

Таким образом, достигается декомпозиция сигнала в  $n$ -эмпирическом приближении:

$$y(k) = \sum_{i=1}^n c_i(k) + r_n(k) \quad (5)$$

5. Выполняется преобразования Гильберта на каждой компоненте IMF. Это преобразование позволяет выделить такие признаки, характеризующие сигнал, как мгновенные частоты и амплитуды каждой моды.

Таким образом, предложенный частотно-временной анализ не требует априорно заданного функционального базиса преобразования, что позволяет более эффективно выявить внутренние особенности виброакустических сигналов.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Павлов А.Н., Филатова А.Е. и др. Анализ и диагностика многокомпонентных сигналов сейсмограмм с использованием преобразования Гильберта-Хуанга // Вестник ТГУ, т.17, вып. 4, 2012. - С. 1122-1124
2. Сафиуллин Н.Т. Разработка методики анализа временных рядов с помощью преобразования Хуанга-Гильберта: Кандидатская диссертация / Новосибирск, 2015. – 193 с.
3. Norden E. Huang, Samuel S.P. Shen. The Hilbert-Huang transform and its applications // World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2005. -325 p.

Научный руководитель: А.Р. Загретдинов, к.т.н., ст. преподаватель, Казанский государственный энергетический университет.

#### **АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ ОСЦИЛЛОГРАММ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА С ЦЕЛЬЮ ЕГО ДИАГНОСТИКИ**

А.А. Будько<sup>1</sup>, О.В. Васильева<sup>2</sup>, А.В. Лавринович<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Томский политехнический университет

ЭНИН, ЭСиЭ, <sup>1</sup>группа 5А2Г

<sup>3</sup>Институт сильноточной электроники СО РАН

#### **Аннотация**

В работе рассматривается алгоритм цифровой обработки осциллограмм силового трансформатора, позволяющий оперативно исследовать состояние его обмоток с учетом различного вида и степени по-

вреждений. Исследование осуществлялось в средах MathCAD с помощью дискретного преобразования Фурье и Lab View с помощью разработанной программы. Эффективность разработанного алгоритма продемонстрирована на примере осциллограмм «здорового» и дефектного трансформаторов при обследовании их методом наносекундных импульсов.

### **Введение**

Среди причин дефектов обмоток силового трансформатора основной является электродинамическое воздействие токов короткого замыкания, приводящее к смещению витков в обмотках [1]. При различной степени деформаций изменяются емкости и порой индуктивности деформированных элементов. Следствием этого служит отклонение собственных частот колебаний, приводящих к изменению в осциллограммах импульсных токов и напряжений [2]. По этой причине разработка алгоритма обработки данных силового трансформатора с целью его диагностики – актуальная задача.

### **Методика**

На рисунке 1 представлена блок-схема алгоритма обработки осциллограмм силового трансформатора. Исходные данные, снятые с силового трансформатора, загружаются и обрабатываются с помощью программного продукта Microsoft Excel. Затем отфильтрованные значения исходных данных приводятся в графическую форму посредством программной среды Lab View. На конечном этапе, графическое изображение проходит ряд математических преобразований в системе MathCad. В результате всех вышеперечисленных операций, на выходе получаем относительное отклонение спектров амплитуд.

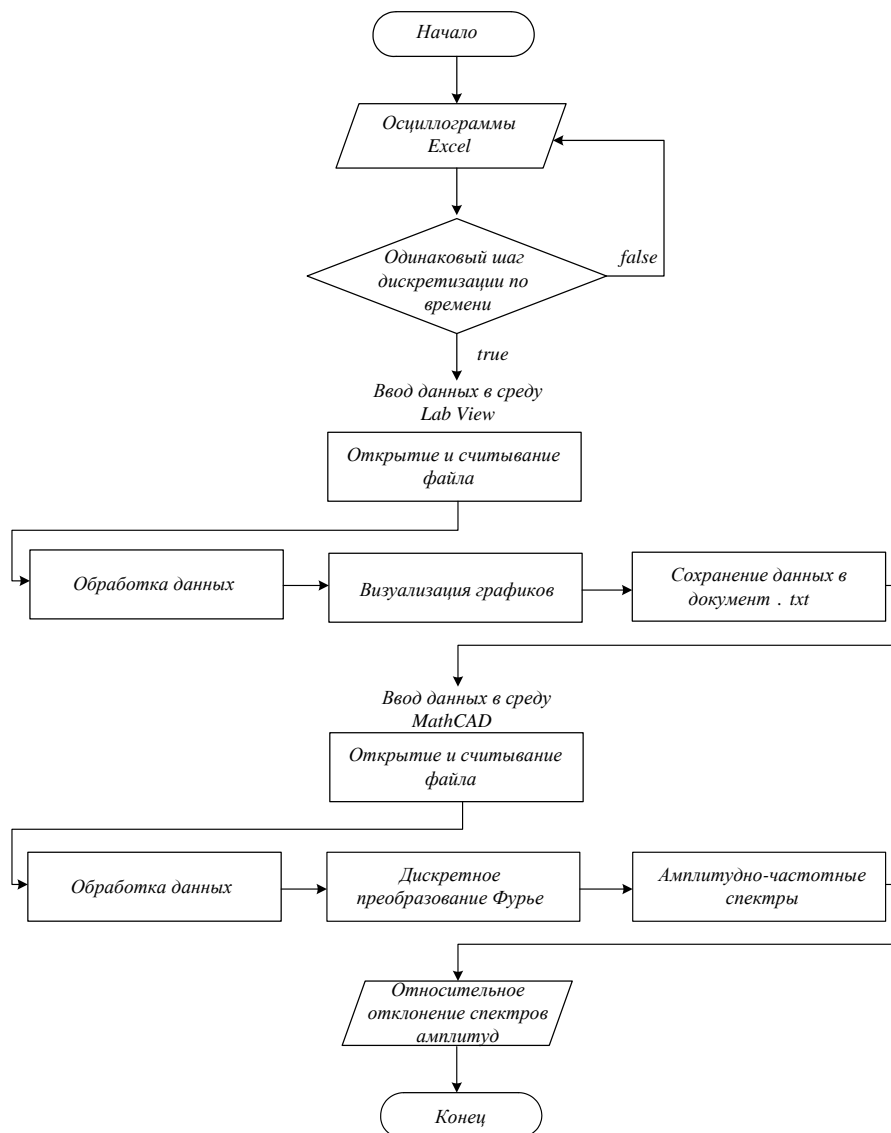


Рис. 1. Блок-схема алгоритма обработки осциллограмм  
**Экспериментальная часть.**

На рисунке 2 представлена визуализация импульсов в среде Lab View.

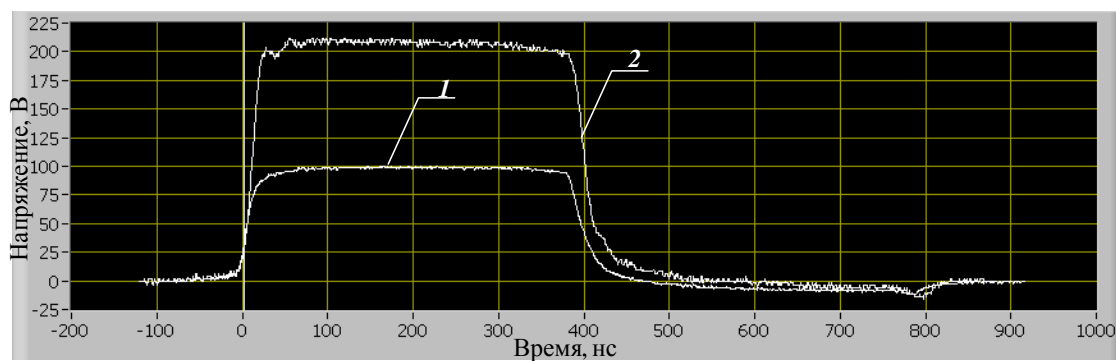


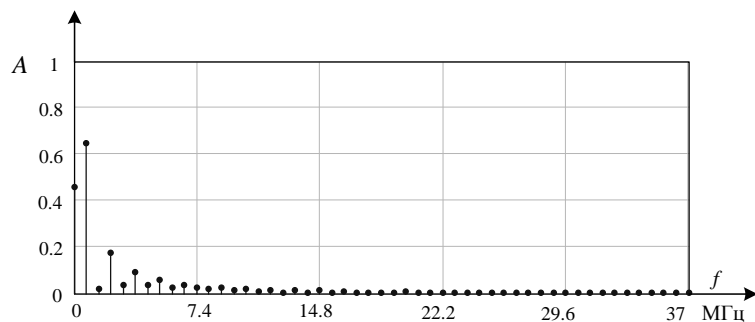
Рис. 2. Визуализация импульсов

В качестве осциллограммы 1 (рис.2) приведено напряжение при подключении на выходе генератора  $R=50$  Ом на «здоровом» трансформаторе, в качестве осциллограммы 2 (рис.2) – дефектный трансформатор с коротким замыканием (КЗ) шести витков (отпайки 01-02-03).

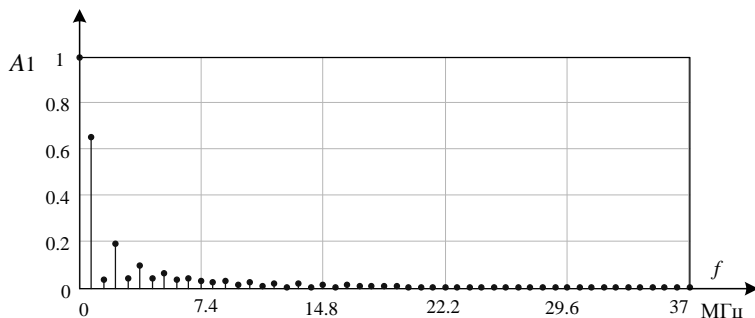
Посредством стандартной программы MathCAD импульс раскладывался на составляющие (рис.3) ряда Фурье  $F$  [3]:

$$F=FFT(U), \quad (1)$$

где  $U$  – мгновенное значение напряжения на согласованной нагрузке на выходе генератора.



а



б

Рис. 3. Амплитудно-частотные характеристики: а) «здоровый» трансформатор; б) дефектный трансформатор с КЗ

Наглядно амплитудно-частотные характеристики не сильно отличаются друг от друга. Вследствие чего, нами предложено, используя (1), сопоставлять друг с другом спектры амплитуд импульсов в форме относительного отклонения спектров (2).

Относительное отклонение спектров амплитуд импульсов  $\Delta A_j$  в относительных единицах (о. е.):

$$\Delta A_j = \frac{A_j}{A_{1j}}, \quad (2)$$

где  $A_j$  и  $A_{1j}$  – спектры амплитуд «здорового» и дефектного трансформаторов соответственно.

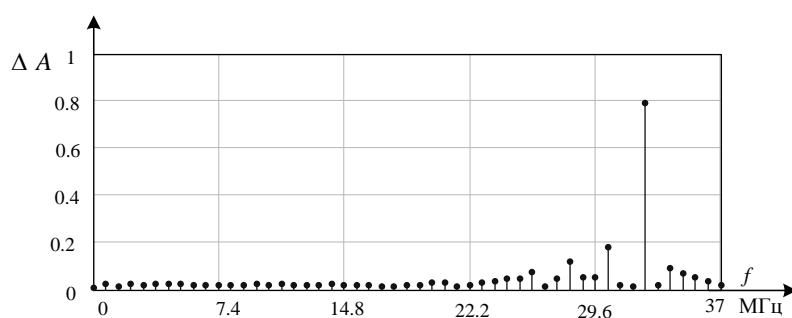


Рис. 4. Результат сравнения осциллограмм в виде относительного отклонения спектров амплитуд

Из рисунка 4 можно сделать вывод о преобладании высокочастотных составляющих, что наглядно демонстрирует пик до 0,8 в о.е. Данный факт говорит о явных повреждениях в обмотках трансформатора, в частности КЗ между витками, что в системе наблюдается резонанс.

#### **Выводы.**

Таким образом, разработанный алгоритм позволяет существенно увеличить скорость считывания и сравнения осциллограмм при мониторинге трансформаторов методом наносекундных импульсов. Представлена визуализация осциллограмм и методика, которая позволяет производить сравнение сигналов с помощью математического представления в ряд Фурье и соотношения в относительных величинах спектров начальных импульсов.

#### **ЛИТЕРАТУРА:**

1. Введенский Ю.В. Тиратронный генератор наносекундных импульсов с универсальным выходом // Известия вузов СССР. Радиотехника. – 1959. – №2. – С. 249–251.
2. Lavrinovich V.A., Lavrinovich A.V., Mytnikov A.V. Development of advanced control state technology of transformer and electric motor windings based on pulsed method // International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering. – Dec. 2012, Is. 13, V. 4, № 4. – P. 149–153.
3. Vasiljeva O.V. , Budko A.A. , Lavrinovich A.V. , Filkov A.I. Study of nanosecond pulse switches for low voltage generator for diagnosis of power transformers // Mechanical Engineering, Automation and Control Systems: Proceedings of International Conference. – Oct. 16–18, 2014. – Tomsk: TPU Publishing House, 2014. – P. 1–4.

Научный руководитель: О.В. Васильева, к.т.н., доцент каф. ЭСиЭ ЭНИН ТПУ.