

жиме необходимый анализ движения вагонов с опасными грузами 2 класса опасности (пропан-бутановыми смесями) для фиксирования отклонения характера их движения от расчетного и выдачи предупреждений о необходимости инструментального контроля профиля пути.

Коэффициент заполнения парка является комплексным показателем, позволяющим оценить эффективность функционирования системы автоматизации в целом [5].

В условиях реальной сортировочной горки эмпирическим путем можно определить оптимальное значение коэффициента заполнения парка, который обеспечивает приемлемое накопление составов при допустимых скоростях соединения отцепов. В дальнейшем это вычисленное значение коэффициента можно использовать для оценки эффективности заполнения парка в каждый момент времени. Если текущий коэффициент заполнения меньше оптимального – можно увеличить расчетные скорости выхода, если коэффициент больше оптимального, то вероятность превышения скоростей соединения отцепов больше допустимой и необходимо снижать расчетные скорости выхода отцепов из парковых тормозных позиций.

Литература:

1. Ольгейзер И. А., Рогов С. А., Жальский М. А. Расширение возможностей КСАУ СП. Автоматика, связь и информатика. №1. Москва. – 2017 г.
2. Ольгейзер И. А. Влияние погодных условий на расчёт скорости распускаемых отцепов на сортировочной станции. Сборник тезисов докладов 66-й студенческой научно – практической конференции РГУПС, Ростов н/Д, 2007. – С. 180-181.
3. Лябах Н. Н. Ольгейзер И. А. Алгоритм и методика учета климатических воздействий на сортировочный процесс. Вестник РГУПС, Ростов-на-Дону. №1. – 2009г.- С. 69-72.
4. Соколов В. Н. Комплексная система автоматизации сортировочных процессов: техническое, технологическое, интеллектуальное обеспечение. Канд. дис. Ростов-на-Дону. – 2008. – 182 с.
5. Шабельников А. Н., Ольгейзер И. А. Требования безопасности и методы контроля работоспособности систем ЖАТ на сортировочных горках. Автоматика, связь и информатика. №2. Москва. – 2017 г.



Бочков К.А., Комнатный Д.В., Казаков А.С.,
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Реализация аналитического метода расчета электромагнитного излучения неоднородностей корпусов технических средств железнодорожной автоматики и телемеханики

Современные интеллектуальные системы управления движением поездов содержат большое количество микроэлектронных и микропроцессорных устройств. Уменьшение размеров этих устройств совместно с повышением плотности монтажа, повышение чувствительности элементной базы приводят к высокой восприимчивости микроэлектронных технических средств к электромагнитным помехам [1]. В то же время, системы управления движением поездов работают в сложной электромагнитной обстановке. Поэтому в конструкциях этих систем применяются различные методы защиты от электромагнитных помех, в том числе и преднамеренных, в частности, экранирование, зонирование, программные и другие. Как правило, первым барьером на пути проникновения помех по свободному пространству является корпус, выполняющий функции электромагнитного экрана [2].

Эффективность работы экрана во многом обеспечивается его однородностью. На практике не целесообразно, а часто и невозможно, изготовить полностью однородный корпус. Как правило, в корпусе присутствуют такие неоднородности как болтовые соединения, щели, вентиляционные отверстия и другие. Эти элементы корпуса способствуют проникновению электромагнитного излучения внутрь устройства, создают внутри корпуса помеховое электромагнитное поле, которое приводит к сбоям электронной элементной базы [3]. Таким образом, для разработки современных интеллектуальных систем управления движением поездов, актуальной задачей является расчет и анализ эффективности электромагнитных экранов, чувствительности узлов и аппаратуры указанных систем к излучению помех неоднородностями этих экранов.

В настоящее время существует несколько методов, которые реализуются на компьютерах и позволяют рассчитывать характеристики электромагнитного поля внутри неоднородного экрана: метод конечных разностей (Finite Difference Time Domain, FDTD), метод матриц линий передачи (transmission-line matrix method, TLM), метод конечного интегрирования (FIM), метод моментов (MOM) [4]. Расчеты этими методами производятся непосредственно во временной области. Методы FDTD, TLM позволяют осуществлять параллельные вычисления на компьютерах, что является современным способом повышения быстродействия программного обеспечения. К преимуществам метода FDTD относится сравнительная простота итерационных расчетных соотношений и задания исходных данных. Основным же недостатком методов является то, что трехмерные задачи, где имеются сложная конфигурация границ и большое количество деталей, требуют значительных вычислительных затрат и обладают чувствительностью к погрешностям исходных данных. В качестве альтернативы в работе реализован аналитический метод расчета электромагнитного излучения неоднородностей корпусов, описанный ниже.

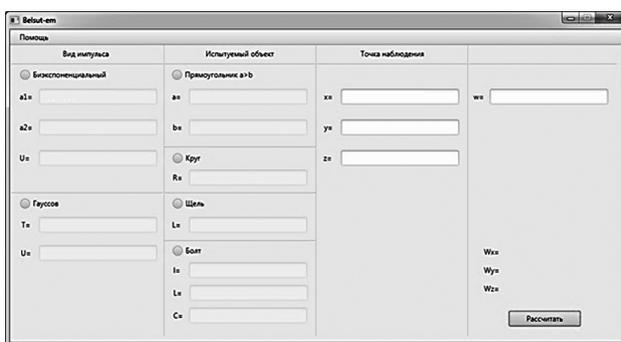


Рис.1. Графический интерфейс программного обеспечения

Реализация предлагаемого метода осуществлена путем разработки программы на языке Java 8. Интерфейс программы, для удобства, разбит на четыре логические секции. Любая из секций может быть легко расширена, в случае необходимости. Первая секция отвечает за выбор типа сверхкороткого электромагнитного импульса помехи или испытательного генератора и задание его параметров. В настоящее время реализована возможность выбора двух видов импульсов: биэкспоненциального и гауссовского. Такие импульсы являются наиболее распространенными на практике при моделировании реальных помеховых воздействий [6]. Вторая секция служит для задания формы, геометрических и электромагнитных параметров неоднородности. В программе предусмотрено задание наиболее часто встречающихся на практике неоднородностей. К таковым относятся: прямоугольник со сторонами a, b , круг радиусом R , щель длиной l или болтовое со-

единение длиной l , индуктивностью L и емкостью C . В третьей секции осуществляется ввод декартовых координат точки наблюдения, в которой рассчитываются параметры помех. Четвертая – отображает результат и позволяет изменять полосу частот, в которой вычисляются энергетические параметры помех.

Результатом работы программы является определение составляющих потока энергии помехового электромагнитного излучения в заранее заданной точке наблюдения электромагнитной энергии поглощенной паразитными антеннами в узлах рецептора помех. Если эта энергия превышает известный пороговый уровень для элементной базы микроэлектронного технического средства, то следует прогнозировать возможность сбоев в его работе [1]. Расчет этих физических величин осуществляется по формулам [5]:

$$w_n = \frac{1}{2\pi Z_0} \int_0^{\infty} E_{n1}^2(\omega) d\omega, \quad (1)$$

$$W = \frac{w_p S}{2}, \quad (2)$$

где w_n – составляющая потока энергии, Вт/м²; Z_0 – импеданс свободного пространства, Ом; E – напряженность поля, В/м; ω – циклическая частота, рад/с; W – энергия помех, Дж; w_p – составляющая потока энергии, перпендикулярная данной паразитной антенне, Вт/м²; S – площадь паразитной антенны, м².

В программе предполагается, что декартова система координат, в которой ведется расчет электромагнитных процессов, связана с корпусом технического средства и имеет начало в геометрическом центре неоднородности корпуса, согласно с расчетной моделью излучения паразитных щелевых и штыревых антенн, которыми являются неоднородности электромагнитных экранов, в электродинамике записываются в сферической системе координат [7]. Поэтому в программе предусмотрен автоматический пересчет декартовых координат точки наблюдения в сферические; сферическая система координат связана с основной декартовой. Для расчета поглощенной паразитной антенной энергии составляющие плотности потока энергии переводятся из сферической системы координат в декартову с помощью автоматически рассчитанных направляющих косинусов в точке наблюдения [8].

Выражения для расчета составляющих вектора напряженности электрического поля существенно зависят от формы и геометрических размеров неоднородности. Математические выражения для составляющих напряженности помехового электромагнитного поля получены на основании принципа суперпозиции электромагнитного поля и метода интеграла Кирхгофа [7].

Для тонкой прямоугольной щели расчетные соотношения имеют вид:

$$E_{\varphi} = j \frac{S(j\omega)l}{\lambda r_0} \sin\theta e^{-jkr_0}, \quad (3)$$

где l – длина щели, r_0 – расстояние до точки наблюдения, м; $S(j\omega)$ – спектр приложенного к щели напряжения, λ – длина волны, м; θ, φ – сферические координаты точки наблюдения, рад; k – волновой вектор.

Для круглого отверстия:

$$E_{\theta}(j\omega) = \frac{1}{2r_0} e^{-jkr_0} (1 + \cos\theta) \cos\varphi \frac{J_1(kR\sin\theta)}{\sin\theta} E(j\omega), \quad (4)$$

$$E_{\varphi}(j\omega) = \frac{-j}{2r_0} e^{-jkr_0} (1 + \cos\theta) \sin\varphi \frac{J_1(kR\sin\theta)}{\sin\theta} E(j\omega), \quad (5)$$

где R – радиус отверстия, м; J_1 – функция Бесселя первого рода, $E(j\omega)$ – напряженность электрической составляющей поля в раскрытие отверстия, В/м.

Для отверстия в форме прямоугольника:

$$E_{\Theta} = \frac{jabE(j\omega)e^{-jkr_0}}{2\lambda r_0} (1 + \cos\varphi) \times \frac{\sin(0.5kasin\theta\sin\varphi) \sin(0.5kbsin\theta\cos\varphi)}{0.5kasin\theta\sin\varphi \quad 0.5kbsin\theta\cos\varphi} \quad (6)$$

$$E_{\varphi} = \frac{-jabE(j\omega)e^{-jkr_0}}{2\lambda r_0} (1 + \cos\varphi) \times \frac{\sin(0.5kasin\theta\sin\varphi) \sin(0.5kbsin\theta\cos\varphi)}{0.5kasin\theta\sin\varphi \quad 0.5kbsin\theta\cos\varphi} \quad (7)$$

где a, b – длины сторон прямоугольника, причем a сравнимо с b , м.

Как видно, предлагаемый аналитический метод отличается весьма простым математическим аппаратом, следовательно, вычислительной эффективностью, особенно простой компьютерной реализацией, отсутствием вычислительных трудностей. Он не имеет проблемы ленгмюровских колебаний из-за погрешностей входных данных. Метод обеспечивает пессимистическую оценку спектра помехового излучения. То есть рассчитанный спектр является гладким и перекрывает все максимумы спектров электромагнитного помехового поля [6]. Такая оценка допускается для прогно-

зирования помехоустойчивости систем управления движения поездов, так как рассчитанная энергия не меньше энергии реальных помех.

В сравнении с имеющимися программными комплексами для расчета и анализа электромагнитных полей, разработанная программа имеет высокую вычислительную эффективность, проблемно-ориентирована, не требует больших вычислительных ресурсов, обладает возможностью расчетов в сверхширокополосном диапазоне частот, легко расширяема посредством добавления новых форм импульсов и неоднородностей, позволяет получать практически важный результат с малыми затратами времени.

Поэтому предлагаемый способ расчета помехового воздействия импульсов электромагнитного поля может найти широкое практическое применение при проектно-конструкторских и сертификационных работах по созданию прогрессивных интеллектуальных систем управления движением поездов.

Литература:

1. Кечиев Л. Н., Пожидаев Е. А. Защита электронных средств от воздействия статического электричества – М.: Издательский дом «Технологии», 2005. – 352 с.
2. Кечиев Л. Н., Акбашев Б. Б., Степанов П. В. Экранирование технических средств и экранирующие системы – М.: ООО Группа ИДТ, 2010. – 470 с.
3. Cerri G. [at al] ESD Field Penetration Through Slots into Shielding Enclosures: A Time Domain Approach – IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility – 1997, Vol 37, № 4. – P 377-386
4. Курушин А. А., Пластикова А. Н. Проектирование СВЧ устройств в среде CST MicroWaveStudio– М.: Изд-во МЭИ, 2011. – 255 с.
5. Фальковский О. И. Техническая электродинамика – М.: Связь, 1978. – 432 с.
6. Цельненко Д. А [и др.] Модель дифракции высокочастотной электромагнитной волны на апертуре в проводящем экране Доклады БГУИР № 5, 2015. – 5-11 с.
7. Лавров А. С., Резников Г.Б. Антенно-фидерные устройства – М.: Сов. радио, 1974. – 386 с.
8. Аполлонский С. М. Дифференциальные уравнения математической физики в электротехнике СПб.: Питер, 2012. – 352 с.

