

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МИКРОПОЛОСКОВОЙ ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ С АНИЗОТРОПНО ПРОВОДЯЩИМИ МИКРОПОЛОСКОВЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Карташов М.В.

Научный руководитель: д-р техн. наук, проф. Касьянов А.О.

Таганрогский кампус Южного федерального университета, Россия

E-mail: m-kar@mail.ru

Аннотация — Разработана математическая модель, описывающая микрополосковую отражательную антенную решетку с анизотропно проводящими микрополосковыми элементами (МПЭ) на поверхности слоя магнито-диэлектрика. Сформулирована система ИУ позволяющая найти распределение поверхностных токов как на МПЭ, так и на апертурах. Показан переход от рассмотрения бесконечной периодической системы ячеек к рассмотрению одной центральной ячейки.

1. Введение

Широкое распространение при изготовлении микрополосковых антенных решеток (МΠΑР) получили методы производства интегральных схем. Благодаря этому, становится возможно уменьшение габаритов, а в конечном итоге и стоимость устройств. В связи с этим ведутся поиск и моделирование новых типов МΠΑР, в том числе и отражательного типа. Особый интерес представляют модели решеток, в которых на электродинамическом уровне учитывается тензорный характер поверхностного сопротивления элементов конструкции.

В докладе представлена математическая модель МΠΑР, для которой поверхностное сопротивление микрополосковых элементов описывается тензором.

2. Основная часть

Для анализа МΠΑР применяется метод интегральных уравнений. Используя лемму Лоренца в интегральной форме, записываются соотношения для полей в области расположенной над поверхностью МΠΑР, а также в слое диэлектрика подложки [1].

Граничные условия на МПЭ запишем в следующем виде

$$\vec{E}_\tau = \vec{W} [\vec{n}, \vec{H}_2 - \vec{H}_1],$$

где $\vec{W} = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} \\ W_{21} & W_{22} \end{bmatrix}$ — поверхностное сопротивление.

Граничные условия на апертурах: $\vec{H}_{1\tau} = \vec{H}_{2\tau}$.

Исходя из граничных условий, получаем ИУ для полей на границе раздела областей. При этом рассматриваем различные ориентации вспомогательных источников. Далее определяются выражения для неоднородных уравнений, являющиеся решениями неоднородного уравнения Гельмгольца. Полученные соотношения для полей, позволяют найти матричные коэффициенты системы скалярных ИУ, которые, в свою очередь, позволяют найти распределение токов на элементах МΠΑР.

В дальнейшем, использование условия периодичности позволяет вместо бесконечной периодической системы ячеек рассматривать одну центральную ячейку МΠΑР.

$$\begin{aligned} E_{\{x\}} + W_{\{11\}} \int_{S_1} \{E_y K_{21} - E_x K_{22}\} dx' dy' \begin{Bmatrix} + \\ - \end{Bmatrix} \\ W_{\{12\}} \int_{S_1} \{E_y K_{11} - E_x K_{12}\} dx' dy' = \begin{Bmatrix} - \\ + \end{Bmatrix} \xi \left[W_{\{11\}} \vec{H}^{\hat{a}} + W_{\{12\}} \vec{H}^{\hat{a}} \right] \end{aligned}$$

$$\int_{S_A} \left\{ E_y K_{\{11\}} - E_x K_{\{12\}} \right\} dx' dy' = -\xi \begin{Bmatrix} \vec{H}^{\hat{a}} \\ \vec{H}^{\hat{a}} \end{Bmatrix},$$

где

$$\begin{aligned} K_{11} &= -i \left(k_1^2 + \frac{\partial^2}{(\partial x')^2} \right) \frac{G_1^{AR}}{k_1 W_1} + \left(k_2^2 + \frac{\partial^2}{(\partial x')^2} \right) \frac{G_2^{AR}}{k_2 W_2}; \\ K_{12} &= K_{21} = -i \left(\frac{1}{k_1 W_1} \frac{\partial^2}{\partial x' \partial y'} G_1^{AR} + \frac{1}{k_2 W_2} \frac{\partial^2}{\partial x' \partial y'} G_2^{AR} \right); \\ K_{22} &= -i \left(\left(k_1^2 + \frac{\partial^2}{(\partial y')^2} \right) \frac{G_1^{AR}}{k_1 W_1} + \left(k_2^2 + \frac{\partial^2}{(\partial y')^2} \right) \frac{G_2^{AR}}{k_2 W_2} \right) \end{aligned}$$

Здесь обозначено

$$G_1^{AR} = \frac{1}{d_1 d_2} \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{e^{i\alpha_m(x-x') + i\alpha_n(y-y')}}{\gamma_{1mn}};$$

$$G_2^{AR} = \frac{1}{d_1 d_2} \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \text{cth}(\gamma_{2mn} d) \frac{e^{i\alpha_m(x-x') + i\alpha_n(y-y')}}{\gamma_{2mn}},$$

где $\gamma_{1mn} = \sqrt{\alpha_m^2 + \alpha_n^2 - k_1^2}$; $\gamma_{2mn} = \sqrt{\alpha_m^2 + \alpha_n^2 - k_2^2}$;

$$\alpha_m = \frac{2\pi m}{d_1} + h_1; \alpha_n = \frac{2\pi n}{d_2} + h_2.$$

Выражения для $\vec{H}^{\hat{a}}$ не приводятся из-за их громоздкости.

3. Заключение

Таким образом, получена система скалярных ИУ и выражения для компонентов его матричного ядра, позволяющих определить поле, рассеиваемое рассмотренной МΠΑР. На основе разработанной математической модели, в докладе анализируются характеристики рассеяния МΠΑР с различной формой и величиной поверхностного сопротивления МПЭ.

4. Список литературы

- [1] Марков Г.Т. Электродинамика и распространение радиоволн / Г.Т.Марков, Б.М.Петров, Г.П.Грудинская. — М.: Сов.радио, 1979. — 376 с.

THE MATHEMATICAL MODEL OF THE MICROSTRIP REFLECT ARRAY FROM PRINTED ELEMENTS WITH THE ANISOTROPIC CONDUCTIVITY

Kartashov M.V.

Scientific adviser: Kasyanov A.O.

Taganrog Campus of Southern Federal University, Russia

Abstract — The mathematical model of a microstrip reflect array with anisotropic conductive elements on a surface of a layer is developed. The components of a matrix kernel of the IE system describing the behavior of a field of an unit cell of array are defined.