

АВТОМАТИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ПРОВОДИМОСТЕЙ ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Гребченко Н.В., Полковниченко Д.В., Сидоренко А.А.
Донецкий национальный технический университет, г.Донецк
кафедра электрических станций
E-mail: gvn@dgту.donetsk.ua

Abstract

Grebchenko N.V., Polkovnichenko D.V., Sidorenko A.A. Automation of defining of complex conductivities of isolation of electrical parts elements of thermoelectric power stations. It is considered the realization of the method of continuous defining of figures of complex conductivities of the generator tension electrical isolation systems including the generator stator winding and joining of 6 kV systems of the energetic blocks own needs. Conductivity is defined by the way of continuous working on of equation system of the current state on industrial microprocessors.

Общая постановка проблемы. Значительное количество повреждений электрооборудования электрических станций и подстанций может быть предотвращено благодаря выявлению дефектов изоляции на ранней стадии их развития, что обеспечивается за счет применения автоматического диагностирования в рабочих режимах. Последующий вывод в ремонт оборудования для устранения дефекта изоляции обычно удается выполнять без нарушения непрерывности технологического процесса, т.е. в наиболее благоприятный момент времени. Дефекты изоляции обычно устраняются за счет несложных мероприятий, заключающихся в восстановлении, сушке или чистке изоляции.

Постановка задач исследования. Выявление общего или локального ухудшения состояния изоляции на работающем электрооборудовании связано с необходимостью решения сложных задач, и в первую очередь необходимо обеспечить высокую точность измерения параметров рабочего режима. Это связано с тем, что изменения значений рабочих параметров режима оборудования, обусловленные появлением дефекта изоляции, обычно незначительны. Поэтому наиболее широко разработаны методы и средства, выявляющие предельное состояние изоляции – замыкание на землю. Известны методы [1-3] оценки состояния изоляции в рабочих режимах. Основными недостатками наиболее совершенных методов является то, что они, как правило, не могут выявлять дефекты изоляции с большим переходным сопротивлением и не позволяют определять расстояние до места локального дефекта изоляции. Метод [3], основанный на решении системы уравнений текущего состояния, дает возможность определять возникновение дефектов изоляции независимо от величины переходного сопротивления. Но на точность этого метода оказывает большое влияние несимметрия нагрузки присоединения. Изменение в рабочем режиме величины продольной проводимости фазы статора электродвигателя (ЭД) может привести к возникновению очень большой погрешности в определении сопротивления изоляции. Поэтому задачей исследований является адаптация этого метода к условиям тепловых электрических станций (ТЭС), для чего необходимо обеспечить автоматический учет возникающей в рабочем режиме несимметрии ЭД. Второй задачей исследований является исследование возможности применения метода определения параметров дефекта изоляции [4] в условиях ТЭС.

Решение задач и результаты исследований.

Наиболее информативными параметрами для выявления дефектов изоляции в рабочих режимах являются токи и напряжения нулевой последовательности контролируемого оборудования [5-11]. Изменение этих параметров непосредственно связано с изменением электрических характеристик изоляции и, кроме того, эти параметры зависят от места и степени дефекта изоляции (конкретное присоединение, удаленность дефекта от начала присоединения, снижение сопротивления изоляции или замыкание на землю и т.д.).

В качестве основной технической базы защитно-диагностирующей автоматики (ЗДА) на сегодняшний день принят многомашинный распределенный комплекс, базирующийся на структурах локальных сетей, например, такой как система контроля и управления электрической подстанцией "MES-SEPAM" [12]. Дополнительно к выполняемым функциям в комплекс встраиваются функции ЗДА. При отсутствии такого комплекса система ЗДА реализуется на базе двух-трех промышленных компьютеров, получающих информацию о текущем режиме от локальных микропроцессорных терминалов релейной защиты и автоматики (РЗиА).

Оценка состояния изоляции по изменению ее комплексной проводимости является достаточно объективной, но для ее определения в рабочих режимах требуется высокая точность измерения параметров текущего режима. Определение комплексной проводимости основано на решении системы уравнений текущего состояния [3] в автоматическом режиме при выполнении процедуры диагностирования элементов узла системы (рис.1).

В соответствии со схемой замещения присоединения соотношение для векторов фазных токов контролируемого присоединения \dot{I}_A, \dot{I}_B и \dot{I}_C в нормальном режиме работы в матричной форме записи (система уравнений состояния) [4]:

$$\dot{\mathbf{I}} = \dot{\mathbf{I}}_{\text{И}} + \dot{\mathbf{I}}_{\text{Н}} = \underline{\mathbf{Y}}_{\text{ИД}} \dot{\mathbf{U}} + \underline{\mathbf{Y}}_{\text{НД}} (\dot{\mathbf{U}} - \dot{U}_{\text{N}}), \tag{1}$$

где $\dot{\mathbf{I}}_{\text{Н}}$ - матрица векторов токов фаз нагрузки присоединения; $\dot{\mathbf{I}}_{\text{И}}$ - матрица векторов токов через изоляцию фаз присоединения; $\underline{\mathbf{Y}}_{\text{ИД}}$ - диагональная матрица поперечных комплексных проводимостей изоляции фаз по отношению к земле; $\dot{\mathbf{U}}$ - матрица векторов напряжений фаз присоединения по отношению к земле; $\underline{\mathbf{Y}}_{\text{НД}}$ - диагональная матрица продольных фазных комплексных проводимостей нагрузки присоединения; \dot{U}_{N} - напряжение нейтрали присоединения по отношению к земле.

Система уравнений (1) при допущении о симметричности нагрузки преобразуется к виду:

$$\underline{\mathbf{A}} \cdot \underline{\mathbf{Y}}_{\text{И}} = \underline{\mathbf{B}}, \tag{2}$$

где $\underline{\mathbf{A}}$ - квадратная матрица коэффициентов при неизвестных проводимостях изоляции

$$\underline{\mathbf{A}} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 \\ 0 & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & 0 & a_{33} \end{bmatrix};$$

$\underline{\mathbf{Y}}_{\text{И}}$ - матрица-столбец искомых комплексных проводимостей изоляции фаз; $\underline{\mathbf{B}}$ - матрица-столбец свободных членов.

Непрерывное решение системы (2) с использованием результатов измерений токов и напряжений позволяет выявлять изменения проводимостей изоляции элементов сети генераторного напряжения и системы собственных нужд (с.н.). Необходимые для измерения токи и напряжения выбираются в зависимости от конфигурации системы, а также от того, для какого элемента необходимо определять изменение параметров.

При практической реализации методов выявления дефектов изоляции выполняется непрерывное определение векторов фазных токов по каждому контролируемому присоединению и векторов фаз по отношению к земле. На рис.1 приведена структурная схема микропроцессорной автоматики определения комплексных проводимостей изоляции фаз, основанной на решении системы уравнений состояния. Применение ЗДА для определения комплексной проводимости изоляции системы генераторного напряжения позволяет выполнять непрерывный контроль состояния обмотки статора генератора и комплектного экранированного токопровода. Нарушение изоляции этих элементов представляет большую опасность для генератора. Поэтому эта подсистема ЗДА блока имеет высокую эффективность. Для работы подсистемы измеряются токи в нулевых выводах генератора и напряжения фаз обмотки статора генератора.

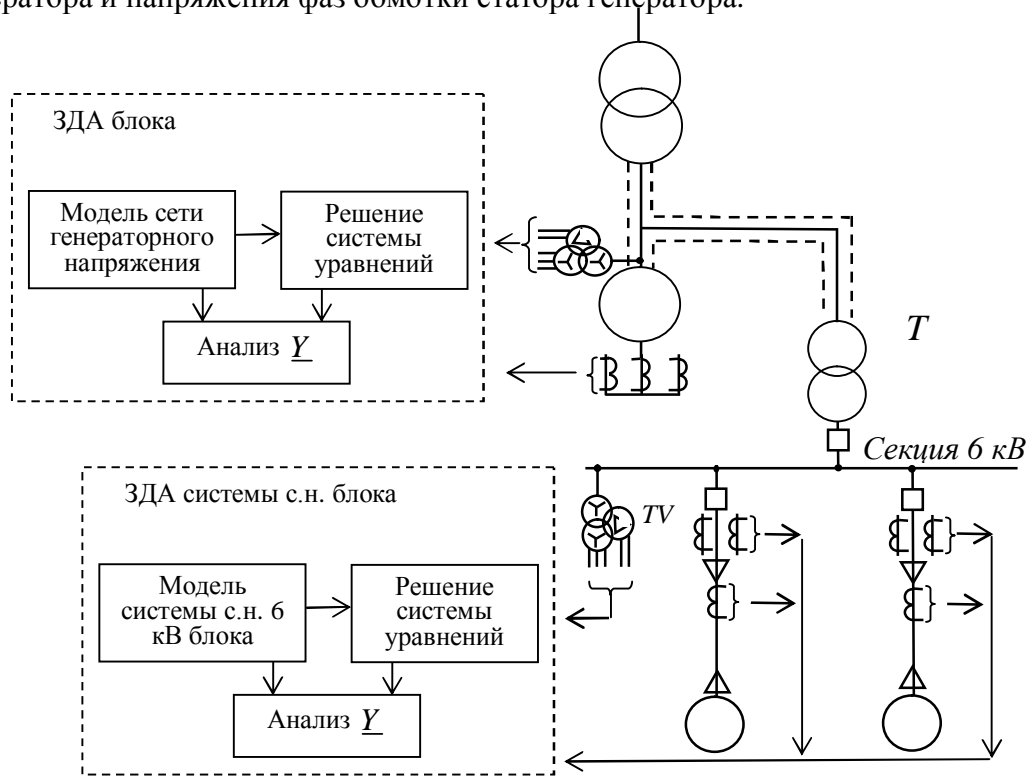


Рисунок 1 - Структурная схема автоматики определения комплексных проводимостей изоляции системы генераторного напряжения и узла системы с.н. энергоблока ТЭС

Приемлемая точность решения системы (2) в ЗДА системы с.н. блока обеспечивается при автоматическом учете несимметрии электродвигателей, которая возникает в процессе работы. Без учета несимметрии погрешность превышает 100% и использование метода становится невозможным. Для выявления несимметрии выполняется непрерывный контроль величины тока обратной последовательности. Степень несимметрии определяется как отношение вектора тока обратной последовательности \dot{I}_2 к вектору тока прямой последовательности \dot{I}_1 . Соответствующие коэффициенты определяются по выражению:

$$\underline{k}_H = 1 + \frac{3 \cdot \dot{I}_2}{\dot{I}_1}.$$

На рис.2 приведены результаты расчета на математической модели системы с.н. блока 300 МВт погрешности определения сопротивления дефекта изоляции присоединения питательного электронасоса (ПЭН). Здесь использованы различные способы учета несимметрии. Кривая 1 получена при допущении о том, что индуктивное сопротивление фазы ЭД и ее активное сопротивление линейно зависят от числа витков (мнимая часть комплексного коэффициента несимметрии равна нулю).

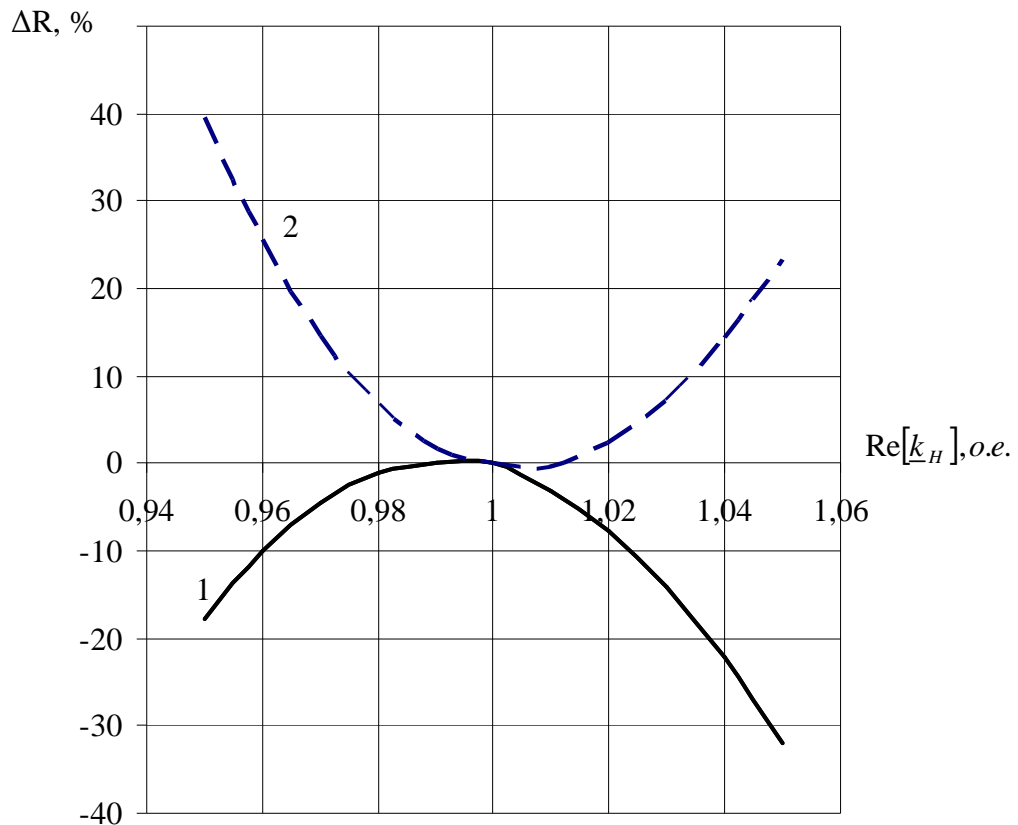


Рисунок 2 - Погрешность ΔR определения сопротивления дефекта изоляции при наличии статической несимметрии сопротивлений фаз электродвигателя ПЭН при: 1- $Jm[k_H]=0$; 2 - $Jm[k_H]=0,5 \cdot (1 - Re[k_H])$

Из рис.2 видно, что при несимметрии нагрузки $\pm 3\%$ погрешность определения сопротивления дефекта изоляции находится в диапазоне $\pm 15\%$, что вполне удовлетворяет требованиям эксплуатации.

Существенно сократить время восстановления нормальной работы присоединения, на котором был выявлен дефект изоляции, позволяет знание точного места локального дефекта. На первом этапе поиска места дефекта, как правило, необходимо определить в каком элементе присоединения (в кабеле или в двигателе) возник дефект. Из-за тяжелых условий эксплуатации более часто дефекты возникают в обмотке статора ЭД. Дальнейшее уточнение места дефекта заключается в определении фазы обмотки и секции этой фазы, в которой возник дефект. Для решения этой задачи разработан способ определения расстояния до места локального дефекта изоляции и сопротивления этого дефекта [4]. Способ основан на том, что каждой точке дефекта на присоединении, которая находится на расстоянии $l_{ДЕФ}$ от начала присоединения, и сопротивлению дефекта изоляции $Z_{ДЕФ}$ в этой точке, соответствует только один вектор тока нулевой последовательности:

$$i_0 = \frac{(1 - l_{ДЕФ})(\dot{U}_{CA} - \dot{U}_{BC})}{Z_c + l_{ДЕФ}(3 - 2l_{ДЕФ}) \cdot Z + 3Z_{ДЕФ}}$$

где \dot{U}_{CA} и \dot{U}_{BC} - векторы соответствующих линейных напряжений; Z_c - сопротивление изоляции сети; Z - продольная проводимость фазы присоединения, т.е. кабеля и электродвигателя.

Для определения параметров дефекта изоляции (расстояния до места дефекта и сопротивления изоляции в месте дефекта) выполняется сравнение векторов токов нулевой последовательности: действительного и расчетного. Расчетный вектор определяется на математической модели сети при пошаговом изменении предполагаемого расстояния до места дефекта и пошаговом изменении предполагаемой величины сопротивления дефекта. Расчетные значения расстояния и сопротивления, при которых произошло совпадение векторов, принимаются за действительные значения.

Параметры присоединений электродвигателей узла электрической сети позволяют оценить возможность и целесообразность использования способа в этом узле. Например, параметры основных присоединений 6 кВ системы с.н. блока 300 МВт приведены в таблице.

Таблица

Комплексные продольные сопротивления фазы основных присоединений с.н. блока 300 МВт

Наименование присоединения	Мощность двигателя, кВт	Комплексное сопротивление нагрузки, Ом	Комплексное сопротивление фазы присоединения, Ом
Шаробарабанная мельница (ШБМ)	2000	19,27+j14,38	19,2881+j14,3853
Конденсатный насос (КН)	500	76,39+j49,99	76,4055+j49,9946
Бустерный насос (БПН)	630	75,59+j50,32	75,6235+j50,3299
Питательный электронасос (ПЭН)	8000	17,39+j9,43	17,3947+j9,4321
Мельничный вентилятор (МВ)	1250	18,88+j13,69	18,9239+j13,7029
Дымосос (ДВ)	1700	83,22+j95,14	83,2484+j95,1484

На рис.3 приведены некоторые результаты моделирования фазы вектора тока нулевой последовательности φ в зависимости от расстояния b до точки замыкания с использованием данных таблицы.

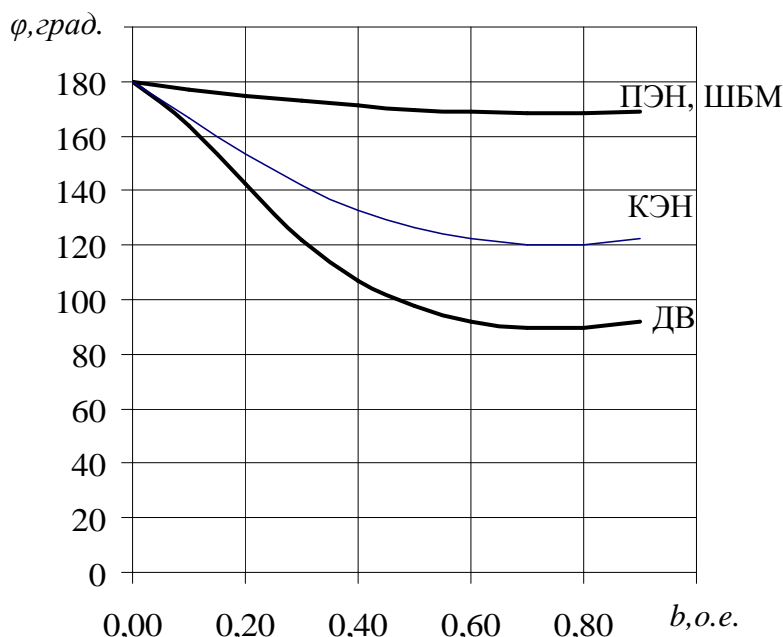


Рисунок 3 - Фаза вектора тока нулевой последовательности φ в зависимости от расстояния b до точки замыкания на землю для некоторых присоединений

Результаты, приведенные на рис.3, показывают, что соотношение параметров присоединений системы с.н. блока 300 МВт благоприятно для применения способа определения параметров дефектов изоляции, т.к. фаза тока нулевой последовательности в зависимости от расстояния b изменяется в широких пределах.

Выводы.

1. Метод выявления локальных и распределенных дефектов изоляции в рабочем режиме элементов сети генераторного напряжения и присоединений 6 кВ системы собственных нужд тепловых электрических станций необходимо реализовать в составе автоматизированной системы блоков, что позволит повысить надежность работы тепловых электрических станций.

2. Предложенный способ автоматического учета несимметрии нагрузки обеспечивает приемлемую точность определения комплексной проводимости изоляции методом решения системы уравнений состояния.

3. Результаты математического моделирования показывают, что для определения параметров дефекта изоляции в системе собственных нужд блока 300 МВт ТЭС может быть использован рассмотренный итерационный метод.

Литература

1. Качесов В.Е. Метод определения зоны однофазного замыкания в распределительных сетях под рабочим напряжением // Электричество. – 2005. - № 6. – С. 9-19.
2. Кадомская К.П., Сахно В.В. Метод импульсной диагностики соединительных муфт и оболочек силовых кабелей // Электричество. – 2000. - № 12. – С. 12-17.
3. Гребченко Н.В. Метод непрерывного определения комплексных проводимостей изоляции в рабочих режимах электрических присоединений 6-10 кВ // Электричество. - 2003. - №12. – С.24-29.
4. Пат. 19328 Україна, МКИ G 01 R 31/08. Спосіб визначення відстані до місця локального дефекту ізоляції та опору цього дефекту у розподільчих мережах/ М.В.Гребченко, О.А.Сидоренко - № u200606235; Заявл. 05.06.2006; Опубл. 15.12.2006, Бюл. 12. – 5 с.
5. Корогодский В.И., Кужиков С.Л., Паперно Л.Б. Релейная защита электродвигателей напряжением выше 1 кВ.- М.: Энергоатомиздат, 1987.- 248 с.
6. Лихачев Ф.А. Инструкция по выбору, установке и эксплуатации дугогасящих катушек // М.- Энергия, 1971.- 105 с.
7. Цапенко Е.Ф. Замыкания на землю в сетях 6-35 кВ.-М.: Энергоатомиздат, 1986.-128 с.
8. Ягудаев Б.М., Шишкин Н.Ф., Назаров В.В. Защита от электропоражения в горной промышленности. - М.: –Недра, 1982.- 152 с.
9. Олейник С.И., Сафарбаков А.А. Защита от замыканий на землю в сетях 6-35 кВ с компенсированной нейтралью, реагирующая на активную составляющую // Электрические станции.- 2002.- №3.- С. 60-62.
10. Пат. DE 196 29 483 A1, МКИ H 02 H 7/06, H 02 H 3/16, G 01 R 31/06. Verfahren zum Überwachen von in Sternschaltung betriebenen Wicklungen des Stators einer elektrischen Maschine / Jurisch Andreas, Schwenke Michael (DE); Siemens AG.- № 196 29 483.5; Заявл. 12.07.1996; Опубл. 22.01.1998. - 6 с.
11. Кошман В.И., Сабарно Л.Р. Метод сравнительной оценки состояния изоляции распределительных сетей и особенности его практической реализации // Технічна електродинаміка. Тематич. Випуск “Проблеми сучасної електротехніки” .- 2002.- Ч.7.- С. 90-93.
12. Система контроля и управления электрической подстанцией “MES-SEPAМ” / А.С. Яндульский, О.И. Курсон, И.Н. Блощаневич и др. // Электрические сети и системы. - 2005. – № 4-5.- С. 56-69.