

梯形屏蔽共面波导的准静态研究

韩明华* 袁乃昌

(国防科技大学电子技术系 长沙 410073)

【摘要】 提出了一类新型共面传输线用于 MMIC 的设计, 该类共面传输线为梯形屏蔽共面波导 (SMCPW)。导出了用于计算该传输线的 TEM 参数的解析公式, 其方法是基于传输 TEM 模假设, 用精确的保角变换实现的, 最后得到的数值结果显示了该类共面传输线的性质。

关键词 共面波导; 保角变换; 梯形屏蔽共面波导
中图分类号 TN015

耦合带线、微带线已被广泛应用于诸如滤波器、定向耦合器、阻抗匹配网络等电路的设计。近几年来, 由于共面波导^[1~5]易于同无源元件并联连接, 而且易于单片集成而得到广泛的注意和研究, 共面集成已经成为微波毫米波 (MMIC) 电路的发展趋势。随着大规模高速集成电路的发展, 多导体传输线备受青睐。在多导体传输线的应用中, 为了减少线与线之间的耦合, 对信号线加以屏蔽, 这是近几年发展起来的新型传输线^[6~10]。文献[6]提出了“V”型传输线, 其后又相继出现了“V”型屏蔽及矩形屏蔽耦合微带线并采用保角变换得到了问题的严格解析式, 并对有无屏蔽壳的情况进行了详细的讨论, 可以应用于 MMIC 设计^[7~9]。

加屏蔽的传输线已经应用于实际的 MMIC 设计, 如 W-Band 滤波器^[11], 天线的馈源电路设计等。实践证明, 由于采用屏蔽, 降低了传输线之间的耦合, 提高了电路的特性。但以往设计过程中均采用矩形近似来得到传输线的参数, 还达不到精确设计的要求。本文利用保角变换方法得到了该类传输线的严格解析公式, 便于 MMIC 的计算机辅助设计 (CAD)。

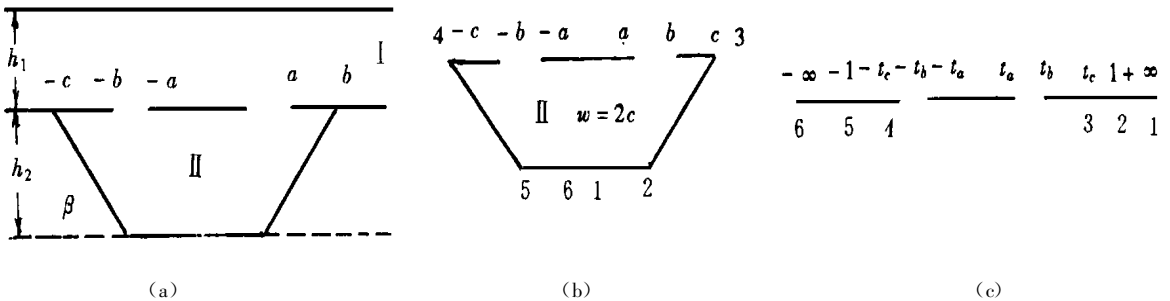


图 1 一类新型共面传输线

1 共面传输线的保角变换分析

对于图 1a 中的传输线可视为由图 1a 中 I、II 两部分组成。I 区电容可由下式得到

$$C_1 = 2\epsilon \frac{K(k)}{K(k')} \quad (1)$$

式中 $K(x)$ 是第一类完全椭圆函数; x 是模数; $x^2 + x'^2 = 1$; ϵ 是填充介质的介电常数。

$$k^2 = \tanh(a\pi/2h_1)/\tanh(b\pi/2h_2) \quad (2)$$

为了计算 II 区的电容, 应用保角变换将梯形域变换到 t -plane, 如图 1c 所示。再利用保角变换将 t -plane 变换成矩形域, 然后由平板电容公式得到 II 区的单位长度电容。

利用 Schwarz-Christoffel 变换将梯形域变换到 t -plane

$$z = A \int_0^t (t^2 - 1)^{-p} (t^2 - t_c^2)^{p-1} dt \quad (3)$$

式中 $p = \frac{1}{2} - \frac{\beta}{\pi}$, $-\frac{\pi}{2} \leq \beta \leq \arctan \frac{w}{2h}$ 。

令 $\frac{t}{t_c} = \sin(\theta)$, 得到

$$z = A \int_0^\theta t_c^{2p-1} \frac{d\theta}{(1 - t_c^2 \sin^2 \theta)^p \cos \theta^{1-2p}} = A \int_0^{\arcsin(t/t_c)} [d\theta / (1 - t_c^2 \sin^2 \theta)^p \cos \theta^{1-2p}] \quad (4)$$

参数 t_a , t_b , t_c 可由下式表示

$$\begin{aligned} \Delta &= A \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\theta}{(1 - t_c^2 \sin^2 \theta)^p \cos \theta^{1-2p}} \\ \frac{2h}{w} \Delta &= \cos \beta A \int_0^{\operatorname{arccosh}(1/t_c)} \frac{d\theta}{(1 - t_c^2 \cosh^2 \theta)^p \sinh \theta^{1-2p}} \\ \frac{2a}{w} \Delta &= A \int_0^{\operatorname{arcsin}(t_a/t_c)} \frac{d\theta}{(1 - t_c^2 \sin^2 \theta)^p \cos \theta^{1-2p}} \\ \frac{2b}{w} \Delta &= A \int_0^{\operatorname{arcsin}(t_b/t_c)} \frac{d\theta}{(1 - t_c^2 \sin^2 \theta)^p \cos \theta^{1-2p}} \end{aligned} \quad (5)$$

则 II 区的电容为

$$C_2 = 2\epsilon \frac{K(k)}{K(k')} \quad (6)$$

其中

$$k^2 = \tanh(t_a\pi/2h_1)\tanh(t_b\pi/2h_2) \quad (7)$$

则梯形屏蔽共面波导的总电容 C 为

$$C = C_1 + C_2 \quad (8)$$

2 矩形屏蔽近似公式 ($\beta=0$)

当 $\beta=0$ 时, 梯形退化为矩形, 此时可由近似公式直接对式 (5) 进行求解。当为矩形屏蔽时, 式 (5) 可简化为^[10]

$$\begin{aligned} \text{相位} \quad t_c &= \left(\frac{e^{\frac{w\pi}{2h}} - 2}{e^{\frac{w\pi}{2h}} + 2} \right)^2 \quad 1 < \frac{w}{2h} < \infty \\ t_c &= \sqrt{1 - \left(\frac{e^{\frac{w\pi}{2h}} - 2}{e^{\frac{w\pi}{2h}} + 2} \right)^4} \quad [0 < \frac{w}{2h} < 1] \end{aligned} \quad (9a)$$

$$\begin{cases} \frac{2a}{w} = \frac{F(\arcsin(t_a/t_c, t_c))}{K(t_c)} \\ \frac{2b}{w} = \frac{F(\arcsin(t_b/t_c, t_c))}{K(t_c)} \end{cases} \quad (9b)$$

式中 $F(\phi, k)$ 为第一类不完全椭圆函数积分, 可由数值方法求得结果。式(9b)即为文献[10]中讨论的矩形情况。

3 数值分析

利用上述解析公式, 采用数值算法求得结果, 以说明本文提出的新型共面传输线的性质。

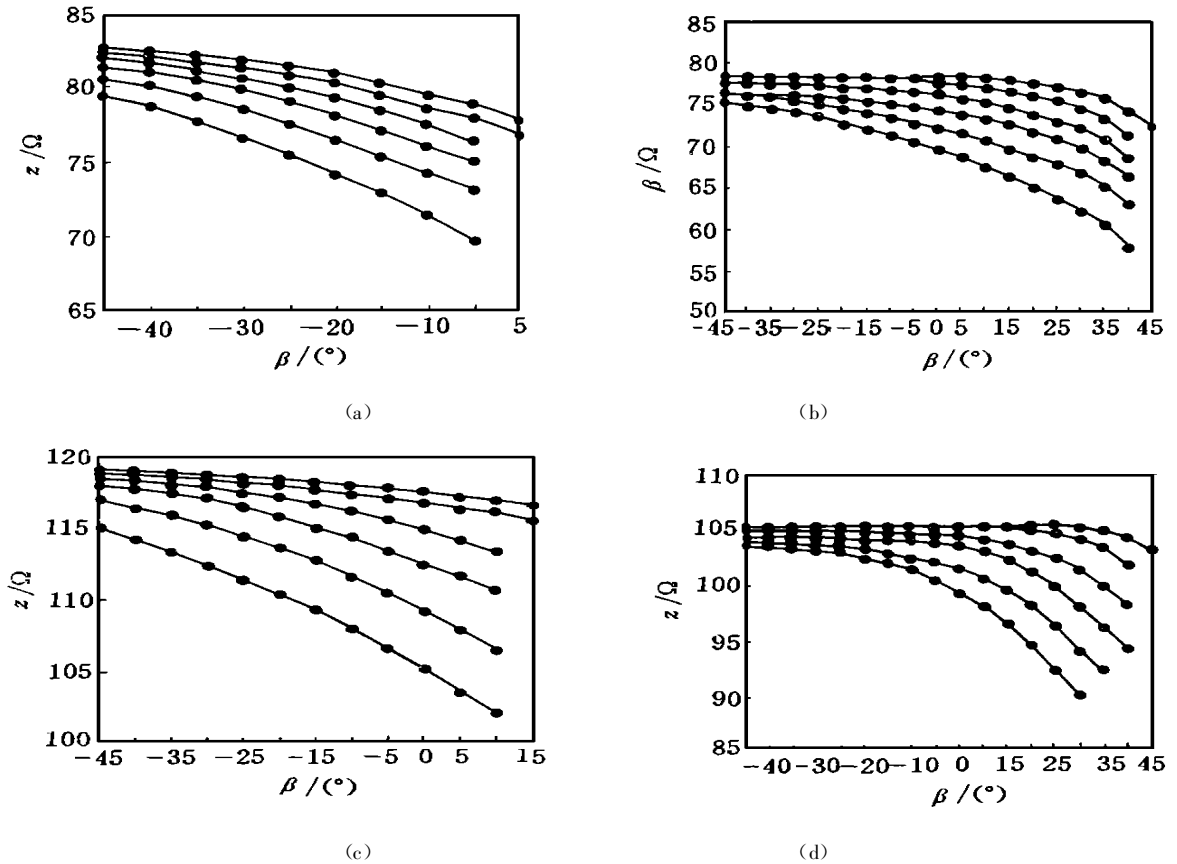


图 2 当填充介质为空气时共面波导的特性阻抗(特性阻抗为 $\beta, a/h, a/b, 2b/w$ 的函数)

图 2 中给出了悬置微带线的特性阻抗。图 2a~d 的参数依次为 $a/h=0.1, a/b=0.8$; $a/h=0.1, a/b=0.5$; $a/h=0.5, a/b=0.8$; $a/h=0.5, a/b=0.5$ 。而每种情况下, 自上到下的参数依次是 $2b/w=0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0$ 。由图示结果可知: 对于给定的 $a/h, a/b, 2b/w$, 特性阻抗随着 β 的增大而减小, 这是因为当 β 增大时, 单位长度的电容增大的缘故。但是当对于给定的 $\beta, 2b/w$ 均较小的时候, 特性阻抗变化不大。对于给定的 $a/h, a/b, 2b/h$, 在 $2b/w=1$ 时特性阻抗的减小速率达到最大。

4 结论

本文利用保角变换的解析方法对一类新型的共面屏蔽传输线进行了分析, 给出了解析表达式。

其中SMCPW已经得到了成功的应用^[11],另外两种传输线的特例情况($\beta=0$,“V”型)也得到了应用。由于通过调整梯形屏蔽的几何结构,可以改变传输线的特性参数,如特性阻抗、电容等,这样就为设计电路提供了很强的灵活性。本文给出的解析公式易于用作MIC及MMIC的计算机辅助设计。

参 考 文 献

- 1 WEN C P. Coplanar waveguide directional couplers. IEEE Trans MTT, 1970, 18(4):318~322
- 2 Ghione G, Naldi Carlo U. Coplanar waveguide for MMIC applications: effect of upper shielding, Conductor backing finite extent ground and line-to-line coupling. IEEE Trans MTT, 1987, 35:260~267
- 3 Katehi Linda P B. Novel transmission lines for the submillimeter-wave region. Proceeding of the IEEE, 1992, 80: 1771~1786
- 4 Dib N I, Katehi Linda P B. Impedance calculation for the microshield line. IEEE Trans Microwave and guide wave letters 1992, 1(2):406~408
- 5 Cheng Kwok-Keung M. Analysis and synthesis of coplanar coupled lines on substrates of finite thicknesses. IEEE Trans MTT, 1996, 44(4):234~240
- 6 Schutt-aïne J E. Static analysis of V transmission lines. IEEE Trans Microw Theory Tech, 1992, 40(5):659~664
- 7 Yuna N, Ruan C. Analytical analysis of V, elliptic and circular-shapes microshield transmission lines. IEEE Trans MTT, 43(10):2501~2504
- 8 Yuan N, Ruan C, Lin W et al. Coplanar coupled lines: the effects of the presence of the lateral ground planes upper and lower ground planes and V-shaped microshield ground walls. IEE Proc-Micro Antenna Prpagat, 1995, 142(1):63~65
- 9 袁乃昌,何建国. 单片集成传输线—共面耦合线、共面耦合带线及矩形微屏蔽的共面耦合线的新研究. 国防科技大学学报, 1995, 23(4):1~8
- 10 袁乃昌,阮成礼,林为干. 新型的共面波导传输线. 电子科技大学学报, 1993, 22(5):464~469
- 11 Robertson Stephen V. Micromatched W-Band filters. IEEE MTT, 1996, 44(4):598~606

Quasi-TEM Study of Coplanar Waveguide with Step Microshield

Han Minghua Yuan Naichang

(Dept. of Electronic Technique National University of Defense Technology of China Changsha 410073)

Abstract A new configuration of coplanar transmission lines is discussed, including step microshield coplanar waveguide(SMCPW). The simple, analysis and practical formulas for the evaluation of the quasi-TEM characteristic parameters is presented, which is based on a conformal mapping procedure. The results show the characteristics of these new transmission lines.

Key words conformal mapping; coplanar transmission lines; step microshield coplanar transmission lines

编辑 叶红