

предлагаются варианты изменения схем, которые позволят снизить количество неконтролируемых отказов.

УДК 537.2.001.24

## ПОСТРОЕНИЕ СЕТОК РАВНОВЕЛИКИХ ГРАНИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

Д. В. КОМНАТНЫЙ

Белорусский государственный университет транспорта

Решение определенного круга задач электромагнитной совместимости (ЭМС), а именно: конструирование испытательных камер, экранов, построение схем замещения, проектирование копланарных волноводных линий с позиций ЭМС – требует выполнения расчетов характеристик трехмерных статических и квазистатических электрических полей. Большая часть таких задач может быть решена только численными методами, наиболее прогрессивным из которых является метод граничных элементов. В этом методе граничные поверхности задачи разделяются на малые участки, поверхностная плотность заряда которых принимается постоянной. Значения поверхностной плотности зарядов граничных элементов отыскивается путем сведения интегральных уравнений электростатики к линейным алгебраическим, которые впоследствии решаются на ЭВМ.

Как показывает практика расчетов, точность и сходимость метода граничных элементов существенно зависят от свойств сетки элементов. В докладе рассматриваются вопросы выработки условий, которым должна соответствовать сетка граничных элементов, и способа построения сеток, удовлетворяющим этим условиям.

В простейшем случае действие граничного элемента принимается равным действию точечного заряда, численно равного полному заряду элемента, находящегося в его центре. Другими словами, кусочно-непрерывное распределение заряда заменяется системой точечных зарядов. Для анализа свойств поля такой системы рассмотрим задачу о расчете электростатического поля в квадранте, образованном тремя взаимно перпендикулярными полуплоскостями. На полуплоскостях расположены точечные заряды на равных расстояниях друг от друга по каждой координатной оси. Путем решения уравнения Лапласа можно показать, что потенциал поля зарядов, принадлежащих полуплоскости  $XU$ , выражается формулой

$$\varphi(x, y, z) = Ae^{-\lambda z} \cos \frac{2\pi nx}{\alpha} \cos \frac{2\pi ny}{\beta}, \quad (1)$$

где  $\varphi$  – потенциал,  $A$  – переменная, зависящая от граничных условий,  $\alpha, \beta, \gamma$  – расстояния между зарядами по осям  $x, y, z$  соответственно, м.

Из формулы (1) следует, что сетка граничных элементов должна иметь равномерную густоту на всех рассматриваемых граничных поверхностях. Этим достигается уменьшение искажений поля системы точечных зарядов дополнительными гармониками ряда Фурье.

Для построения равномерной сетки граничных элементов на прямоугольных поверхностях поступим следующим образом. Координаты произвольной вершины граничного элемента можно найти из параметрического уравнения плоскости:

$$\begin{aligned} x_n &= x_0 + u\alpha_1 + v\alpha_2; \\ y_n &= y_0 + u\beta_1 + v\beta_2; \\ z_n &= z_0 + u\gamma_1 + v\gamma_2, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $n$  – номер вершины граничного элемента;  $x_0, y_0, z_0$  – координаты начальной точки граничного элемента, м;  $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$  – координаты вектора, связанного с одной из сторон элемента, м;  $\alpha_2, \beta_2, \gamma_2$  – координаты вектора, связанного со стороной элемента, перпендикулярной первой, м.

Параметры  $u$  и  $v$  должны определяться так, чтобы удовлетворить сформированному выше требованию к сетке элементов. Предлагается вычислять параметры (2) по следующему алгоритму. Вначале отыскивается наименьшая сторона среди всех сторон прямоугольных граничных поверхностей. Допустимый размер граничного элемента (базовый отрезок  $l_{\text{баз}}$ ) находится путем деления длины наименьшей стороны на целое число, характеризующее густоту сетки.

Параметры уравнений (2) определяются по следующим выражениям:

$$u = \frac{k_1 + w_1}{k_{1\max}}, \quad (3)$$

$$v = \frac{k_2 + w_2}{k_{2\max}}, \quad (4)$$

где  $k_1$  и  $k_2$  – счетные переменные;  $k_1$  и  $k_2$  являются целыми числами, в процессе вычислений изменяются с шагом, равным единице, и находятся в промежутке

$$\begin{aligned} k_1 &\in (1 \dots k_{1\max} - 1); \\ k_2 &\in (1 \dots k_{2\max} - 1). \end{aligned} \quad (5)$$

Значения величин  $k_{1\max}$  и  $k_{2\max}$  получают по формулам:

$$k_{1\max} = \left[ \frac{|\vec{a}_1|}{l_{\text{Баз}}} \right]; \quad (6)$$

$$k_{2\max} = \left[ \frac{|\vec{a}_2|}{l_{\text{Баз}}} \right], \quad (7)$$

где  $a_1$  и  $a_2$  – векторы, связанные с двумя перпендикулярными сторонами граничного элемента.

Вспомогательные величины  $w_1$  и  $w_2$  находятся по правилу, обеспечивающему переход между вершинами элемента:

$$\begin{aligned} \text{при } n = 1 \quad w_1 = 0, \quad w_2 = 0; \\ \text{при } n = 2 \quad w_1 = 1, \quad w_2 = 0; \\ \text{при } n = 3 \quad w_1 = 1, \quad w_2 = 1; \\ \text{при } n = 4 \quad w_1 = 0, \quad w_2 = 1. \end{aligned} \quad (8)$$

Предлагаемый метод был проверен путем решения модельной задачи расчета электростатического поля в прямоугольном параллелепипеде с расположенной внутри заземленной проводящей пластиной. Он применялся при анализе электрического поля, наводимого при электростатическом разряде на шины печатных плат адаптера связи ДЦ «Неман». Результаты расчетов показали, что полученные решения отличаются высокой точностью, ленгмюровские колебания отсутствуют. Таким образом, можно заключить, что применение сеток граничных элементов, построенных описанным способом, сокращает вычислительные трудности решения задач исследования электрических полей.

УДК 621.394.5

## К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ КОММУТАЦИИ

*М. С. КОСТЕНОК, Ю. А. КУШНЕРОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта*

Средства коммуникации в современных условиях являются важным фактором развития всех ветвей народного хозяйства как производственной сферы, так и сферы управления и обслуживания. На современном этапе развития средств связи лидирующее место по объему передаваемой информации занимает сеть телефонной связи как наиболее доступный и достаточно эффективный метод обеспечения взаимодействия и коммуникации.

Телефонные сети связи представляют собой совокупность технических средств, обеспечивающих связь между абонентами сети, и состоят из абонентских устройств, соединительных линий (каналов) связи, коммутационных узлов. Коммутационные узлы осуществляют соединения определенных линий связи на время передачи сообщений. Основным типом таких узлов являются автоматические телефонные станции (АТС). На сетях связи находят применение узловые АТС, как правило, достаточно большой емкости и АТС малой емкости, использующиеся в качестве оконечных станций. Узловые выполняют транзитные и оконечные соединения, малые – оконечные.

Получение зависимости нагрузки станции от числа абонентов на ней имеет практический интерес для прогнозирования нагрузки вновь проектируемых АТС. Для осуществления поставленной задачи необходимо было получить данные о динамике изменения полезной емкости малых АТС за каждый день. Задача облегчалась тем, что основная масса существующих цифровых АТС типа