

НАУКА И ТЕХНИКА

УДК 621.396: 621.391.82

К. А. БОЧКОВ, доктор технических наук; Д. В. КОМНАТНЫЙ, аспирант; Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ СЖАТ К ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОМУ РАЗРЯДУ ВЕРОЯТНОСТНЫМ МЕТОДОМ

Рассматриваются вопросы повышения адекватности испытаний на устойчивость микроэлектронных СЖАТ к электростатическому разряду. Предложена вероятностная модель устойчивости СЖАТ к ЭСР. Описан способ выбора точек испытательных воздействий с помощью разработанной модели.

Нормативными документами Республики Беларусь, Российской Федерации, а также международными, установлены обязательные испытания микроэлектронных систем железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ) на электромагнитную совместимость. В частности, ГОСТ 29191-91, РД РБ БЧ 19.055-99, стандарт МЭК 801-2-91 требуют проведения испытаний СЖАТ на устойчивость к электростатическому разряду (ЭСР).

Однако процедуры и методы этих испытаний нормативными документами определены недостаточно однозначно. В частности, ГОСТ 29191-91 рекомендует вначале отыскивать опытным путем точки на корпусе технического средства (ТС), в которых оно обнаруживает наибольшую восприимчивость к ЭСР. Затем в этих точках производятся испытательные воздействия для определения устойчивости ТС. Такая процедура приводит к большим затратам времени на лабораторные испытания. Поэтому представляется актуальным найти методы, позволяющие более адекватно проводить испытания на устойчивость ЭСР и количественно оценивать степень устойчивости ТС к ЭСР.

Одним из путей решения этой задачи является разработка математической модели влияния электростатического разряда на электронные устройства и использование ее на этапе проектирования и испытания СЖАТ. Построение точной модели ЭСР практически невозможно, так как процесс разряда зависит от множества факторов. Рационально применять упрощенную модель, которая может дать хорошее приближение к действительности. Однако такая модель не позволяет сделать заключение об устойчивости ТС к ЭСР без проведения лабораторных испытаний [1].

Для моделирования ЭСР различные авторы использовали метод резистивных сеток [1], метод конечных разностей [2], метод интегральных урав-

нений [3]. Во всех этих методах в качестве исходных данных принимается некоторое фиксированное значение разрядного тока или напряжения источника ЭСР. Таким образом, они относятся к детерминированным методам. Недостаток этого подхода заключается в возможности как завышения, так и занижения требований к ЭМС исследуемого ТС [4].

Недостатков детерминированных методов лишены методы, основанные на вероятностном подходе к решению задач ЭМС [4, 5]. В рамках этого подхода как уровни помех на входах рецепторов, так и уровень помехоустойчивости рецепторов рассматриваются как случайные величины. Уровень совместимости рецепторов оценивается величиной вероятности их сбоя в реальной электромагнитной обстановке.

В качестве одного из параметров, описывающего электромагнитные помехи от ЭСР на входах рецепторов, целесообразно рассматривать энергию помех, рассеиваемую во входных цепях рецептора. Это объясняется тем, что сбой рецептора наступает с вероятностью, равной единице, при превышении энергией помехи некоторого уровня [6]:

$$\left. \begin{aligned} P_{сб}(W < W_{пор}) &= 0 \\ P_{сб}(W \geq W_{пор}) &= 1 \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где $P_{сб}$ – вероятность сбоя рецептора; W – энергия помех, Дж; $W_{пор}$ – пороговая энергия сбоя рецептора, Дж.

Если известен закон распределения энергии электромагнитных помех на входных цепях рецепторов, то вероятность сбоя ТС определяется следующим образом (рисунок 1):

$$P_{сб} = \int_{W_{пор}}^{\infty} p(W), \quad (2)$$

где $p(W)$ – плотность вероятности распределения уровней энергии.

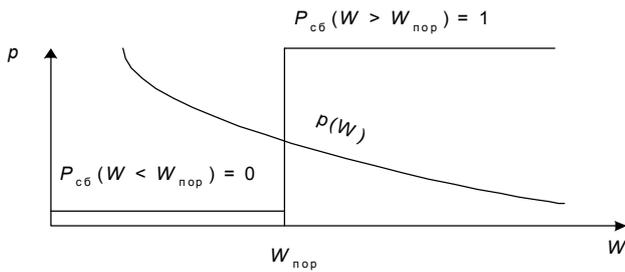


Рисунок 1 – Распределение уровней энергии и помехоустойчивости ТС

Экспериментальное определение уровней энергии помех, рассеиваемой в узлах ТС при разряде статического электричества, затруднительно. Наиболее просто измерять распределение уровней напряжения на источниках ЭСР [7]. Зная распределение уровней напряжения источника, можно найти распределение уровней энергии помех в рецепторе с помощью предложенного в [8] системного подхода. Системный подход – это процедура получения выходной функции (энергии помех) из входной (напряжение на источнике) посредством функции преобразования. Функцией преобразования является численный или аналитический метод расчета.

Для построения функции преобразования принимаются следующие упрощающие предположения:

- по принципу наихудших условий рассматриваются сечения случайных процессов по неблагоприятным параметрам; таким образом, распределение уровней помех исследуется в зависимости от амплитуды при фиксированных значениях длительности разрядных импульсов [4];
- поля контактного ЭСР рассматриваются в ближней зоне излучения, где их допустимо считать квазистатическими и рассчитывать методами электростатики при тех же граничных условиях;
- магнитная составляющая полей ЭСР принимается пренебрежимо малой, так как ЭСР характеризуется высокими напряжениями и малыми токами;
- форма импульса напряжения, наведенного в шинах узлов рецептора, повторяет форму разрядного импульса, так как линии связи печатных плат являются согласованными с нагрузкой [9].

Тогда расчет энергии, рассеиваемой в узлах ТС, производится в три этапа.

На первом этапе определяется распределение поверхностной плотности заряда на корпусе ТС путем численного решения системы интегральных уравнений:

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \int_S \frac{\sigma(M)}{r} dS,$$

$$2\pi\sigma(N) = \int_S \frac{\sigma(M) \cos(\vec{r}; \vec{n})}{r^2} dS, \quad (3)$$

где φ – потенциал в точке наблюдения, принадлежащей граничной поверхности, В; ϵ – диэлектрическая проницаемость; ϵ_0 – электрическая постоянная, Ф/м; S – площадь граничной поверхности задачи, м²; $\sigma(M)$ – поверхностная плотность заряда в точке влияния M , лежащей на граничной поверхности, Кл/м²; $\sigma(N)$ – поверхностная плотность заряда в точке влияния N , лежащей на граничной поверхности, Кл/м²; n – нормаль к граничной поверхности в точке наблюдения; r – расстояние между точкой влияния и точкой наблюдения, м.

На втором этапе методом средних потенциалов вычисляется напряжение, наведенное на шинах узлов ТС.

И на последнем этапе отыскиваются значения энергии, рассеиваемой во входных цепях узлов ТС, согласно выражению

$$W = \frac{1}{R_{вх}} \int_0^{\infty} u^2(t) dt, \quad (4)$$

где W – энергия помехи, рассеиваемая на входном сопротивлении, Дж; $R_{вх}$ – входное сопротивление схемы рецептора, Ом; u – напряжение помехи, В; t – время протекания импульса, с.

Величины вероятности сбоя узлов ТС определяют «слабые с позиций ЭМС места» этого ТС при воздействии ЭСР, что позволяет выбирать точки испытательных воздействий по аналогии с известным в теории надежности методом [10]. А именно: испытания начинают в точках, расположенных на металлических частях корпусов ТС, щелях, решетках, находящихся близко к узлу, вероятность сбоя которого наибольшая. Затем переходят к следующему узлу, и так продолжается до тех пор, пока не встретится узел с пренебрежимо малой вероятностью сбоя.

Благодаря такому подходу представляется возможным определить на этапе предварительных испытаний «слабые с позиций ЭМС места» данного ТС и производить испытательные воздействия только на точки, близко расположенные к наиболее чувствительным узлам ТС.

Список литературы

- 1 Gianetti R., Tellini B. Two-dimensional Simulation of Conducted Currents Characteristics in Electrical Discharges // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 1999. – Vol. 41, № 3. – P. 260 – 264.
- 2 Angeli M., Cardelli E., Telini B. Modeling and experimental activity about the coupling of ESD through the grounding system // International Symposium on Electromagnetic Compatibility / University of Rome “La Sapienza”. – Milan, 1998. – P. 652 – 657.
- 3 Jobava R., Pommerenke D., Karkashadze D., Shubitidze P., Zaridze R., Frei S., Adam M. Computer Simulation of ESD from Voluminous Objects Compared to Transient Fields of Human //

IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 2000. – Vol. 42, № 1. – P. 54 – 65.

4 Бочков К. А., Рязанцева Н. В. Вероятностный метод определения уровней ЭМС микроэлектронных систем обеспечения безопасности // Испытания систем железнодорожной автоматики и телемеханики на безопасность и электромагнитную совместимость: Труды международного семинара / БелГУТ. – Гомель, 2001.–С. 20 – 29.

5 Бочков К. А., Рязанцева Н. В. Нормирование параметров ЭМС с учетом реальной электромагнитной обстановки // Испытания систем железнодорожной автоматики и телемеханики на безопасность и электромагнитную совместимость: Труды международного семинара / БелГУТ. – Гомель, 2001.–С. 35 – 42.

6 Кравченко В. И. Грозозащита радиоэлектронных средств. –

М.: Радио и связь, 1991. – 264 с.

7 Техника высоких напряжений: теоретические и практические основы применения / Бейер М., Бек М., Мейер В. и др. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 553 с.

8 Orlandi A., Mazzeti C., Flisowski Z., Yarmarkin M. Systematic Approach for the Analysis of the Electromagnetic Environment Inside a Building During Lightning Strike // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 1998. – Vol. 40, № 4. – P. 521 – 535.

9 Кравченко В. И., Болотов Е. А., Летунова Н. И. Радиоэлектронные средства и мощные электромагнитные помехи / Под общ. ред. В. И. Кравченко. – М.: Радио и связь, 1987. – 255 с.

10 Надежность технических систем: Справочник / Под ред. И. А. Ушакова. – М.: Радио и связь, 1985. – 605 с.

Получено 13.11.2002

K. A. Bochkov, D. V. Komnatny. Determination of microelectronic railway automatic systems electrostatic discharge immunity by probabilistic method.

The article is considering the questions of adequacy rising of electrostatic discharge immunity testing of railway automatic systems. The probabilistic model of railway automatic systems electrostatic discharge immunity is proposed. The method of test points choosing with the help of proposed model is described.

Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. 2002. № 2(5)

УДК 537.2.001.24

В. С. МОГИЛА, кандидат технических наук; Д. В. КОМНАТНЫЙ, аспирант; Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

РАСЧЕТ ПРЯМОУГОЛЬНОГО ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ЭКРАНА ЧИСЛЕННЫМ МЕТОДОМ

Рассматривается метод численного расчета коэффициента экранирования прямоугольной, тонкой заземленной пластины конечных размеров в электростатическом поле системы точечных зарядов. Расчет производится методом граничных элементов. Такой способ обеспечивает меньшую размерность матрицы коэффициентов системы линейных уравнений и, следовательно, повышает обусловленность задачи. В работе выведены замкнутые приближенные выражения для поля прямоугольного, равномерно заряженного участка. Приведены результаты расчетов по предлагаемому методу.

При конструировании высоковольтных установок и радиоэлектронных приборов зачастую возникает необходимость определения экранирующего эффекта металлических заземленных пластин различной формы в поле одного или нескольких точечных источников электростатического поля.

Задача определения электростатического поля точечного заряда в присутствии проводящей пластины может быть решена аналитически в нескольких случаях, а именно: для проводящей полуплоскости, проводящей бесконечной плоскости, круглого диска, бесконечной полуплоскости с круглой диафрагмой или прямоугольной щелью [1, 2]. В важном для практики случае прямоугольной пластины аналитическое решение в литературе отсутствует.

В связи с этим сохраняет актуальность разработка численного метода определения экранирующего эффекта тонкой прямоугольной пласти-

ны. При этом принимаем, что толщина пластины пренебрежимо мала по сравнению с ее длиной и шириной. Для расчета поля тонкой незамкнутой оболочки во внешней области наиболее целесообразным является метод граничных элементов.

В поле сторонних зарядов на заземленной проводящей пластине индуцируются электрические заряды, которые распределяются таким образом, что потенциал экрана остается постоянным и, в данном частном случае, равным нулю. Поэтому можно записать следующее соотношение для потенциала экрана, созданного точечными зарядами и зарядом, индуцированным на экране [3]:

$$\sum_{n=1}^N \varphi_n + \varphi_{\text{и}} = 0, \quad (1)$$

где N – количество точечных зарядов; φ_n – потенциал n -ного точечного заряда, В; $\varphi_{\text{и}}$ – потенциал, созданный индуцированным зарядом, В.