

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ФУНКЦИЙ ГРИНА СЛОИСТЫХ СТРУКТУР ДЛЯ АНАЛИЗА АНТЕННЫ ВЫТЕКАЮЩЕЙ ВОЛНЫ НА ОСНОВЕ ВОЛНОВОДА С ПОПЕРЕЧНЫМИ ЩЕЛЯМИ

Абдуллин Р.Р., Князев С.Т., Шабунин С.Н.  
(Екатеринбург, УрФУ, shab313@ya.ru)

## APPLICATION OF THE GREEN'S FUNCTIONS METHOD OF LAYERED STRUCTURES FOR THE ANALYSIS OF A LEAKY-WAVE ANTENNA BASED ON A WAVEGUIDE WITH TRANSVERSE SLOTS

Abdullin R.R., Knyazev S.T., Shabunin S.N.

Антенны вытекающих волн получили широкое распространение в миллиметровом диапазоне частот в силу относительно простой конструкторской реализации. Одним из видов подобных антенн является прямоугольный волновод с поперечными щелями [1]. Однако, в этой работе анализируется лишь однородно заполненный прямоугольный волновод. В ряде случаев наличие диэлектрического укрытия обусловлено конструктивными и технологическими факторами, например, необходимостью защиты от внешних воздействий на антенную систему (рис. 1). Использование частично заполненного волновода расширяет диапазон изменений постоянной распространения и обеспечивает необходимое сканирование диаграммы направленности в пространстве.

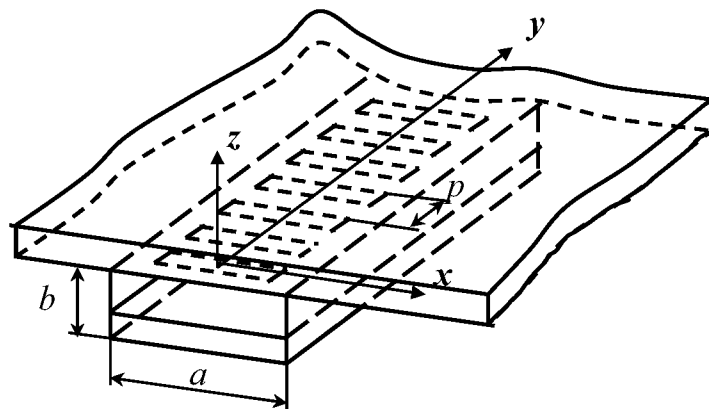


Рис. 1. Волноводно-щелевая антенна вытекающих волн

Расчет характеристик излучения рассматриваемых антенн с помощью известных программных средств, например, HFSS или CST Microwave Studio затруднителен, так как качественные характеристики антенны обеспечиваются только при достаточно точно подобранных начальных условиях, получить которые достаточно сложно. Выход в использовании аналитических подходов. Появляется возможность не только определить нужные интегральные характеристики, но и проанализировать структуру электромагнитного поля, включающего в себя распространяющиеся, поверхностные и вытекающие волны.

Предложенный в [2] метод тензорных функций Грина для слоисто заполненных областей позволяет проанализировать более сложную, чем в [1] структуру, а именно, частично заполненный прямоугольный волновод и проводящий экран с магнитоэлектрическим покрытием. В экране, который одновременно является верхней стенкой прямоугольного волновода, с шагом  $p$  прорезаны щели длиной  $L$  и шириной  $W$ . Толщина слоя с параметрами покрытия  $\epsilon_C, \mu_C$  равна  $d$ . В волноводе часть пространства толщиной  $d$  заполнена магнитоэлектриком с параметрами  $\epsilon_W, \mu_W$ . Ширина щели предполагается узкой и магнитный ток в

ней имеет одну лишь продольную компоненту  $\vec{J}_x^M = \vec{x}_0 \frac{1}{W} \cos \frac{\pi}{L} x$ .

Предполагается, что волноводная система поддерживает волну с постоянной распространения  $\gamma_y = \beta - j\alpha$ , где  $\beta$  – коэффициент фазы,  $\alpha$  – коэффициент затухания.

Поле вне волновода для одиночной щели может быть найдено по формулам

$$H_x = \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{-j}{\xi^2 + \eta^2} \left[ \frac{\xi^2}{k_1^2} \gamma_1 \left( \vec{Y}^H(z_0) \frac{\omega \mu_c}{\gamma_1} \cos \gamma_1 z - j \sin \gamma_1 z \right) + \frac{\eta^2}{\omega \epsilon_c} \left( \vec{Y}^E(z_0) \cos \gamma_1 z - j \frac{\omega \epsilon_c}{\gamma_1} \sin \gamma_1 z \right) \right] \times \quad (1)$$

$$\times e^{-j\xi x} e^{-j\eta y} \frac{\sin \eta \frac{W}{2}}{\eta \frac{W}{2}} \frac{2\pi \cos \xi \frac{L}{2}}{L \left( \frac{\pi}{L} \right)^2 - \xi^2} d\xi d\eta.$$

Поле внутри волновода находится по аналогичной формуле с переходом от непрерывного спектра по волновым числам  $\xi$  к дискретному. Отличие состоит также в записи модальных проводимостей  $\vec{Y}^H(z_0)$  и  $\vec{Y}^E(z_0)$ .

При использовании теоремы Флоке интеграл по волновым числам  $\eta$  в (1) заменяется разложением в ряд по волновым гармоникам  $\gamma_y + \frac{2\pi n}{p}$ , где  $p$  – расстояние между краями по оси  $y$ ,  $n$  – индекс суммирования. Для определения постоянной распространения «сшиваем» компоненты магнитного поля в щели для поля во внешней области и внутри частично заполненного волновода. Отметим, что при переходе к однородному заполнению волновода и отсутствию покрытия экрана выражения (1) и (2) аналитически переходят к приведенным в [1].

Исследованы условия существования распространяющихся и не распространяющихся волн в зависимости от электрических размеров волновода и параметров заполнения. Отмечено, что рассмотренная структура может поддерживать три вида волн в зависимости от частоты и параметров заполнения: волноводные, поверхностные и вытекающие волны. Продемонстрированы возможности применения рассмотренных структур в антенной технике.

### Литература

1. Liu J., Jackson D.R. Long Y. Modal Analysis of Dielectric-Filled Rectangular Waveguide With Transverse Slots / IEEE Trans. On Antennas and Propag., vol. 50. N 9. 2011, p. 3194-3203.
2. Электродинамический расчет характеристик полосковых антенн / Панченко Б.А., Князев С.Т. и др. // М.: Радио и связь. 2002. 256 с.

### РАСЧЕТ ВЕКТОРНОЙ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ С ЧИСТО ФАЗОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

*Ю.Е. Мительман<sup>1</sup>, Б.С. Соболев<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Екатеринбург, ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», ymitelman@yandex.ru;

<sup>2</sup>Екатеринбург, Институт математики и механики УрО РАН, sbs2810@mail.ru)

### CALCULATION OF VECTOR RADIATION PATTERN OF REFLECTOR-ARRAY ANTENNA WITH PURE PHASE CONTROL

*Yu.E. Mitelman, B.S. Sobolev*

Растущий интерес к разработке математических моделей антенных систем различных конфигураций в основном связан со все возрастающими требованиями к современным радиотехническим системам. Этот интерес также связан с быстрым развитием вычислительных