

МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО СТЕНДА ВС-450 SIGNAL PROCESSING TECHNIQUE OF HIGH-VOLTAGE STAND VS-450

*М. А. Виденькин, Н. В. Гурова, М. В. Климашов, Е. Ю. Климов, П. В. Королев,
А. С. Пикарь, Д. А. Толшмяков*
*М. A. Videnkin, N. V. Gurova, M. V. Klimashov, E. U. Klimov, P. V. Korolev, A. S. Pikar,
D. A. Tolshmyakov*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»,
пр. Мира, 37, Саров, Нижегородская область, 607188, Россия
Federal Nuclear Center of Russia – All-Russia Research Institute of Experimental
Physics

В данной работе представлена численная методика обработки осциллограмм производной тока с индукционных датчиков с целью устранения периодической высокочастотной наводки без потери информации об амплитуде сигнала. Предложена и реализована методика устранения высокочастотной составляющей сигнала методом интегрирования производной тока с последующей выборкой точек сигнала и численным дифференцированием. Проведено сравнение с известным методом разложения функции в ряд Фурье, удаления высоких гармоник и с использованием обратного преобразования Фурье.

This paper presents numerical method of oscillograms analysis of current derivative from inductive probes in order to eliminate periodical high-frequency noise without the signal amplitude data loss. The authors propose and realize the method of eliminating high-frequency component of the signal by means of the current derivative integration with further sampling of the signal points and numerical differentiation. Comparison of this method with known function expansion method to the Fourier series, removal of high harmonics, and use of Fourier inversion is presented in the paper.

При проведении испытаний высоковольтных изоляторов на электропрочность необходимо знать величину приложенного к изолятору напряжения. В импульсных электроустановках, таких как высоковольтный испытательный стенд ВС-450, предназначенный для проверки на электропрочность изоляции экспериментальных сборок комплекса ЭМИР, измерение напряжения затруднено из-за наличия высокочастотных наводок [1].

Цель данной работы было сравнение двух методов, позволяющих численными методами выделить низкочастотный полезный сигнал на фоне высокочастотной знакопеременной электрической наводки. Первый метод основан на интегрировании сигнала с последующей выборкой точек с более крупным шагом, интерполировании данных и обратного дифференцирования. Второй метод основан на разложении функции в ряд Фурье, удалении высоких гармоник и применении обратного преобразования Фурье.

Обработка осциллограмм методом интерполирования

Типичная осциллограмма сигнала с датчика индуктивного делителя напряжения Стенда ВС-450 показана на рис. 1. Как видим, на фоне мегагерцового полезного сигнала наблюдается высокочастотная наводка по амплитуде, в разы превышающая сам сигнал. Определить амплитуду приложенного к испытываемой сборке напряжения из этого рисунка не представляется возможным.

Проинтегрируем производную тока по времени. Сделаем выборку через 30 точек, как показано на рис. 2. По выбранным точкам проводим сплайн интерполяцию, тем самым убираем высокочастотные гармоники. Продифференцировав полученный сигнал и умножив на индуктивность делителя 4 мкГн, получаем кривую напряжения на изоляторе без высокочастотной наводки (рис. 3).

Напряжение на изоляторе нарастает от нуля до максимума за время порядка 1 мкс, и не превышает 140 кВ. Полная длина волны около 6 мкс.

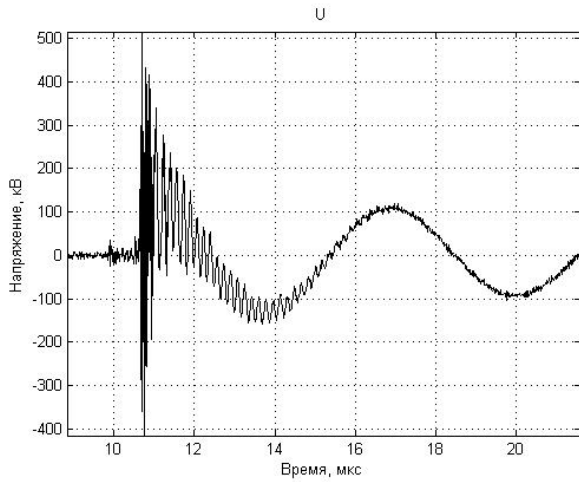


Рис. 1. Осциллограмма исходного сигнала напряжения на изоляторе

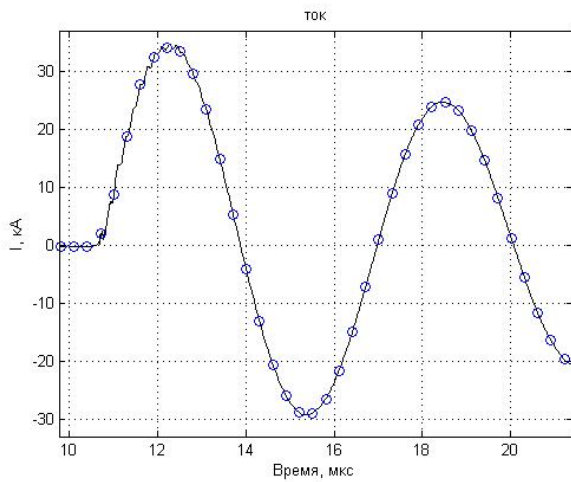


Рис. 2. Измеренный ток (интеграл производной тока)

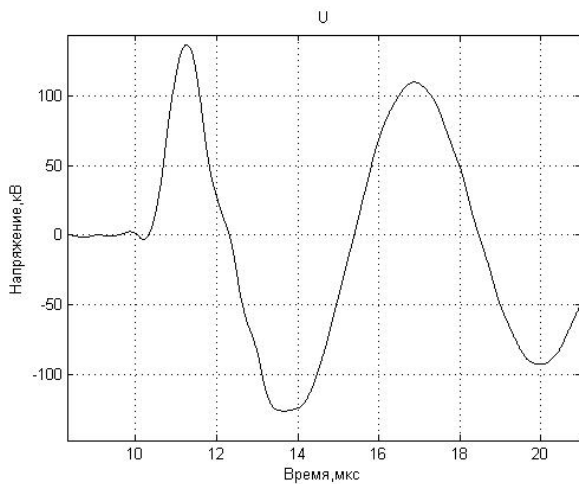


Рис. 3. Напряжение на изоляторе полученное методом сплайн интерполяции

Напряжение на изоляторе нарастает от нуля до максимума за время порядка 1 мкс, и не превышает 140 кВ. Полная длина волны около 6 мкс.

Обработка осциллограмм методом Фурье

Пусть у нас имеется дискретная функция напряжения $U(t_k)$ на интервале $t = [0:T]$ при N значениях времени $t_k = k \cdot T/N$, $k = 0, 1, \dots, (N-1)$. Функцию $U(t)$ можно представить в виде конечного ряда:

$$U(t) = \frac{1}{2} A_0 + \sum_{j=1}^n (A_j \cos(j \frac{2\pi}{T} t)) + \sum_{j=1}^n (B_j \sin(j \frac{2\pi}{T} t))$$

Обнуляя коэффициенты A_j и B_j при высоких частотах, мы можем, с некоторой точностью, аппроксимировать низкочастотную часть функции, устраняя высокочастотную наводку.

Используем дискретное преобразование Фурье для разложения функции напряжения в ряд. Приравниваем нулю все гармоники с частотой выше одного мегагерца и выполняем обратное дискретное преобразование Фурье. Мы получаем кривую напряжения на изоляторе без высокочастотной наводки (рис. 4).

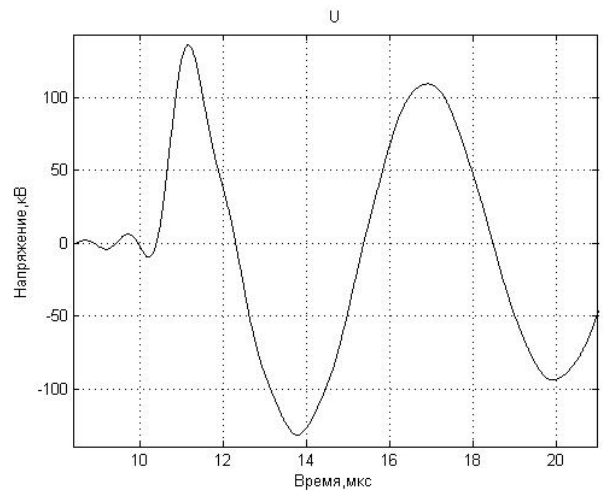


Рис. 4. Напряжение на изоляторе полученное дискретным преобразованием Фурье

Как и в методе сплайн интерполяции преобразование Фурье дает примерно такую же величину максимального напряжения. Напряжение на изоляторе нарастает от нуля до максимума за время порядка 1 мкс, и не превышает 140 кВ. Полная длина волны около 6 мкс. Отличие наблюдается лишь в величине предимпульса до подачи напряжения. В методе сплайн интерполяции наблюда-

ются лишь незначительные отклонения от нуля, в то время как преобразование Фурье дает небольшой, но все же заметный предымпульс с амплитудой 6 кВ.

Заключение

Рассмотренные в работе две численные методики – метод интегрирования сигнала с выборкой точек для последующей сплайн интерполяции и получением искомого сигнала при дифференцировании и метод разложения в ряд Фурье с устранением высокочастотных гармоник с последующим обратным преобразованием Фурье дают примерно одинаковый результат. Оба метода позволяют убрать высокочастотную наводку и получить искомую амплитуду и форму сигнала импульса приложенного напряжения. Небольшой предымпульс в методе преобразования Фурье имеет нефизическую природу и при правильном понимании физики явления не отражается на полученном

результате, тем более что амплитуда предымпульса не превышает 5 %. Однако оба метода изначально требуют некоторого анализа исходного сигнала, как для определения шага выборки для интерполяции, так и определения граничной частоты для метода Фурье. В то же время, на наш взгляд, метод сплайн интерполяции позволяет получать более физическую кривую напряжения в тех случаях, когда сигнал изменяется скачкообразно.

Список литературы

1. Селемир В. Д., Демидов В. А., Ивановский А. В., Ермолович В. Ф., Корнилов В. Г., Челпанов В. И., Казаков С. А., Власов Ю. В., Орлов А. П. Взрывной комплекс для генерации импульсных потоков мягкого рентгеновского излучения // Физика плазмы. 1999. Т. 25, № 12. С. 1085–1094.