

КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ ОБМОТОК ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПУТЕМ ОДНОСТУПЕНЧАТОГО ДЕФЕКТОГРАФИРОВАНИЯ

И.А. Кавун

Томский политехнический университет

ИШЭ, группа А1-42

Электрическая прочность изоляции обмоток – необходимое условие устойчивой работы силового трансформатора. Это невозможно реализовать без надежных и чувствительных технологий контроля состояния [1]. Соответствующая технология контроля механического состояния обмоток трансформатора была предложена в 1966 году. Принцип метода заключался в применении стандартного зондирующего импульса (1.2/50 мкс при амплитуде 500-1000 В) на одну из обмоток, остальные обмотки, реагирующие на зондирующий импульс, замыкались накоротко. Отклик представляет собой сигнал, соответствующий переходному процессу. Сначала необходимо снять нормограмму, это ответ от обмотки рабочего трансформатора. Сравнения начальных нормограмм и откликов (дефектограмм) позволяют сделать вывод о состоянии обмотки, разница которых представляет проблему в обмотках. Данный метод получил название метод низковольтных импульсов (НВИ) [2].

Далее для повышения точности контроля метод НВИ был модифицирован и преобразован в метод измерения амплитудно-частотных характеристик. Принцип амплитудно-частотного метода заключается в следующем: измерение амплитудно-частотной характеристики от одной из обмоток трансформатора при подаче на другую обмотку синусоидального сигнала с амплитудой около 10 В различных частот [3-5]. Затем амплитудно-частотные характеристики сравниваются с нормограммами, полученными на исправном трансформаторе. Данный метод позволяет избежать сильного влияния параметров схемы на результаты измерений. В настоящее время этот метод называется методом частотно-частотного анализа или технологией (FRA). Частоты данного метода для диагностики высоковольтных трансформаторов находятся в диапазоне от 1 Гц до 2,5 МГц.

Методы НВИ и FRA не всегда обеспечивают точную диагностику и иногда имеют низкую чувствительность. Считается, что это происходит из-за достаточно узкого частотного диапазона зондирующих сигналов. Стандартный зондирующий импульс имеет максимальную частоту около 500 кГц, метод FRA - 2,5 МГц. Метод контроля состояния активных частей высоковольтного трансформатора путем одноступенчатого дефектографирования заключается в повышении эффективности метода НВИ с помощью зондирующего импульса в диапазоне частот до 50 МГц.

Данный метод можно реализовать, применив к одному из трансформаторов обмотки зондирующего импульса амплитудой 300 В с малой длительностью фронта и длительностью импульса на уровне 250 нс [6,7]. Короткий зондирующий импульс - способ повысить чувствительность диагностической процедуры. Но необходимо проводить испытания как на модельном, так и на реальном

трансформаторе, чтобы определить оптимальные параметры зондирующего импульса и извлечь максимальную эффективность метода.

Схема контроля состояния обмоток выполняется следующим образом. На ввод одной из обмоток предварительно расширенного трансформатора подавался зондирующий прямоугольный импульс амплитудой 300 В и длительностью 250 нс с крутым фронтом. С ввода другой обмотки сигнал не регистрируется. Вывод о состоянии обмотки делается не только на основе анализа формы, длительности сигнала отклика, который представляет собой зондирующий импульс, поданный на вход обследуемой обмотки.

Схема подключения генератора зондирующих импульсов, электронных осциллографов для контроля формы и параметров зондирующего импульса на выходе генератора, на входе в обмотку приведена на рис. 1. Обследуемый трансформатор ТМ-10/0,4-У1.

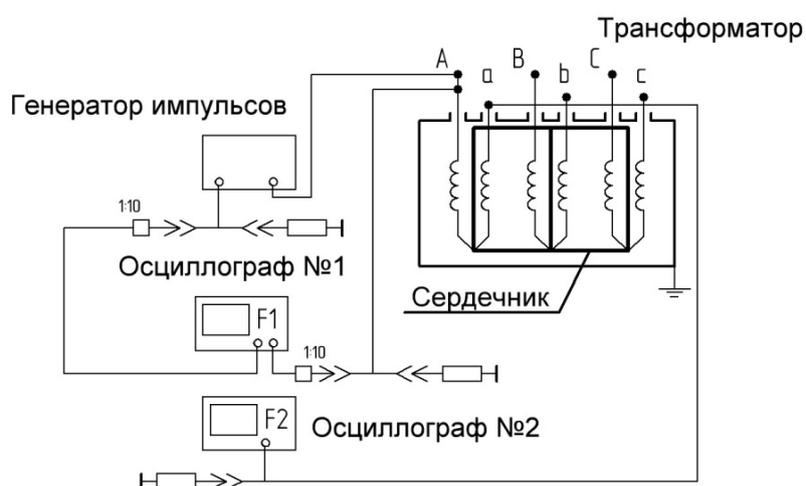


Рис. 1. Схема обследования трансформатора

На все обмотки подавался импульс длительностью 250 нс. Принцип предложенного метода состоит в анализе только зондирующего импульса, что кардинально отличается от классической схемы стандартного НВИ. Для постановки диагноза необходимо произвести разложение импульса, прошедшего через обследуемую обмотку в ряд Фурье с целью получения частотного спектра импульсного сигнала.

Приведем последовательность обработки результатов импульсных измерений по одноступенчатой схеме для высоковольтного силового трансформатора. Для получения спектра нужно подготовить файлы, полученные при регистрации импульсных сигналов электронным осциллографом с помощью программы Mathcad. Далее используется дискретное преобразование Фурье.

$$S1_n = \frac{1}{N} \cdot \left(\sum_{k=0}^{N-1} ((S^{(1)})_k \cdot e^{-j2 \cdot \pi \cdot \frac{n}{N} \cdot k}) \right) \quad (1)$$

где S – присвоенный символ файла со значениями сигнала (ЗИ);

N – число дискретных значений сигнала ($N = 2499$);

k – временной индекс входных отсчетов ($k = 0..N - 1$);

n – необходимое число гармоник ($n = 0..150$).

После разложения в спектр, нужно найти отношение спектра отклика и зондирующего импульса (ЗИ):

$$Z2_n = \frac{|R1_n|}{|S1_n|} \quad (2)$$

где R1 – спектр отклика ЗИ.

С помощью этих выражений строятся графики отношений сигналов отклика. Далее сравниваются спектры импульсных сигналов текущего и предыдущего измерений.

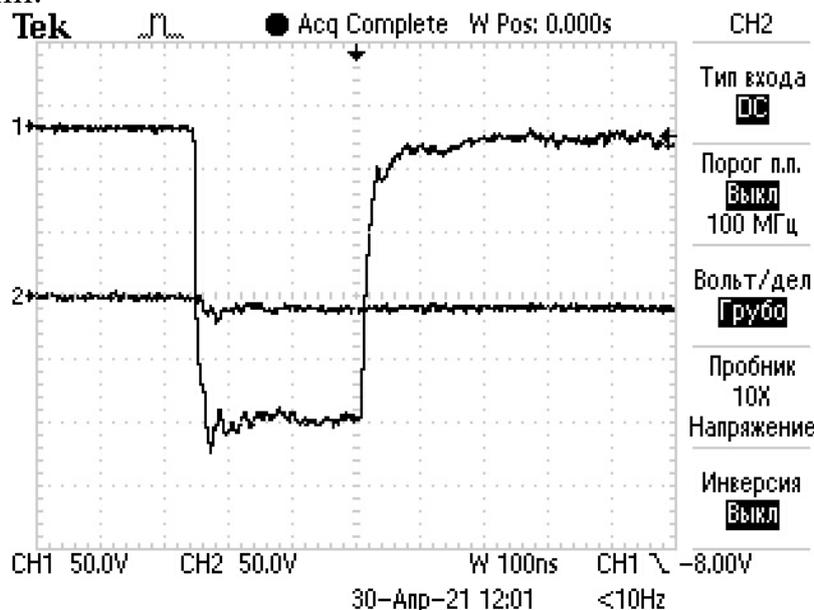


Рис. 2. Осциллограмма импульса на входе в обследуемую обмотку

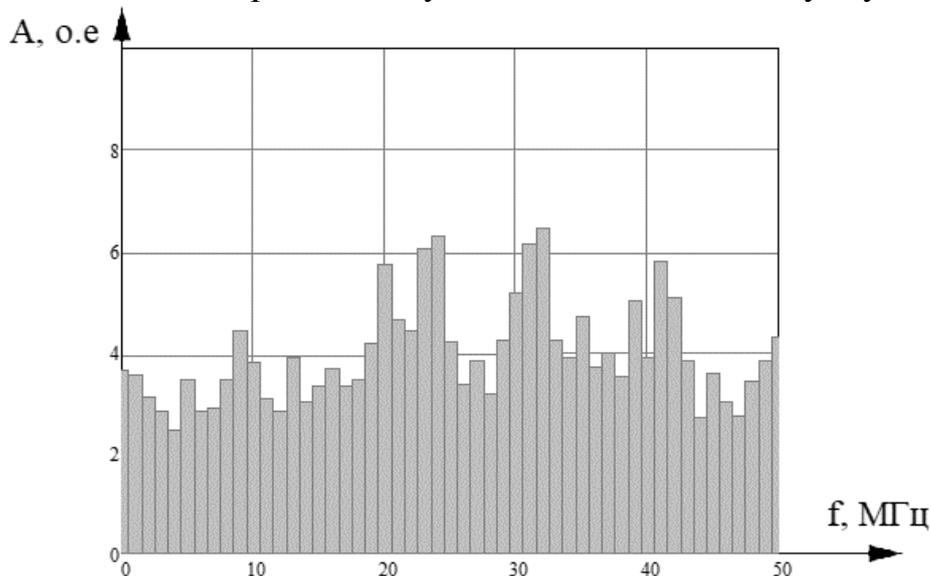


Рис. 3. Отношение спектров импульсных сигналов

Как видно из представленного спектра, возрастание амплитуды отношения сигналов до уровня 5,7 – 6,3 в диапазоне частот 20 – 40 МГц, свидетельствует о наличии дефекта. Данная картина наблюдалась в обмотке фазы А, в то время как спектры для остальных обмоток, как высоковольтной, так и низковольтной частей, не содержали спектров с амплитудами, превышающими значение 1,2 – 1,5, что находится в пределах погрешности измерений.

Для более точного определения наличия дефекта возможно увеличения количества гармоник в спектре.

После разборки трансформатора выяснилось, что дефектом является замыкание витков высоковольтной обмотки фазы В, возникшего в результате деградации витковой изоляции.

Таким образом метод одноступенчатого дефектографирования оказался достаточно эффективен для выявления дефектов обмоток высоковольтных силовых трансформаторов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Хренников А.Ю. Опыт обнаружения остаточных деформаций обмоток силовых трансформаторов // Энергетик – 2003. – № 7. – С. 18–20.
2. Лех В., Тымински Л. Новый метод индикации повреждений при испытании трансформаторов на динамическую прочность // Электричество – 1966. – Т. 1. – № 1. – С. 77–81.
3. Хренников А.Ю., Киков О.М. Диагностика силовых трансформаторов в Самараэнерго методом низковольтных импульсов // Электрические станции – 2003. – № 11. – С. 49–51.
4. Аликин С.В., Дробышевский А.А., Левицкая Е.И., Филатова М.А. Диагностика обмоток силовых трансформаторов методом низковольтных импульсов // Электротехника – 1991. – № 12. – С. 30–35.
5. Хренников А.Ю., Киков О.М. Диагностика силовых трансформаторов в Самараэнерго методом низковольтных импульсов // Электрические станции – 2003. – № 11. – С. 49–51.
6. Lavrinovich V.A, Mytnikov A.V. Development of pulsed method for diagnostics of transformer windings based on short probe impulse // IEEE Translation on Dielectric Electrical Insulation – 2015. – V. 22. – N. 4. – p. 2041–2045.
7. Lavrinovich V.A, Mytnikov A.V, Hongda Li. Advanced technology of transformer winding condition control based on nanosecond probing impulse // Resource-Efficient Technologies – 2016. – V. 2. – N. 3. – p. 111–117.

Научный руководитель: А.В. Мытников, к.т.н., доцент ОЭЭ ИШЭ ТПУ.

АНАЛИЗ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТИПА НЦ

В.Д. Лощенков¹, Н.М. Космынина²
Томский политехнический университет^{1,2}
ОЭЭ, ИШЭ^{1,2}, группа 5А8Б¹

Продолжительность работы силовых трансформаторов в нормальном безаварийном режиме во многом зависит от такого параметра, как температура. Соблюдение температурного режима обеспечивает система охлаждения