

УДК 621.396:621.391.82

Д. В. КОМНАТНЫЙ, кандидат технических наук, Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, г. Гомель

АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ НАВЕДЕННЫХ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИМ РАЗРЯДОМ ИМПУЛЬСОВ НА РЕЦЕПТОРЫ ПОМЕХ

Рассмотрена проблема оценки воздействия электростатического разряда на микроэлектронные устройства железнодорожной автоматики и связи. Установлено, что это воздействие наиболее просто описывается энергией помех. Приведен способ получения аналитической формулы входного импульса напряжения разряда. Выполнен расчет прохождения импульса электростатического разряда через входные цепи электронного узла операторным методом. Показано, что импульс помехи на входном сопротивлении рецептора может быть аппроксимирован треугольным импульсом. Дана формула вычисления энергии помехового импульса. Рассмотрен вопрос оценки эффективности действия простейших защитных устройств в узлах рецептора, а именно резистивно-емкостных схем.

Современный этап развития служб СЦБ Белорусской железной дороги характеризуется усиленным внедрением микроэлектронных и микропроцессорных систем управления движением поездов. Так, уже эксплуатируется система ДЦ «Неман», построенная на базе промышленных ЭВМ. На некоторых станциях готовится внедрение релейно-процессорных или микропроцессорных электрических централизаций как отечественной, так и зарубежной разработки.

Опыт применения аналогичных систем автоматики и телемеханики на железных дорогах СНГ и дальнего зарубежья показывает, что для успешного освоения этих систем необходимо на этапе разработки решить проблему их электромагнитной совместимости. Микроэлектронные и микропроцессорные устройства железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) оказываются более чувствительными к окружающей электромагнитной обстановке, нежели релейные.

В частности, импульсные разряды статического электричества, иначе электростатические разряды (ЭСР), выделяются среди других видов помех малой длительностью, высоким начальным напряжением, широкой полосой спектра. При разряде генерируются мощные электрические и магнитные поля в широком диапазоне частот. Это дает основание включать ЭСР в число наиболее влияющих на микроэлектронные и микропроцессорные устройства видов помех. Поэтому проблема анализа воздействия ЭСР на аппаратуру ЖАТ оказывается весьма актуальной.

Различные аспекты указанной проблемы неоднократно изучались в большом числе публикаций. В работе [1] рассмотрены спектральные характеристики импульсов ЭСР и передаточные функции рецепторов для последующего анализа помехоустойчивости. Аналогичный подход к исследованию проблемы был принят в работе [2].

В [3, 4] исследовалась устойчивость микросхем узлов электронной техники к ЭСР и были выведены формулы для расчета стойкости конкретных микросхем.

Однако в отмеченных публикациях не рассмотрен вопрос о вычислении энергии помех ЭСР. Хотя, зная энергию помех, можно достаточно просто оценивать возможность наступления отказов или сбоев электронных средств [5]. Методика расчета воздействия ЭСР должна позволять определять эффективность средств защиты, то есть помехозащищенность узлов устройств ЖАТ. При этом необходимо учитывать несогласованность, в общем случае, линий передачи сигналов и входных сопротивлений в узлах ЖАТ [6].

В настоящей статье проанализирован процесс воздействия прямого электростатического разряда на корпус рецептора помех – устройства ЖАТ. Физический механизм воздействия заключается в следующем. Созданное напряжением разряда электрическое поле наводит на линии связи узлов рецептора импульсы помехового напряжения. Эти импульсы рассеиваются во входных сопротивлениях узлов. Если рассеянная энергия превышает пороговый уровень энергии помех, то происходит сбой или отказ микроэлектронного устройства.

Эквивалентная схема входной цепи узла рецептора и линии связи в общем случае показана на рисунке 1. Входным напряжением для этой эквивалентной схемы является импульсное напряжение ЭСР на корпусе рецептора.

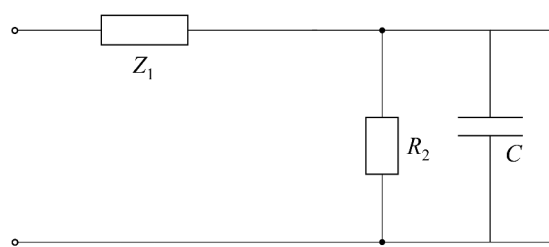


Рисунок 1 – Эквивалентная схема входной цепи узла рецептора

Напряжение на выходном сопротивлении в изображениях по Лапласу имеет вид [6]

$$U_2(p) = \frac{\alpha}{T} \cdot \frac{U_1(p)}{p + \frac{1}{T}}; \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{2R_2}{R_2 + z_1}; \quad (2)$$

$$T = \frac{Cz_1R_2}{z_1 + R_2}, \quad (3)$$

где $U_2(p)$ – изображение выходного напряжения по Лапласу; $U_1(p)$ – изображение входного напряжения по Лапласу; R_2 – входное сопротивление узла рецептора, Ом; z_1 – волновое сопротивление линии, Ом; C – входная емкость узла рецептора, Ф.

Согласно расчетам, приведенным в [7] и [8], в системе «источник разряда – корпус рецептора» возникают биэкспоненциальные импульсы напряжения, которые можно представить в виде

$$u_1(t) = A(e^{-\beta_1 t} - e^{-\beta_2 t}), \quad (4)$$

где $u_1(t)$ – напряжение импульса ЭСР, В; t – время, с; A – амплитуда импульса, В; β_1, β_2 – коэффициенты наклона экспонент, 1/с.

Чтобы найти амплитуду и коэффициенты формы экспонент, необходимо подставить в формулу (4) значения напряжения ЭСР в моменты начала разряда, достижения максимального значения напряжения и спада напряжения до уровня половины амплитуды. Полученная система нелинейных уравнений может быть решена при помощи ЭВМ программами машинной математики [9].

Изображение по Лапласу импульса напряжения, описываемого формулой (4), имеет вид [10]

$$U_1(p) = A(\beta_2 - \beta_1) \frac{1}{(p + \beta_1)(p + \beta_2)}. \quad (5)$$

После подстановки (5) в (1) получим изображение выходного напряжения для цепи, показанной на рисунке 1:

$$U_2(p) = \frac{\alpha}{T} A(\beta_2 - \beta_1) \frac{1}{(p + \beta_1)(p + \beta_2) \left(p + \frac{1}{T}\right)}. \quad (6)$$

Оригинал изображения напряжения во входных цепях узла рецептора (6) имеет по [10] вид

$$u_2(t) = \frac{A\alpha}{T} (\beta_2 - \beta_1) \times$$

$$\times \frac{\left(\frac{1}{T} - \beta_2\right)e^{-\beta_1 t} + \left(\beta_1 - \frac{1}{T}\right)e^{-\beta_2 t} + (\beta_2 - \beta_1)e^{-\frac{t}{T}}}{(\beta_1 - \beta_2) \left(\beta_2 - \frac{1}{T}\right) \left(\beta_1 - \frac{1}{T}\right)}. \quad (7)$$

На рисунке 2 приведен график изменения напряжения во входной цепи узла рецептора, построенный по формуле (7).

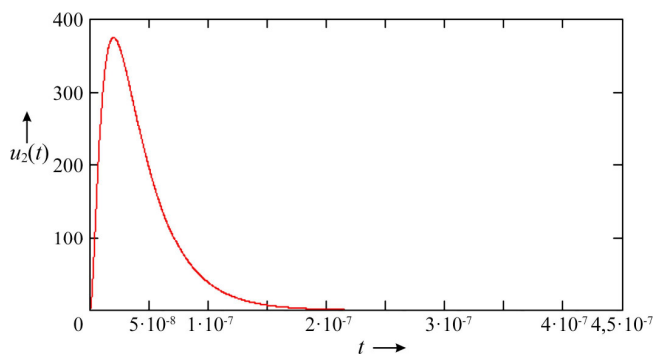


Рисунок 2 – График изменения напряжения во входной цепи рецептора

Видно, что этот график имеет форму, подобную биэкспоненциальной функции. Поэтому согласно [2], [11] его можно заменить треугольным импульсом (рисунок 3) вида

$$u(t) = \begin{cases} \frac{U}{\tau_1} \tau & \text{при } 0 < \tau \leq \tau_1; \\ \frac{U}{\tau_1 - \tau_2} (\tau - \tau_2) & \text{при } \tau_1 \leq \tau \leq \tau_2, \end{cases} \quad (8)$$

где U – амплитуда импульса, В; τ – время протекания процесса, с; τ_1 – момент времени, в который импульс имеет максимальное напряжение, с; τ_2 – время окончания импульса, с.

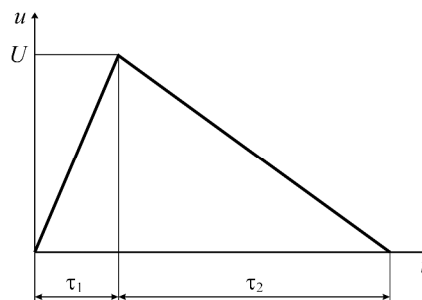


Рисунок 3 – Аппроксимация импульса электростатического разряда треугольным импульсом

Энергия, рассеянная во входной цепи рецептора, при воздействии импульса (8) может быть вычислена по формуле

$$W = \frac{1}{R_2} \left(\int_0^{\tau_1} \frac{U^2}{\tau_1^2} \tau^2 d\tau + \int_{\tau_1}^{\tau_2} \frac{U^2}{(\tau_1 - \tau_2)^2} (\tau - \tau_2)^2 d\tau \right) = \frac{1}{R_2} \frac{U^2 \tau_2}{3}, \quad (9)$$

где W – энергия импульса, Дж.

Соотношения (7) – (9) позволяют определить значение энергии помех во входных цепях рецептора помех и сделать заключение о его устойчивости к помехам, а также дают способ анализа эффективности простейших защитных схем. Как известно [12], для защиты микроэлектронных узлов от ЭСР в линии связи включают дополнительные резисторы либо параллельно входу узла включают конденсатор, либо комбинируют эти способы, получая простейший RC-фильтр. Схема входной цепи узла микроэлектронного устройства с защитными элементами приведена на рисунке 4.

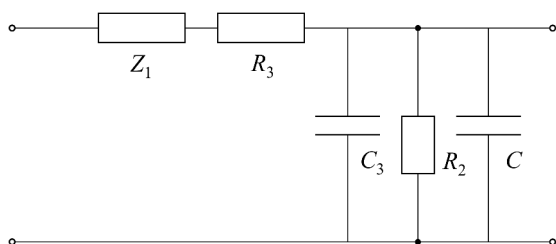


Рисунок 4 – Схема входной цепи рецептора с защитным фильтром

Эта схема может быть приведена к схеме на рисунке 1 путем простейших преобразований. Затем может быть вычислена энергия помех, рассеиваемая во входных цепях узлов рецептора при наличии защитных элементов. Действие защиты является эффективным, если энергия помех снижается ниже порогового уровня, при котором происходят сбои электронных устройств.

Таким образом, полученные соотношения для напряжения и энергии импульсов помехового напряжения ЭСР в узлах микроэлектронной аппаратуры

Получено 16.02.2007

D. V. Komnatny. Analysis of electrostatic discharge stray pick-up impulses exposure on noise receptors.

The problem of electrostatic discharge influence on microelectronic equipment of railway automatic, telemechanics and communication is discussed in this article. It is exposed, that such influence can be estimated in the most easy way by energy of disturbances. The mode of obtaining input electrostatic discharge voltage impulse mathematic describing is adduced. The calculation of electrostatic discharge impulse passage throw input circuits of electronic device is fulfilled by operator method. It is shows, that disturbances impulse in receptor input circuits can be approximated by triangular impulse. The formula for calculation impulse energy is given. The estimation of simply protection devices efficiency, viz. resistor-capacitance circuits is considered too.

могут быть использованы для определения устойчивости оборудования ЖАТ к электростатическому разряду и для оценки эффективности защитных мероприятий.

Автор выражает искреннюю благодарность канд. физ.-мат. наук, доценту Н. В. Рязанцевой и начальнику сектора ПУ «Инфотех» С. Е. Зайцеву за большую помощь при проведении исследований.

Список литературы

- 1 On the limitation of the ESD simulator / Ch. Wu [et al.] // 1987 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility / IEEE. – N. Y. : IEEE Publishing Services, 1987. – P. 378–373.
- 2 Calculation of the ESD-pulse parameters and associated uncertainty for ESD-gun calibration / W. De Ketelaere [et al.] // 2000 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility / IEEE. – N. Y. : IEEE Publishing Services, 2000. – P. 449–452.
- 3 Горлов, М. И. Электростатические заряды в электронике / М. И. Горлов, А. В. Емельянов, В. И. Плебанивич. – Мн. : Бел. наука, 2006. – 295 с.
- 4 Литвинский, И. Е. Обеспечение безотказности персональных ЭВМ / И. Е. Литвинский, В. А. Прохоренко. – М. : Радио и связь, 1993. – 208 с.
- 5 Кравченко, В. И. Грозозащита радиоэлектронных средств / В. И. Кравченко. – М. : Радио и связь, 1991. – 264 с.
- 6 Кравченко, В. И. Радиоэлектронные средства и мощные электромагнитные помехи / В. И. Кравченко, Е. А. Болотов, И. И. Летунова. – М. : Радио и связь, 1987. – 255 с.
- 7 Хабигер, Э. Электромагнитная совместимость. Основы ее применения в технике / Э. Хабигер. – М. : Энергоатомиздат, 1995. – 304 с.
- 8 Гурвич, И. С. Защита ЭВМ от внешних помех / И. С. Гурвич. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 224 с.
- 9 Бочков, К. А. Проблема повышения адекватности испытаний по ЭМС микроэлектронных систем железнодорожной автоматики и телемеханики к воздействию пачек импульсных помех / К. А. Бочков, Н. В. Рязанцева // Испытания систем железнодорожной автоматики и телемеханики на безопасность и электромагнитную совместимость : труды второго международного семинара / Белорус. гос. ун-т трансп., Белорус. ж. д. – Гомель : БелГУТ, 2003. – С. 58–66.
- 10 Шимони, К. Теоретическая электротехника / К. Шимони. – М. : Мир, 1964. – 773 с.
- 11 Косарев, А. Б. Расчет напряжений в неоднородных рельсовых путях при стекании с них токов молнии / А. Б. Косарев, Д. В. Пименов // Испытания систем железнодорожной автоматики и телемеханики на безопасность и электромагнитную совместимость : труды международного семинара / Белорус. гос. ун-т трансп., Белорус. ж. д. – Гомель : БелГУТ, 2001. – С. 71–78.
- 12 Кечиев, Л. Н. Защита электронных средств от воздействия статического электричества / Л. Н. Кечиев, Е. Д. Пожидаев. – М. : Издательский дом «Технологии», 2005. – 352 с.