

УДК 621.372.8.076.2

Л.М. Карпуков, С.Н. Романенко, Р.Д. Пулов
 Запорізький національний технічний університет, кафедра радіотехніки

АНАЛІТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК ДИСПЕРСІЇ У БАГАТОПРОВІДНИХ МІКРОСМУЖКОВИХ ЛІНІЯХ НА ОСНОВІ КВАЗІДИНАМІЧНОГО НАБЛИЖЕННЯ

© Карпуков Л.М., Романенко С.М., Пулов Р.Д., 2002

Отримано формули для розрахунку частотних залежностей ефективної діелектричної проникності і втрат в одно-, дво- і багатопровідній зв'язаній мікросмужковій лінії. Формули не мають обмежень за частотою і забезпечують досить високу точність розрахунків.

The formulas for calculation of frequency dependences of effective dielectric permittivity and losses in the single, double and multiconductor coupled microstrip lines are presented. These formulas have not frequency restrictions and give high accuracy of calculations.

Розробка ефективних електродинамічних моделей для багатопровідних зв'язаних мікросмужкових ліній (БЗ МСЛ) є актуальним завданням, теоретичне і практичне значення якого визначається широким використанням ліній цього типу як базового елемента при проектуванні сучасних мікроелектронних пристроїв НВЧ. Наявні результати по моделюванню БЗ МСЛ отримано числовими методами, складність алгоритмів яких і високі обчислювальні витрати утрудняють їх застосування в проектних процедурах по аналізу і синтезу НВЧ пристроїв. У зв'язку з цим виникає необхідність у створенні і реалізації методик розрахунків, які забезпечують одержання для БЗ МСЛ простих і достовірних моделей, які сформульовано в аналітичному вигляді.

Ціллю даної роботи є знаходження аналітичних виразів для розрахунку частотних залежностей параметрів основної хвилі в БЗ МСЛ на основі квазідинамічного наближення для поверхневого імпедансу мікросмужкової структури [1–3].

1. Теоретичні основи моделювання

Загальний вигляд поперечного перерізу БЗ МСЛ показано на рис. 1. Досліджувана структура містить у собі підкладку завтовшки h з однорідного ізотропного діелектрика з відносною діелектричною проникністю ϵ_r і тангенсом кута діелектричних втрат $\text{tg}\delta$. На одній стороні підкладки розташовано паралельні один до одного нескінченно тонкі металеві смужки різної ширини w_i . Інша сторона підкладки металізована.

Залежність від часу приймемо у вигляді $\exp(j\omega t)$, параметри підкладки представимо комплексною відносною діелектричною проникністю $\hat{\epsilon}_r = \epsilon_r(1 - j\text{tg}\delta)$, залежність поля від подовжньої координати z опишемо функцією $\exp(-jk_z z)$.

На нульовій частоті поле основної квази-Т хвилі n провідної зв'язаної мікросмужкової лінії зумовлено розв'язанням розглянутої крайової задачі у квазістатичному наближенні, є суперпозицією n мод. Моді розрізняються за розподілом струмів за смужками і

$$\begin{aligned}
 b_{m_k} = & \frac{1}{4} \left\{ \left[\left(\frac{\xi_k}{w_1} - \frac{1}{2} \right)^2 - \left(\frac{2mh}{w_1} \right)^2 \right] \ln \left[1 + \left(\frac{\xi_k - w_1/2}{2mh} \right)^2 \right] - \right. \\
 & \left. - \left[\left(\frac{\xi_k}{w_1} + \frac{1}{2} \right)^2 - \left(\frac{2mh}{w_1} \right)^2 \right] \ln \left[1 + \left(\frac{\xi_k + w_1/2}{2mh} \right)^2 \right] + \right. \\
 & + \left[\left(\frac{\xi_k}{w_1} + \frac{w_{k+1}}{w_1} + \frac{1}{2} \right)^2 - \left(\frac{2mh}{w_1} \right)^2 \right] \ln \left[1 + \left(\frac{\xi_k + w_{k+1} + w_1/2}{2mh} \right)^2 \right] - \\
 & \left. - \left[\left(\frac{\xi_k}{w_1} + \frac{w_{k+1}}{w_1} - \frac{1}{2} \right)^2 - \left(\frac{2mh}{w_1} \right)^2 \right] \ln \left[1 + \left(\frac{\xi_k + w_{k+1} - w_1/2}{2mh} \right)^2 \right] \right\} + \\
 & + \frac{2mh}{w_1} \left[\left(\frac{\xi_k}{w_1} - \frac{1}{2} \right) \operatorname{arctg} \frac{\xi_k - w_1/2}{2mh} - \left(\frac{\xi_k}{w_1} + \frac{w_{k+1}}{w_1} - \frac{1}{2} \right) \operatorname{arctg} \frac{\xi_k + w_{k+1} - w_1/2}{2mh} - \right. \\
 & \left. - \frac{2mh}{w_1} \left(\frac{\xi_k}{w_1} + \frac{1}{2} \right) \operatorname{arctg} \frac{\xi_k + w_1/2}{2mh} + \left(\frac{\xi_k}{w_1} + \frac{w_{k+1}}{w_1} + \frac{1}{2} \right) \operatorname{arctg} \frac{\xi_k + w_{k+1} + w_1/2}{2mh} \right], \\
 T_i = & \sum_{k=1}^{n-1} \frac{w_1^3}{w_{k+1} h^2} I_{k+1} \left[\left(\frac{\xi_k}{w_1} + \frac{w_{k+1}}{w_1} + \frac{1}{2} \right)^4 - \left(\frac{\xi_k}{w_1} + \frac{w_{k+1}}{w_1} - \frac{1}{2} \right)^4 + \left(\frac{\xi_k}{w_1} - \frac{1}{2} \right)^4 - \left(\frac{\xi_k}{w_1} + \frac{1}{2} \right)^4 \right], \\
 \xi_k = & -\frac{w_1}{2} + \sum_{i=1}^k (w_i + s_i).
 \end{aligned}$$

1. Mosig J. R., Sarkar T.K. Comparison of quasi-static and exact electromagnetic fields from a horizontal electric dipole above a lossy dielectric backed by an imperfect ground plane // *IEEE Trans. MTT*. - 1986. - V. 34. - № 4. - P. 379 - 387.
2. Arabi T. R., Murphy A. T., Sarkar T. K., Harrington R. F., Djordjevic A. R. Analysis of arbitrarily oriented microstrip lines a quasi-dynamic approach // *IEEE Trans. MTT*. - 1991. - V. 39. - № 1. - P. 75 - 82.
3. Карпуков Л. М., Романенко С.Н. Упрощенный расчет дисперсии в микрополосковой линии // *Радиотехника*. - 1991. - №5. - С. 97-98.
4. Карпуков Л. М. Анализ элементов и устройств СВЧ на многопроводных связанных микрополосковых линиях // *Изв. вузов. Радиоэлектроника*. - 1982. - Т.25. - №3. - С. 60-63.
5. Градштейн И. С., Рыжик И. М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений - М.: Наука, 1971.
6. Mayumi Matsunaga, Kiyotoshi Yasumoto. Coupled-mode analysis of coupled multiconductor microstrip lines // *Proceedings of ISAP '96, Chiba, Japan*. - P.273-276.
7. Jansen R.H. High - Speed Computation of Single and Coupled Microstrip Parameters Including Dispersion, High-Order Modes, Loss and Finite Strip Thickness // *IEEE Trans*. - 1978. - *MTT*-26. - № 2.