

нического средства, Кл/м<sup>2</sup>;  $u_n$  – напряжение на корпусе, В;  $S$  – оператор, с помощью которого вычисляется напряжение помехи в узлах рецептора;  $u_p$  – напряжение помех в узлах рецептора, В.

В случае воздействия на аппаратуру ЖАТ помех от молнии, высоковольтных ЛЭП, контактной сети железных дорог, то есть источников с большими токами и достаточно удаленных, связь по помеховому полю источника и рецептора помех может быть записана в форме

$$\begin{aligned} G(\alpha, I_n) &= j; \\ H(\alpha_1, j) &= u_p, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $G$  – оператор, с помощью которого вычисляется распределение плотности тока по корпусу технического средства;  $\alpha, \alpha_1$  – геометрические характеристики задачи;  $j$  – распределение плотности тока по корпусу технического средства, А/м<sup>2</sup>;  $I_n$  – ток источника помех, А;  $H$  – оператор, с помощью которого вычисляется напряжение помехи в узлах рецептора;  $u_p$  – напряжение помех в узлах рецептора, В.

Полученные операторные соотношения являются основой для дальнейшего расчета электромагнитных помех методами электродинамики. Они также становятся неотъемлемой частью вероятностных моделей помехоустойчивости ТС ЖАТ, как аппарат расчета уровней характеристик помех (напряжения помех или их энергии).

Следует также рассмотреть вопрос о конкретной форме операторов в соотношениях (1) и (2) для практических расчетов. В системном анализе находит применение метод функций преобразования. Функции преобразования связывают помехи на входах системы ЖАТ и помеховые воздействия на ее узлы. В электродинамике известны функции, которые могут выступать как функции преобразования электромагнитных помех. Это функция Грина и суперпозиционный потенциал первого рода, описанные в работах Г. Ф. Полякова, а также С. И. Молоковского и А. Д. Сушкова. Но даже в частном случае передачи помех электростатическим полем определение этих функций дискретно требует больших объемов памяти ЭВМ и выполнения громоздких вычислений. Это связано с тем, что значения указанных функций рассчитываются для каждой точки внутреннего объема корпуса ТС ЖАТ. Поэтому для практических целей следует формулировать операторные соотношения (1) и (2) в виде интегральных уравнений. Эти уравнения для численного решения сравнительно просто и экономно преобразуются в системы алгебраических линейных уравнений.

Изложенные соображения позволяют сделать вывод, что приведенные методики системного анализа и операторные соотношения (1) и (2) являются достаточными для описания воздействия некондуктивных помех на устройства ЖАТ и служат основанием для дальнейшего моделирования электромагнитной совместимости указанных систем как детерминистским, так и вероятностным подходом.

УДК 537.2.003.24

## РАСЧЕТ ТРЕХМЕРНЫХ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ МЕТОДОМ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ

*Д. В. КОМНАТНЫЙ*

*Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого*

Решение некоторых задач электромагнитной совместимости, как-то расчет влияния источников помех высокого напряжения, расчет помехового влияния радиаторов охлаждения микропроцессоров, проектирование экранов требует расчета трехмерных электростатических полей. В подавляющем числе практических случаев расчет можно выполнить только численными методами.

Среди численных методов выделяется простым математическим аппаратом метод эквивалентных электродов, предложенный Д. Величковичем для расчета плоскопараллельных полей. В докладе излагается обобщение указанного метода на случай трехмерных полей.

Задача анализа поля ставится следующим образом. На трехмерном проводящем теле, расположенном над бесконечно проводящей плоскостью, задан потенциал. Чтобы рассчитать распределение потенциала в верхнем полупространстве требуется предварительно найти распределение заряда по поверхности тела.

Для этого поверхность тела разделяется на прямоугольные элементы. Затем предполагается, что действие прямоугольного элемента равно действию шара, несущего тот же заряд, что и прямоугольный элемент. Этот шар и является эквивалентным электродом. Радиус шара определяется из условия равенства площадей поверхности шара и прямоугольного элемента по формуле

$$R = \sqrt{\frac{ab}{4\pi}}, \quad (1)$$

где  $R$  – радиус эквивалентного электрода, м;  $a$  – длина стороны прямоугольного элемента, м;  $b$  – ширина прямоугольного элемента, м.

Заряды шаров размещаются в их центрах, пренебрегая отражениями заряда эквивалентного электрода в соседних шарах. Точки наблюдения помещаются в центрах шаров. Для определения зарядов эквивалентных электродов используется система линейных алгебраических уравнений на основе первой группы формул Максвелла, при известных потенциалах в точках наблюдения. Потенциальные коэффициенты двух шаров приведены в монографии Г. Н. Александрова и В. Л. Иванова и имеют вид:

собственный потенциальный коэффициент –

$$\alpha_{ii} = \frac{1}{4\pi\epsilon_a} \left( \frac{1}{R} - \frac{1}{2H} \right), \quad (2)$$

взаимный потенциальный коэффициент –

$$\alpha_{ij} = \frac{1}{4\pi\epsilon_a} \left( \frac{1}{D} - \frac{1}{X} \right), \quad (3)$$

где  $\epsilon_a$  – абсолютная диэлектрическая проницаемость среды, Ф/м;  $H$  – расстояние от центра шара до проводящей плоскости, м;  $D$  – расстояние между шаром номер  $i$  и шаром номер  $j$ , м;  $X$  – расстояние между зеркальным отражением шара номер  $i$  и шаром номер  $j$ , м.

Применение собственного потенциального коэффициента в форме (2) для расчета поля в центре шара допустимо, так как можно показать, что потенциал в центре равномерно заряженной сферы и потенциал на поверхности незаряженной сферы того же радиуса, созданный размещенным в центре сферы точечным зарядом, равны, если точечный заряд численно равен полному заряду первой сферы.

Для проверки предложенного метода был выполнен расчет распределения заряда по прямоугольной пластине, расположенной над бесконечной проводящей плоскостью. Расчет показал, что вычисленное распределение зарядов эквивалентных электродов создает в точках наблюдения на пластине потенциал, отличающийся от заданного с малой погрешностью 0,2%. Это позволяет сделать вывод о возможности применения метода эквивалентных электродов для расчета трехмерных электростатических полей.

УДК 656.25.002.1

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПЕРИОДИЧНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ МНОГОЭЛЕМЕНТНЫХ СИСТЕМ

*И. КОРАГО, В. ЛЮБИНСКИЙ*

*Институт железнодорожного транспорта Рижского технического университета, Латвия*

**Введение.** У любой системы в процессе эксплуатации под воздействием случайных факторов происходит разрегулировка составляющих и различных по своим характеристикам модулей. В результате у системы снижаются производительность и качество выполнения своих функций.