

Якщо створюється оптимальна конструкція РЕЗ, МС та МЗб на ДП чарунки повинні бути розташовані у місцях, де лінійні та кутові деформації плати мінімальні.

Література

1. Уваров Б.М. Механіка електронних апаратів: Навч. посібник. – К.: “Корнійчук”, 2008. – 314 с.
2. Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. Справочник по сопротивлению материалов. – К.: Наукова думка, 1988. – 736 с.
3. ДСТУ 2862-94. Надійність техніки. Методи розрахунку показників надійності. Загальні вимоги.
4. Кузнецов О.А., Погалов А.И. Прочность паяных соединений. – М.: Машиностроение, 1987. – 112 с.

Уваров Б.М. Надійність конструкції чарунок радіоелектронної апаратури за зовнішніх механічних впливів. Розглядається вплив напружень у виводах мікросхем, мікросборок, та у їх паяних з'єднаннях, що є результатом дії зовнішніх механічних впливів – вібрацій та ударів – на показники надійності чарунки радіоелектронного апарату.

Ключові слова: надійність апаратури, механічні впливи

Уваров Б. М., Надежность конструкции ячеек радиоэлектронной аппаратуры при внешних механических воздействиях. Рассматривается влияние напряжений в выводах микросхем, микросборок, и в их паяных соединениях, как результат действия внешних механических нагрузок – вибраций и ударов – на показатели надежности ячейки радиоэлектронного аппарата.

Ключевые слова: надёжность аппаратуры, механические воздействия

Uvarov B.M. Reliability of a radioelectronic equipment cells design at external mechanical influences. The influence of pressure in conclusions of microcircuits, microassembly, and in them solder connections, as result of action of external mechanical loadings – vibrations and impacts – on parameters of reliability of a cell of the radioelectronic device is considered.

Key words: reliability of equipment, mechanical influences

УДК 691.391.052

МЕТОД ПРОЕКТУВАННЯ ПРОФІЛЮ ПОКАЗНИКА ЗАЛОМЛЕННЯ У ХВИЛЕВОДІ КРУГЛОГО ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ

Левандовський В.Г.

В сучасному виробництві хвилеводів, зокрема, волоконних світловодів за звичай використовують накопичену інформацію щодо розв'язку прямої задачі, коли за профілем показника заломлення визначають параметри і характеристики хвилеводу. Однак, технологічний пошук відповідного профілю показника заломлення є досить дорогим процесом. Тому практично важливою є зворотна задача - метод проектування профілю показника за заданими характеристиками хвилеводу.

Розглядувана модель хвилеводу складається із серцевини, яка має граді-

ентний профіль показника заломлення, який описується неперервною функцією радіальної координати $n = n(r)$ та однорідної, досить протяжної оболонки, відповідає параметрам реальних хвилеводів. Задача розглядається для монохроматичних полів, які змінюються в часі пропорційно $\exp(i\omega t)$, де ω – циклічна частота. Вважаємо, що в напрямі поширення електромагнітних хвиль, амплітуда яких пропорційна $\exp(i\beta z)$, де β – стала поширення, хвилевод є однорідним. Задача розглядається за умов слабкої хвилепровідності, коли різниця функцій, що описують форму профілю показника заломлення серцевини та оболонки хвилеводу, мала. В цьому випадку повздовжні складові електричних та магнітних полів малі в порівнянні з поперечними складовими і поле вважається поперечним для довільного азимутального індексу. Поширення електромагнітних хвиль у такому хвилеводі описується рівняннями Максвелла. Після перетворення цих рівнянь згідно з, наприклад, [1], з урахуванням лінійної поляризації в нормованому вигляді одержимо

$$\frac{d^2\Phi(R)}{dR^2} + \left[u^2 - v^2 \left(g_1(R) + \frac{(l^2 - 1/4)}{v^2 R^2} \right) \right] \Phi(R) = 0, \quad (1)$$

де $u^2 = a^2 (n_1^2 k^2 - \beta^2)$ – нормована стала поширення; a – радіус серцевини; n_1 – максимальне значення показника заломлення у серцевині; $k = \omega \sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}$ – хвильове число у вільному просторі; ω – кутова частота; ε_0 та μ_0 – діелектрична і магнітна проникність вакууму; β – поздовжня стала поширення; $v^2 = u^2 + w^2 = a^2 k^2 n_1^2 2\Delta$ – нормована частота; $w^2 = a^2 (\beta^2 - n_2^2 k^2)$ – параметр, що характеризує поширення хвиль у оболонці; n_2 – значення показника заломлення у оболонці; $\Delta = (n_1^2 - n_2^2) / 2n_1^2$; $g_1(R)$ – функція профілю показника заломлення; $l = 0, 1, 2, \dots$ – азимутальний індекс моди; R – нормована до радіусу серцевини радіальна координата; $\Phi(R)$ – функція, пропорційна поперечним складовим поля. Враховуючи умови обмеженості поля у нулі і затухання його на нескінченності, а також, умови неперервності дотичних і нормальних складових векторів \mathbf{E} і \mathbf{H} на межі розділу між матеріалами з різними значеннями показника заломлення і виконуючи відповідне нормування [2], одержимо граничні умови для функції $\Phi(R)$:

$$\begin{aligned} \Phi(R)|_{R \rightarrow 0} = 0, \quad \Phi(R)|_{R \rightarrow \infty} = const, \\ \Phi(R)|_{R=1+0} = \Phi(R)|_{R=1-0}, \quad \frac{d\Phi(R)}{dR} \Big|_{R=1+0} = \frac{d\Phi(R)}{dR} \Big|_{R=1-0} \end{aligned} \quad (2)$$

Диференціальне рівняння (1) містить невідомий змінний коефіцієнт $g_1(R)$ і три параметри l , β та k . Зафіксувавши частоту k і розглядаючи задачу для конкретного азимутального індексу l , одержимо аналог радіального рів-

няння Шредінгера, яке застосовується для розв'язку зворотної задачі розсіювання нерелятивістської квантової механіки.

Задача проектування полягає у побудові форми профілю показника заломлення у поперечному перерізі хвилеводу, котрою в рівнянні (1) описується певна, поки що невідома, функція $g_1(R)$. У відповідності до методу розв'язку зворотної задачі розсіювання, використаємо значення передаточних характеристик деякого хвилеводу з відомою формою профілю показника заломлення. Виберемо, як такий, хвилевід із ступінчастим профілем показника заломлення його серцевини. Рівняння, що описує хвильові процеси в такому хвилеводі, має вигляд

$$\frac{d^2\Phi_1(R)}{dR^2} + \left[u^2 - v^2 \left(g_0(R) + \frac{(l^2 - 1/4)}{v^2 R^2} \right) \right] \Phi_1(R) = 0, \quad (3)$$

де $\Phi_1(R)$ – функція, пропорційна поперечним складовим електричного поля; $g_0(R)$ – функція профілю показника заломлення, $g_0(R) = 0$ при $R \in (0,1)$, $g_0(R) = 1$, при $R > 1$. Граничні умови для функції $\Phi_1(R)$ аналогічні умовам (2). У відповідності до методики Гельфанда-Левітана розв'язку зворотної задачі розсіювання [2], одержимо, що визначення профілю показника заломлення в поперечному перерізі хвилеводу одержимо, що визначення форми профілю показника заломлення в поперечному перерізі хвилеводу зводиться до розв'язку інтегрального рівняння Гельфанда-Левітана-Марченко[2]:

$$K(y, t) = - \int_0^R K(R, y) G(y, t) dy - G(R, t) = 0, \quad (0 < y < R). \quad (4)$$

Ядро $G(R, t)$ подається у вигляді інтегралу Стілт'еса,

$$G(R, t) = \int_0^\infty \sum_{i=1}^n F_1(R, u_i) F_1(u_i, t) d\sigma(u), \quad (5)$$

де інтегрування проводиться за зміною диференціалів спектральних функцій рівняння (1) $\xi(\rho)$ і рівняння (3) $\xi_1(\rho)$

$$d\sigma(p) = d\xi(p) - d\xi_1(p) = \begin{cases} 0, & 0 < v^2 < p, \\ B\delta(p - p_0) - \sum_{j=1}^N c_j \delta(p - p_j), & p \in (0, v^2), \\ 0, & p < 0 \end{cases}$$

де p – спектральний параметр, пов'язаний зі сталими поширення u співвідношенням $p_N = u_N^2$; $\delta(p - p_j)$ – дельта-функція Дірака; c_j – нормувальні коефіцієнти, $c_j^{-1} = \int_0^\infty \Phi_1^2(R, p_j) dR$, N – число мод, які поширюються на заданій частоті у вихідному хвилеводі. Коефіцієнт B необхідно визначити. У випадку мод, що поширюються, коли їх сталі поширення відповідають

дискретній частині спектру рівняння (1), інтегрування виразу (5) дає

$$G(R, p) = B\Phi_1(R, p_0)\Phi_1(t, p_0) - \sum_{j=1}^N c_j \Phi_1(R, p)\Phi_1(t, p_j), \quad (6)$$

де $\Phi_1(R, p_j)$ – розв’язок рівняння (3), що відповідає i -й моді.

З виразу (6) випливає, що інтегральне рівняння (4) має вироджене ядро. Отже його розв’язок можна одержати в аналітичному вигляді

$$K(R, t) = -BA^{(1)}(R)\Phi_1(t, p_0) + \sum_{j=1}^N c_j A_j^{(1)}(R)\Phi_1(t, p_j) - \\ B\Phi_1(R, p_0)\Phi_1(t, p_0) + \sum_{j=1}^N c_j \Phi_1(R, p_j)\Phi_1(t, p_j), \quad 0 < t < R \quad (7)$$

Функції $A^{(1)}(R)$, $A_j^{(1)}(R)$, $j = 1, 2, \dots, N$ визначаються із системи алгебраїчних рівнянь

$$\left[1 + BT^{(1)}(R)\tilde{A}(R) \right] - \sum_{j=1}^N c_j T_j^{(2)}(R)\tilde{A}_j(R) = F^{(0)}(R), \\ BT_m^{(2)}(R)\tilde{A}(R) + \tilde{A}_N(R) - \sum_{j=1}^N c_j T_{m,j}^{(3)}(R)\tilde{A}_j(R) = F^{(m)}(R), \quad m = 1, 2, \dots, N,$$

коефіцієнти якої мають вигляд:

$$T^{(1)}(R) = \int_0^R \Phi_1^2(t, p_0) dt, \quad T_j^{(2)}(R) = \int_0^R \Phi_1(t, p_j)\Phi_1(t, p_0) dt, \\ T_{j,m}^{(3)}(R) = \int_0^R \Phi_1(t, p_j)\Phi_1(t, p_m) dt, \quad F^{(j)}(R) = \Phi_1(R, p_j), \quad \tilde{A}(R) = \Phi(R, p), \\ \tilde{A}_j(R) = \Phi_1(R, p_j) \quad j = 1, 2, \dots, N, \quad j, m = 1, 2, \dots, N.$$

Проводячи далі аналогію із розв’язком зворотної задачі нерелятивістської квантової механіки [3], знаходимо, що функція $g_1(R)$, визначається за формулою

$$g_1(R) = g_0(R) + 2 \frac{d}{dR} K(R, R), \quad (8)$$

де $K(R, R)$ знаходиться з виразу (7). Після цього шукана форма профілю показника заломлення у поперечному перерізі хвилеводу визначиться наступним чином

$$n^2(R) = n_1^2 \left[1 - 2\Delta g_1(R) \right], \quad \Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2}, \quad R < 1 \quad (9)$$

Функція $\Phi(R)$, яка пропорційна поперечним складовим електричного поля хвилеводу, обчислюється за допомогою оператора перетворення Повзнера-Левітана [3].

$$\Phi(R) = \Phi_1(R) \cdot \left[1 + B \int_0^R \Phi_1^2(t) dt \right]^{-1} \quad (10)$$

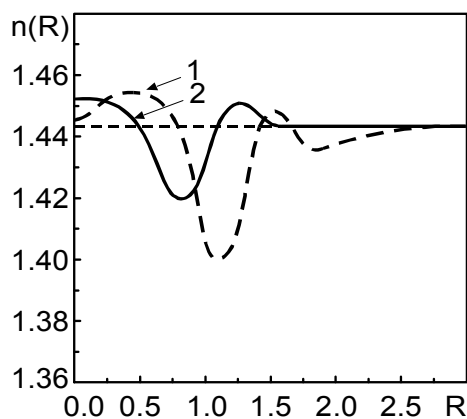


Рис. 1. Форми профілю показника заломлення в поперечному перерізі моделей хвильоводів

Нормувальний параметр B , що неявно входить у вирази (9), (10) знаходиться з інтегральних співвідношень, які пов'язують розподіл електромагнітного поля у поперечному перерізі хвильоводу з певними наперед заданими характеристиками.

Використовуючи запропонований метод, спроектовані моделі хвильоводів із заданими передавальними характеристиками. Інтегральна залежність, що пов'язує розподіл поля електромагнітної хвилі із значеннями її фазової і групової швидкостей, заданих на фіксованій час-

тоті [4] $v_{gr} v_{ph} = c^2 \cdot \int_0^\infty R \Phi^2(R) dR / \int_0^\infty R \Phi^2(R) n^2(R) dR$ дозволила побудува-

ти профілі показника заломлення для хвильоводів, які представлені на рис. 1.

Прямою пунктирною лінією показана величина показника заломлення у оболонці хвильоводу. Залежності від відстані до осі хвильоводу для профілів показника заломлення двох різних хвильоводів одержані для різних значень фазової і групової швидкості електромагнітної хвилі. Вихідні дані для визначення профілю показника заломлення з використанням значень V_{ph}/c і V_{gr}/c , заданих на фіксованій частоті, наведені у таблиці.

Таблиця

Параметри хвильоводу	Номери синтезованих хвильоводів	
	1	2
Нормована частота, V	2,55	2,55
Нормована фазова швидкість, V_{ph}/c	0,685	0,689
Нормована групова швидкість V_{gr}/c	0,683	0,683
Показник заломлення оболонки, n_2	1,444	1,444
Радіус серцевини вихідного хвильоводу, a , мкм	7,2	7,2

Запропонований метод проектування хвильоводу круглого поперечного перерізу, використовуючи наперед задані його передавальні характеристики, зручний для практичного використання, дозволяє спростити технологічний пошук відповідного профілю показника заломлення.

Література

1. Gomilko A.M., Gourjii A.A., Katok V.B., Levandovskyy V.G., Shchepkina Y.D.. New types of planar waveguides for an integrated optics // Proceedings of LFNМ'2002 4th

International Workshop on Laser and Fiber-Optical Network Modeling. – Kharkov. – 2002. – P. 328–330.

2. Гельфанд И.И., Левитан Б.М. Об определении дифференциального оператора по его спектральной функции // Изв. АН СССР, сер. математическая. – 1951. – № 4. – С. 309–316.

3. Case K.M. On wave propagation in inhomogeneous media // J. Math. Phys. – 1972. – V. 13. – № 23. – P. 360-387.

4. Katok V.B., Levandovskyy V.G., Shchepkina Y.D.. Optimization of transmission characteristics of singlemode fibers // Proceedings CAOL'2003. International Conference on Advanced Optoelectronics & Lasers. – Alushta. – 2003. – P. 99 – 101.

Левандовський В.Г. Метод проектування профілю показника заломлення у хвилеводі круглого поперечного перерізу. Запропоновано метод проектування профілю показника заломлення у хвилеводі круглого поперечного перерізу з використанням математичного апарату Гельфанда-Левітана-Марченко розв'язку зворотної задачі розсіяння нерелятивістської квантової механіки.

Ключові слова: профіль показника заломлення, хвилевід, стала поширення, зворотна задача розсіяння, поле електромагнітної хвилі

Левандовский В.Г. Метод проектирования профиля показателя преломления в волноводе круглого поперечного сечения. Предложен метод проектирования профиля показателя преломления в волноводе круглого поперечного сечения с использованием математического аппарата Гельфанда-Левитана-Марченко решения обратной задачи рассеяния нерелятивистской квантовой механики.

Ключевые слова: профиль показателя преломления, волновод, постоянная распространения, обратная задача рассеяния, поле электромагнитной волны

Levandovskyy V.G. Method for engineering of refraction index profile of circular cross-section waveguide. Engineering method for circular cross-section waveguide refraction index profile is proposed. Mathematical apparatus of Gel'fund-Levitan-Martchenko for solving of inverse scattering problem of nonrelativistic quantum mechanic been used.

Key words: refraction index profile, waveguide, propagation constant, inverse scattering problem, field of electromagnetic wave

УДК 681.586.5; 531.768

АНАЛІТИЧНІ РОЗРАХУНКИ ДИНАМІКИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОГО АКСЕЛЕРОМЕТРА

Чубарєв О.А. Дем'яненко П.О.

В даній роботі проведено аналітичний розрахунок руху волоконно-оптичного акселерометра (ВОА) та вплив зовнішніх дестабілізуючих факторів, таких як удари і вібраційні навантаження. Для опису руху ВОА застосовувались два методи: рівняння Лагранжа-Максвелла [2] та рівняння Ейлера [3].

Динаміка ВОА. Рівняння Лагранжа-Максвелла

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_t} - \frac{\partial L}{\partial q_t} = Q_t \quad (1)$$