARININ ANALİZİ

VİŞTİBEYEV A.V.

Məqalədə generator-transformator bloklarının yerlə qısa qapanmasına qarşı mövcud mühafizələrin araşdırılması yerinə yetirilmişdir. Eyni zamanda bu mühafizə üsullarının təkmilləşdirilməsi ilə əlaqədar olan məsələlərə də baxılmışdır. Analizə əsaslanaraq müvafiq mühafizə üsulu və mühafizənin tətbiqi üzrə alqoritm müəyyənləşdirilmişdir.

THE ANALYSIS OF PROTECTION OF THE GENERATOR-TRANSFORMER UNIT AGAINST GROUND FAULT

ALEXEY V. WISHTIBEEV

In the article the existing protection against ground faults of the generator-transformer unit are analyzed. Problems of improving and reservation of this protection also are considered. On the basis of the analysis the conclusions about the most expedient methods of protection and algorithms of realization of protection are draw.