

РЕЖИМЫ ЗАЗЕМЛЕНИЯ НЕЙТРАЛИ ГЕНЕРАТОРОВ

Доржиева Б.С.¹, Гришин Н.В.², Железняк В.Н.³, Гарганеев А.Г.⁴, Раднаев А.Б.⁵

¹ *Томский политехнический университет, ИШЭ, e-mail: bsd2@tpu.ru*

² *АО «Силовые машины», завод Электросила, e-mail: Grishin_NV@power-m.ru*

³ *АО «Силовые машины», завод Электросила, e-mail: Zheleznyak_VN@power-m.ru*

⁴ *Томский политехнический университет, ИШЭ, e-mail: tpbalex13@tpu.ru*

⁵ *Томский политехнический университет, ИШЭ, e-mail: abr3@tpu.ru*

Введение

Важным вопросом безопасной эксплуатации энергетического оборудования электрических станций и систем является организация релейных и технологических защит. Одним из наиболее распространенных типов замыканий является однофазное замыкание обмотки статора на землю.

В данной работе рассмотрены режимы заземления нейтрали синхронных генераторов электрических станций, факторы, определяющие выбор и настройку режимов заземления нейтрали.

Основная часть

Однофазное замыкание на землю является одним из наиболее распространенных видов замыканий при работе генераторов. При однофазном замыкании на землю на неповрежденных фазах возникают перенапряжения, значительно превышающие номинальные значения. Ток, возникающий при замыкании на землю, протекает через место замыкания и через емкость изоляции поврежденной фазы и заземляющее устройство при его наличии. Таким образом, ток замыкания на землю зависит от емкостей обмотки статора генератора и подключенных к нему токопроводов, трансформаторов и другого оборудования до места замыкания, а также от заземляющего устройства.

При замыканиях внутри генератора в зависимости от величины тока замыкания и длительности его протекания зависит и степень повреждения сердечника генератора. При больших токах замыкания на землю или продолжительного его протекания сердечник может быть значительно поврежден – рассеиваемая мощность пропорциональна квадрату тока. Значительное повреждение может привести к замене статора целиком.

Вопросы организации защит от замыканий на землю, выбор режима заземления нейтрали и защитных заземляющих устройств напрямую влияют на сохранность генератора и другого оборудования электростанции. Однофазное замыкание на землю должно отключаться за минимальное время, должна исключаться возможность повторного замыкания, ток замыкания на землю должен быть минимальным.

Далее рассмотрены режимы заземления нейтрали генераторов. Самыми распространенными режимами заземления нейтрали генераторов являются:

- 1) изолированная нейтраль;
- 2) нейтраль, заземленная через дугогасящий реактор
- 3) нейтраль, заземленная через высокоомный резистор;
- 4) нейтраль, заземленная через низковольтный резистор, подключенный во вторичную обмотку трансформатора.

В России на изолированную нейтраль приходится 79 %; нейтраль, заземленную через дугогасящий реактор – 19 %; нейтраль, заземленную через резистор – 2 % [1]. Кроме перечисленных есть и другие технические решения для заземления нейтрали, однако они не являются широко распространенными и в данной работе не рассмотрены.

Режимы заземления выбираются на основе требований действующей нормативной документации государственного или международного уровня. С этим связаны отличия в самом подходе к организации защит от однофазных замыканий на землю и защитному заземлению в разных странах.

В России основными нормативными документами являются ПУЭ и руководящие указания по релейной защите. В отечественной практике определено, что неприемлемые повреждения в месте замыкания возникают при токе замыкания на землю более 5 А. С этим же связано широкое применение изолированной нейтрали турбогенераторов в отечественных сетях. Такой режим хорошо себя зарекомендовал в многолетней эксплуатации на тепловых и атомных электростанциях. При однофазных замыканиях на землю релейные защиты работают успешно, случаи замыканий в генераторах по тем или иным причинам характеризуются относительно низким уровнем повреждений и простотой ремонта.

В настоящий момент на некоторых современных блоках отмечаются феррорезонансные явления, связанные с увеличивающимся разбросом параметров измерительных трансформаторов. В то же время, предпринимающиеся попытки избежать этих явлений за счет перехода на резистивное заземление нейтрали генератора выглядят необоснованными по причинам, отмеченным далее.

Вторым по распространенности является режим заземлений нейтрали через дугогасящий реактор, применяемый, как правило, для компенсации емкости и ограничения токов замыкания на землю. Заземление нейтрали через дугогасящий реактор широко применяется на российских ГЭС и в сетях с большими емкостными токами. Данный режим заземления нейтрали также хорошо себя зарекомендовал в эксплуатации и позволяет обеспечить безопасную для оборудования величину токов короткого замыкания 5 А. В этой связи выглядит целесообразным распространить опыт отечественных проектировщиков ГЭС на объекты тепловой и атомной генерации в случае, если естественный емкостной ток замыкания на землю превосходит требуемые значения.

Заземление нейтрали через резистор может быть реализовано двумя способами – через высокоомный резистор или низкоомный резистор во вторичной обмотке трансформатора. Использование трансформатора позволяет снизить параметры и стоимость заземляющего резистора. При резистивном заземлении нейтрали суммарный ток замыкания на землю существенно увеличивается, что может приводить к существенным повреждениям при внутренних замыканиях в генераторе. В этой связи, в случае применения данного режима, предпочтительным оказывается организация нейтральной точки через трансформатор в токопроводе и её заземление.

В зарубежных стандартах вопросы заземления нейтрали рассматриваются в нескольких несвязанных между собой документах, которые дают общие рекомендации. Например, в американском стандарте [3] приведена следующая классификация режимов заземления нейтрали с основными характеристиками (табл. 1):

Таблица 1

Режимы заземления нейтрали и их основные характеристики по [3]

Тип заземления нейтрали	Ток замыкания на землю для режима заземления, А	Величина третьей гармоники тока	Комментарии
Незаземленный генератор	0	Нет	Величина для первичного замыкания на землю, повторное по величине соответствует заземленному генератору.
Надежно заземленный генератор	$I_{033} > I_{3фкз}$	Существенная	Ток замыкания на землю может быть значительно больше тока трехфазного короткого замыкания.
Заземление низкоомным сопротивлением	400 – 1200	Существенная	Ток замыкания на землю значительно снижен.
Заземление среднеомным сопротивлением	200 – 400	Существенная	Ток замыкания на землю на землю снижен еще значительно.
Заземление высокоомным сопротивлением	10 – 25	Незначительная, малая	Ток замыкания на землю протекает по всем емкостям генератора.
Заземление с низким реактивным сопротивлением	$I_{3фкз} > I_{033}$	Существенная	Ток замыкания на землю почти равен или меньше тока трехфазного короткого замыкания.
Гибридная схема заземления	10 – 25 (высокоомное) 200 – 400 (низкоомное)	Существенная	Первое замыкание на землю будет 200 - 400 А с низкоомным резистором, 10 – 25 А после переключения на высокоомный резистор.

В связи со значительным увеличением токов короткого замыкания при резистивном заземлении требуется выбор резистора заземления с большим сопротивлением. Например, международной рабочей группой CIGRE в [4] заземляющие резисторы рекомендуется проектировать таким образом, чтобы ток однофазного короткого замыкания на землю оставался в диапазоне от 5 до 10 А.

Заключение

В данной работе приведен анализ существующих режимов заземления нейтрали, подходы к выбору режимов заземления нейтрали. Выбор режимов заземления нейтрали генераторов должен производиться с учетом накопленного отечественной энергетикой опыта эксплуатации и экспериментальных данных, так как в зависимости от режима заземления нейтрали последствия внутренних коротких замыканий в генераторе могут быть критичными.

При переходе к новым для российских объектов техническим решениям по заземлению нейтрали генераторов необходимо выполнение комплекса исследовательских работ и испытаний во всех режимах эксплуатации для подтверждения принятых решений.

Список использованных источников

1. Информационно-справочное издание «Новости электротехники», 2003. – № 5 (23). – URL: <http://www.news.elteh.ru/arh/2003/23/05.php>.
2. Правила устройства электроустановок, седьмое издание. Раздел 1 Общие правила. Глава 1.7 Заземление и защитные меры безопасности.
3. IEEE Std C37.101-2006, IEEE Guide for Generator Ground Protection.
4. WG A1.09 Guide for minimizing the damage from stator winding grounds on turbogenerators CIGRE.