

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ДИФРАКЦИИ НА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОМ КЛИНЕ, РАСПОЛОЖЕННОМ МЕЖДУ МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ПЛОСКОСТЯМИ, МЕТОДОМ ЧАСТИЧНЫХ ОБЛАСТЕЙ

*Руда Н. А.; Прокопенко Ю. В., к.т.н. доцент;  
Поплавко Ю. М., д.ф.-м.н. профессор  
Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина*

Успехи в развитии пьезоэлектрических актюаторов и микроэлектромеханических систем вызвали интерес к разработке электромеханически перестраиваемых СВЧ устройств. Основное достоинство таких устройств состоит в низком уровне вносимых потерь и высокой добротности перестраиваемых устройств [1]. Моделирование электромеханически перестраиваемых устройств, например волноводно-диэлектрических фазовращателей [2], требует решение задачи дифракции на диэлектрическом клине (рис.1).

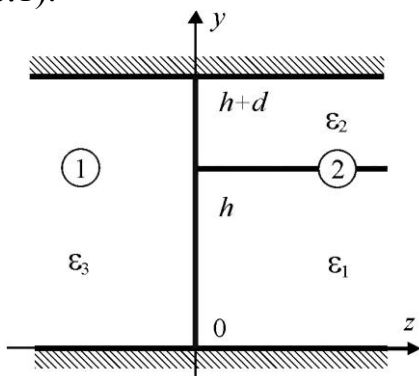


Рис.1. Диэлектрический клин между параллельными металлическими плоскостями

Задача дифракции решена методом частичных областей. Рассеянное поле в областях 1 и 2 представлялось в виде разложений по собственным функциям областей. Согласно стандартной процедуре метода частичных областей, в плоскости  $z=0$  вводились две неизвестные функции  $f^e(y)$  и  $f^m(y)$ , пропорциональные  $y$ -компонентам электрического и магнитного поля. Учитывая, что системы собственных функций областей являются ортонормированными, из условия равенства  $x$ -компонент поля в плоскости  $z=0$  задача сведена к системе интегральных уравнений Фредгольма первого рода:

где ядра интегральных уравнений  $G_j^e(y, y')$  и  $G_j^m(y, y')$  выражаются через собственные функции областей 1 и 2, а функции  $\phi_j(y)$  через падающие волны,  $h$  – толщина диэлектрика с относительной диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_1$ ,  $d$  – толщина диэлектрика с относительной диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_2$ .

$$\int_0^{h+d} (G_j^e(y, y') f^e(y') + G_j^m(y, y') f^m(y')) dy' = \phi_j(y), j = 1, 2 \quad (1)$$

Система (1) решена методом Галеркина. В итоге задача сведена к си-

стеме линейных алгебраических уравнений относительно коэффициентов разложения функции  $f^e(y)$  и  $f^m(y)$  по полным и ортогональным на отрезке  $[0, h+d]$  системам координатных функций. Решение этой системы позволяет найти рассеянное поле и рассчитать многомодовую матрицу рассеяния.

Сходимость метода зависит от выбора координатного и проекционного базиса метода Галеркина. В случае, когда  $d \ll h$  или  $\epsilon_1 \approx \epsilon_2$  в качестве базисов использовались собственные функции областей. В более общем случае использованы ультрасферические полиномы Гегенбауэра, позволяющие учесть особенность электромагнитного поля на ребре диэлектрического клина.

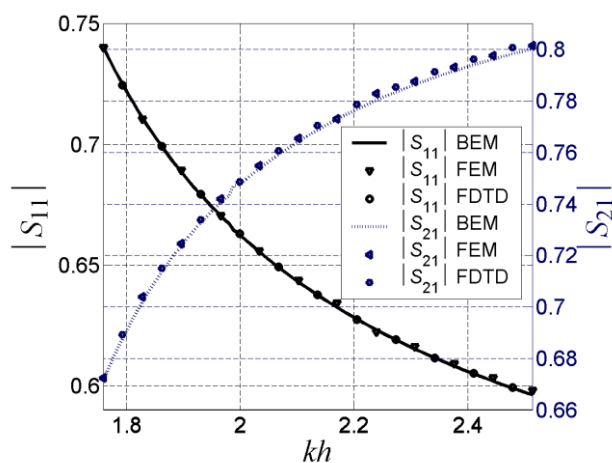


Рис.2. Сравнение результатов расчета коэффициента отражения  $S_{11}$  и коэффициента прохождения  $S_{21}$  методами частичных областей (BEM), методом конечных разностей (FEM) и методом конечных разностей во временной области (FDTD) для структуры, характеризуемой параметрами:  $\epsilon_1=10$ ,  $\epsilon_2=1$ ,  $\beta_x h = \pi/2$ ,  $d/h=0,001$

Пример расчета элементов матрицы рассеяния для основной моды колебаний приведен на рис. 2. Для сравнения на этом же рисунке приведены результаты расчета такой же структуры методами конечных элементов и конечных разностей во временной области.

Как видно на рис. 2, наблюдается хорошее соответствие между предлагаемым методом и методами конечных элементов и конечных разностей во временной области. Вместе с тем, метод частичных областей приводит к системам линейных алгебраических уравнений гораздо низшего

порядка, чем выше упомянутые методы. Поэтому вычислительная процедура оказывается более эффективной и требует существенно меньших затрат времени для проведения расчетов.

### Литература

1. Перестраиваемые СВЧ устройства с электромеханическим управлением / [Ю.М. Поплавко, В.И. Молчанов, В.М. Пашков и др.] // Техника и приборы СВЧ. — 2009. — №1. — С.49— 59.
2. Руда Н.А. Электродинамический анализ волноводно-диэлектрического фазовращателя / Н.А. Руда, Ю.В. Прокопенко, Ю.М. Поплавко // Электроника и связь. — 2011. — №2(61). — С.46-51.