

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЯ ЗАЩИТЫ ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ ОБМОТКИ СТАТОРА НА ОСНОВЕ НАЛОЖЕНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА В СОСТАВЕ КОМПЛЕКСНОЙ ЦИФРОВОЙ ЗАЩИТЫ ГЕНЕРАТОРОВ

Р.А. ВАЙНШТЕЙН *, А.В. ДОРОНИН **, А.М. НАУМОВ **, С.М. ЮДИН *

* Томский политехнический университет

** ООО НПП “ЭКРА”

Опыт эксплуатации защиты от однофазных замыканий в обмотке статора генераторов с наложением постоянного тока показал, что она обладает свойствами выявления некоторых дефектов и повреждений на ранней стадии. Применение принципа наложения постоянного тока в составе цифровой комплексной защиты генератора позволяет повысить эффективность использования диагностических свойств защиты. Приводится описание технического исполнения устройства защиты с расширенным диапазоном измерения эквивалентного сопротивления цепей статора относительно земли.

Ключевые слова: защита от замыканий на землю, блок, генератор, трансформатор, контроль изоляции.

Выполнение защиты от замыканий на землю в обмотке статора генераторов, работающих в блоке с трансформатором, на принципе наложения на первичные цепи постоянного тока, насколько известно авторам, впервые предложено немецким инженером М.Райком в 1960 году [1].

Известен ряд различных технических исполнений защиты, выполненной на этом принципе [2, 3, 4, 5]. Особенно большой опыт разработки и эксплуатации защиты накоплен в Кузбассэнерго, где такая защита установлена на 34 генераторах 5-ти электростанций со средним сроком эксплуатации около 30 лет. Основная задача, которая при этом решается – это устранение зоны нечувствительности при замыканиях вблизи нейтрали обмотки статора генератора.

Постоянный ток накладывается на первичные цепи через нейтрали трансформаторов напряжения. При этом обязательным требованием является введение разделительных конденсаторов в цепь нейтрали трансформаторов напряжения, которые должны быть заземлены по их основному назначению. В зависимости от конкретных условий возможно объединение нейтралей всех трансформаторов напряжения и заземление их через один конденсатор (рис. 1, а), либо заземление каждого трансформатора или групп из нескольких трансформаторов через отдельные конденсаторы (рис. 1, б). Источник постоянного тока может подключаться к нейтрали одного из трансформаторов. При любом варианте подключения ток в цепи источника однозначно определяется эквивалентным активным сопротивлением цепей статора генератора относительно земли ($R_{ст}$).

Практически все находящиеся в эксплуатации устройства имеют в своем составе элемент, который выполняет собственно функции защиты – отключает генератор при значительном снижении сопротивления $R_{ст}$, сигнальный элемент, подающий предупреждающий сигнал при снижении сопротивления изоляции ниже значений, которые имеют место при нормальном состоянии генератора и измерительный прибор для непрерывной индикации значения сопротивления $R_{ст}$.

© Р.А. Вайнштейн, А.В. Доронин, А.М. Наумов, С.М. Юдин

Проблемы энергетики, 2010, № 3-4/1

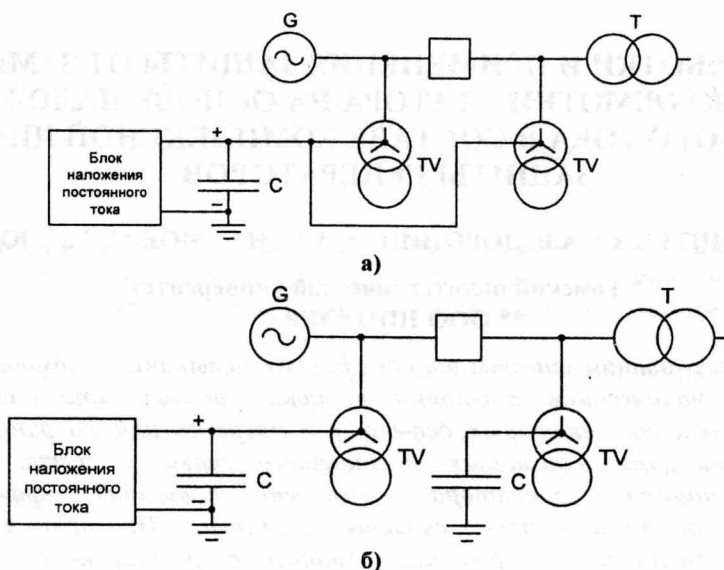


Рис. 1. Варианты подключения источника постоянного тока к первичным цепям генератора

С 1995 года научно-производственное предприятие “ЭКРА” использует защиту с наложением постоянного тока в составе комплексной защиты генераторов. В комплект защиты входит блок наложения постоянного тока, который выполняется в виде отдельного шкафа, располагаемого вблизи места установки трансформаторов напряжения. В этом блоке формируются сигналы, пропорциональные наложенному постоянному току, в форме, удобной для передачи в шкаф защиты, где реализуются все описанные выше функции.

Основные итоги многолетней эксплуатации защиты с наложением постоянного тока заключаются в следующем:

- заземление нейтралей трансформаторов напряжения через конденсаторы не вызывает каких-либо негативных процессов в первичной схеме блока;
- наличие, кроме отключающего элемента, чувствительных сигнальных элементов и прибора для непрерывного измерения сопротивления цепей статора генератора относительно земли придает защите диагностические свойства – способность выявления некоторых дефектов на ранней стадии.

Обобщение опыта эксплуатации, подтверждающее диагностические свойства защиты, выполнено в работе [6]. В частности, неоднократно по срабатыванию чувствительной сигнальной ступени защиты были выявлены следующие дефекты в цепях статора генераторов:

- трещины в изоляторах токопроводов генератора;
- трещины в изоляции стержня обмотки статора;
- увлажнение комплектных токопроводов из-за нарушения резиновых уплотнений;
- повреждение генераторного выключателя из-за ослабления и перегрева контактов и вытекания продуктов горения масла на поверхность изоляторов;
- попадание в дистиллят остатков щелочи и кислоты после ремонта теплообменников в системе водяного охлаждения.

Защита, основанная на измерении напряжения нулевой последовательности промышленной частоты, при возникновении перечисленных дефектов не работала.

Использование принципа наложения постоянного тока в составе цифровой комплексной защиты генератора дает новые возможности в отношении использования диагностических свойств. Появляется возможность ведения протокола по изменению эквивалентного сопротивления цепей статора относительно земли с оценкой тенденции его изменения, скорости изменения, сопоставления с другими параметрами, характеризующими состояние изоляционной системы генератора. На возможность и перспективность реализации упреждающих функций в современных цифровых устройствах релейной защиты обращается внимание в работе [7].

Диагностические свойства защиты по-разному проявляются в зависимости от вида охлаждения обмотки статора. При непосредственном водяном охлаждении измерение сопротивления $R_{ст}$ практически не дает информации о сопротивлении собственно изоляции, так как она шунтируется малыми сопротивлениями столбов воды в водоподводящих шлангах. Например, у генераторов ТВФ-200 при хорошем состоянии дистиллята $R_{ст}$ не превышает 1 МОм.

Для генераторов с газовым охлаждением обмоток желательное существенное увеличение предела измерения эквивалентного сопротивления. В настоящее время проработаны и используются технические решения, позволившие расширить предел измерения сопротивления до 100 МОм. При таком пределе измерения возможно обнаружение увлажнения и загрязнения изоляции, что особенно возможно в лобовых частях обмотки [8].

В конструкции устройства защиты для наложения постоянного тока предусмотрено гальваническое отделение вторичных цепей от элементов, с помощью которых накладывается постоянный ток и которые связаны с первичными цепями со стороны заземления трансформаторов напряжения. Упрощенная схема блока наложения постоянного тока, применяемая в настоящее время, показана на рис. 2 [5].

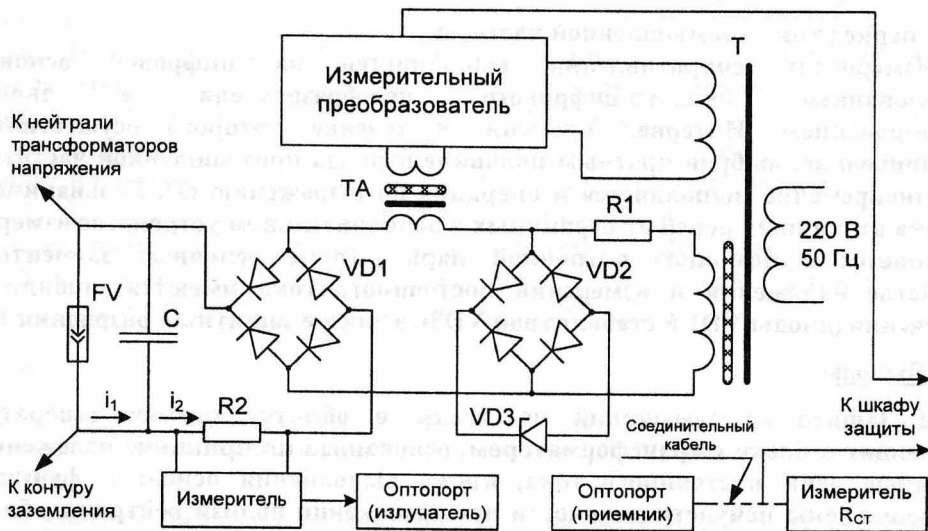


Рис. 2. Функциональная схема блока наложения постоянного тока защиты от замыкания на землю в обмотке статора

Питание устройства осуществляется через трансформатор, у которого обмотка, связанная с первичными цепями, имеет усиленную изоляцию по отношению к другим обмоткам. Напряжение источника постоянного тока, вводимого в

нейтраль, составляет около 300 В. Измерение накладываемого постоянного тока осуществляется через пропорциональную ему величину переменного тока до выпрямителя VD2 с помощью трансформатора тока ТА, который имеет так же усиленную изоляцию между обмотками. Такой вариант измерения тока, из-за шунтирующего действия обратного сопротивления диодов выпрямителя VD2, позволяет измерять $R_{ст}$ до значений 5 – 8 МОм. Этого вполне достаточно при применении защиты на генераторах с водяным охлаждением. Поэтому в таких случаях все функции защиты, а именно формирование логических сигналов о снижении сопротивления до заданных значений и непрерывное измерение сопротивления могут быть реализованы только по сигналу со вторичной обмотки трансформатора тока ТА.

При применении защиты на генераторах с газовым охлаждением обмотки статора контроль сопротивления с разрешающей способностью до 100 МОм осуществляется с помощью дополнительного измерительного устройства. Измеряемый ток при таких больших сопротивлениях составляет несколько микроампер. Поэтому его измерение возможно только в участках цепи после выпрямителя VD2. Включение шунта непосредственно в цепь измеряемого тока (после разделительного конденсатора) весьма нежелательно, так как это снижает надежность цепи заземления нейтрали трансформаторов напряжения. В то же время очевидно, что среднее значение тока i_2 на участке между выпрямителем и конденсатором равно среднему значению тока i_1 . Это вытекает из того, что, независимо от формы мгновенных значений этих токов, они связаны с общим изменением заряда на конденсаторе за один полупериод тока с частотой источника (50 Гц), от которого питается выпрямитель VD2, следующим образом:

$$\Delta Q_c = \int_0^{\frac{T}{2}} i_1 \times dt = \int_0^{\frac{T}{2}} i_2 \times dt, \quad (1)$$

где T – период тока промышленной частоты.

Измеритель сопротивления выполняется на цифровой основе с использованием аналого-цифрового преобразователя с двойным интегрированием. Интервал времени, в течение которого осуществляется интегрирование, выбран кратным половине периода промышленной частоты, то есть одновременно выполняется и операция по выражению (1). Гальваническая развязка вторичных цепей от первичных в дополнительном устройстве измерения выполняется с помощью оптронной пары. Кроме основных элементов, в устройстве наложения и измерения постоянного тока имеются стабилизатор напряжения (диоды VD1 и стабилитрон VD3), а так же защитный разрядник FV.

Выводы

1. Защита от замыканий на землю в обмотке статора генераторов, работающих в блоке с трансформатором, основанная на принципе наложения на первичные цепи постоянного тока, кроме выполнения основной функции – устранения зоны нечувствительности при замыкании вблизи нейтрали, обладает свойством выявления некоторых дефектов и повреждений на ранней стадии благодаря организации непрерывного измерения эквивалентного сопротивления цепей статора относительно земли.

2. Эффективность реализации диагностических свойств защиты на принципе наложения постоянного тока повышается при ее использовании в составе цифровой комплексной защиты генератора благодаря возможности

накопления и обработки информации об изменении эквивалентного сопротивления цепей статора относительно земли по заданному алгоритму.

3. Введение разделительных конденсаторов в цепь заземления нейтралей трансформаторов напряжения не вызывает каких-либо негативных процессов в первичной схеме блока.

Summary

Operating experience of relay protection against single-phase short circuits in a winding of stator generators with direct current imposing has shown that it possesses properties of revealing of some defects and damages at an early stage. Application of a principle of imposing of a direct current as a part of digital complex relay protection of the generator allows to raise efficiency of use of diagnostic properties of protection. The description of workmanship of the device of protection with the expanded range of measurement of equivalent resistance of chains stator concerning the earth is resulted.

Key words: ground relay protection, generator-transformer unit, monitoring of insulation.

Литература

1. Райк М. Защита от замыканий на землю блоков генератор-трансформатор. – В сб.: Релейная защита (Энергетика за рубежом). М.: Госэнергоиздат, 1960. Вып. 3.

2. Анохин П.Т., Финкель А.А. Защита от замыканий на землю и контроль изоляции обмотки статора блочного генератора // Электрические станции. 1973. № 7.

3. А.с. 690584 (СССР). Устройство для защиты от замыканий на землю и контроля изоляции электроустановки переменного тока / М.А. Волгин, Е.Д. Коберник. Оpubл. в Б.И., 1976, №37.

4. Устюжанинов Е.Н. Эксплуатация гидрогенераторов с изношенной изоляцией // Электрические станции. 1976. №10.

5. Пат.2239269 (РФ) Устройство для защиты от замыканий на землю и контроля сопротивления изоляции электроустановки переменного тока / Р.А. Вайнштейн, В.В. Шестакова, С.М. Юдин. Оpubл. в Б.И., 2004, № 30.

6. Коберник Е.Д. Стопроцентная земляная защита статора генератора на принципе наложения постоянного тока // Электрические станции. 1995. №4.

7. Бульчев А.В., Нудельман Г.С. Релейная защита. Совершенствование за счет упреждающих функций // Новости электротехники. 2009. №4.

8. Кулаковский В.Б. Работа изоляции в генераторах: Возникновение и методы устранения дефектов. М.: Энергоиздат, 1981. 256 с.

Поступила в редакцию

15 февраля 2010г.

Вайнштейн Роберт Александрович – канд. техн. наук, доцент кафедры «Электрические станции» (ЭСТ) Томского политехнического университета (ТПУ). Тел.: 8 (3822) 56-38-21. E-mail: vrg@tpu.ru.

Доронин Александр Викторович – заведующий сектором проектирования отдела станционного оборудования ООО НПП «ЭКРА». Тел.: 8 (8352) 57-20-83. E-mail: doronin_av@ekra.ru.

Наумов Александр Михайлович – канд. техн. наук, технический директор ООО НПП «ЭКРА». E-mail: naumov_am@ekra.ru.

Юдин Святослав Михайлович – канд. техн. наук, доцент кафедры «Электрические станции» (ЭСТ) Томского политехнического университета (ТПУ). Тел.: 8 (3822) 56-44-82. E-mail: YSM@elti.tpu.ru.

© Проблемы энергетики, 2010, № 3-4/1