

УДК 681.586

Н.Н. Сапига, Т.Н. Захарова, А.В. Котюк

Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков

ДАТЧИКИ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБМОТКИ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

В статье предложена система измерения температуры наиболее нагретых точек обмотки силового трансформатора на основе волоконно-оптических датчиков.

Ключевые слова: датчик, температура, оптическое волокно.

Введение

Постановка проблемы и анализ литературы. Обычно применяемые косвенные методы определения температуры обмотки трансформатора (по температуре верхних слоев масла трансформатора, измеряемой с помощью термометров, либо термометрического сигнализатора с электроконтактным манометром, либо дистанционного термометра сопротивления, устанавливаемых в карманах (гильзах) крышки бака) обладают существенными недостатками и не определяют истинной температуры в обмотке трансформатора.

Термографическое обследование трансформатора во многом является вспомогательным средством оценки его теплового состояния и исправности в работе связанных с ним систем и узлов.

Цель статьи. Анализ методов синтеза системы измерения температуры наиболее нагретых точек обмотки силового трансформатора.

Основной материал

Для измерения температуры обмотки силового трансформатора во время работы наибольшие возможности открывает применение волоконно-оптических датчиков. Важными преимуществами этих датчиков являются:

- низкая чувствительность к воздействиям электромагнитных помех и электромагнитных импульсов;
- высокая пропускная способность, заключающаяся в возможности создании чисто-волоконной сети датчиков, имеющей дополнительные преимущества перед другими сетями;
- малые размеры и вес.

Для создания математической тепловой модели силового трансформатора необходимо установить множество (15 – 20) датчиков такого типа в различных точках обмотки, для которых необходима соответствующая телеметрическая система.

В общем случае системы из многих датчиков могут быть построены различными способами:

1) множество дискретных точечных датчиков объединяются в сеть или массив; при этом выходы

отдельных датчиков мультиплексируются в волоконной системе телеметрии при помощи широко используемых методов – частотное или временное уплотнение;

2) датчики с оптоволоконном в качестве чувствительного элемента, по самой своей сути имеющие распределённую структуру, поскольку измеряемая величина воздействует на фрагмент волокна конечной длины.

Использование распределённых датчиков с оптоволоконном в качестве чувствительного элемента особенно привлекательно в наблюдении за профилем температуры силовых трансформаторов, когда требуется отслеживание температуры в большом количестве точек или непрерывно по всей длине волокна.

При квазираспределённых схемах датчиков температура не оказывает влияние непрерывно на всю длину волокна, а отслеживается на ограниченном количестве фрагментов.

При распространении света в оптоволоконне возникают потери из-за рэлеевского рассеяния, обусловленного случайными микроскопическими колебаниями показателя преломления сердцевины оптического волокна. Часть излучения, которая рассеивается под углом 180° к направлению распространения излучения (обратное рассеяние), удовлетворяет числовой апертуре волокна и возвращается к источнику. Подавая на вход оптический сигнал импульсами в длинное оптическое волокно и отслеживая изменения интенсивности возвращаемого обратного рассеяния, можно определить пространственные колебания коэффициента рассеяния волокна: или профиль или затухание. На этом основана оптическая рефлектометрия временной области (OTDR – Optimal Time – Domain Reflectometry), хорошо зарекомендовавшая себя как метод определения мест повреждений и диагностики в волоконных системах коммуникаций. В измерительных системах OTDR может использоваться для обнаружения обусловленных измеряемой величиной локальных изменений потерь или коэффициента рассеяния непрерывного измерительного волокна.

На рис. 1 показана схема, обычно применяемая для анализа в OTDR.

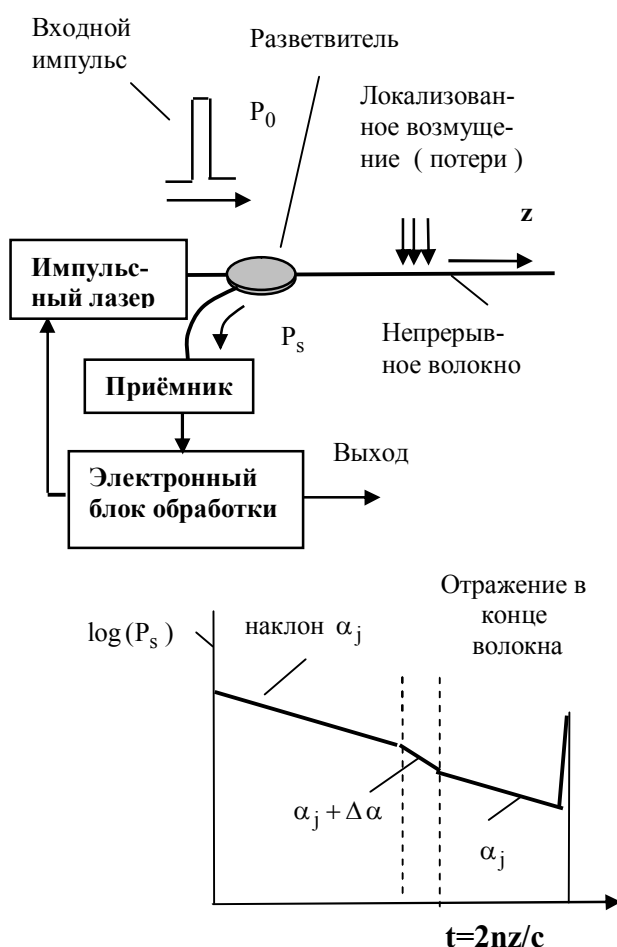


Рис. 1. Принцип работы оптического рефлектометра временной области

Здесь короткий импульс излучения лазера запускается в исследуемое волокно. Электронный блок обработки отслеживает изменения во времени уровня обратного излучения по отношению к входному импульсу. Если волокно однородно и подвергается постоянному воздействию внешней среды, из-за внутренних потерь интенсивность обратного рассеяния в зависимости от времени угасает по экспоненте. Если пиковая мощность входного импульса длительностью τ , введенного в волокно, равна P_0 , мощность обратного излучения, регистрируемая через промежуток времени t по отношению к началу входного импульса, можно определить как [1]

$$P_S(t) = (1 - k) \cdot k \cdot P_0 \cdot D \cdot r(z) \cdot \exp \left\{ - \int_0^z 2 \alpha_i(z) dz \right\},$$

где $z = ct/2n$ – положение распространяющегося вперед импульса в момент генерации регистрируемого обратного сигнала $P_S(t)$; $\alpha_i(z)$ – коэффициент затухания в неперах (1 непер = 4,34 дБ); n – групповой показатель преломления сердцевины оп-

тического волокна; c – скорость света; $r(z)$ – эффективный коэффициент обратного отраженного рассеяния на единицу длины, учитывающий коэффициент рэлеевского обратного рассеяния и числовую апертуру волокна; $D = (ct/n)$ – длина оптического импульса в волокне в любой момент времени. Здесь предполагается, что потери, претерпеваемые входным импульсом и обратным излучением, равны. Наклон логарифма регистрируемого сигнала равен коэффициенту потерь, т.е.

$$\frac{\partial(\ln P_S)}{\partial z} = -2 \alpha_i(z).$$

Область больших потерь α_i характеризуется большим наклоном графика OTDR, что видно на рис. 1.

Пространственное разрешение оптического рефлектометра временной области – это наименьшее расстояние между двумя фрагментами рассеяния, которые могут быть разделены. Оно определяется шириной входного импульса и может быть вычислено по формуле:

$$\Delta z_{\min} = \frac{c \cdot \tau}{2n}.$$

При ширине импульса 10 нс получается пространственное разрешение ≈ 1 м.

Существуют также другие методы измерения обратного рэлеевского рассеяния. Оказалось, что волокна, активированные неодимом, пригодны для использования в распределённых системах измерения температуры [2]. В этих волокнах полосы сильного поглощения, связанные с активирующими примесями, при увеличении температуры расширяются и слегка сдвигаются в сторону длинных волн. При работе с волокнами, более равномерно активированными гольмием, чувствительность улучшилась на порядок. Распределённый датчик на основе этого волокна показал разрешение по температуре, равное 1°C , и пространственное разрешение $\approx 3,5$ м. Температурная зависимость флуоресценции также является средством, позволяющим производить распределённые измерения температуры. Для этого необходимо ввести в волокно активирующие примеси с короткой продолжительностью флуоресценции, что позволяет добиться хорошего пространственного разрешения, обычно получаемого в системах на основе OTDR.

В простейшем случае *квазираспределённый датчик* – это модифицированные фрагменты волокна, встроенные («врощённые») в длинное волокно через определённые интервалы для создания локальных изменений потерь, интенсивности обратного рассеяния, интенсивности свечения, поляризации и т.д. Например, фрагменты волокна, активированные редкоземельными элементами, могут быть включены в длинное волокно в определённых местах, в результате чего получится квазираспределённый датчик температуры.

Хотя квазираспределённые системы датчиков позволяют наблюдать за измеряемой величиной только в конечном количестве положений датчиков, а не непрерывно вдоль всего волокна, этот подход имеет множество явных преимуществ по сравнению с использованием распределённых измерений с волокном в качестве чувствительного элемента. Во-первых, пространственное разрешение здесь не играет такой важной роли, как в распределённых системах с волокном в качестве чувствительного элемента, поскольку отдельные датчики отчётливо различаются. Это означает, что для зондирования в OTDR можно использовать более широкий импульс, что повлечёт за собой улучшение чувствительности и увеличение динамического диапазона. Во-вторых, чувствительность и динамический диапазон чувствительных элементов могут быть настроены так, чтобы удовлетворять конкретным требованиям; в систему также могут быть включены датчики, регистрирующие другие величины (например, ток и напряжение).

Выводы

1. Оптическая рефлектометрия временной области (OTDR) рекомендуется в измерительных системах как метод для обнаружения обусловленных нагревом локальных изменений потерь или коэффициента рас-

сеяния непрерывного измерительного оптоволокну.

2. Использование распределённых датчиков с оптоволокну в качестве чувствительного элемента или квазираспределённые системы датчиков особенно привлекательно в наблюдении за профилем температуры обмоток силовых трансформаторов, когда требуется отслеживание температуры в большом количестве точек.

3. Контроль температуры наиболее нагретых точек внутри трансформатора во время работы позволяет определить оптимальное число работающих вентиляторов и насосов при данной окружающей температуре и нагрузке трансформатора. Это позволяет снизить потери в системе охлаждения, повысить КПД трансформатора.

Список литературы

1. *Distributed Temperature Sensor Using Na³-Doped Optimal Fiber* / M.C. Fames et al. – *Electron. Lett.* **22**, 418 (1986).
2. *Distributed Temperature Sensor Using Holmium – Doped Fiber* / M.C. Fames et al. – *Pros. OFC'87, Reno, Nev.*, 1987. – P. 170.

Поступила в редколлегию 26.11.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.Ф. Артюх, Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков.

ДАТЧИКИ ТЕМПЕРАТУРИ ОБМОТКИ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

М.М. Сапіга, Т.М. Захарова, Г.В. Котюк

В статті запропонована система вимірювання температури найбільше нагрітих точок обмотки силового трансформатора на основі волоконно-оптичних датчиків.

Ключові слова: датчик, температура, оптичне волокно.

THE SENSORS OF THE WINDINGS TEMPERATURE OF THE POWER TRANSFORMERS

N.N. Sapiga, T.N. Zakharova, A.V. Kotyuk

The system of the taken the temperature of the most warmed up of the windings points of the power transformer on the basis of fibre-optical sensor is offered in the Article

Keywords: sensor, temperature, optical fibre.