

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Инженерная школа энергетики

Отделение электроэнергетики и электротехники

**Лабораторная работа по дисциплине**

**«Диагностика и эксплуатация высоковольтного оборудования»**

***«Диагностика витковой изоляции высоковольтного  
трансформатора путем импульсного  
дефектографирования»***

Томск 2023

**Цель работы:** Провести исследование состояния обмоток трансформатора при помощи метода низковольтных импульсов (НВИ). Экспериментальным путем ознакомиться с технологией импульсного дефектографирования.

### **Краткие теоретические сведения.**

*Импульсное дефектографирование* (ИД) представляет собой технологию контроля состояния обмоток трансформаторного оборудования. Технология ИД создана на базе метода низковольтных импульсов (НВИ), разработанный в 1966 г., в Варшавском Техническом Университете польскими учеными-электротехниками Лехом и Тымински. За прошедшее время дефектографирование методом НВИ стало неотъемлемой частью диагностики и ремонта оборудования электростанций, распределительных сетей и подстанций.

Суть метода НВИ состоит в том, что от специального генератора на одну из обмоток (или в нейтраль) трансформатора подается прямоугольный зондирующий импульс низкого напряжения (100–500 В) и одновременно осциллографируются реакции обмоток на воздействие этого импульса – напряжения на измерительных сопротивлениях, подключенных к другим обмоткам. В основе метода заложен принцип последовательного дефектографирования. То есть сначала при первичном дефектографировании на трансформаторе снимаются нормограммы, которые в дальнейшем будут сравниваться с дефектограммами – осциллограммами, полученными при последующих измерениях. Сравнение по определенной методике нормограмм и дефектограмм позволяет оценить состояние обмоток трансформатора. Изменения в дефектограмме по сравнению с нормограммой свидетельствуют о появлении электрических повреждений или механических деформаций. При отсутствии результатов первичного дефектографирования анализ состояния обмоток проводится путем сравнения разных фаз.

С помощью данного метода можно определять следующие виды дефектов обмоток трансформатора:

- осевые остаточные деформации;
- радиальные остаточные деформации;
- полегание обмоточного провода под действием электродинамических сил;
- скручивание или раскручивание обмоток (это и не осевые, и не радиальные остаточные деформации; геометрия обмотки по высоте не изменяется, радиальный ее размер также остается неизменным);
- распрессовка обмоток (следует рассматривать как частный случай изменения осевых размеров обмотки под действием токов КЗ или вибрации в процессе длительной эксплуатации);
- повреждение прессующей системы обмоток и распушение верхних витков (частный случай потери осевой устойчивости);
- витковые замыкания [1,2].

Достоинства НВИ:

- 1) Обладает хорошей чувствительностью;
- 2) Отличие от традиционных методов, тем, что НВИ может определить почти все виды деформаций в трансформаторе и позволяет определить повреждения до их появления;

Недостатки НВИ:

- 1) При постановке диагноза предположительного повреждения по результатам НВИ необходимо использовать накопленный опыт дефектографирования и каталог повреждений силовых трансформаторов, составленный по результатам электродинамических испытаний;
- 2) Требуется производить отключение исследуемого оборудования;

- 3) Возможна лишь качественная оценка деформаций и не всегда удастся с полной уверенностью интерпретировать изменения в кривых НВИ

### Ход работы:

В данной работе опыт проводился на модели трансформатора напряжения 20/0,4 кВ, с выведенными на панель корпуса прибора отпайками (рис. 1 цифра 2). Зондирующий импульс длительностью 520 – 60 нс подается на сторону ВН от импульсного генератора, собранного на базе схемы Введенского (Рис.1. цифра 4). На выводах фазы регистрировался отклик, как при разном количестве замкнутых витков.

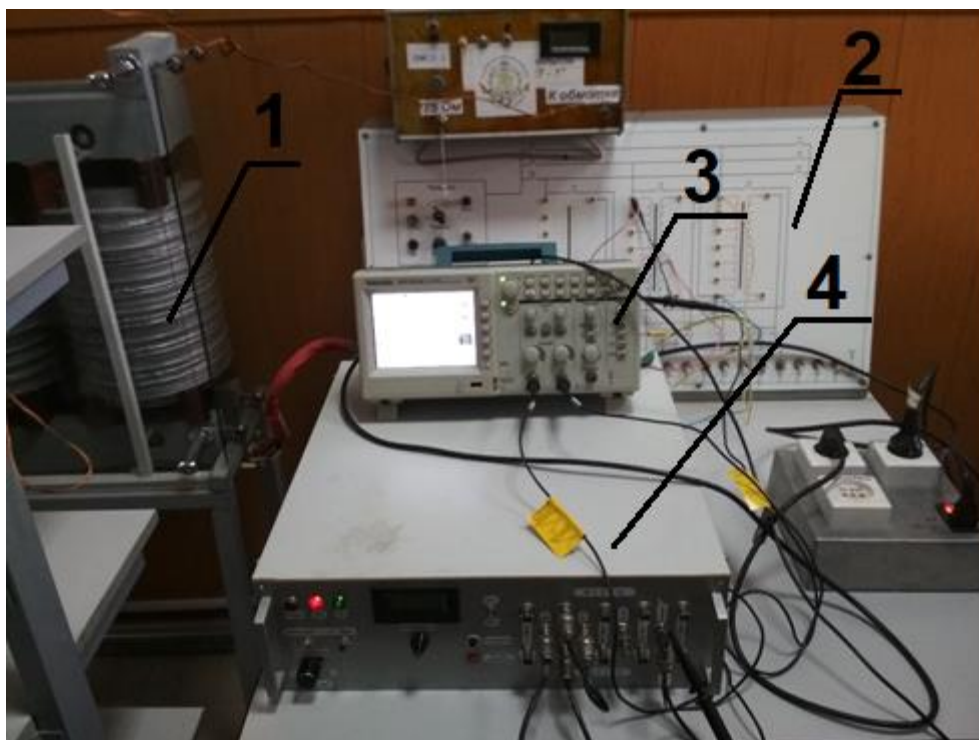


Рисунок 1 – Общий вид установки (1-исследуемый трансформатор, 2-стенд с выводами обмоток трансформатора, 3- осциллограф, 4- импульсный генератор)

## Пример результатов измерений:

Измерительный прибор подключен к фазе А:

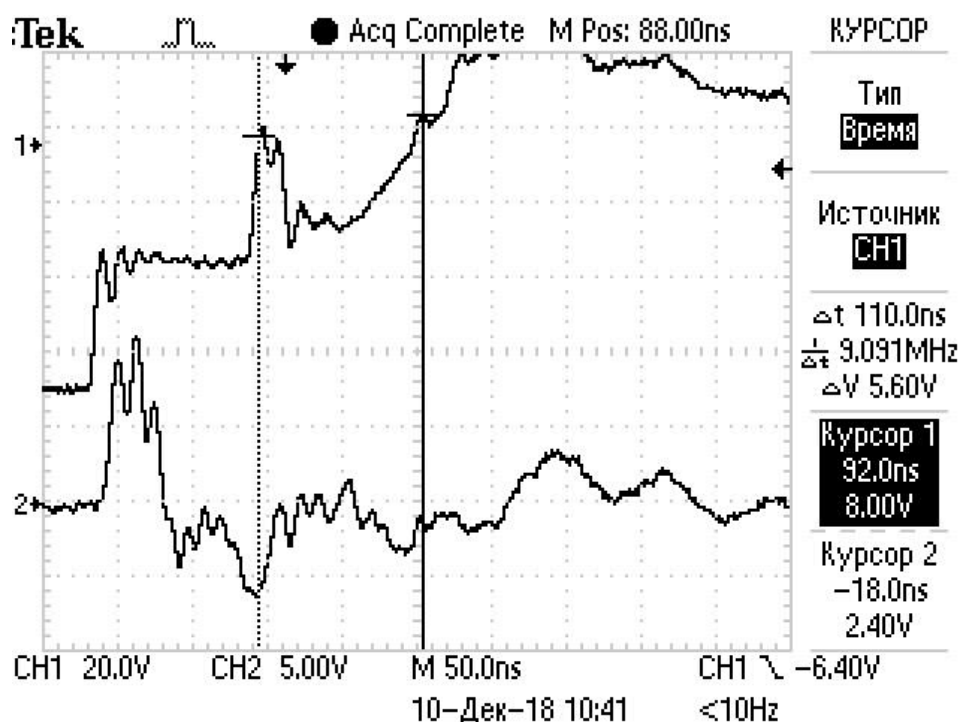


Рисунок 2 – Подача напряжения на сторону НН фазы А, замыкание 1/6 обмотки ВН фазы А

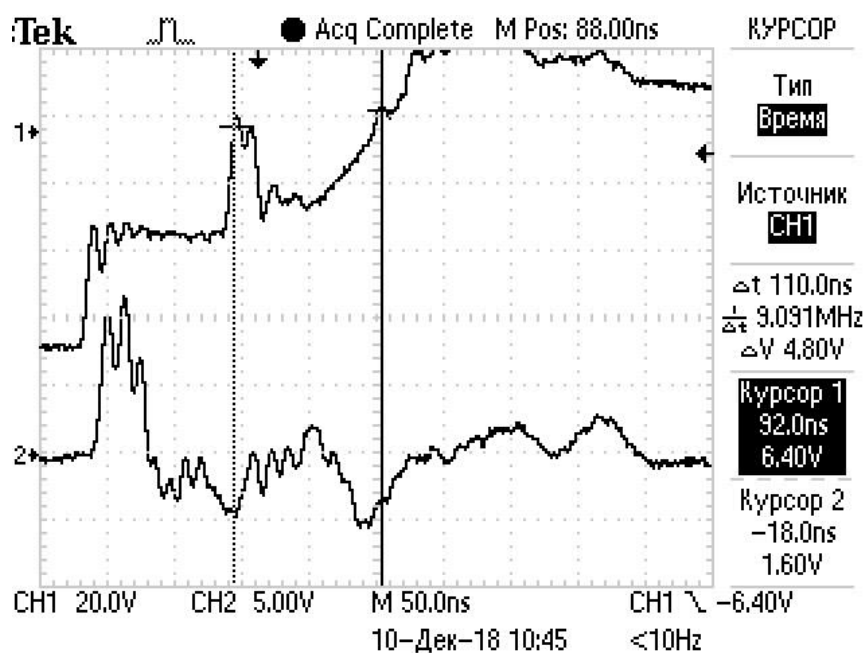


Рисунок 3 – Подача напряжения на сторону НН фазы А, замыкание 3/6 обмотки ВН фазы А

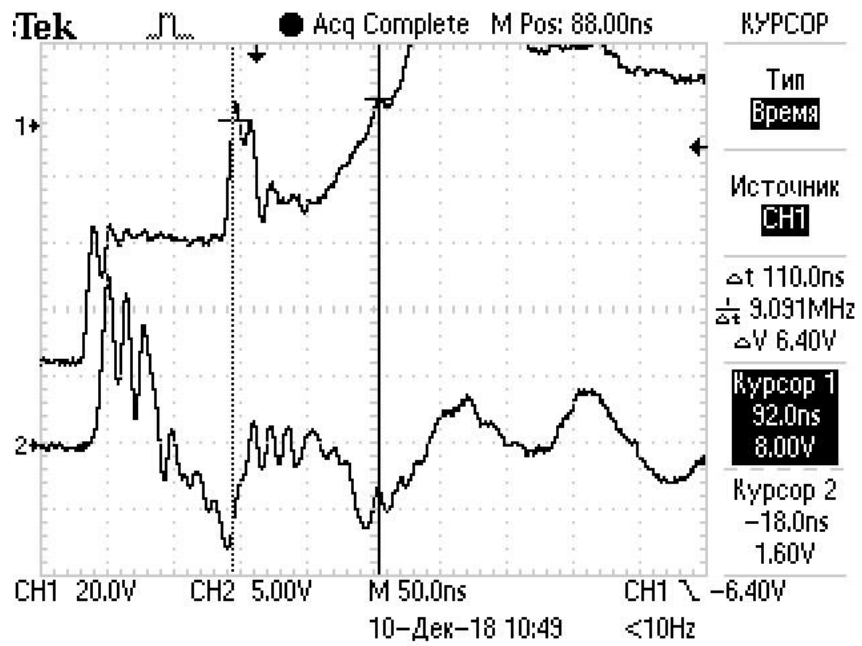


Рисунок 4 – Подача напряжения на сторону НН фазы А, полное замыкание обмотки ВН фазы А

Как видно из осциллограмм, визуально отличить степень дефекта в трансформаторе трудно. Для этого, построим сигналы откликов для разных дефектов на одном графике и сравним их.

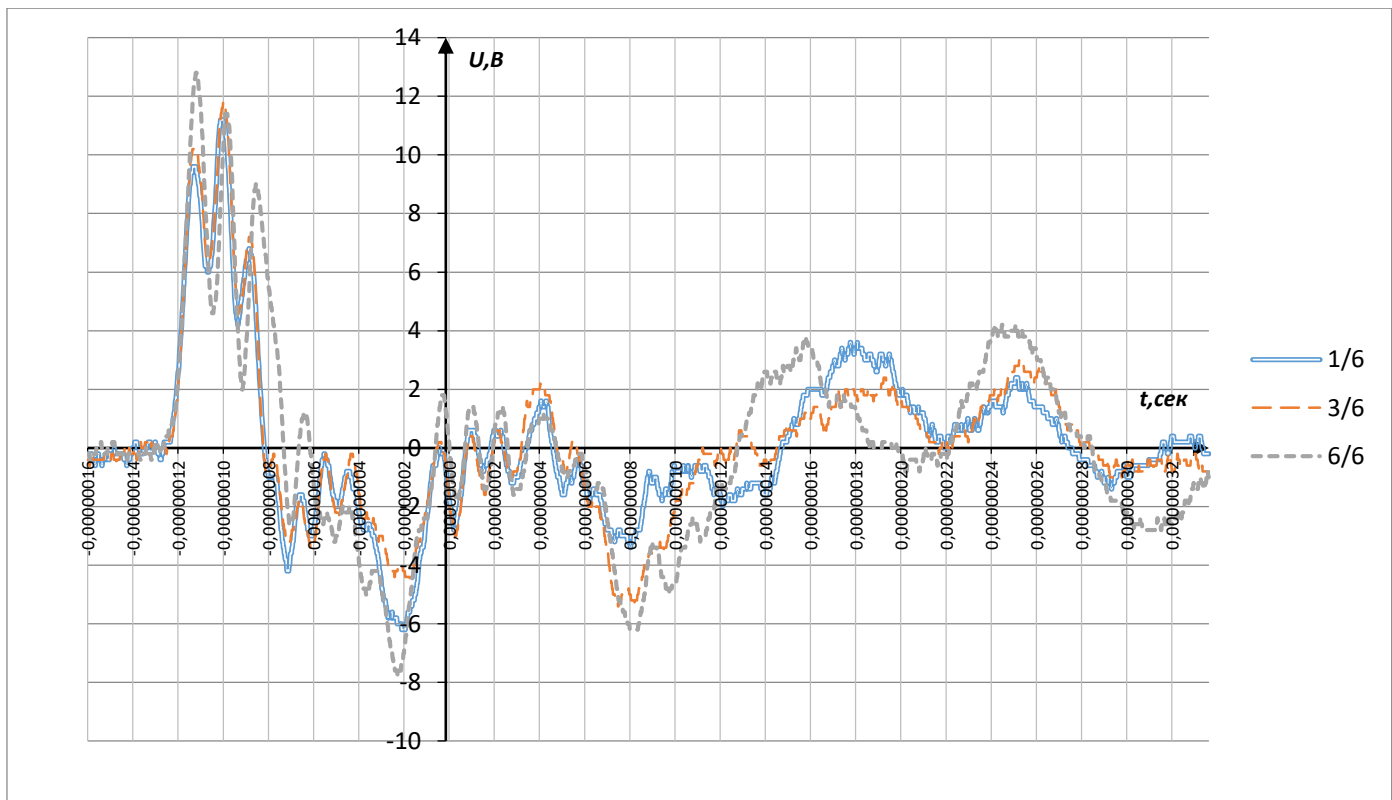


Рисунок 5 – Осциллограммы откликов для разных видов дефектов трансформатора

Из рисунка 5 можно увидеть, что при моделировании различных дефектов, осциллограммы откликов имеют разную амплитуду, то есть чем сильнее дефект, тем амплитуда отклика больше.

### **Заключение должно содержать:**

все стадии экспериментального исследования метода НВИ для определения контроля состояния обмоток трансформатора, а также основное оборудование для реализации данного метода.

Должны быть приведены схемы подачи зондирующего импульса, в и регистрации отклика, а также виды и место локализации дефекта.

Для более детального изучения дефекта, можно произвести анализ частотных характеристик. Для этого, с помощью специальных программ, построить амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) для каждого вида дефекта. С помощью АЧХ можно определить резонансные частоты (резкое увеличение амплитуды на определенной частоте) которые, будут гарантированно свидетельствовать о наличии дефекта обмотки.

### **Список литературы**

1. W. Lekh, L. Tyminskiy, “New Method of Damage Reveal at the Transformer Test on Dynamic Durability”, *Electrichestvo*, No. 1, pp.77-81, 1966.
2. V.Avetisov, E.Levitsckaya, B. Popov, “Pulsed Defect Detection of Transformers at the Tests for Electrodynamic Strength”, *Electrotechnika*, No. 4, pp. 53-57, 1978.
3. Методика проведения испытаний силовых трансформаторов [Электронный ресурс] // ОЛИМП. URL: <http://www.olimp02.ru/doc/metodika-ispytaniya-silovyh-transformatorov-6-10-kv.pdf>
4. Львов М.Ю., Львов Ю.Н., Дементьев Ю.А., Антипов К.М., Сурба А.С., Шейко П.А., Неклепаев Б.Н., Шифрин Л.Н., Кассихин С.Д., Славинский

- А.З., Сипилкин К.Г. О надежности силовых трансформаторов и автотрансформаторов электрических сетей. — Электрические станции, 2005, № 11.
5. M. Baranski, A. Decner, A. Polak, Selected diagnostic methods of electrical machines operating in industrial conditions, *IEEE Trans Dielectr Electr Insul* 21 (5) (2014) 2047-2054.
  6. S.E. Pandarakone, Y. Mizuno, H. Nakamura, Frequency spectrum investigation and analytical diagnosis method for turn-to-turn short-circuit insulation failure in stator winding of low voltage induction motor, *IEEE Trans Dielectr Electr Insul* 23 (6) (2016) 3249-3255.
  7. V.A. Lavrinovich, A.V. Mytnikov, Development of pulsed method for diagnostics of transformer windings based on short probe impulse, *IEEE Trans Dielectr Electr Insul* 22 (4) (2015) 2041-2045.
  8. V.A. Lavrinovich, A.V. Mytnikov, Hongda Li, Advanced technology of transformer winding condition control based on nanosecond probing impulse, *Resource-Efficient Technologies*, 2 (3) (2016) 111–117.