

показали, что для крупномасштабных неровностей индикатриса обратного отражения световых волн носит диффузный характер.

Литература: 1. *Галиш В.А.* Координатные измерительные машины. М.: Машиностроение, 1988. 352с. 2. *Оптический производственный контроль* / Под ред. Малакары Д. М.: Машиностроение, 1985. 400с. 3. *Аблеков В.К., Колядин С.А., Фролов А.Ф.* Высокора разрешающие оптические системы. М.: Машиностроение, 1985. 244 с. 4. *Гнеденко Б.В.* Курс теории вероятностей. М.: Гостехиздат, 1948. 352 с. 5. *Стрэттон Д.А.* Теория электромагнетизма. М.: Гостехиздат, 1948. 410с. 6. *Исакович М.А.* Журнал экспериментальной и теоретической физики. 1952. Т.23. Вып 3(9). С. 305. 7. *Семенов Б.И.* Радиотехника и электроника. 1965. Т.10, № 11. С. 147. 8. *Бугер П.* Оптический трактат о градации света. Ленинград: Издательство АН СССР, 1950. 235 с. 9. *Топорец А.С., Мазуренко М.М.* Оптико-механическая промышленность. 1974. №11. С.59. 10. *Иванов А.П., Топорец А.С.* Журнал технической физики. 1956, Т.26. Вып.3, С.631. 11. *Иванов А.П., Топорец А.С.* Журнал

технической физики. 1956. Т.26. Вып.3. С.623. 12. *Топорец А.С., Мазуренко М.М.* Журнал прикладной спектроскопии. 1967. Т.7, №6. С. 905. 13. *Хусу А.П., Витенберг Ю.Р., Пальмов В.А.* Шероховатость поверхностей. М.: Наука, 1975. 385 с. 14. *Городинский Г.М.* Оптика и спектроскопия. 1964. Т.16, №3. С.112. 15. *Городинский Г.М., Шестов А.Н.* Оптика и спектроскопия. 1970. Т.29, №6. С.600. 16. *Beckmann P.* Proceeding of the IEEE. v.3, №5, 1970. P.341. 17. *Войшвилло Н.А.* Оптика и спектроскопия. 1967. Т.22. Вып.6. С.956. 18. *Шмаров В.М.* Міжнародна конференція «Сучасні інформаційні та енергозберігаючі технології «Збірник наукових праць. Вип. №6. Видавництво «ФАДА-ЛТД». Київ, 1999. С.5-6.

Поступила в редколлегию 12.06.2004

Рецензент: д-р физ.-мат наук, проф. Чурюмов Г.И.

Шмаров Валерий Николаевич, канд. техн. наук, генеральный директор Украинской государственной компании по экспорту-импорту вооружений и средств военной техники (Укрспецэкспорт). Научные интересы: лазерные дистанционные средства измерений. Адрес: Украина, Киев, ул. Дегтяревская, 36.

УДК 621.372.8

ВОЛНОВОДНО-ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ РЕЗОНАТОРЫ СЛОЖНОЙ СТРУКТУРЫ. АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

СЛИПЧЕНКО Н.И.

Проводится аналитический расчет волноводно-диэлектрических резонаторов двух типов. Для каждого из них получены системы линейных алгебраических уравнений в общем виде, позволяющие определить коэффициенты отражения и передачи рассматриваемых структур.

1. Введение

Твердотельные устройства СВЧ диапазона заняли прочное место в радиоэлектронике. Одним из важных компонентов таких устройств являются фильтры. Их физическая реализация разнообразна. Большинство из них представляет собой отрезки заградительного волновода, которые содержат диэлектрические неоднородности. Применение заградительных волноводно-диэлектрических структур в качестве базовых элементов СВЧ устройств обусловлено расширением функциональных возможностей последних, а именно: 1) конструктивная простота резонансного звена; 2) уменьшение габаритных размеров; 3) снижение стоимости изготовления; 4) повышение точности расчета параметров устройств; 5) использование низкопроницаемых материалов.

Практический интерес представляет изучение волноводно-диэлектрических фильтров в целях их последующего проектирования. Выбирая надлежащим образом параметры линии передачи — диэлектрическую проницаемость и геометрические размеры, можно реализовать фильтры с требуемыми частотными характеристиками.

2. Метод решения и цель работы

Для анализа рассматриваемых в работе волноводно-диэлектрических структур используется метод декомпозиции [2-4], в соответствии с которым весь электродинамический объект разбивается на элементарные подобласти, представляющие собой отрезки регулярных линий передачи. Границами частичных областей являются плоскости, перпендикулярные к направлению распространения волны (ось z). В каждой из выделенных подобластей поля представляют собой суперпозицию падающих и отраженных волн конкретного отрезка линии передачи. Применительно к решаемой задаче будем считать:

- 1) высота подводящих и заградительных волноводов такова, что волны, имеющие вариации поля по оси U , не возбуждаются;
- 2) в подводящем волноводе ($z < 0$) в положительном направлении оси z распространяется основная волна прямоугольного волновода H_{10} единичной амплитуды;
- 3) все волны, рассеянные на стыках различных волноводов, принадлежат к классу H_{n0} .

С учетом свойства ортогональности применяемых при решении данной задачи собственных функций функциональные уравнения приводятся к системе линейных алгебраических уравнений, которые включают в себя бесконечное число неизвестных амплитудных коэффициентов. Ее можно записать в матричной форме $\bar{A}\bar{X} = \bar{b}$, где $\bar{X}, \bar{b}$ — векторы неизвестных амплитуд и свободных коэффициентов соответственно, матрица $\bar{A}$ имеет блочно-диагональный вид. Таким образом, расчет указанных выше устройств в математическом плане сводится к решению определенного класса граничных электродинамических задач, которые в свою очередь приводят к необходимости решать бесконеч-

ные СЛАУ. Алгоритмы решения данного класса систем реализуются методом последовательного исключения отдельных матричных субблоков, различные модификации которого описаны в [5-9].

Цель данного исследования – получить системы линейных алгебраических уравнений относительно амплитудных коэффициентов падающих и отраженных волн в каждой частичной области резонатора, решая которые можно вычислить амплитудно-частотные характеристики рассматриваемых структур. В дальнейшем определяются элементы матрицы рассеяния рассматриваемой волноводно-диэлектрической структуры для анализа их частотных характеристик. Такие характеристики дают информацию о резонансных явлениях в запердельных волноводах с диэлектрическими слоями.

3. Двухзвенный резонатор

Рассмотрим запердельный волноводно-диэлектрический резонатор с плоскими слоями. Он представляет собой три отрезка прямоугольного волновода сечений A , B , C , соединенных поочередно с двумя отрезками меньших сечений a_1, a_2 ($a_2 < a_1 < C < B < A$), и возбуждается волноводом большего поперечного сечения. Выбирая определенным образом значения проницаемости слоев, в волноводах меньших сечений создают участки с нераспространяющимися волнами – запердельные слои (рис. 1).

Пусть в подводящих волноводах при $z < 0$ возбуждаются волны $H_{m_1 0}$ ($m_1 = 1, 2, \dots$), при $z > L_3$ – $H_{m_3 0}$ ($m_3 = 1, 2, \dots$). Постоянные распространения этих волн обозначим через $\beta_{m_1}^A$ и $\beta_{m_3}^C$ соответственно. Участки волноводов, имеющие продольные размеры l_2, l_5 , заполнены немагнитным диэлектриком с проницаемостями $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ соответственно. На этих участках возможны падающие и отраженные волны типа H_{p0} , $p = 1, 2, \dots$. Постоянные распространения этих волн обозначим через $\beta_{k_1}^I, \beta_{k_2}^{II}, \beta_{k_3}^{III}, \beta_{k_4}^{IV}, \beta_{k_5}^V, \beta_{k_6}^{VI}$ соответственно. Каждая из рассматриваемых волн описывается своей функцией Φ распределения поперечного электрического поля.

Поперечное электрическое поле E_y можно представить в виде суперпозиции падающих и отраженных волн на каждом участке волноводов:

$$E_y^A = \Phi_1^A(x) \exp(-i\beta_1^A z) + \sum_{m=1}^{\infty} A_m^- \Phi_m^A(x) \exp(i\beta_m^A z), \quad (1)$$

$$E_y^I = \sum_{n=1}^{\infty} \Phi_n^I(x) [B_n^+ \exp(-\beta_n^I z) + B_n^- \exp(\beta_n^I z)], \quad (2)$$

$$E_y^{II} = \sum_{s=1}^{\infty} \Phi_s^{II}(x) [C_s^+ \exp(-i\beta_s^{II}(z-l_1)) + C_s^- \exp(i\beta_s^{II}(z-l_1))], \quad (3)$$

$$E_y^{III} = \sum_{p=1}^{\infty} \Phi_p^{III}(x) [D_p^+ \exp(-\beta_p^{III}(z-l_1-l_2)) + D_p^- \exp(\beta_p^{III}(z-l_1-l_2))], \quad (4)$$

$$E_y^B = \sum_{q=1}^{\infty} \Phi_q^B(x) [E_q^+ \exp(-i\beta_q^B(z-L_1)) + E_q^- \exp(i\beta_q^B(z-L_1))], \quad (5)$$

$$E_y^{IV} = \sum_{n=1}^{\infty} \Phi_n^{IV}(x) [\tilde{B}_n^+ \exp(-\beta_n^{IV}(z-L_2)) + \tilde{B}_n^- \exp(\beta_n^{IV}(z-L_2))], \quad (6)$$

$$E_y^V = \sum_{s=1}^{\infty} \Phi_s^V(x) [\tilde{C}_s^+ \exp(-i\beta_s^V(z-L_2-l_4)) + \tilde{C}_s^- \exp(i\beta_s^V(z-L_2-l_4))], \quad (7)$$

$$E_y^{VI} = \sum_{p=1}^{\infty} \Phi_p^{VI}(x) [\tilde{D}_p^+ \exp(-\beta_p^{VI}(z-L_2-l_4-l_5)) + \tilde{D}_p^- \exp(\beta_p^{VI}(z-L_2-l_4-l_5))], \quad (8)$$

$$E_y^C = \sum_{q=1}^{\infty} \Phi_q^C(x) \exp(-i\beta_q^C(z-L_3)) \tilde{E}_q^+. \quad (9)$$

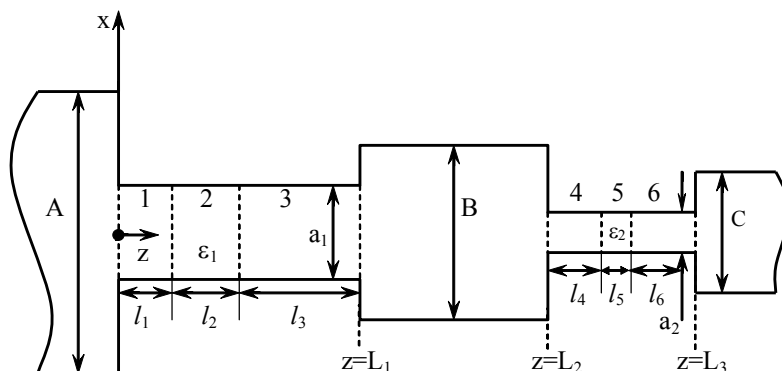


Рис. 1. Двухзвенный волноводно-диэлектрический резонатор

Подводящий волновод запитан основной волной прямоугольного волновода H_{10} единичной амплитуды. Геометрические размеры и проницаемости слоев выбираются так, чтобы в каждом звене возникали участки с нераспространяющимися волнами (запредельные) [1]. При таких условиях амплитуды волн с большими номерами довольно быстро затухают по мере их удаления от сечений, в которых они возбуждаются. На электрическое поле E_y на границах областей, прилегающих к различным волноводам, налагается условие непрерывности. Такое же условие должно выполняться и в отношении поперечного магнитного поля H_x [1, 2].

В результате выполнения указанных выше условий получаем следующую систему функциональных уравнений относительно искомых амплитудных коэффициентов электромагнитных полей в каждой частичной области:

$$\Phi_1^A(x) + \sum_{m=1}^{\infty} A_m^- \Phi_m^A(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \Phi_n^I(x) (B_n^+ + B_n^-), \quad (10)$$

$$\begin{aligned} -i\beta_1^A \Phi_1^A(x) + i \sum_{m=1}^{\infty} \beta_m^A A_m^- \Phi_m^A(x) = \\ = \sum_{n=1}^{\infty} \beta_n^I \Phi_n^I(x) (-B_n^+ + B_n^-), \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^{\infty} \Phi_n^I(x) [B_n^+ \exp(-\beta_n^I l_1) + B_n^- \exp(\beta_n^I l_1)] = \\ = \sum_{s=1}^{\infty} \Phi_s^{\Pi}(x) (C_s^+ + C_s^-), \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^{\infty} \beta_n^I \Phi_n^I(x) [-B_n^+ \exp(-\beta_n^I l_1) + B_n^- \exp(\beta_n^I l_1)] = \\ = \sum_{s=1}^{\infty} i\beta_s^{\Pi} \Phi_s^{\Pi}(x) (-C_s^+ + C_s^-), \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \sum_{s=1}^{\infty} \Phi_s^{\Pi}(x) [C_s^+ \exp(-i\beta_s^{\Pi} l_2) + C_s^- \exp(i\beta_s^{\Pi} l_2)] = \\ = \sum_{p=1}^{\infty} \Phi_p^{\text{III}}(x) (D_p^+ + D_p^-), \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \sum_{s=1}^{\infty} i\beta_s^{\Pi} \Phi_s^{\Pi}(x) [-C_s^+ \exp(-i\beta_s^{\Pi} l_2) + C_s^- \exp(i\beta_s^{\Pi} l_2)] = \\ = \sum_{p=1}^{\infty} \beta_p^{\text{III}} \Phi_p^{\text{III}}(x) (-D_p^+ + D_p^-), \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \sum_{p=1}^{\infty} \Phi_p^{\text{III}}(x) [D_p^+ \exp(-\beta_p^{\text{III}} l_3) + D_p^- \exp(\beta_p^{\text{III}} l_3)] = \\ = \sum_{q=1}^{\infty} \Phi_q^{\text{B}}(x) (E_q^+ + E_q^-), \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \sum_{p=1}^{\infty} \beta_p^{\text{III}} \Phi_p^{\text{III}}(x) [-D_p^+ \exp(-\beta_p^{\text{III}} l_3) + D_p^- \exp(\beta_p^{\text{III}} l_3)] = \\ = \sum_{q=1}^{\infty} i\beta_q^{\text{B}} \Phi_q^{\text{B}}(x) (-E_q^+ + E_q^-), \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \sum_{q=1}^{\infty} \Phi_q^{\text{B}}(x) [E_q^+ \exp(-i\beta_q^{\text{B}} (L_2 - L_1)) + \\ + E_q^- \exp(i\beta_q^{\text{B}} (L_2 - L_1))] = \sum_{n=1}^{\infty} \Phi_n^{\text{IV}}(x) (\tilde{B}_n^+ + \tilde{B}_n^-), \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \sum_{q=1}^{\infty} i\beta_q^{\text{B}} \Phi_q^{\text{B}}(x) [-E_q^+ \exp(-i\beta_q^{\text{B}} (L_2 - L_1)) + E_q^- \exp(i\beta_q^{\text{B}} (L_2 - L_1))] = \\ = \sum_{n=1}^{\infty} \beta_n^{\text{IV}} \Phi_n^{\text{IV}}(x) (-\tilde{B}_n^+ + \tilde{B}_n^-), \end{aligned} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^{\infty} \Phi_n^{\text{IV}}(x) [\tilde{B}_n^+ \exp(-\beta_n^{\text{IV}} l_4) + \tilde{B}_n^- \exp(\beta_n^{\text{IV}} l_4)] = \\ = \sum_{s=1}^{\infty} \Phi_s^{\text{V}}(x) (\tilde{C}_s^+ + \tilde{C}_s^-), \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^{\infty} \beta_n^{\text{IV}} \Phi_n^{\text{IV}}(x) [-\tilde{B}_n^+ \exp(-\beta_n^{\text{IV}} l_4) + \tilde{B}_n^- \exp(\beta_n^{\text{IV}} l_4)] = \\ = \sum_{s=1}^{\infty} i\beta_s^{\text{V}} \Phi_s^{\text{V}}(x) (-\tilde{C}_s^+ + \tilde{C}_s^-), \end{aligned} \quad (21)$$

$$\begin{aligned} \sum_{s=1}^{\infty} \Phi_s^{\text{V}}(x) [\tilde{C}_s^+ \exp(-i\beta_s^{\text{V}} l_5) + \tilde{C}_s^- \exp(i\beta_s^{\text{V}} l_5)] = \\ = \sum_{p=1}^{\infty} \Phi_p^{\text{VI}}(x) (\tilde{D}_p^+ + \tilde{D}_p^-), \end{aligned} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} \sum_{s=1}^{\infty} i\beta_s^{\text{V}} \Phi_s^{\text{V}}(x) [-\tilde{C}_s^+ \exp(-i\beta_s^{\text{V}} l_5) + \tilde{C}_s^- \exp(i\beta_s^{\text{V}} l_5)] = \\ = \sum_{p=1}^{\infty} \beta_p^{\text{VI}} \Phi_p^{\text{VI}}(x) (-\tilde{D}_p^+ + \tilde{D}_p^-), \end{aligned} \quad (23)$$

$$\begin{aligned} \sum_{p=1}^{\infty} \Phi_p^{\text{VI}}(x) [\tilde{D}_p^+ \exp(-\beta_p^{\text{VI}} l_6) + \tilde{D}_p^- \exp(\beta_p^{\text{VI}} l_6)] = \\ = \sum_{q=1}^{\infty} \Phi_q^{\text{C}}(x) \tilde{E}_q^+, \end{aligned} \quad (24)$$

$$i \sum_{p=1}^{\infty} \beta_p^{VI} \Phi_p^{VI}(x) [-\tilde{D}_p^+ \exp(-\beta_p^{VI} l_6) + \tilde{D}_p^- \exp(\beta_p^{VI} l_6)] =$$

$$= \sum_{q=1}^{\infty} \Phi_q^C(x) \beta_q^C \tilde{E}_q^+ . \quad (25)$$

Из системы функциональных уравнений (10)-(25) следует такая система линейных алгебраических уравнений относительно неизвестных коэффициентов:

$$\delta_{1m} + A_m^- = \sum_{n=1}^{\infty} v_{nm} (B_n^+ + B_n^-), \quad (26)$$

$$-i\beta_1^A \delta_{1m} + i\beta_m^A A_m^- = \sum_{n=1}^{\infty} \beta_n^I (-B_n^+ + B_n^-) v_{nm}, \quad (27)$$

$$B_m^+ \exp(-\beta_m^I l_1) + B_m^- \exp(\beta_m^I l_1) = (C_m^+ + C_m^-), \quad (28)$$

$$\beta_m^I [-B_m^+ \exp(-\beta_m^I l_1) + B_m^- \exp(\beta_m^I l_1)] =$$

$$= i\beta_m^{II} (-C_m^+ + C_m^-), \quad (29)$$

$$C_m^+ \exp(-i\beta_m^{II} l_2) + C_m^- \exp(i\beta_m^{II} l_2) = D_m^+ + D_m^-, \quad (30)$$

$$i\beta_m^{II} [-C_m^+ \exp(-i\beta_m^{II} l_2) + C_m^- \exp(i\beta_m^{II} l_2)] =$$

$$= \beta_m^{III} (-D_m^+ + D_m^-), \quad (31)$$

$$\sum_{p=1}^{\infty} \xi_{mp} [D_p^+ \exp(-\beta_p^{III} l_3) + D_p^- \exp(\beta_p^{III} l_3)] = E_m^+ + E_m^-, \quad (32)$$

$$\sum_{p=1}^{\infty} \beta_p^{III} \xi_{mp} [-D_p^+ \exp(-\beta_p^{III} l_3) + D_p^- \exp(\beta_p^{III} l_3)] =$$

$$= i\beta_m^B (-E_m^+ + E_m^-), \quad (33)$$

$$E_m^+ \exp(-i\beta_m^B (L_2 - L_1)) + E_m^- \exp(i\beta_m^B (L_2 - L_1)) =$$

$$= \sum_{n=1}^{\infty} \zeta_{mn} (\tilde{B}_n^+ + \tilde{B}_n^-), \quad (34)$$

$$i\beta_m^B [-E_m^+ \exp(-i\beta_m^B (L_2 - L_1)) + E_m^- \exp(i\beta_m^B (L_2 - L_1))] =$$

$$= \sum_{n=1}^{\infty} \beta_n^{IV} \zeta_{mn} (-\tilde{B}_n^+ + \tilde{B}_n^-), \quad (35)$$

$$\tilde{B}_m^+ \exp(-\beta_m^{IV} l_4) + \tilde{B}_m^- \exp(\beta_m^{IV} l_4) = \tilde{C}_m^+ + \tilde{C}_m^-, \quad (36)$$

$$\beta_m^{IV} [-\tilde{B}_m^+ \exp(-\beta_m^{IV} l_4) + \tilde{B}_m^- \exp(\beta_m^{IV} l_4)] =$$

$$= i\beta_m^V (-\tilde{C}_m^+ + \tilde{C}_m^-), \quad (37)$$

$$\tilde{C}_m^+ \exp(-i\beta_m^V l_5) + \tilde{C}_m^- \exp(i\beta_m^V l_5) = \tilde{D}_m^+ + \tilde{D}_m^-, \quad (38)$$

$$i\beta_m^V [-\tilde{C}_m^+ \exp(-i\beta_m^V l_5) + \tilde{C}_m^- \exp(i\beta_m^V l_5)] =$$

$$= \beta_m^{VI} (-\tilde{D}_m^+ + \tilde{D}_m^-), \quad (39)$$

$$\sum_{p=1}^{\infty} \vartheta_{mp} [\tilde{D}_p^+ \exp(-\beta_p^{VI} l_6) + \tilde{D}_p^- \exp(\beta_p^{VI} l_6)] = \tilde{E}_m, \quad (40)$$

$$i \sum_{p=1}^{\infty} \beta_p^{VI} \vartheta_{mp} [-\tilde{D}_p^+ \exp(-\beta_p^{VI} l_6) + \tilde{D}_p^- \exp(\beta_p^{VI} l_6)] = \beta_m^C \tilde{E}_m. \quad (41)$$

4. Трехзвенный резонатор

Для трехзвенного резонатора (рис. 2) система (1)-(8) дополняется уравнениями:

$$E_y^C = \sum_{q=1}^{\infty} \Phi_q^C(x) [\tilde{E}_q^+ \exp(-i\beta_q^C (z - L_3)) +$$

$$+ \tilde{E}_q^- \exp(i\beta_q^C (z - L_3))], \quad (42)$$

$$E_y^{VII} = \sum_{n=1}^{\infty} \Phi_n^{VII}(x) [\tilde{B}_n^+ \exp(-i\beta_n^{VII} (z - L_4)) +$$

$$+ \tilde{B}_n^- \exp(i\beta_n^{IV} (z - L_4))], \quad (43)$$

$$E_y^{VIII} = \sum_{s=1}^{\infty} \Phi_s^{VIII}(x) [\tilde{C}_s^+ \exp(-i\beta_s^{VIII} (z - L_4 - l_7)) +$$

$$+ \tilde{C}_s^- \exp(i\beta_s^{VIII} (z - L_4 - l_7))], \quad (44)$$

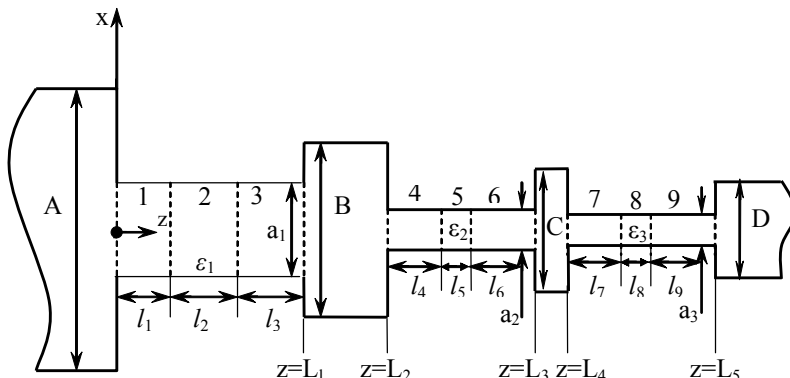


Рис. 2. Трехзвенный волноводно-диэлектрический резонатор

$$E_y^{IX} = \sum_{p=1}^{\infty} \Phi_p^{IX}(x) [\tilde{D}_p^+ \exp(-i\beta_p^{IX}(z - L_4 - l_7 - l_8)) + \tilde{D}_p^- \exp(i\beta_p^{IX}(z - L_4 - l_7 - l_8))], \quad (45)$$

$$E_y^D = \sum_{q=1}^{\infty} \Phi_q^D(x) \exp(-i\beta_q^D(z - L_5)) \tilde{E}_q^+ . \quad (46)$$

Для трехзвенного резонатора к системе (26)-(41) добавляются следующие уравнения:

$$\begin{aligned} & \tilde{E}_m^+ \exp(-i\beta_m^C(L_4 - L_3)) + \\ & + \tilde{E}_m^- \exp(i\beta_m^C(L_4 - L_3)) = \\ & = \sum_{n=1}^{\infty} \tilde{g}_{mn} (\tilde{B}_n^+ + \tilde{B}_n^-), \end{aligned} \quad (47)$$

$$\begin{aligned} & i\beta_m^C [-\tilde{E}_m^+ \exp(-i\beta_m^C(L_4 - L_3)) + \\ & + \tilde{E}_m^- \exp(i\beta_m^C(L_4 - L_3))] = \\ & = \sum_{n=1}^{\infty} \beta_n^{VII} \zeta_{mn} (-\tilde{B}_n^+ + \tilde{B}_n^-), \end{aligned} \quad (48)$$

$$\tilde{B}_m^+ \exp(-\beta_m^{VII} l_7) + \tilde{B}_m^- \exp(\beta_m^{VII} l_7) = \tilde{C}_m^+ + \tilde{C}_m^-, \quad (49)$$

$$\begin{aligned} & \beta_m^{VII} [-\tilde{B}_m^+ \exp(-\beta_m^{VII} l_7) + \tilde{B}_m^- \exp(\beta_m^{VII} l_7)] = \\ & = i\beta_m^{VIII} (-\tilde{C}_m^+ + \tilde{C}_m^-), \end{aligned} \quad (50)$$

$$\tilde{C}_m^+ \exp(-i\beta_m^{VIII} l_8) + \tilde{C}_m^- \exp(i\beta_m^{VIII} l_8) = \tilde{D}_m^+ + \tilde{D}_m^-, \quad (51)$$

$$\begin{aligned} & i\beta_m^{VIII} [-\tilde{C}_m^+ \exp(-i\beta_m^{VIII} l_8) + \tilde{C}_m^- \exp(i\beta_m^{VIII} l_8)] = \\ & = \beta_m^{IX} (-\tilde{D}_m^+ + \tilde{D}_m^-), \end{aligned} \quad (52)$$

$$\sum_{p=1}^{\infty} \tilde{g}_{mp} [\tilde{D}_p^+ \exp(-\beta_p^{IX} l_9) + \tilde{D}_p^- \exp(\beta_p^{IX} l_9)] = \tilde{E}_m^+, \quad (53)$$

$$i \sum_{p=1}^{\infty} \beta_p^{IX} \tilde{g}_{mp} [-\tilde{D}_p^+ \exp(-\beta_p^{IX} l_9) + \tilde{D}_p^- \exp(\beta_p^{IX} l_9)] = \beta_m^D \tilde{E}_m^+. \quad (54)$$

Выводы

1. В результате решения поставленных граничных электродинамических задач получены в общем виде без наложения каких-либо ограничений системы линейных алгебраических уравнений, из которых могут быть найдены амплитудно-частотные характеристики изучаемых объектов. Решение указанных систем проводится численно с использованием ЭВМ.

2. Для случая одноволнового приближения, когда в соответствующих рядах удерживается только первое слагаемое, бесконечные системы становятся конечными. Это позволяет получить относительно простые выражения для коэффициента отражения и коэффициента передачи рассматриваемых резонаторов.

3. При анализе составления систем уравнений в общем виде просматривается алгоритм их написания для N-звенного волноводно-диэлектрического резонатора, что определяет перспективы данного исследования.

Литература: 1. Капилевич Ю.Б. Волноводные диэлектрические фильтры. М.: Связь, 1980. 136с. 2. Кириллов Л.Г., Двоскина Ю.Н. СВЧ устройства на запердельных волноводах (обзор) // Зарубежная радиоэлектроника, 1974. №3. С.93-120. 3. Никольский В.В. Вариационные методы для внутренних задач электродинамики. М.: Наука, 1967. 4. Никольский В.В. Электродинамика и распространение радиоволн. М.: Наука, 1978. 5. Никольский В.В. Вариационные методы для задач дифракции (обзор) // Изв. вузов СССР. Радиофизика. 1977. Т. XX, №1. С.5-44. 6. Сигорский В.П., Петренко А.И. Алгоритмы анализа электронных схем. М.: Сов. радио, 1976. 7. Брамеллер А., Аллан Р., Хемэм Я. Слабозаполненные матрицы. М.: Энергия, 1979. 8. Hajj I.N. Formulation of multiport equation via blok matrux elimination. Proc. IEEE, 1978. Vol. 66, №10. P. 1275-1277. 9. Козлов В.И., Юфит Г.А. Проектирование СВЧ устройств с помощью ЭВМ. М.: Сов. радио, 1975.

Поступила в редколлегию 12.02.2004

Рецензент: д-р физ.-мат наук, проф. Чурюмов Г.И.

Слипченко Николай Иванович, канд. техн. наук, профессор, проректор по научной работе ХНУРЭ. Научные интересы: радиофизика и электроника. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. (0572) 702-10-20.