



“Fizika-2005”
Beynəlxalq Konfrans
International Conference
Международная Конференция

7 - 9 **İyun** **June** **2005** №115 **səhifə** **page** **434-440**
Июнь **стр.**

Bakı, Azərbaycan

Baku, Azerbaijan

Баку, Азербайджан



**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СЕТЕЙ
ГЕНЕРАТОРНОГО НАПРЯЖЕНИЯ**

ВИШТИБЕЕВ А.В.

*Новосибирский государственный технический университет
пр. Карла Маркса, 20, факультет Энергетики,
кафедра «Электрические станции», 630092, Россия
Телефон +7(3832) 46-13-73, 46-11-22; Факс +7(3832) 46-13-53;
e: mail: axe@pst.power.nstu.ru, axxe@mail.ru*

Рассматриваются вопросы повышения эффективности работы сетей генераторного напряжения. Анализируется современное состояние защит от замыканий на землю в этих сетях. Показано, что установка резистора в нейтрали практически исключает возможность появления многоместных повреждений изоляции при ОДЗ. Рассмотрен вопрос о реорганизации релейной защиты при резистивном заземлении нейтрали. Произведена вероятностная оценка перенапряжений при первичном зажигании дуги.

In article questions of effectiveness increase of exploitation of generator networks are considered. The modern condition of protection against ground fault in these networks is analyzed. It is shown, that installation of the resistor in a neutral practically excludes an opportunity occurrence of many-placed damages of insulation in case of arc ground fault. The question on reorganization of relay protection with resistive grounding a neutral is considered. The circuit is in detail described and the algorithm of functioning of current non-directional protection against ground fault is considered. The probabilistic estimation of over voltages at primary ignition of an arc is made.

On the basis of mathematical transients modeling in case of arc ground fault it is shown, that it is possible to not take into account loss in copper of windings of the generator and the transformer, and also loss in steel of magnet core of the transformer. The error thus does not exceed 1.5 %.

ВВЕДЕНИЕ

Повышение эффективности работы сетей генераторного напряжения - важная задача, связанная с повышением надежности электроснабжения потребителей.

Наиболее распространенным видом повреждений являются замыкания на землю (ОЗЗ). 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, как следствие, большому технико-экономическому ущербу и создает опасность для жизни эксплуатационного персонала.

Проблема защиты генераторов от ОЗЗ в настоящее время стоит весьма остро, так как снята с промышленного производства, максимальная токовая защита нулевой последовательности с трансформаторами тока шинного типа.

Указанные сети, как правило, эксплуатируются в режиме изолированной нейтрали генераторов, что повышает вероятность появления высоких кратностей перенапряжений в процессах, сопровождающих ОДЗ.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗАЩИТ

Защита от замыканий на землю в обмотке статора генератора является основной защитой. В настоящее время, на большинстве генераторов установлена защита от замыканий на землю в обмотке статора генератора, осуществляемая с использованием напряжения третьей гармоники типа ЗЗГ (БРЭ-1301.01, 1301.02).

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).

В качестве органа третьей гармоники используется реле напряжения с торможением. Рабочая цепь этого реле включена на сумму напряжений третьей гармоники на выводах генератора и на нейтрали генератора (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 напряжения 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 [1].

Многолетний опыт эксплуатации защит типа ЗЗГ [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.

РЕЗИСТИВНОЕ ЗАЗЕМЛЕНИЯ 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 [4]. 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 активное сопротивление [5-7]. 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 [5].

В работе [7] показано, что основной мерой, предупреждающей возникновение множественных повреждений при ОДЗ и дающей возможность сконструировать простую и надежную защиту от замыканий на землю, является установка резистора в нейтрали.

При выборе сопротивления резистора, исходя из условия разряда емкости сети за время, не превышающее половину периода промышленной частоты, максимумы перенапряжений при первом и последующих повторных зажиганиях дуги практически совпадают. Поскольку момент зажигания дуги является случайным, то случайными являются и максимумы перенапряжений.

Функциональная связь максимумов перенапряжений и углов включения приведена на рис. 1. Принимая углы зажигания ψ распределенными по закону равномерной плотности в диапазоне $-35...35^\circ$, функцию распределения максимальных перенапряжений определялась как

$$F_{U_{max}}(y) = \frac{\sum \Delta\psi(U_{max} \leq y)}{70}$$

Функции распределения кратностей перенапряжений в процессе ОДЗ при изолированной (кривая 1) и резистивно-заземленной (кривая 2) нейтрали генератора

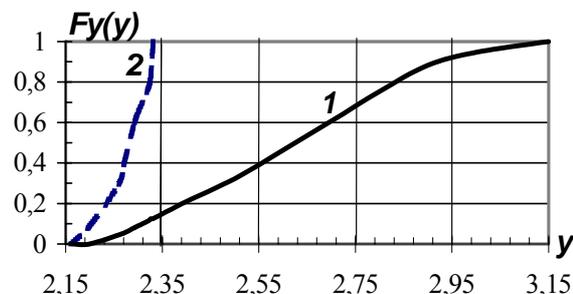


Рис. 1.

Установка резистора в нейтрали, величина сопротивления которого определяется как $R_N \leq 1/(3 \dots 5)\omega C$, практически исключает возможность появления множественных повреждений изоляции при ОДЗ, так как перенапряжения при возможных повторных зажиганиях дуги не превышают уровня при первом зажигании дуги порядка $2.35 U_{\phi max}$, не опасного для статорной изоляции генератора (кривая 2 на рис. 1).

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 [7].

О РЕОРГАНИЗАЦИИ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ПРИ РЕЗИСТИВНОМ ЗАЗЕМЛЕНИИ НЕЙТРАЛИ

При резистивном заземлении нейтрали уменьшается напряжение 3-ей гармоники. Поэтому, при использовании в качестве защит от замыканий на землю защит типа ЗЗГ необходимо, чтобы напряжение третьей гармоники было достаточно для срабатывания защиты и чтобы не совпадали «мертвые зоны» блока основной составляющей и блока третьей гармоники.

По сути, необходимо ответить на вопрос – «Любое ли уменьшение 3-ей гармоники сразу приводит к нечувствительности защиты?» Безусловно, нет. Действительно, напряжение 3-ей гармоники уменьшается – следовательно, необходимо выставить другие уставки, исходя из того, что нейтраль генератора заземлена через резистор.

С точки зрения алгоритма работы защиты ничего не меняется. Отметим, что такого понятия как «уставка срабатывания» для блока третьей гармоники не существует. Тормозной и рабочий коэффициенты выставляются по реально существующей емкости сети, включая емкости обмоток НН блочного трансформатора и ВН трансформаторов собственных нужд. Методика выставления коэффициентов подробно описана в [8, стр. 303-312]. Выставление коэффициентов это уже вопросы настройки защиты, которые не зависят от способа заземления нейтрали.

А чтобы сделать однозначный вывод об ухудшении чувствительности защиты, необходимо знать *минимальное* для надежной работы соотношение между 1-ой и 3-ей гармоникой для всех значений емкостей (0.2-1.6 мкФ).

Для блока 640 МВт ГЭС ($C_0=1.223$ мкФ) были проведены расчеты, подтверждающие, что при резистивном заземлении нейтрали не требуется коренной перестройки релейной защиты.

Сопротивление резистора в нейтрали в рассматриваемом блоке определится как:

$$R_N \leq 1/(3-5)\omega C_0 = (880-515) \text{ Ом.}$$

В режиме изолированной нейтрали соотношение основной (первой) гармоники и третьей гармоники выглядит следующим образом.

Соотношение между основной (первой) гармоникой и третьей гармоникой в режиме изолированной нейтрали

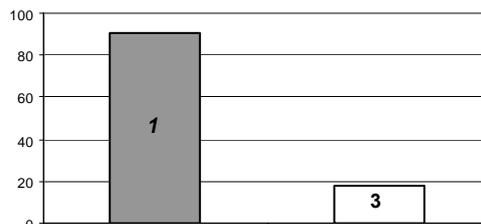


Рис. 2.

При резистивном заземлении нейтрали (формировании активной составляющей тока однофазного замыкания на землю) суммарное напряжение нейтрали уменьшается примерно в 1.17-1.3 раза.

Уменьшение суммарного напряжения нейтрали позволяет выставить даже меньшую уставку срабатывания, чем при изолированной нейтрали генератора, и, тем самым увеличить чувствительность защиты.

Соотношение между основной (первой) гармоникой и третьей гармоникой в режиме резистивно-заземленной нейтрали

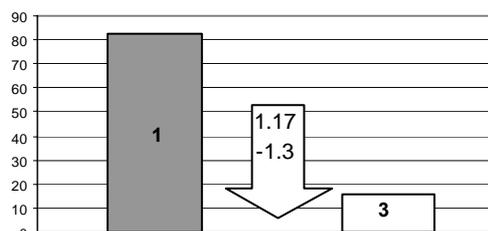


Рис. 3.

Еще раз подчеркнем, что при резистивном заземлении нейтрали, необходимо увеличить коэффициент торможения k_T , при этом, 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.

Во Франции, Канаде и Великобритании сети генераторного напряжения крупных энергоблоков эксплуатируются в режиме резистивно-заземленной нейтрали.

ТОКОВАЯ НЕНАПРАВЛЕННАЯ ЗАЩИТА ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ

Защита от однофазных замыканий на землю с действием на отключение генератора может быть выполнена с помощью кабельного ТТ нулевой последовательности TAN (типов ТЗЛ, ТЗР, ТЗЛМ или др.), на вторичную обмотку которого включается токовое реле KA_0 специального исполнения, рис. 4.

**Схема защиты генератора от
однофазных замыканий на землю без выдержки
времени**

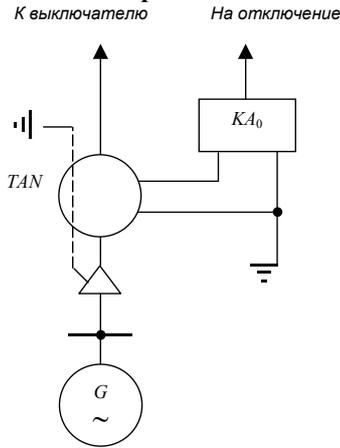
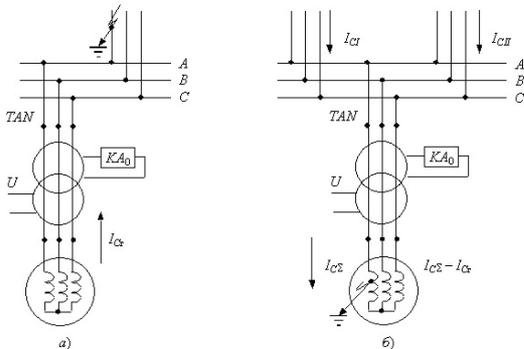


Рис. 4.

В нормальном режиме и при междуфазных КЗ сумма токов, проходящих по всем фазам генератора, равна нулю. При этом магнитный поток в сердечнике трансформатора тока нулевой последовательности *TAN* также равен нулю и ток в реле *KA₀* отсутствует. При однофазном замыкании на землю в генераторе суммарный емкостной ток сети проходит только по одной из фаз кабеля, вызывая ток в реле *KA₀*.

Однако ток в этом реле будет проходить и в случаях однофазного замыкания на землю на любом другом присоединении сети генераторного напряжения, то есть при «внешнем» замыкании в сети, за счет собственного емкостного тока генератора, который может быть взят из паспортных данных генератора. Очевидно, что для обеспечения селективной работы этой РЗ в случаях внешних замыканий на землю, она не должна срабатывать (рис. 5, а), а при замыканиях в генераторе – надежно срабатывать за счет суммарного емкостного тока в сети *I_{CΣ}* (рис. 5, б).

Случай замыканий на землю в сети генераторного напряжения



а – внешнее замыкание; б – замыкание на землю в защищаемой зоне (в генераторе); *I_{CГ}* – собственный емкостной ток генератора;

I_{CΣ} – суммарный емкостной ток сети;

I_{CГ}, *I_{CII}* – емкостные токи кабельных линий

Рис. 5.

Условия несрабатывания РЗ называют отстройкой от собственного емкостного тока присоединения, в данном случае генератора, и оно может быть представлено формулой, А:

$$I_{с.з} \geq k_n k_{бр} I_{CГ} ,$$

где *k_н* – коэффициент надежности, принимаемый обычно 1.2; *k_{бр}* – коэффициент «броска», учитывающий аperiodическую составляющую емкостного тока генератора в момент возникновения внешнего замыкания на землю и способность реле реагировать на этот бросок емкостного тока: для электромеханического реле РТ-40 принимается равным 3–5, для полупроводникового (аналогового) реле РТЗ-51 – не менее 2, а для цифрового реле, например серии SPACOM фирмы АВВ – немного более 1; *I_{CГ}* – собственный емкостной ток генератора в установившемся режиме однофазного замыкания на землю на шинах генераторного напряжения или на одном из присоединений, А.

Важно отметить, что в цифровых реле и терминалах многих зарубежных фирм, имеется специальная очень крутая времятоковая характеристика срабатывания с обратозависимой выдержкой времени *RXIDG*, по стандарту МЭК, предназначенная для обеспечения селективной работы ненаправленной РЗ поврежденного присоединения при замыканиях на землю. Селективность работы защит обеспечивается за счет значительной разницы во времени срабатывания реле на поврежденном присоединении, по которому проходит сумма емкостных токов всех неповрежденных присоединений, и остальных реле, реагирующих только на собственный емкостной ток присоединения при внешнем замыкании на землю. Например, емкостной ток генератора *I_{CГ}* равен 0.4 А, ток срабатывания цифровой защиты выбираем около 0.6 А, а суммарный емкостной ток сети *I_{CΣ}* (кроме тока от поврежденного генератора) составляет 1.8 А, причем наибольший собственный емкостной ток присоединения равен 0.5 А. По одной из времятоковых характеристик из семейства *RXIDG*, выбранной заранее, время срабатывания РЗ на генератор составит менее 0.1 с в соответствии с кратностью тока $1.8/0.6=3$, а на неповрежденном фидере с наибольшим значением емкостного тока аналогичная защита могла бы сработать лишь за время более 1 с. Таким образом, поврежденный генератор отключится значительно быстрее, чем могли бы сработать аналогичные РЗ на неповрежденных присоединениях. При таком соотношении токов замыкания на землю будет также обеспечен высокий коэффициент чувствительности РЗ поврежденного генератора.

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

ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ПЕРВИЧНОМ ЗАЖИГАНИИ ДУГИ

Сети генераторного напряжения отличаются с точки зрения моделирования процессов при ОДЗ от других сетей отсутствием междуфазных емкостей (токопроводы в сетях генераторного напряжения выполнены экранированными). Кроме того, в генераторах, как правило, потери в магнитопроводах достигают существенных значений, что также может сказаться на максимумах перенапряжений. Поскольку электрическая прочность статорной изоляции генератора невелика, произведем вероятностную оценку перенапряжений, возникающих на неповрежденных фазах при *первичном* зажигании дуги.

Расчетная схема замещения при исследовании перенапряжений, возникающих при ОДЗ, приведена на рис. 6.

Расчетная схема при исследовании процессов, сопровождающих ОДЗ

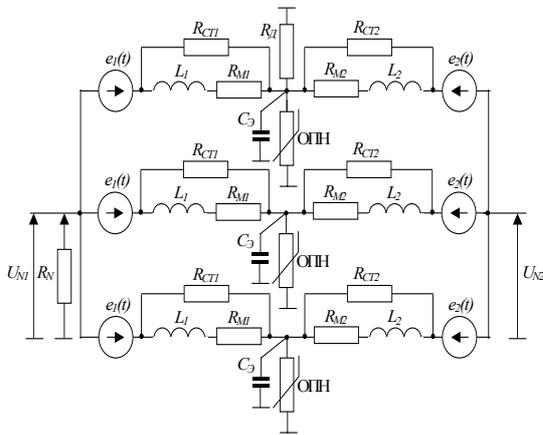


Рис. 6.

Принципиальная схема этого блока приведена на рис. 7.

Принципиальная схема блока

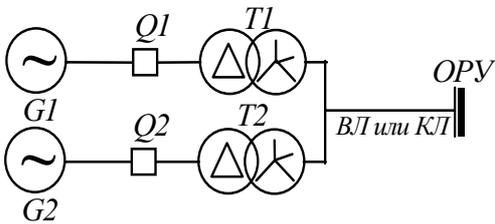


Рис. 7.

В схеме рис. 6 применены следующие обозначения: $C_3 = C_1 + C_2$ ($C_1 = C_T + C_{\text{ТОК}} + C_{\text{ТСН}}$; $C_2 = C_T$; $C_T = C_{1T} + C_{12T}$; C_T – входная емкость генератора; $C_{\text{ТОК}}$ – емкость токопроводов; $C_{\text{ТСН}}$ – входная емкость трансформатора собственных нужд; C_{1T} – емкость обмотки низшего напряжения трансформатора относительно магнитопровода; C_{12T} – емкость между обмотками трансформатора; $L_1 = L''_d$ – сверхпереходная индуктивность генератора; $L_2 = L_T$ –

индуктивность рассеивания трансформатора; R_{M1} , R_{M2} , R_{CT1} и R_{CT2} – сопротивления, моделирующие потери в меди и в стали обмоток генератора и трансформатора; R_N – сопротивление в нейтрали генератора; R_d – сопротивление дуги в месте замыкания на землю.

В качестве случайных факторов, определяющих характер протекания процесса ОДЗ, принимались следующие: момент первичного зажигания дуги, характеризуемый фазой ψ при записи ЭДС фазы A в виде $e_A(t) = E_m \cos(\omega t + \psi)$; момент погасания дуги; и момент повторного зажигания дуги, характеризуемый напряжением повторного зажигания дуги ($U^{(2)}$).

Первый и третий факторы являются непрерывными величинами, второй – дискретной величиной, определяемой моментами перехода полного тока в дуге через нулевое значение (погасанием дуги). Принималось, что непрерывные величины распределены по законам равномерной плотности в диапазонах: $\psi = -35^\circ \dots 35^\circ$; $U^{(2)} = U_{\phi_{\max}} \dots U_{\max}$ (U_{\max} – максимум напряжения на фазе A после первого погасания дуги), а дуга гаснет с одинаковой вероятностью при любом из первых трех моментов прохождения тока в дуге через нулевое значение. Для каждого значения дискретного фактора расчеты проводились в соответствии с планом двухфакторного эксперимента. Случайным факторам были поставлены в соответствие кодированные факторы $X_1(\psi)$ и $X_2(U_3)$, изменяющиеся в диапазонах $-1 \dots +1$. В качестве функциональной связи между случайными факторами и функцией отклика – уровнем перенапряжений при ОДЗ – был принят полный квадратичный полином:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_1^2 + b_4 X_2^2 + b_5 X_1 X_2.$$

Расчеты проводились для блока 640 МВт ГЭС: $C_3 = 1.223$ мкФ, $L_1 = 0.33$ мГн, $L_2 = 0.139$ мГн, $R_{CT1} = 38$ Ом, $R_{CT2} = 198$ Ом, $R_{M1} = 0.001$ Ом, $R_{M2} = 0.0008$ Ом). Сопротивление дуги принималось равным $R_d = 1$ Ом. Сопротивление резистора в нейтрали для рассматриваемого блока:

$$R_N = 515 - 880 \text{ Ом.}$$

Оценим влияние на процессы в схеме с изолированной нейтралью генератора потерь в стали и меди генератора и трансформатора. Примем, что дуга зажигается на максимуме ЭДС фазы A и гаснет при первом прохождении полного тока замыкания на землю через нулевое значение. Результаты расчетов отражены в табл. 1.

Как видно из таблицы, практическое влияние на максимумы напряжений на фазах B и C при первом зажигании дуги оказывают лишь потери в стали генератора, в меньшей мере – потери в стали трансформатора. Поэтому в расчетах перенапряжений, сопровождающих процессы ОДЗ, можно не учитывать потери в меди генератора и трансформатора.

Таблица 1. Влияние потерь в схеме блока с изолированной нейтралью на перенапряжения при первичном зажигании дуги

Варианты учета потерь	$\frac{U_{B \max}}{U_{\phi \max}}$	$\frac{U_{C \max}}{U_{\phi \max}}$	$\frac{U_{N \max}}{U_{\phi \max}}$	$\delta, \%$
С учетом всех потерь	2.137	2.135	1.423	–
Без учета потерь в меди	2.142	2.14	1.426	0.09
Без учета потерь в стали генератора	2.25	2.28	1.511	4.96-5.85
Без учета потерь стали тр-ра	2.17	2.14	1.426	1.22
Без учета потерь в стали	2.28	2.31	1.53	6.41-7.21
Без учета потерь в стали и меди	2.279	2.311	1.529	6.32-7.12

Рассмотрим также влияние на первый максимум зажигания дуги способа заземления нейтрали генератора. Результаты соответствующих расчетов отражены в табл. 2.

Таблица 2. Влияние способа заземления нейтрали генератора на максимумы перенапряжений при первом зажигании дуги

Способ заземления нейтрали	K_L/K_R	$\frac{U_{B \max}}{U_{\phi \max}}$	$\frac{U_{C \max}}{U_{\phi \max}}$	$\frac{U_{N \max}}{U_{\phi \max}}$	$\delta, \%$
Изолирована	0	2.137	2.135	1.423	–
Заземлена через ДГР	0.8	2.145	2.14	1.427	0.04
	1	2.144	2.141	1.427	0.02
	1.2	2.145	2.134	1.426	0.03
Заземлена через резистор	1	2.138	2.134	1.422	0.25-0.36

Из таблицы следует, что способ заземления нейтрали практически не влияет на уровень перенапряжений, возникающих при первом зажигании дуги. Это объясняется тем, что процессы при первом зажигании характеризуются высокой частотой, определяемой параметрами схемы замещения для прямой последовательности фаз:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{2L_3C_3}}, \text{ где } L_3 = \frac{3L_1L_2}{2(L_1 + L_2)}$$

В рассмотренной схеме блока эта частота составляет 8.32 кГц. Частота же в схеме нулевой последовательности, например, в схеме с ДГР, близка к 50 Гц. Очевидно, что при столь разных частотах процессы в схеме нулевой последовательности практически не влияют на максимум колебаний при первом зажигании дуги. Способ же заземления нейтрали влияет на дальнейшее развитие процесса, сопровождающего ОДЗ, в частности, на возможность повторных зажиганий дуги. На рис. 8, 9 и 10

приведены процессы после погасания первичной дуги.

Напряжения после затухания высокочастотного переходного процесса. Изолированная нейтраль

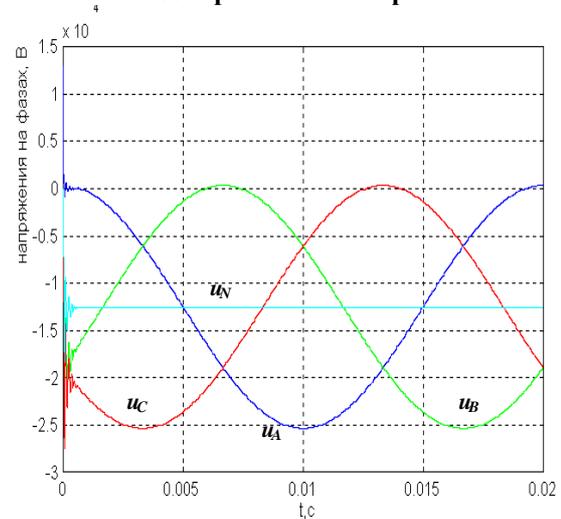


Рис. 8.

Нейтраль генератора заземлена через ДГР ($k_L=1.2$)

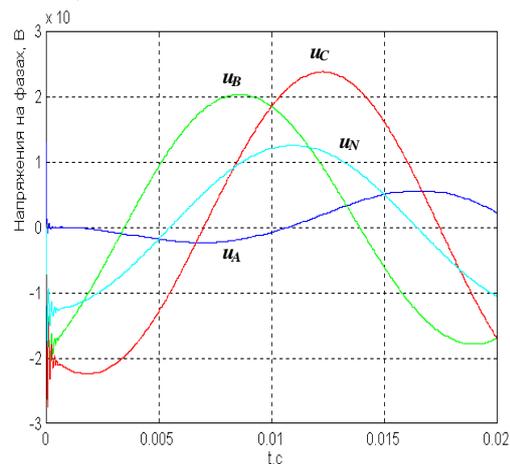


Рис. 9.

Как видно из рис. 9 при оснащении нейтрали ДГР, напряжение на аварийной фазе после погасания дуги не достигает, как правило, значения, при котором происходит ее повторное зажигание. Однако, напряжения на здоровых фазах после погасания дуги в схеме с ДГР могут превышать напряжения при первичном зажигании дуги. Это превышение зависит от степени компенсации емкостного тока.

Максимумы перенапряжений на здоровых фазах после погасания дуги, в схеме с ДГР приведены в табл. 3.

Таблица 3. Максимумы перенапряжений на здоровых фазах после погасания дуги, в схеме с ДГР

k_L	0.8	1	1.2
$U_{B \max}/U_{\phi \max}$	1.51	1.41	1.32
$U_{C \max}/U_{\phi \max}$	1.17	1.41	1.51

Из таблицы видно, что даже при расстройке ДГР напряжения на здоровых фазах не превышают уровня $1.51 U_{\text{фmax}}$. Таким образом, уровень перенапряжений при ОДЗ ($k_L=0.8-1.2$) не представляет опасности для статорной изоляции генератора.

Опасные для статорной изоляции блоков перенапряжения в процессе, сопровождающем ОДЗ, возникают лишь при эксплуатации блока с изолированной нейтралью. При повторном зажигании дуги кратность перенапряжений, вероятность превышения которых равна 0.05, составляет величину порядка $(3 \dots 3.2)U_{\text{фmax}}$.

Допустимые кратности перенапряжений статорной изоляции генераторов составляют $(2.6 \dots 2.9)U_{\text{фmax}}$.

Напряжения в переходном процессе при ОДЗ при резистивном заземлении нейтрали ($\varphi=0$)

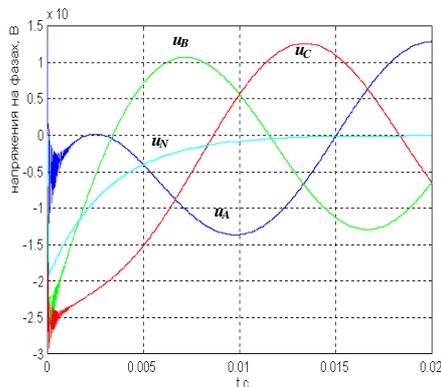


Рис. 10.

ВЫВОДЫ

1. В настоящее время весьма остро стоит проблема защиты генераторов от однофазных замыканий на землю.
2. Основной мерой, предупреждающей возникновение множественных повреждений при ОДЗ и дающей возможность сконструировать простую и надежную защиту от замыканий на землю, является установка резистора в нейтрали.
3. Оснащение нейтрали генераторов резисторами не требует коренной перестройки релейной защиты. На наш взгляд, более предпочтительно при резистивном заземлении нейтрали защиту выполнять токовой.
4. Опасные для статорной изоляции блоков перенапряжения в процессе, сопровождающем ОДЗ, возникают лишь при эксплуатации блока с изолированной нейтралью.
5. При математическом моделировании процессов при ОДЗ можно не учитывать потери в меди обмоток генератора и трансформатора, а также потери в стали магнитопровода трансформатора ($\delta=1.5\%$). Потери в стали генератора сказываются на затухании высокочастотной составляющей процесса при зажиганиях дуги, что приводит к снижению максимума перенапряжений на 6...7%.

- | | |
|---|---|
| <p>[1]. Вавин В.Н. Релейная защита блоков турбогенератор – трансформатор. М.: Энергоатомиздат, 1982. - 256 с.</p> <p>[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».</p> <p>[3]. Циркуляр Ц-01-97(Э) от 02.06. 1997г. «О повышении надежности сетей 6 кВ собственных нужд атомных станций».</p> <p>[4]. Basilesko J., Taylor J. – Electra, 1998, No. 121.</p> <p>[5]. 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.</p> | <p>[6]. Виштибеев А.В. Анализ защит блоков генератор-трансформатор и генераторов, работающих на общие сборные шины от замыканий на землю. Научно-технический журнал Национальной Академии Наук Азербайджана "Проблемы энергетики", №3, 2004. Баку, Изд-во "Элм". С. 16-25.</p> <p>[7]. Виштибеев 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.</p> <p>[8]. Справочник по наладке вторичных цепей электростанций и подстанций. Под ред. Э.С. Мусаэяна. М.: Энергоатомиздат, 1989.</p> |
|---|---|