

ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА ОСЦИЛЛОГРАММ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДИАГНОСТИКИ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА В СРЕДЕ LAB VIEW

Васильева О.В.¹, Лавринович А.В.²

¹ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ» («Национальный исследовательский Томский политехнический университет»), Томск, Россия (634050, г. Томск, пр. Ленина, 30), e-mail: vasileva.o.v@mail.ru

²Институт сильноточной электроники СО РАН, Томск, Россия (634055, г. Томск, пр. Академический, 2/3)

Работа посвящена разработке программы цифровой обработки данных, полученных при испытании силового трансформатора методом наносекундных импульсов с расширением *.csv. Программирование осуществлялось в среде Lab View. Рассматривается пошаговое описание работы с программой, преимущества разработанной программы и результаты. В сравнении с программой представлен способ обработки данных в среде MathCAD. Неудобство пользования MathCAD для данной обработки заключается в необходимости предварительной ручной обработки исходных файлов с расширением *.csv, полученных с осциллографа, что удлиняет время обработки экспериментальных данных и требует владения программой MathCAD. Условием работы программы, разработанной в Lab View, является одинаковый шаг дискретизации по времени обрабатываемых сигналов. Визуализация осциллограмм осуществляется путем введения исходных файлов с расширением *.csv в соответствующее окно программы и нажатия кнопки пуск. Обработка осциллограмм позволяет уравнивать начальное время обрабатываемых импульсов, имеющих произвольный сдвиг друг относительно друга, и получать разность обработанных осциллограмм в отдельном окне. В работе также приводится описание процедуры сохранения обработанных цифровых данных и получение графиков импульсов с наименованием осей абсцисс и ординат.

Ключевые слова: программирование, цифровая обработка, силовой трансформатор, Lab View, наносекундные импульсы, осциллограф, интерфейс, разность импульсов, шаг, количество строк, сдвиг по времени.

DIGITAL PROCESSING OF OSCILLOGRAMS BY RESULTS OF DIAGNOSTICS OF THE POWER TRANSFORMER IN THE ENVIRONMENT OF LAB VIEW

Vasileva O.V.¹, Lavrinovich A.V.²

¹National research Tomsk polytechnic university, Tomsk, Russia (634050, Tomsk, Lenin prospect, 30), e-mail: vasileva.o.v@mail.ru

²Institute of high-current electronics of RUSSIAN ACADEMY of SCIENCES, Tomsk, Russia (634055, Tomsk, Academic, 2/3)

Work is devoted to development of the program of the digital data processing, received at test of the power transformer by a method of nanosecond impulses with the *.csv expansion. Programming was carried out in the environment of Lab View. The step-by-step description of work with the program, advantages of the developed program and results is considered. The way of data processing is presented to comparison with the program in the environment of MathCAD. Inconvenience of using of MathCAD for this processing is in need of preliminary manual processing of initial files with the *.csv expansion, received from an oscillograph that extends time of processing of experimental data and demands possession of the MathCAD program. Operating condition of the program developed in Lab View, the identical step of sampling of processed signals is. Visualization of oscillograms is carried out by introduction of initial files with the *.csv expansion in the corresponding window of the program and button pressing start-up. Processing of oscillograms allows to equalize initial time of the processed impulses having any shift from each other, and to receive a difference of the processed oscillograms in a separate window. The description of procedure of preservation of the processed figures and obtaining schedules of impulses also is provided in work with the name of abscissa axes and ordinates.

Keywords: programming, digital processing, the power transformer, Lab View, nanosecond impulses, oscillograph, the interface, difference of impulses, step, quantity of lines, shift on time.

Введение

В настоящее время в России и странах ближнего зарубежья значительная часть силовых трансформаторов 35 кВ и выше отработала нормативный срок службы. Поэтому для поддержания требуемой эксплуатационной надежности трансформаторов очень важным

является диагностический контроль и при необходимости проведение капитальных ремонтов. В случае несвоевременного ремонта возможен внезапный выход из строя трансформатора, что часто приводит к аварии с тяжелыми техническими и экономическими последствиями. Даже при очень небольших механических перемещениях в обмотках могут существенно меняться емкости отдельных витков обмотки друг относительно друга, а при существенных деформациях – и индуктивности деформированных витков. Это приводит к изменению собственных частот колебаний контуров, образованных отдельными витками, что проявляется в осциллограммах-откликах при диагностике обмоток импульсами наносекундной длительности [2].

Известен метод диагностики состояния обмоток силовых трансформаторов низковольтными импульсами микросекундной длительности, предложенный в 1966 г. [7]. В случае сдвига витков относительно друг друга, замыкания между отдельными витками, «выпучивания» витков в радиальном направлении, присоединения витков к корпусу трансформатора и т.п. импульс отклика меняется, что и позволяет судить о механическом состоянии обмоток [6].

В связи с этим встала задача разработать программу цифровой обработки данных, полученных при обследовании силового трансформатора методом наносекундных импульсов, с целью объективно выявлять отличия между импульсом-нормограммой и импульсом-откликом.

Методика

Для обработки экспериментальных данных и объективного сравнения получаемых импульсов между собой нами была применена программа Lab View [1]. Внешний вид интерфейса программы для обработки данных с осциллографа приведен на рис. 1.

В состав окна интерфейса входят следующие элементы:

- окно для выбора версии оцифровки осциллограмм, полученных с осциллографа типа Тектроникс (по умолчанию задана наиболее распространенная версия оцифровки осциллограмм с цифрами 22.01);
- окно для ввода осциллограмм из файла *.csv (Excel);
- окно для отображения исходных численных данных осциллограмм (времени и напряжения);
- окно для ввода шага по времени в секундах;
- окно для ввода количества строк, необходимых для уравнивания по времени обрабатываемой осциллограммы относительно эталонной;
- окно для отображения времени в наносекундах, на которое необходимо уравнивать обрабатываемую осциллограмму;

- окно для отображения обработанных численных данных осциллограмм (времени и напряжения);
- окно для внесения пути сохранения осциллограмм;
- окно для ввода координаты курсора;
- окно, отображающее разницу координат курсоров.

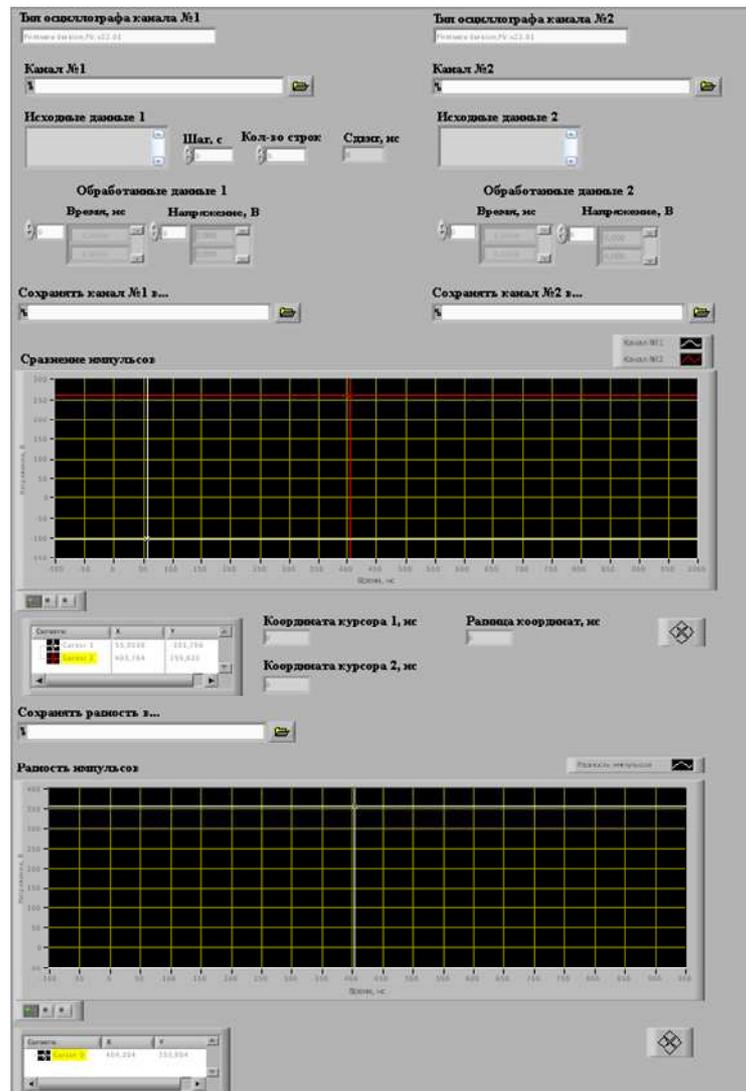


Рис. 1. Вид интерфейса программы «Считывание с осциллографа»

Обрабатываемые импульсы представляют собой сигналы-отклики, соответствующие переходному процессу, которые возникают в обмотках как реакция на воздействие зондирующего импульса.

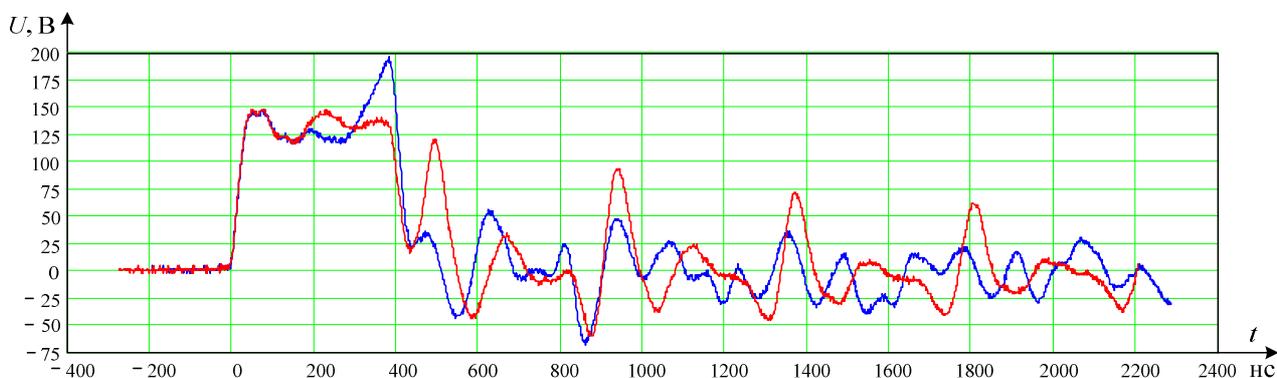
Суть работы программы состоит в сравнении в виде разности амплитудно-временных характеристик обмотки с так называемой нормограммой, снятой на «здоровом» трансформаторе.

Характер изменения импульса-отклика зависит от величины и характера деформаций.

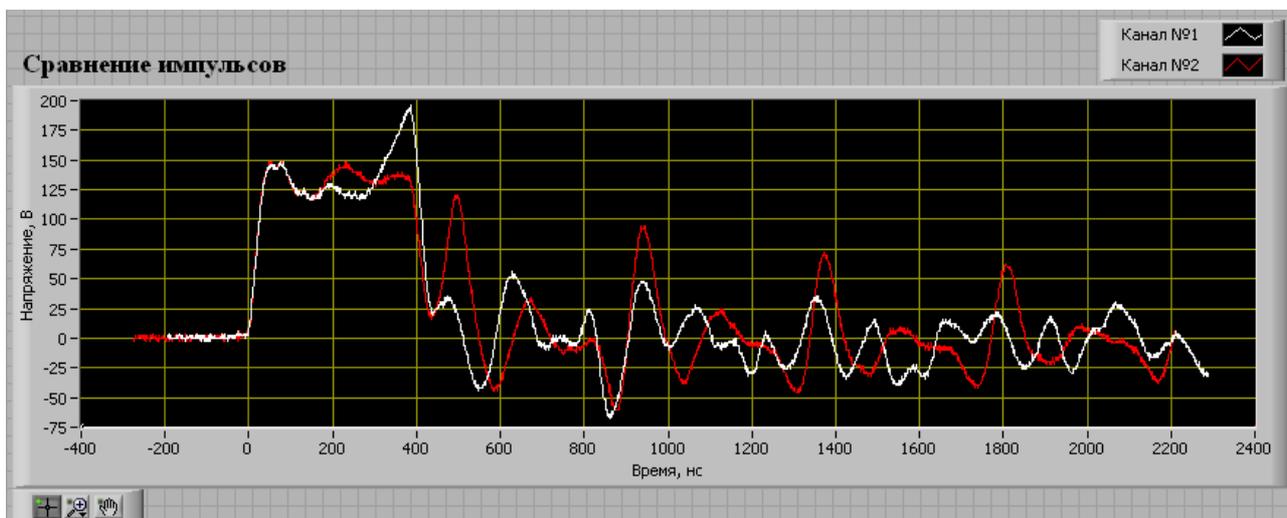
Экспериментальная часть

Эффективность разработанной программы продемонстрирована в сравнении с программой MathCAD (рис. 2а, 3а) на примере двух импульсов, полученных на согласованной нагрузке на выходе генератора [3].

Приведем описание работы с программами в двух средах разработки Lab View (рис. 2б, рис. 3б) и MathCAD [4; 5].



а



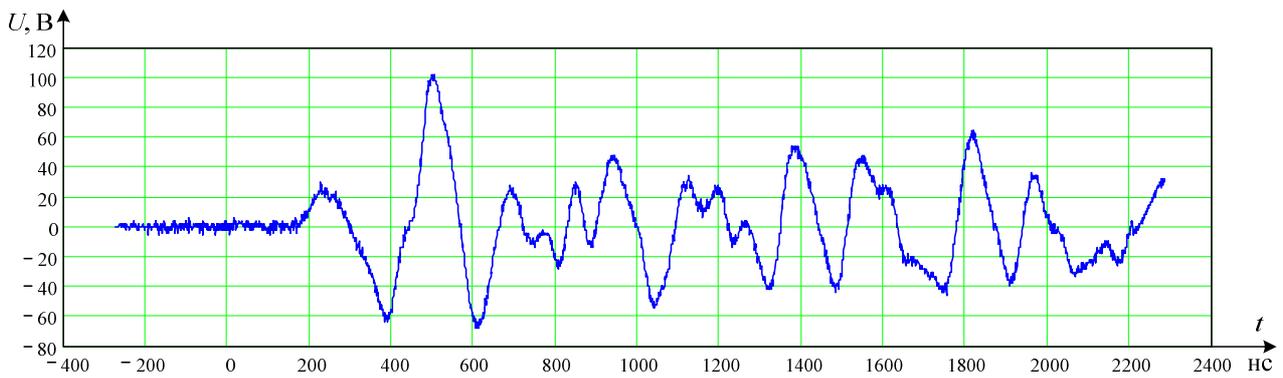
б

Рис. 2. Осциллограммы для обработки: а) в среде MathCAD; б) в среде Lab View

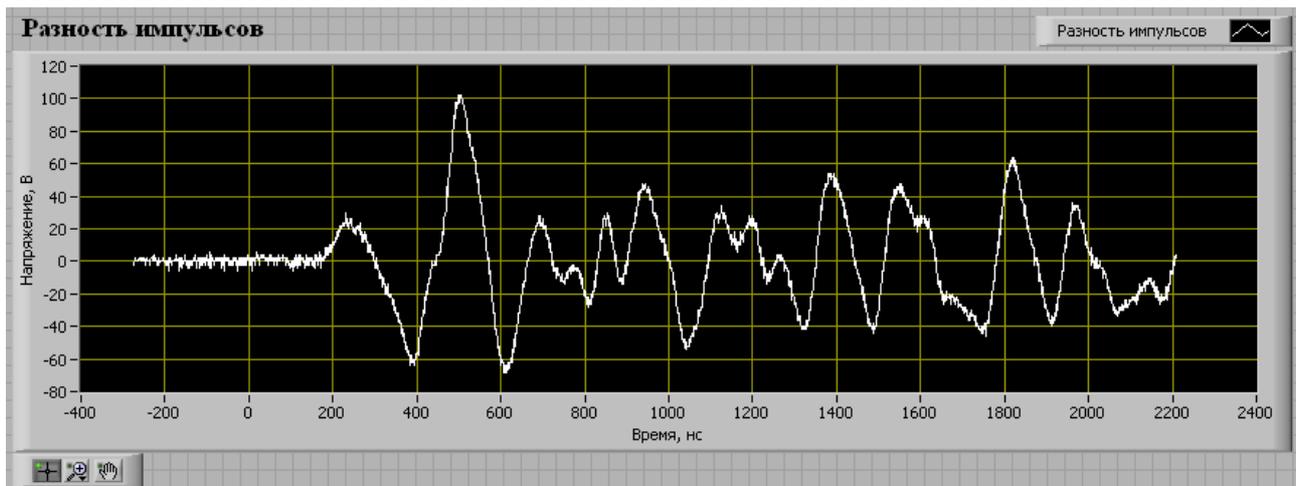
Для того чтобы построить сигналы в среде MathCAD, цифровые данные из документа Excel необходимо скопировать в текстовый документ *.txt. Перед этим в документе Excel все «,» нужно заменить на « » с помощью ctrl+F. Далее открыть документ MathCAD и построить графики сигналов (рис. 2а).

Для того чтобы построить сигналы в среде Lab View, необходимо ввести исходные файлы Excel в соответствующие окна программы и нажать кнопку «Пуск» (рис. 2б).

Далее можно приступить к обработке сигналов, чтобы сопоставить два сигнала между собой в виде разности импульсов (рис. 3).



а



б

Рис. 3. Результат разности двух импульсов: а) в среде MathCAD; б) в среде Lab View

Недостаток программы MathCAD для данной обработки в том, что необходимо дополнительно обработать данные текстового документа *.txt, а именно уравнивать начальное и конечное время обоих сигналов, где значения напряжений в добавленных строках принять равным «0». Причем требуется это делать вручную, что является весьма неудобным, если, например, требуется уравнивать большое количество строк.

В нашем примере начальное время первого сигнала равно $t_{10} = -192 \cdot 10^{-9} \text{ с}$, а второго – $t_{20} = -272 \cdot 10^{-9} \text{ с}$, соответственно конечное время первого сигнала равно $t_{1n} = 2289 \cdot 10^{-9} \text{ с}$, а второго – $t_{2n} = 2209 \cdot 10^{-9} \text{ с}$. Количество строк одинаково для обоих сигналов и равно $n = 2,482 \cdot 10^3$. Следовательно, чтобы вычесть два сигнала и посмотреть разность, необходимо к первому сигналу добавить начальное время $-272 \cdot 10^{-9} \leq t \leq -192 \cdot 10^{-9}$, а ко второму сигналу – конечное время $2209 \cdot 10^{-9} \leq t \leq 2289 \cdot 10^{-9}$ через равный шаг по времени $\Delta t = 1 \cdot 10^{-9} \text{ с}$, рассчитанный по формуле (1):

$$\Delta t = t_{11} - t_{10}, \quad (1)$$

где t_{11} - время второй строки сигнала 1, t_{10} - время первой строки сигнала 1.

Результат разности двух импульсов представлен на рисунке 3а.

В разработанной программе в поле «Канал № 1» требуется внести обрабатываемую осциллограмму, то есть тот импульс, который имеет более позднее начальное время (например, $t_{10} = -192 \cdot 10^{-9}$ с, а эталонной осциллограммой будет являться осциллограмма с временем $t_{20} = -272 \cdot 10^{-9}$ с). В среде Lab View требуется уравнивать только начальное время обоих сигналов. Для этого необходимо ввести шаг Δt в окно «Шаг, с», рассчитанный по формуле (1). Далее необходимо посчитать количество строк K , на которое требуется уравнивать обрабатываемую осциллограмму относительно эталонной, и внести коэффициент в окно «Кол-во строк», рассчитанный по формуле (2):

$$K = \frac{(t_{10} - t_{20})}{\Delta t}. \quad (2)$$

В нашем случае $K = 80$.

То есть необходимо взять разность по времени первых строк обрабатываемой осциллограммы и эталонной, затем поделить на шаг. Далее нажимаем на кнопку Пуск  для запуска программы и видим сдвиг времени в наносекундах, в нашем случае $t_0 = 80$ нс.

Теперь обе осциллограммы имеют одинаковое начальное время, и мы можем посмотреть разность двух сигналов. Результат разности двух импульсов представлен на рисунке 3б.

После обработки цифровые данные сохраняются автоматически после введения пути в соответствующие окна для сохранения осциллограмм.

Для того чтобы сохранить графики в протокол испытаний, необходимо подвести курсор мыши к графику «Сравнение импульсов» или «Разность импульсов» и правой кнопкой мыши выбрать *Export – Export Simplified Image...* В появившемся окне поставить галочку *Save to file*, выбрать путь для сохранения и назвать график, далее нажать *Save*.

Видно существенное отличие между формой импульса-отклика «здорового» трансформатора и трансформатора с замкнутыми витками. Следует отметить, что чем дальше дефект находится от начала обмотки трансформатора, тем труднее его идентифицировать. В нашем случае дефект имитирован практически в самом конце обмотки.

Результаты

Предложена программа цифровой обработки результатов диагностики силового трансформатора в среде Lab View, позволяющая быстро обрабатывать экспериментальные данные, полученные на согласованной нагрузке на выходе генератора, сравнивать

амплитудно-частотные характеристики обмотки с нормограммой в виде разности сигналов и судить о механическом состоянии обмоток исследуемых трансформаторов. Таким образом, разработанная программа позволит существенно повысить скорость обработки и сравнения осциллограмм при обследовании трансформаторов методом наносекундных импульсов.

Список литературы

1. Вавилов К. В. Lab VIEW и SWITCH-технология / К.В. Вавилов, А.А. Шалыто // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2006. – № 6. – С. 43–45.
2. Васильева О.В., Лавринович А.В. Исследование коммутаторов для низковольтных наносекундных импульсов генератора с целью диагностики силовых трансформаторов // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 8–4. – С. 813– 817.
3. Введенский Ю.В. Тиратронный генератор наносекундных импульсов с универсальным выходом // Известия вузов СССР. Радиотехника. – 1959. – № 2. – С. 249–251.
4. Демидович Б.П., Марон И.А. Основы вычислительной математики. – М. : Наука, 1970. – 664 с.
5. Каганов В.И. Компьютерные вычисления в средах Excel и Mathcad. – М. : Горячая линия–Телеком, 2003. – 328 с.
6. Лавринович В.А., Пичугина М.Т., Рамазанова А.Р. Применение наносекундных низковольтных импульсов для диагностики состояния обмоток силовых трансформаторов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2011. – № 2. – С. 292–294.
7. Lech W., Tyminski L. Detecting transformer winding damage by the Low Voltage Impulse method // Electrical Review (ERA Translation). – 1966. – V. 179. – № 21. – P. 19–23.

Рецензенты:

Букреев В.Г., д.т.н., профессор кафедры ЭПЭО ЭНИН ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ», Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск.

Курец В.И., д.т.н., профессор кафедры ЭСиЭ ЭНИН ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ», Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск.