

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

Национальный исследовательский Томский государственный университет
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
Болгарская Академия наук
ООО «ЛИТТ»

ИННОВАТИКА-2015

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ

**XI Международной школы-конференции студентов,
аспирантов и молодых ученых
21–23 мая 2015 г.
г. Томск, Россия**

Под ред. проф. А.Н. Солдатова, доц. С.Л. Минькова

Scientific & Technical Translations



ИЗДАТЕЛЬСТВО

Томск – 2015

3. Patterson V et al. Store-and-forward teleneurology in developing countries. *Journal of Telemedicine and Telecare*, 2001, 7(Suppl. 1):S52–S53.
4. Qaddoumi I et al. Impact of telemedicine on pediatric neuro-oncology in a developing country: the JordanianCanadian experience. *Pediatric Blood & Cancer*, 2007, 48(1):39–43.
5. Pradeep PV et al. Reinforcement of endocrine surgery training: impact of telemedicine technology in a developing country context. *World Journal of Surgery*, 2007, 31(8):1665–1671.
6. Sørensen T, Rivett U, Fortuin J. A review of ICT systems for HIV/AIDS and anti-retroviral treatment management in South Africa. *Journal of Telemedicine and Telecare*, 2008, 14(1):37–41.
7. Person DA, Hedson JS, Gunawardane KJ. Telemedicine success in the United States Associated Pacific Islands (USAPI): Two illustrative cases. *Telemedicine Journal and e-Health*, 2003.

ДИАГНОСТИКА МЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБМОТОК ТРАНСФОРМАТОРОВ МЕТОДОМ НАНОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ

Л.В. Кустова¹, А.Г. Ситников¹, А.В. Лавринович²

¹*Национальный исследовательский Томский государственный университет*

²*Национальный исследовательский Томский политехнический университет
e-mail: excilamps@yandex.ru*

DIAGNOSTIC OF THE MECHANICAL CONDITION OF THE WINDINGS OF TRANSFORMERS BY THE METHOD OF NANOSECOND PULSES

L.V. Kustova¹, A.G. Sitnikov¹, A.V. Lavrinovich²

¹*National Research Tomsk State University*

²*National Research Tomsk Polytechnic University*

Most emergencies in power systems is due to damage to the windings. In this regard, the high-voltage laboratories constantly conducted an intensive search for reliable diagnostic methods. The physical basis of the proposed method is that a decrease in the duration of the probe pulse to the level of 10-400 ns rise time of 10 ns extends the frequency range of the probe pulse on the order. Decrease of the duration of the pulse corresponds to an increase in the upper limit of the frequency range and to promote higher than 20 MHz, that is, increases the sensitivity of the method that allows to detect smaller defects in the geometry of the windings.

Key words: Diagnostics, power transformer, winding, method of nanosecond pulses.

Внезапный выход из строя такого аппарата, как мощный трансформатор, происходит внезапно и часто приводит к аварии с тяжёлыми техническими и экономическими последствиями. В связи с этим в высоковольтных лабораториях постоянно ведётся интенсивный поиск достоверных методов диагностики.

Большинство аварийных ситуаций в энергосистемах происходит из-за повреждения обмоток. Часто такая ситуация приводит к пожару. Среди причин дефектов обмоток основной является электродинамическое воздействие токов короткого замыкания (КЗ), приводящее к смещению витков в обмотках, поэтому результаты диагностических испытаний очень ценны для эксплуатации. По этой причине поиск новых методов диагностики механического состояния обмоток – актуальная задача.

Физическая основа предлагаемой методики состоит в том, что обмотки любого трансформатора представляют сложную систему колебательных контуров, которые можно возбудить, подавая на одну из обмоток электрический зондирующий импульс. Уменьшение длительности зондирующего импульса до уровня 10-400 нс с временем нарастания фронта 10 нс расширяет частотный спектр зондирующего импульса на порядок по сравнению со стандартным грозовым импульсом, который использовался ранее. В этом заключается существенное отличие разрабатываемого метода от ранее известных.

Такое предложение основано на том, что частотный диапазон стандартного грозового импульса лежит в пределах 5...500 кГц, а применяемый нами импульс имеет частотный спектр от 1...50 МГц.

Уменьшение длительности импульса соответствует увеличению верхней границы частотного диапазона и продвижению в область выше 20 МГц, то есть повышает чувствительность метода, что позволяет выявлять более мелкие дефекты в геометрии обмоток.

На рисунке 1 представлена схема проведения диагностики методом наносекундных импульсов.

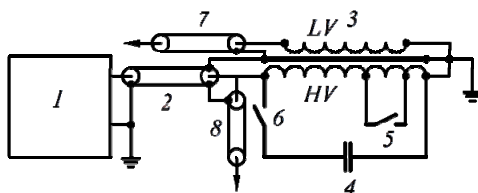


Рис. 1. Схема проведения диагностики методом наносекундных импульсов.

- 1 – генератор наносекундных импульсов, 2 – передающий коаксиальный кабель (50 Ом), 3 – диагностируемый трансформатор, HV – высоковольтная обмотка, LV – низковольтная обмотка, 4 – вспомогательный конденсатор для изменения фронта зондирующего импульса (применялся при предварительных исследованиях для определения влияния фронта импульса на чувствительность), 5 – ключ имитации межвитковых замыканий, 6 – ключ подключения емкости 4, 7, 8 – контрольные кабели для подключения сигналов на обмотках трансформатора

Принцип диагностики методом наносекундных импульсов заключается в подаче на одну из обмоток трансформатора прямоугольного наносекундного импульса и регистрации на осциллографе сигнала-отклика с другой обмотки трансформатора.

В основе диагностики состояния обмоток трансформаторов низковольтными наносекундными импульсами лежит импульсный генератор, формирующий импульсы с фронтом единицы наносекунд и длительностью нескольких сотен наносекунд. При этом амплитуда импульса должна быть более 200 В.

На рисунке 2 кривая характеристика черного цвета является кривой трансформатора без дефектов, кривая красного-сигнал отклика с замыканием между 24 витками обмотки высоко напряжения [1].

Далее представлена сравнительная таблица 1, существующих методов диагностики механического состояния обмотки трансформатора [2,3,4].

Как видно из таблицы 1 метод наносекундных импульсов обладает более высокой чувствительностью, нежели наиболее близкие по принципу действия метод НВИ и метод FRA. Но так же метод наносекундных импульсов обладает и некоторыми недостатками, например, необходимость иметь результаты обследования «здорового» трансформатора (нормограмму), то есть нужно проводить диагностику до поломки трансформатора.

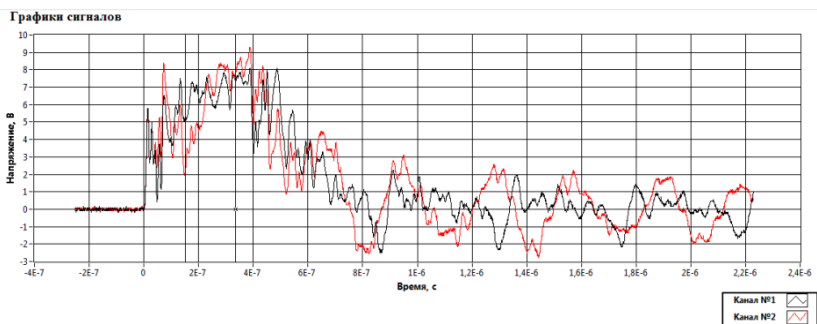


Рис. 2. Характеристики, полученные методом наносекундных импульсов.

Метод наносекундных импульсов, позволяет выявить следующие дефекты/повреждения трансформаторов: смещение обмоток и их элементов (катушек, отводов); потеря радиальной устойчивости внутренней обмот-

ки; сползание витков регулировочной обмотки; потеря осевой устойчивости проводников обмотки; распрессовка обмоток и магнитопровода; замыкание листов магнитопровода, образование короткозамкнутых контуров; различные межвитковые и межкатушечные замыкания.

Т а б л и ц а 1

Сравнение методов диагностики

Название метода	Преимущества	Недостатки
Метод низковольтных импульсов (НВИ)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Чувствительнее, чем Z_k. 2. Можно комбинировать с методом FRA для повышения достоверности результатов. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Необходимость отключения трансформатора для диагностики. 2. Необходимость точного воспроизведения измерительной схемы при последующих испытаниях. 3. Необходимость иметь нормограмму трансформатора, поэтому нужно проводить диагностику до поломки.
Метод FRA	<ol style="list-style-type: none"> 1. Чувствительнее, чем НВИ и Z_k. 2. Можно комбинировать с методом НВИ для повышения достоверности результатов. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Необходимость отключения трансформатора для диагностики. 2. Необходимость иметь нормограмму трансформатора, поэтому нужно проводить диагностику до поломки.
Метод измерения сопротивления КЗ (Z_k)	<ol style="list-style-type: none"> 1. В качестве входной информации используются токи и напряжения, измеряемые на выводах силового трансформатора в его нагрузочных режимах. 2. Чувствительность к изменению добавочных потерь, что позволяет обнаружить замыкание параллельных проводников в какой-либо части обмотки, связанное с повреждением изоляции. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обладает высокой чувствительностью только к видам деформаций, которые приводят к изменению канала рассеяния. 2. Необходимость использования в расчётах приведённых значений, что требует точных и актуальных данных о коэффициентах трансформации обмоток. 3. Отсутствие процедур контроля обмоток трёхобмоточных трансформаторов.
Тепловизионное обследование	<ol style="list-style-type: none"> 1. Не требуется отключение и демонтаж оборудования. 2. Возможность определения дефектов на ранней стадии развития. 3. Является нетрудоёмким. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Не чувствителен к смещению обмоток и витков до их короткого замыкания. 2. Дороговизна оборудования и неотработанности технологии получения информационных и достоверных результатов.

Метод вибрационных характеристик	1. Можно провести «вибронладку» всех узлов, определить текущее состояние системы охлаждения, сделать оценку конструкции. 2. Отсутствует необходимость в отключении.	1. Малочувствителен к различного рода деформациям обмоток. 2. Применение этого метода предполагает параллельное использование других методов диагностики (НВИ, FRA, Zk).
Метод наносекундных импульсов	1. Высокая чувствительность метода, которая позволяет выявлять более мелкие дефекты в геометрии обмоток, чем методы НВИ и FRA.	1. Необходима нормограмма трансформатора – проведение диагностики до поломки. 2. Необходимость отключения трансформатора.

При проведении маркетингового анализа было выявлено 9 конкурентов производителей установки из России и других стран, 3 из которых отечественного производителя: ВНИЦ ВЭИ (Москва), ГК «Энергоскан» (Москва), ООО Производственно-внедренческая фирма «Вибро-Центр» (Пермь), и 6 зарубежного производителя: Megger (Англия), ISA (Италия), FLIR Systems (США), Фирма AGEMA Infrared Systems AB (Швеция), Фирма NEC (Япония) Tettex Instruments (Швейцария). Информация взята с сайтов производителей.

Выводы

1. Применение зондирующих импульсов с наносекундными фронтами при диагностике состояния обмоток позволяет обнаруживать разные виды механических дефектов обмоток (межвитковые замыкания, смещение витков).

2. Метод наносекундных импульсов имеет более высокую чувствительность, чем метод НВИ и метод FRA.

3. В результате маркетинговых исследований было выявлено 9 конкурентов производителей установки из России и других стран, 3 из которых отечественного производителя и 6 зарубежного производителя.

Литература

1. Семенов А.С. Сравнение чувствительности метода наносекундных импульсов и FRAX-150 [Электронный ресурс] //Состояние и пути развития российской энергетики: материалы Всероссийской молодежной научной школы - конференции, г. Томск, 21-23 октября 2014 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Энергетический институт (ЭНИИ) ; ред. кол. В. Я. Ушаков и др.. Томск: Изд-во ТПУ, 2014. С. 269-273.

2. Достоинства и недостатки методов НВИ и АЧХ. URL: <http://www.transform.ru/articles/html/06exploitation/exp1000143.article> (дата обращения: 21.03.2015).

3. Новости электротехники // Методы диагностики механического состояния обмоток. URL: <http://www.news.elteh.ru/arh/2009/57/08.php> (дата обращения: 03.03.2015).

4. Новости электротехники // Методы оценки механического состояния обмоток в эксплуатации. URL: <http://www.news.elteh.ru/arh/2010/65/09.php> (дата обращения 21.03.2015).

КОАКСИАЛЬНЫЙ СВЧ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Д.А. Лейсле, А.Г. Левашкин

*Национальный исследовательский Томский государственный университет
e-mail: dasha.leisle@bk.ru, levashkin_ag@mail.ru*

COAXIAL MICROWAVE TRANSDUCER FOR MEASUREMENT OF ELECTROPHYSICAL PROPERTIES SEMICONDUCTOR AND DIELECTRIC MATERIALS

D.A. Leisle, A.G. Levashkin

National Research Tomsk State University

This article seeks to development of non-destructive method for measuring resistivity of semiconductor materials having high local measurements over a broad frequency range.

Key words: local coaxial microwave transmitter, measuring of complex permittivity.

В современной микроэлектронике широко применяются полупроводниковые материалы, на основе которых создаются многочисленные типы приборов и микросхем. Проблема повышения экономической эффективности производства материалов микроэлектроники требует оснащения промышленности высокоточными и производительными методами и средствами измерений.

Одним из основных требований к методам промышленного контроля параметров полупроводников является возможность осуществления измерений без разрушения исследуемых пластин. Такие методы могут быть включены в технологический процесс изготовления полупроводникового материала на любом из его этапов. Кроме того, в связи с устойчивой тенденцией к миниатюризации в микроэлектронике, указанное требование дополняется требованием высокой локальности измерений, в идеальном случае сравнимой с размерами создаваемого полупроводникового прибора или его дискретного элемента.

В полупроводниковых материалах, подлежащих промышленному контролю, одним из важнейших электрофизических параметров является