

4 НАДЕЖНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ, СВЯЗИ И ИНФОРМАТИЗАЦИИ

УДК 621.396: 621.391.82

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ СЖАТ К ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОМУ РАЗРЯДУ

К. А. БОЧКОВ, Д. В. КОМНАТНЫЙ

Белорусский государственный университет транспорта

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.

Для моделирования ЭСР различные авторы использовали метод резистивных сеток, метод конечных разностей, метод интегральных уравнений. 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.

Недостатков детерминированных методов лишены методы, основанные на вероятностном подходе к решению задач ЭМС. 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,

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

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

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

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

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

Экспериментальное определение уровней энергии помех, рассеиваемой в узлах ТС при разряде статического электричества, затруднительно. Наиболее просто измерять распределение уровней напряжения на источниках ЭСР. Зная распределение уровней напряжения источника, можно найти распределение уровней энергии помех в рецепторе с помощью предложенного в работе А. Орланди, С. Мазетти, З. Флисовского и М. Ярмаркина 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;
- 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.

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 электростатики. 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.

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 «вероятность – время», 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.

УДК 656.25

СПЕЦИФИКА ИСПЫТАНИЙ НА ЭМС СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ

*К. А. БОЧКОВ, Н. В. РЯЗАНЦЕВА
Белорусский государственный университет транспорта*

Решение проблемы электромагнитной совместимости (ЭМС) современных микроэлектронных систем железнодорожной автоматики и телемеханики во многом определяет надежность и безопасность их функционирования. Наиболее неблагоприятными с точки зрения воздействия на аппаратуру являются пачки импульсов помех наносекундной длительности, возникающие при коммутации цепей с индуктивной нагрузкой [1, 2]. Для обеспечения адекватности испытаний к имитаторам пачек импульсов помех следовало бы предъявить требования максимального соответствия реальному процессу коммутации. Однако построение метрологически аттестованных имитаторов помех на реальных источниках проблематично. В настоящее время для обеспечения ЭМС микроэлектронных систем обеспечения безопасности проводятся испытания их на помехозащищенность аппаратурой моделирования пачек импульсных помех по стандарту IEC 61000-404. Однако испытания, прове-