

3 ИНФОРМАЦИОННАЯ И ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ, ТЕЛЕМЕХАНИКИ И СВЯЗИ

УДК 621.396:621.391.82

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СТАНДАРТНОГО ИМПУЛЬСА ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО РАЗРЯДА

К. А. БОЧКОВ, Д. В. КОМНАТНЫЙ, Е. П. ЛИТВИНОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Опыт проведения испытаний микропроцессорной аппаратуры систем железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ) на устойчивость к электростатическому разряду (ЭСР) показывает, что повышения адекватности этих испытаний можно достичь путем предварительной расчетной оценки последствий воздействия ЭСР на точки приложения разряда.

Кроме того, спектральные свойства импульса ЭСР таковы, что по результатам испытания микроэлектронной аппаратуры СЖАТ на устойчивость к ЭСР может быть осуществлена косвенная оценка устойчивости той же аппаратуры к новому виду электромагнитных угроз – электромагнитному импульсу преднамеренного воздействия.

Для решения обеих задач требуется иметь аналитическое выражение импульса ЭСР во временной области. Наиболее простое выражение такого импульса имеет вид биэкспоненциальной функции

$$u(t) = B(e^{-\beta_1 t} - e^{-\beta_2 t}), \quad (1)$$

где u – мгновенное значение напряжения импульса, В; B – амплитудный параметр импульса, В; β_1, β_2 – временные параметры импульса, $1/c$; t – время, с.

В формуле (1) имеются три неизвестных параметра. Для их отыскания можно составить три уравнения для трех заданных точек графика импульса. Для аппроксимации биэкспоненциальной функции такое количество точек представляется недостаточным.

Тогда для получения значений параметров в выражении (1) рационально применять классический метод наименьших квадратов. Параметры импульса ЭСР этим методом определяются путем минимизации функционала вида

$$S = \sum_{i=1}^n \left(u_i - B(e_i^{-\beta_1} - e_i^{-\beta_2}) \right)^2. \quad (2)$$

В функционале (2) задаются n точек графика импульса. Число точек должно быть достаточным для максимально точной аппроксимации импульса.

Но ГОСТ Р 33436.4.1-2015 и ГОСТ 30804.4.2–2013 установлены только длительность фронта импульса и длительность импульса на уровне половины амплитуды, так как ГОСТы ориентированы на обеспечение воспроизводимости импульса ЭСР генераторами-имитаторами. Тем не менее аппроксимация импульса ЭСР должна сохранять установленные ГОСТ параметры импульсов: длительность фронта и длительность на уровне половины амплитуды. Тогда для аппроксимации импульсов ЭСР обязательно использовать три точки графика функции (1). Первая точка соответствует значению одной десятой амплитуды импульса по фронту импульса. Вторая точка – уровню девяти десятых амплитуды импульса по фронту импульса. Третья точка – уровню половины амплитуды импульса по спаду импульса. Выразить моменты времени для этих точек через значения напряжений импульса, длительности фронта и длительности импульса на уровне половины амплитуды

из (1) не представляется возможным, так как при этом возникают трансцендентные по Эйлеру алгебраические уравнения. Поэтому задание указанных точек производится с большой погрешностью, хотя точность их задания определяет степень соответствия аппроксимации импульса ЭСР требованиям ГОСТ.

Минимизация функционала (2) вручную с требуемой точностью воспроизведения параметров импульса практически невозможна. Требуется использование компьютерных средств. В известном продукте MathCAD 2015 для минимизации функционала (2) применяется численный алгоритм Левенберга – Маркарта. Реализованная в программном продукте точность алгоритма не документирована. Алгоритм требует задания начального приближения для параметров B , β_1 , β_2 импульса. Причем результат аппроксимации существенно зависит от этого приближения. Сам метод наименьших квадратов обеспечивает получение функции минимально уклоняющейся от заданных значений точек аппроксимации, но не точно им соответствующей.

Следовательно, получение параметров аналитического выражения импульса ЭСР проводится с большой неопределенностью. Зачастую погрешность результата оценивается визуально, по графику импульса ЭСР, построенного по (1) средствами программного продукта. Все это снижает адекватность моделирования воздействия ЭСР на аппаратуру СЖАТ. Поскольку системы СЖАТ являются системами обеспечения безопасности движения поездов, то необходимо строгое решение проблемы помехоустойчивости этих систем, в том числе и к ЭСР. Для достижения этого требуется предложить, в том числе, пути снижения погрешностей аппроксимации исходных данных для моделирования воздействия ЭСР.

В докладе предлагается дополнить список параметров импульса ЭСР, указанный в ГОСТ Р 33436.4.1–2015 и ГОСТ 30804.4.2–2013, еще двумя параметрами: временем нарастания фронта импульса до уровня одной десятой амплитуды и временем нарастания фронта импульса до уровня половины амплитуды. Тогда для аппроксимации импульса ЭСР методом наименьших квадратов в (2) задаются точки, указанные в таблице 1.

Таблица 1 – Точки для аппроксимации импульса ЭСР

t	0	t_{01}	t_{05}	$t_{01}+\tau_{\Phi}$	$t_{05}+\tau_{05}$
u	0	$0,1A$	$0,5A$	$0,9A$	$0,5A$

В таблице A – амплитуда импульса, B ; t_{01} – время достижения уровня одной десятой амплитуды по фронту, с; t_{05} – время достижения уровня половины амплитуды по фронту, с; τ_{Φ} – длительность фронта импульса, с; τ_{05} – длительность импульса на уровне половины амплитуды, с.

Повысить точность аппроксимации может задание момента времени достижения импульсом максимального значения напряжения.

Таким образом можно снизить погрешность аппроксимации за счет задания достаточного числа точек графика импульса, в которых осуществляется минимизация функционала (2) и за счет уточнения задания значений времени и уровня напряжения импульса в этих точках. Также обеспечивается соответствие длительностей импульсов, реализованного аналитическим выражением (1) и заданного нормативно-технической документацией.

Оценочные расчеты параметров импульса ЭСР, выполненные авторами, и аналогичная аппроксимация импульсов тока молнии по методу наименьших квадратов, предложенная д-ром техн. наук, проф. С. Л. Шишигиным, показывают, что аппроксимация методом наименьших квадратов импульсов в виде биэкспоненциальной функции имеет достаточную для практики точность воспроизведения параметров импульсов, указанных в ГОСТах.

Тогда допустимо сделать вывод по докладу, что метод наименьших квадратов позволяет получить параметры аналитического описания импульсов ЭСР с достаточной для практики точностью. Использование этого описания при моделировании повышает его адекватность за счет снижения погрешностей и соответствия параметров импульса заданным в ГОСТах. Следовательно, предлагаемый способ может найти место в практике работы конструкторских организаций и органов сертификации железнодорожного транспорта.