

Формализованный уровень характерен тем, что свойство может быть описано в виде знаков некоторой формальной системы. Так, если на неформализованном уровне свойство определяется, как «При замыкании маршрута приема должно проверяться отсутствие установленного встречного поезда или маневрового маршрута на железнодорожный путь», то на формализованном уровне нужно для конкретной системы описать данное свойство так, чтобы была возможность математически строгой проверки, например, в виде выражений булевой алгебры.

Проверяемый уровень достигается тогда, когда возможно проведение автоматизированного испытания или тестирования для проверки рассматриваемого свойства. Например, проверка зависимостей системы МПЦ, реализованных программным способом, предполагает полный перебор всех возможных технологических ситуаций на станции. Количество таких ситуаций может быть очень большим, а ручная проверка занимать значительное время. Поэтому в таких случаях широко используются системы автоматического тестирования, для успешной работы которых необходима формализация как свойств системы, так и критериев отказов. На практике проверяемый уровень не всегда достижим в полном объеме из-за сложности системы, ограниченности ресурсов для доказательства или других факторов.

Таким образом, формализация является необходимым элементом процессов верификации и доказательства безопасности микропроцессорных систем. При этом надо стремиться обеспечить как можно более высокий уровень формализации, так как это позволяет применять средства автоматизации проведения тестирования и испытаний, повышает достоверность и проверяемость результатов верификации.

УДК 621.391.825

РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ГЕНЕРАТОРА ВЫБРОСОВ 1,2/50 ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УСЛОВИЯ ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ ИМПУЛЬСОВ ПОМЕХ

*С. И. ХОМЕНКО, И. О. ЖИГАЛИН, В. Л. КАТКОВ, И. В. ЛОГВИНЕНКО
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

При проведении испытаний на устойчивость к выбросу напряжения стандарт ГОСТ ИЕС 61000-4-5-2017 [3] предполагает для 4–5-го класса условий эксплуатации применение генераторов выбросов следующих видов: комбинированный генератор выбросов 1,2/50 мкс и комбинированный генератор выбросов 10/700 мкс. Для 1–3-го классов условий эксплуатации применяется только комбинированный генератор выбросов 1,2/50 мкс.

Испытание генератором 10/700 мкс проводится редко вследствие чего испытательные лаборатории часто не оснащены соответствующим генератором.

Для обеспечения возможности проведения испытаний генератором выбросов 1,2/50 мкс вместо генератора выбросов 10/700 мкс необходимо определить возможность использования генератора выбросов 1,2/50 путем изменения его параметров согласно условию эквивалентности импульсов.

Импульс, формируемый в соответствии со стандартом, представляет собой двухэкспоненциальный импульс с коротким фронтом. Для упрощения вычислений в данном случае существует возможность представления его в виде экспоненциального импульса с параметрами активной длительности и амплитуды, как у импульса генератора выбросов.

Необходимыми и достаточными требованиями для обеспечения эквивалентности воздействия импульсов [1] является выполнение условий одинаковости их активной ширины спектра Δf_1 и Δf_2 , а также полных энергий W_1 и W_2 :

$$\begin{cases} W_1 = W_2, \\ \Delta f_1 = \Delta f_2. \end{cases}$$

Генератор выбросов позволяет менять только амплитуду импульса, т. е. формировать эквивалентный импульс можно только с соответствующим поправочным коэффициентом к амплитуде $N_{\text{норм}}$.

Определим параметры экспоненциального импульса с активной длительностью 50 мкс эквивалентного экспоненциальному импульсу с активной длительностью 700 мкс.

Экспоненциальный импульс задается уравнением:

$$U(t) = \begin{cases} U_0 e^{-\beta t}, & \text{при } t \geq 0, \\ 0, & \text{при } t < 0, \end{cases}$$

где U_0 – амплитуда импульса; β – коэффициент, характеризующий крутизну экспоненты.

Зависимость β от активной длительности импульса (на уровне 50 % амплитуды) определяется формулой:

$$\beta = \frac{\ln(2)}{\tau}.$$

Графики экспоненциальных импульсов с активной длительностью 50 и 700 мкс представлены на рисунке 1.

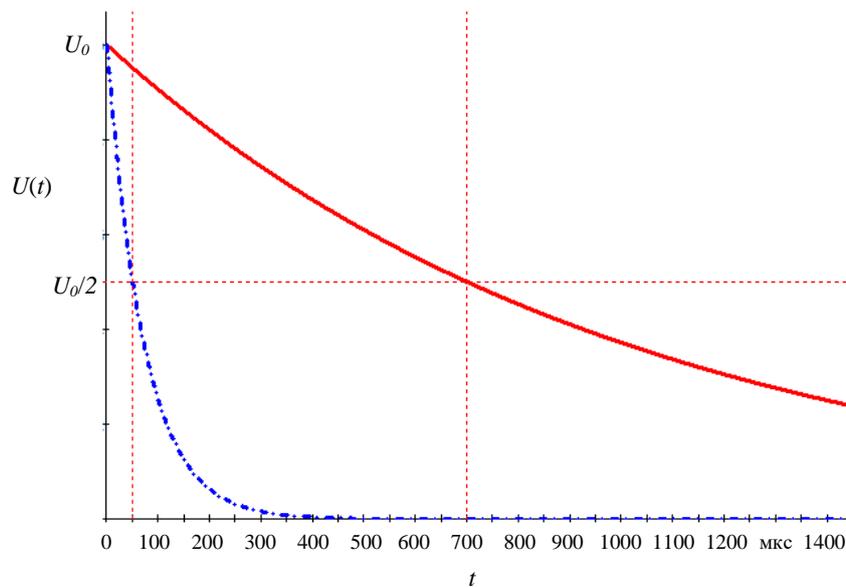


Рисунок 1

Для экспоненциального импульса амплитудой U_0 спектральная характеристика сигнала определяется из соотношения [2]

$$A(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} U(t)e^{-j\omega t} dt = \frac{U_0}{\beta + j\omega}.$$

Функция $A(\omega)$ представляет собой модуль комплексного выражения

$$A(\omega) = |A(j\omega)| = \frac{U_0}{\sqrt{\beta^2 + \omega^2}}.$$

Полная энергия экспоненциального импульса, выделяемая на активном сопротивлении $R = 1$ Ом, определяется из соотношения:

$$E = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} [A(\omega)]^2 d\omega = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{U_0^2}{\beta^2 + \omega^2} d\omega.$$

Для выполнения условия эквивалентности требуется равенство энергий импульсов различной длительности. Так, для импульсов длительностью 50 и 700 мкс необходимо выполнение равенства

$$\frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{U_0^2}{\beta_{50}^2 + \omega^2} d\omega = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{N_{\text{норм}}^2 U_0^2}{\beta_{700}^2 + \omega^2} d\omega.$$

Выведя из равенства $N_{\text{норм}}$, получаем:

$$N_{\text{норм}} = \sqrt{\frac{\beta_{50}}{\beta_{700}}}$$

Графики спектральных функций импульсов представлены на рисунке 2 (1 – импульс длительностью 700 мкс, 2 – импульс длительностью 50 мкс, 3 – нормированный импульс длительностью 50 мкс).

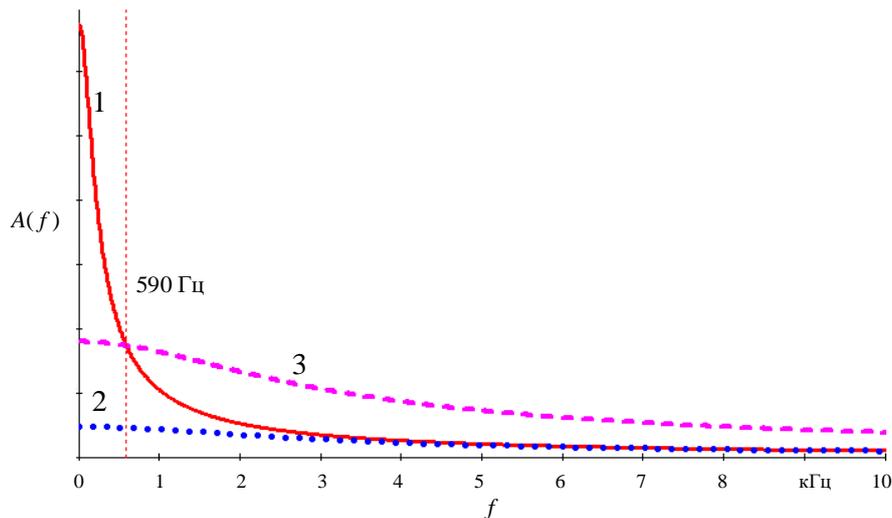


Рисунок 2

Анализ графиков показывает, что для области частот выше 590 Гц эквивалентный импульс длительностью 50 мкс имеет амплитуды гармонических составляющих большие, чем у импульса длительностью 700 мкс.

Таким образом, можно сделать вывод, что существует возможность оценки воздействия импульса 10/700 мкс (5/320 мкс) с помощью генератора выбросов 1,2/50 мкс. При этом амплитуда импульса 1,2/50 мкс (8/20 мкс) должна быть в $N_{\text{норм}}=3,74$ раз больше, чем у импульса 10/700 мкс (5/320 мкс). При этом согласно графику на рисунке 2 существуют ограничения на применения в низкочастотной области (до 590 Гц).

Список литературы

- 1 Бочков, К. А. Теория и методы контроля электромагнитной совместимости микроэлектронных систем обеспечения безопасности движения поездов : дис. ... д-ра техн. наук. 05.22.08 / Московский ин-т инженеров трансп. – М., 1993. – 379 с.
- 2 Бортновский, А. А. Теория передачи сигналов : лабораторный практикум. В 3 ч. Ч. 1 / А. А. Бортновский, И. О. Жигалин. – Гомель : БелГУТ, 2016. – 38 с.
- 3 ГОСТ ИЕС 61000-4-5-2017. Электромагнитная совместимость (ЭМС). Ч. 4-5. Методы испытаний и измерений. Испытание на устойчивость к выбросу напряжения. – М. : Стандартинформ, 2018. – 66 с.

УДК 656.25

КОСВЕННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ АСИММЕТРИИ ТЯГОВОГО ТОКА В РЕЛЬСАХ ПОД КАТУШКАМИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЛОКОМОТИВНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ

В. И. ШАМАНОВ, Д. В. ДЕНЕЖКИН

Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва

Одной из основных причин возникновения сбоев в работе автоматической локомотивной сигнализации (АЛС) является действие повышенной асимметрии тягового тока в рельсах под приемными локомотивными катушками. В результате интенсивность таких сбоев при электротяге переменного тока больше в 30–50 раз [1], а на участках с электротягой постоянного тока больше в 20–30 раз по сравнению с участками с автономной тягой [2].