

УДК 621.316.9

Н. В. ГРЕБЧЕНКО<sup>1</sup> (д-р техн. наук, проф.), И. В. БЕЛЬЧЕВ<sup>1</sup>,  
В.А. БЕКЕРОВ<sup>2</sup>, А.Н. ФЕДОРЕНКО<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Государственное высшее учебное заведение

«Донецкий национальный технический университет»

<sup>2</sup> Старобешевская ТЭС

illjabel@gmail.com

## ДИАГНОСТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ГЕНЕРАТОРНОГО НАПРЯЖЕНИЯ В РАБОЧИХ РЕЖИМАХ ЭНЕРГОБЛОКОВ ТЭС

В статье приведен метод диагностирования состояния изоляции элементов системы генераторного напряжения, который основан на непрерывном контроле значений токов фаз и напряжений фаз по отношению к земле. В результате решения системы уравнений текущего состояния определяется величина комплексных сопротивлений изоляции фаз по отношению к земле элементов сети генераторного напряжения. В большинстве случаев удается определять место возникновения локальных дефектов.

**Изоляция элементов системы генераторного напряжения, выявление дефектов, точность измерительных приборов.**

**Введение.** Морально и технически устаревшее электрооборудование не может быть заменено за небольшие сроки из-за экономических ограничений. В этих условиях дальнейшая эксплуатация оборудования требует оценки его состояния и выработки рекомендаций по возможности и условиям работы.

Старение и загрязнение изоляции обмотки статора генератора может приводить к возникновению замыканий на землю. Дальнейшее развитие повреждения может закончиться полным выходом из строя генератора. Предотвратить это позволяет своевременное выявление дефектов изоляции на ранней стадии развития. Это реализовать становится возможным с применением современных технических средств [1]. Благодаря чему можно существенно увеличить время использования оборудования. На данный момент существующие средства в большинстве своем работают по факту возникновения замыкания фазы на землю [2], но не дают возможность непрерывного контроля состояния изоляции в течении эксплуатации элементов системы генераторного напряжения.

**Целью работы** является разработка метода диагностирования системы генераторного напряжения в рабочих режимах энергоблоков тепловых электрических станций (ТЭС), позволяющего выявлять дефекты изоляции и место возникновения локальных дефектов.

Для присоединений нагрузки напряжением 6-10 кВ, в том числе синхронных и асинхронных двигателей, разработан метод непрерывной оценки состояния изоляции [3]. Для этого метода определены область и условия применения, а также проведены экспериментальные исследования. В основу метода положено решение системы уравнений текущего состояния присоединения. Этот метод может быть адаптирован к системе генераторного напряжения. Один из вариантов схемы электрических соединений сети генераторного напряжения приведен на рис.1. Основными элементами электрически связанной сети генераторного напряжения являются:

- обмотка низшего напряжения трансформатора блока (НН Т1);
- комплектный экранированный токопровод (КЭТ), соединяющий линейные выводы обмотки статора генератора с обмоткой НН Т1;
- обмотка статора генератора G;
- обмотка высшего напряжения рабочего трансформатора собственных нужд (ВН Т2).

В общем виде система уравнений текущего состояния записывается следующим образом:

$$\underline{A} \cdot \underline{Y}_y = \underline{B}, \quad (1)$$

где  $\underline{A}$  – квадратная матрица коэффициентов при неизвестных проводимостях изоляции фаз;

$\underline{Y}_y$  – матрица-столбец искомых комплексных проводимостей изоляции фаз;

$\underline{B}$  – матрица-столбец свободных членов.

Матрицы коэффициентов  $\underline{A}$  и  $\underline{B}$  периодически определяются по результатам измерений векторов токов фаз и напряжений фаз относительно земли.

В результате решения системы (1) определяются значения комплексных проводимостей изоляции фаз. Отклонение этих значений от заданных трактуется как возникновение дефектов изоляции.

Непрерывная оценка состояния изоляции обмотки статора генератора по отношению к земле путем анализа ее комплексной проводимости является более полной по сравнению с анализом только активной составляющей этой проводимости.

© Гребченко Н. В., Бельчев И. В., Бекеров В.А., Федоренко А.Н., 2011

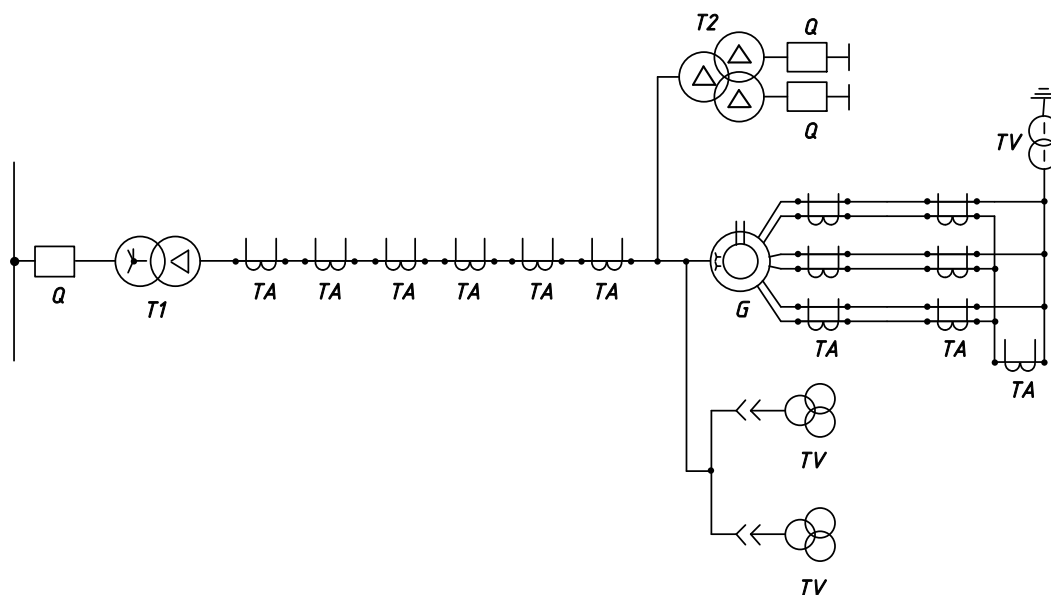


Рисунок 1 – Схема электрических соединений блока генератор-трансформатор

На схеме, приведенной на рис.1 используются следующие обозначения:

Q – выключатель;

T1 – блочный трансформатор;

T2 – трансформатор собственных нужд;

TA – измерительный трансформатор тока;

TV – измерительный трансформатор напряжения;

G – генератор.

В отличие от известных разработанный метод определения комплексной проводимости изоляции в рабочих режимах турбогенератора применяется без отключения агрегата, таким образом не нарушается технологический процесс.

В методе в качестве входной информации используются векторы токов фаз обмотки статора генератора и векторы напряжений фаз относительно земли, которые определяются по мгновенным значениям токов и напряжений. Поэтому для применения рассматриваемого метода в случае, когда в качестве входной информации используются показания измерительных приборов, определяются соответствующие векторы.

Отличительной особенностью метода при его применении в рабочем режиме (без отключения объекта диагностирования) является использование естественной несимметрии проводимостей изоляции фаз. В связи с этим точность определения токов и напряжений должна быть не ниже 0,05 %. Требования к точности измерения токов и напряжений снижаются при наличии “металлического” замыкания на землю на контролируемом объекте или при замыкании через небольшое сопротивление.

Необходимые исходные данные для реализации методики зависят от выбранного пользователем режима определения комплексных проводимостей:

- при непрерывном автоматическом определении комплексных значений проводимостей изоляции для контролируемого присоединения выполняется измерение мгновенных значений токов трех фаз и напряжений фаз по отношению к земле (для таких измерений используются специальные преобразователи, основу которых составляют АЦП, или цифровые регистраторы типа РЕГИНА, РЕКОН и т.д.) с помощью всех имеющихся трансформаторов тока и напряжения;

- при периодическом определении комплексных проводимостей изоляции для контролируемой сети может выполняться измерение действующих значений токов трех фаз и напряжений фаз по отношению к земле, а также действующие значения активной мощности каждой фазы, соответствующей указанным токам и напряжениям.

Метод определения комплексной проводимости основан на аналитическом описании рабочего режима в соответствии со схемой замещения присоединения нагрузки. Комплексные значения проводимости изоляции фаз определяются в результате решения системы уравнений или по специальным аналитическим выражениям [3]. Для этого на основании исходных данных определяются векторы токов трех фаз и напряжений фаз по отношению к земле.

Первый этап задачи оценки состояния изоляции формулируется как задача синтеза параметров электрической цепи при известной ее схеме и значениях токов и напряжений, характеризующих режим работы этой цепи. Изоляция учитывается соответствующими элементами в схеме электрической цепи. Изменения значений поперечных проводимостей элементов сети происходит вследствие ухудшения состояния изоляции

(старение, увлажнение, загрязнение и т.д.). Поэтому на втором этапе оценки состояния изоляции выполняется сравнение найденных значений проводимостей изоляции с допустимыми значениями.

Схема сети генераторного напряжения (блочный трансформатор – комплектный токопровод – генератор – трансформатор собственных нужд) приведена на рис.2.

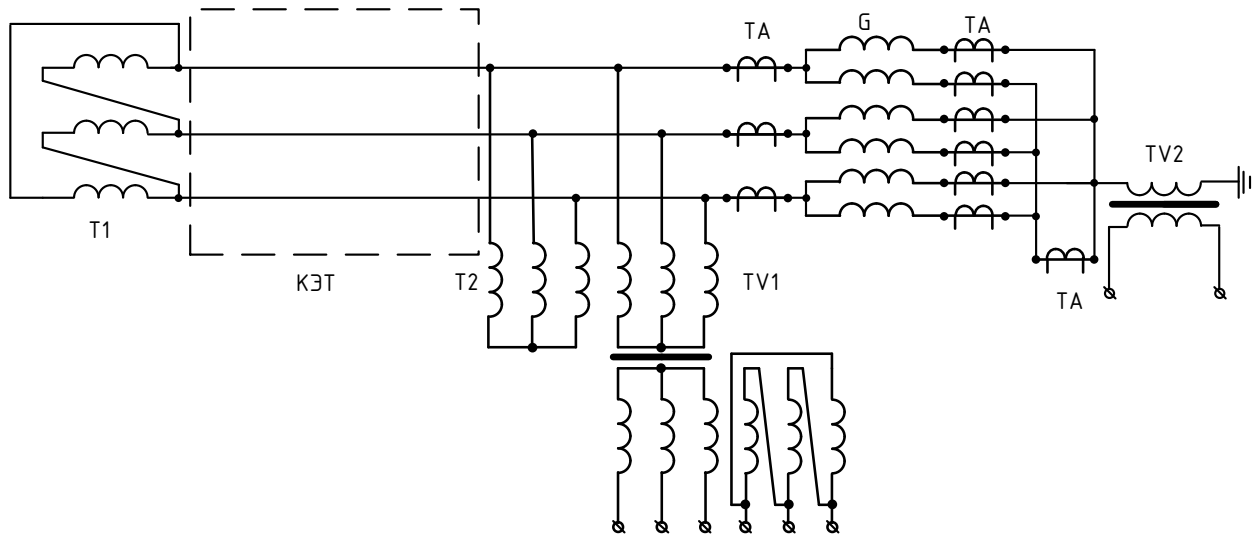


Рисунок 2 – Схема сети генераторного напряжения блока генератор-трансформатор

Отличия при составлении уравнений текущего состояния для присоединения нагрузки и сети генераторного напряжения:

- токи фаз имеют противоположные направления;
- величина тока присоединения нагрузки определяется комплексным сопротивлением нагрузки и комплексной проводимостью изоляции фаз, величина же тока генератора определяется не только нагрузкой (сопротивление которой не известно), но и режимом возбуждения генератора;
- трансформаторы тока фаз имеются в начале и в конце каждой фазы обмотки статора генератора (линейные трансформаторы тока и трансформаторы тока в нулевых выводах);
- между нулевой точкой обмотки статора генератора и землей включен однофазный измерительный трансформатор напряжения;
- при наличии параллельных ветвей в фазах обмотки статора между нулевыми точками включен измерительный трансформатор тока.
- номинальное напряжение сети, как правило, выше, чем у нагрузки, и находится в диапазоне 6-24 кВ.

На рис.3 элементы системы генераторного напряжения (генератор, комплектный токопровод, обмотка низшего напряжения трансформатора блока, обмотка высшего напряжения рабочего трансформатора собственных нужд) представлены на схеме замещения П-образными схемами замещения соответствующего элемента.

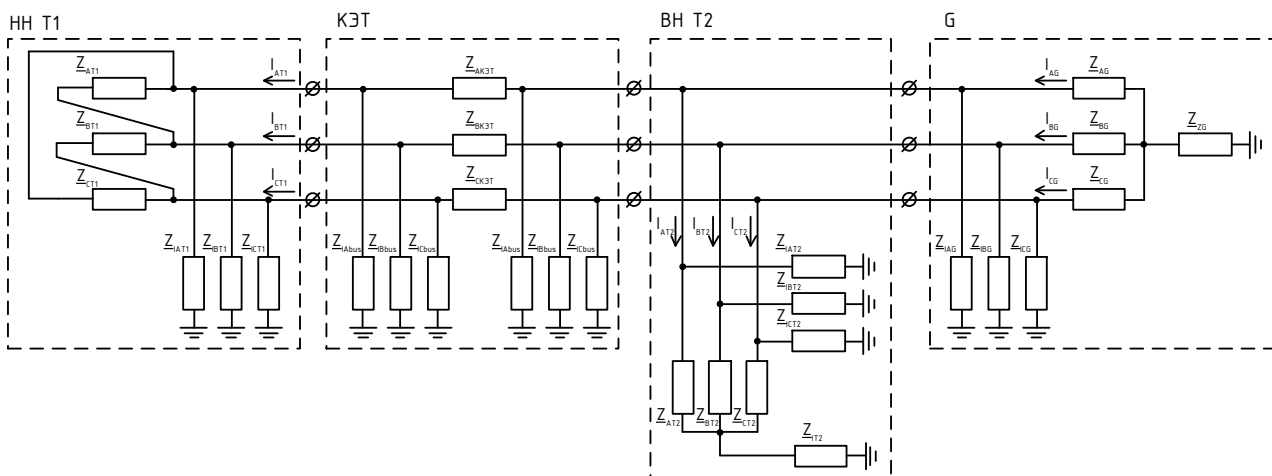


Рисунок 3 – Схема замещения системы генераторного напряжения

На схеме замещения, приведенной на рис.3 используются следующие обозначения:

$Z_i$  – комплексное сопротивление изоляции фазы соответствующего элемента;

$\dot{I}_{AG}, \dot{I}_{BG}, \dot{I}_{CG}$  – векторы тока статора генератора соответственно фаз А, В и С.

В случае контроля параметров режима с помощью измерительных приборов, измеряющих действующие значения, для определения векторов токов и напряжений необходимо выполнить измерение амплитуды токов фаз  $I_A, I_B, I_C$ , амплитуды напряжений фаз относительно земли  $U_{A0}, U_{B0}, U_{C0}$  и значений активных мощностей, потребляемых по фазам  $P_A, P_B, P_C$ . Ваттметры включаются на фазные токи и соответствующие напряжения фаз по отношению к земле.

Для определения величины удаленности до места возникновения дефекта изоляции  $b$  обмотки статора генератора была выведена формула, которая подобна формуле определения удаленности для присоединения кабель-электродвигатель [4]:

$$b = \frac{U_{B0} - U_{A0} + (2 \cdot I_A + I_C) \cdot Z_H}{I_d \cdot Z_H}, \quad (2)$$

где  $I_d$  – ток, протекающий в месте возникновения дефекта;

$Z_H$  – сопротивление нагрузки.

#### Выводы:

1 Обоснована необходимость разработки и применения метода диагностирования элементов системы генераторного напряжения, основанного на определении комплексных проводимостей отдельных участков сети генераторного напряжения. Определен состав параметров режима, необходимых для реализации контроля.

2 Приведенные основные функциональные блоки метода диагностирования (определение первичных токов и напряжений, разделение общей схемы замещения на участки, блок определения места дефекта изоляции элементов генераторного напряжения в рабочих режимах энергоблоков), позволяют видоизменять метод в зависимости от реальной схемы соединений и оборудования контролируемого объекта.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Особливості ОЕС України та науково-технічні проблеми забезпечення її розвитку / [Стогній Б.С., Кириленко О.В., Жуйков В.Я., Баталов А.Г.] // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск. Проблеми сучасної електротехніки. – Ч. 1. – К.: 2010. – С. 25.

2. Кискачи В.М. Новые направления выполнения селективной защиты от однофазных замыканий на землю генераторов и сетей 6-35 кВ / Кискачи В.М. // Электрические станции. – 1994. – №10. – С.10-15.

3. Гребченко Н.В. Метод непрерывного определения комплексных проводимостей изоляции в рабочих режимах электрических присоединений 6-10 кВ / Гребченко Н.В. // Электричество. – 2003. – №12. – С.24-29.

4. Гребченко Н.В. Автоматическое определение параметров дефектов электрической изоляции в сети с изолированной нейтралью / Гребченко Н.В., Сидоренко А.А., Бельчев И.В. // Релейная защита и автоматика энергосистем. Сборник докладов XX конференции – М.: 2010. – С.336-339.

Надійшла до редколегії 13.03.2011

Рецензент: Г.Г. Рогозін

М. В. ГРЕБЧЕНКО<sup>1</sup>, І. В. БЕЛЬЧЕВ<sup>1</sup>,  
В. А. БЕКЕРОВ<sup>2</sup>, О. М. ФЕДОРЕНКО<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Державний вищий навчальний заклад  
«Донецький національний технічний університет»

<sup>2</sup> Старобешівська ТЕС

N. GREBCHENKO<sup>1</sup>, I. BIELCHEV<sup>1</sup>,  
V. BEKEROV<sup>2</sup>, A. FEDORENKO<sup>2</sup>

<sup>1</sup> State Institution of Higher Education  
«Donetsk National Technical University»

<sup>2</sup> Starobeshevskaya power plant

**Діагностування системи генераторної напруги в робочих режимах енергоблоків ТЕС.** У статті наведено метод діагностування стану ізоляції елементів системи генераторної напруги, який ґрунтується на неперервному контролі значень струмів фаз та напруг фаз відносно до землі. В результаті розв'язання системи рівнянь поточного стану визначається величина комплексних опорів ізоляції фаз відносно до землі елементів мережі генераторної напруги. У більшості випадків вдається визначити місце виникнення локальних дефектів.  
**Ізоляція елементів системи генераторної напруги, виявлення дефектів, точність вимірювальних приладів.**

**Diagnosis Generator-Voltage System in Operating Duty of Power Station Power Unit.** The paper presents a method for diagnosing the state of the generator-voltage system elements insulation, which is based on continuous control of phase currents and phase voltages to earth. The value of complex insulation resistance phase to earth of generator-voltage system elements is determined as a result of the current state combined equation solution. In most cases it is possible to determine the local defects location.

**Generator-voltage system insulation, defects identification, accuracy of measuring instruments.**