

基于人工传输线的小型微带 Wilkinson 功分器*

黄 文, 刘长军

(四川大学 电子信息学院, 成都 610064)

摘 要: 提出了一种基于人工传输线的小型微带 Wilkinson 功分器, 该器件使用由 L-C 元件构成的人工传输线取代传统传输线, 并使用交指电容和贴片电阻进行端口隔离。设计制作的 Wilkinson 功分器中心频率为 915 MHz 的微带 3 dB 功分器, 等幅同相地将输入功率分配到 2 个输出端口, 尺寸仅有传统 Wilkinson 功分器的 25%, 端口幅度平衡度 ± 0.2 dB, 相位平衡度 $\pm 1^\circ$ 。实验结果表明: 功分器带宽为 0.49~1.20 GHz, 插入损耗小于 3.2 dB, 回波损耗大于 10 dB, 仿真结果和测量结果吻合较好。

关键词: 人工传输线; Wilkinson 功分器; 交指电容; 小型化

中图分类号: TN62

文献标志码: A

doi:10.3788/HPLPB20102201.0123

微波功分器是无源微波器件, 用于功率分配或功率合成。在微波系统中, 需要将输入功率按一定的比例分配到各输出端口, 如微波信号分离、阵列天线馈电等, 在微波系统中有着广泛的应用。它的性能直接影响到整个系统功率分配和合成效率。自从 1960 年 Wilkinson 首次提出 N 路耦合的功率分配器后^[1], 功分器得到了广泛的研究, 并越来越为人们所重视, 成为高频电路中使用最为广泛的微波器件之一, 在微波功率传感器、混频、相位检测等电路中均有应用。宽频带、小型化、低功耗一直是微波射频电路研究的热点^[2-4]。近年来, C. W. Wang 等人提出使用人工传输线的理论设计新型微波器件, 与传统微波器件相比, 新型微波器件的性能得到了很好的改善^[5-9]。本文首先对人工传输线结构的等效电路的相关参数进行分析。然后依照 Wilkinson 功分器理论, 用贴片电阻和微带线设计出基于人工传输线的 3 dB Wilkinson 功分器。这种新型功分器结构可以有效缩减器件的尺寸, 性能良好, 易于实现, 有广阔的应用前景。

1 器件设计及理论设计

人工传输线由交指电容^[10]、折线电感、平板电容的微带结构组成。通过改变交指电容的交指数目, 平板电容的尺寸等, 可以调节等效电路的电容和电感值, 得到特定特征阻抗和特定电长度的传输线, 如图 1 所示。用人工传输线替代传统的传输线, 可以大幅度地缩减传输线的物理长度, 特别是低频频段的传输线, 可以实现器件的小型化。

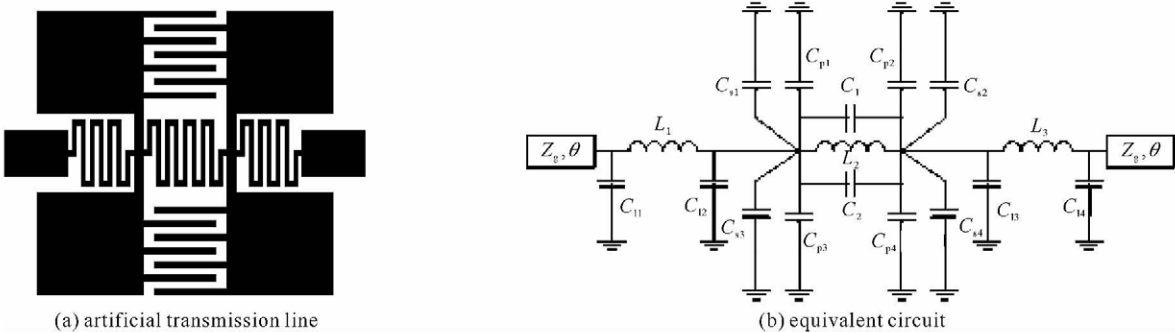


Fig. 1 A section of artificial transmission line and its equivalent circuit

图 1 微带结构的人工传输线和等效电路

图 1(b) 中, 电感 L_1, L_2, L_3 为微带折线电感, 电感 L_1 和 L_3 的对地寄生电容可以等效为电容 C_{11}, C_{12} 和 C_{13}, C_{14} 。串联电容 C_1 和 C_2 为交指电容。 $C_{p1}, C_{p2}, C_{p3}, C_{p4}$ 为折线电感 L_2 和交指电容 C_1, C_2 的对地寄生电容。 $C_{s1}, C_{s2}, C_{s3}, C_{s4}$ 为微带平板对地电容, 并联于寄生电容 $C_{p1}, C_{p2}, C_{p3}, C_{p4}$ 。在人工传输线两端, 分别插入特征阻

* 收稿日期: 2009-03-24; 修订日期: 2009-08-21

作者简介: 黄 文(1984—), 女, 重庆万州人, 硕士研究生, 从事电磁场与微波技术研究; huang_jindao@163.com。

抗为 Z_g 的小段微带线,其电长度为 θ ,以补偿人工传输线和设计要求的特定电长度之间的相位差。每段人工传输线单元的特征阻抗 Z_g 和传播常数 β_g 为

$$Z_g = \sqrt{L_{\text{total}}/C_{\text{total}}} \quad (1)$$

$$\beta_g = \omega \sqrt{L_{\text{total}}C_{\text{total}}} \quad (2)$$

式中: $L_{\text{total}} = L_1 + L_2 + L_3$; $C_{\text{total}} = C_{11} + C_{12} + C_{13} + C_{14} + C_{p1} + C_{p2} + C_{p3} + C_{p4} + C_{s1} + C_{s2} + C_{s3} + C_{s4}$ 。

Wilkinson 功分器^[11-12]通过引入隔离电阻,实现阻抗匹配^[13]和提高隔离度。功分器引入隔离电阻后,变为有耗的三端口网络。从三端口网络的基本性质可知,有耗三端口网络可以做到完全匹配且输出端口之间具有隔离,从而改善普通功分器的不足。输出端口之间的隔离电阻 R ,用奇偶模分析得到 $R=2Z_0$,其中, Z_0 为 50Ω 特征阻抗。

理想 Wilkinson 功分器的 S 参数为

$$S_{11} = S_{22} = S_{33} = 0 \quad (3)$$

$$|S_{21}| = |S_{31}| = 1/\sqrt{2} \quad (4)$$

式中: S_{11} , S_{22} 和 S_{33} 分别为三个端口的电压反射系数; S_{21} , S_{31} 分别为输入到输出端口的电压传输系数。设计人工传输线的特征阻抗为 $Z_g = 70.7 \Omega$,电长度为 $\pi/2$,相移为 90° ,作为功分器的分支臂,替代常规的微带线构建新型的 Wilkinson 功分器。本文选择相对介电常数为 $\epsilon_r = 2.65$ 的聚四氟乙烯玻璃纤维作为基板材料。基板厚度 $H = 1 \text{ mm}$,损耗正切为 $\tan\theta = 0.0027$,金属层厚度 $h = 0.017 \text{ mm}$ 。功分器的工作中心频率 $f_0 = 915 \text{ MHz}$ 。隔离电阻 $R = 100 \Omega$,使用 0603 封装的贴片电阻。功分器的尺寸为 $21.6 \text{ mm} \times 22.3 \text{ mm}$ 。

根据目前已发表的有关人工传输线功分器的文章^[11],很难调节隔离带宽的中心频点,并且难以使回波损耗及插入损耗都能满足实际需要。本文在这里提出一种调节方法,同已有设计方法相比,更加适用于实际设计。通过在功分器两臂邻近的平板电容中间,分别安放交指电容,进一步增大偶模和奇模的差异,增加了设计中的可调参数,而不是对整个人工传输线做统一的调整,从而实现了功分器的简单优化调整。

通过仿真发现,起隔离作用的交指电容,能够有效地调节隔离频带的中心频点,大大增加了功分器设计的灵活性和自由度,可以对功分器的隔离性能进行调节。通过调节交指电容的交指数目、指宽、指长等参数,可以使隔离带宽的中心频点与回波损耗的中心频点尽量重合,从而增加有效带宽。这给功分器的设计带来了方便。

2 仿真与测试

设计加工的功分器如图 2 所示, λ_g 为在 915 MHz 时的导波波长。

用矢量网络分析仪(Agilent N5230A)对功分器的 S 参数进行测量,并把利用 IE3D 仿真的结果和实验结果进行对比,如图 3 所示。可以看出实验测量结果和仿真结果比较吻合。由于寄生参数和介质损耗等的影响,测量结果和仿真结果存在一些偏差。

从测量结果看,该功分器实现功率等分的频率范围为 $0.49 \sim 1.20 \text{ GHz}$,并且 $S_{21} = S_{31} \approx -3.2 \text{ dB}$,插入损耗低于 3.2 dB 。回波损耗达到 10.0 dB 时带宽为 $1.38 \text{ GHz}(0.18 \sim 1.56 \text{ GHz})$,输出端口间隔离度达到 10.0 dB 时带宽为 $0.71 \text{ GHz}(0.49 \sim 1.20 \text{ GHz})$ 。在隔离带宽范围内,功分器两输出端口间的功率差值在 0.2 dB 内,相位差在 1° 以内。实验结果与仿真模拟吻合较好,验证了该功分器理论和设计的可靠性。

本文使用人工传输线设计的 Wilkinson 功分器,分支臂长度仅为 20.5 mm ,而使用传统 $\lambda/4$ 微带传输线的 Wilkinson 功分器,相应臂长为 56.4 mm 。因此,与传统的 Wilkinson 功分器相比,本文设计的功分器尺寸大幅度缩减,面积仅为常规 Wilkinson 功分器的 25% 。

3 结 论

本文基于近年提出的 L-C 元件构成的人工传输线,增加交指电容和电阻提高隔离度,设计并制作一款小

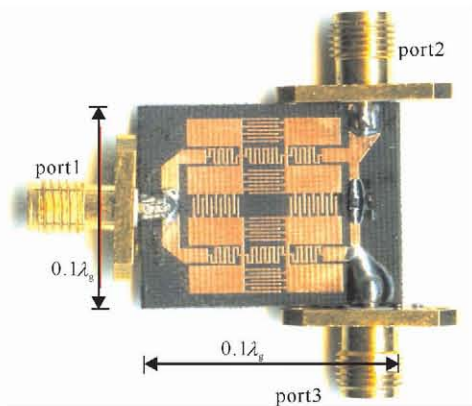


Fig. 2 Power divider based on artificial transmission lines

图 2 基于人工传输线的功分器

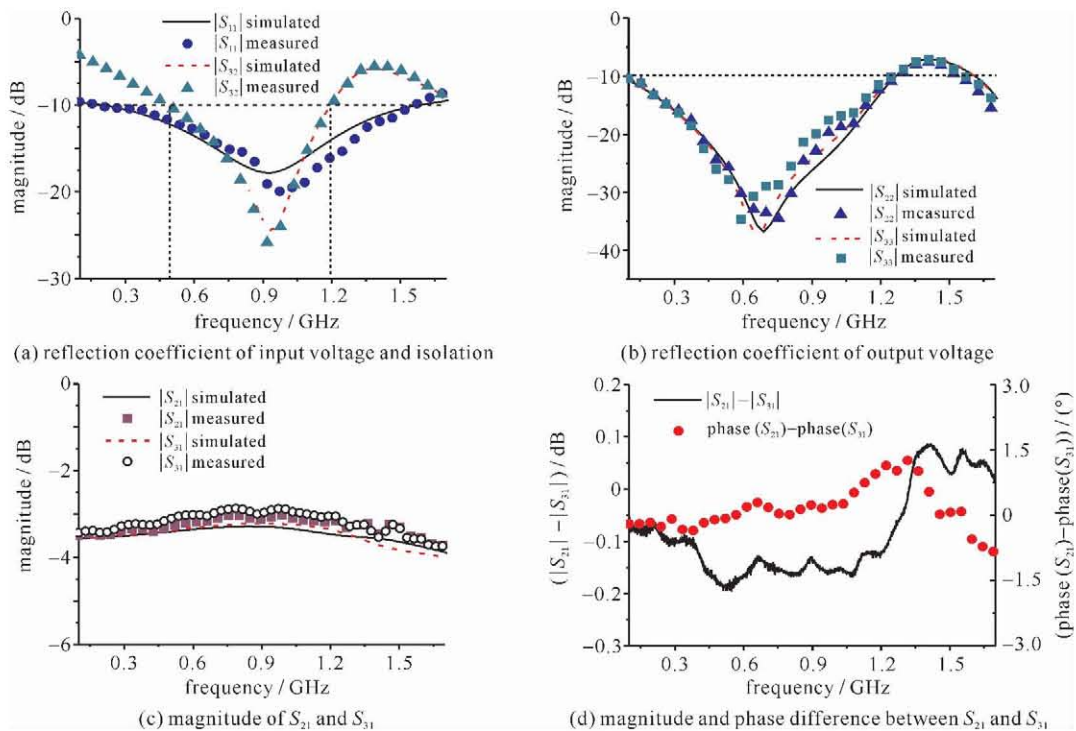


Fig. 3 Comparisons between simulation and measurement

图 3 功分器仿真结果和测试结果对比

型化的微带 3 dB 功分器。人工传输线替代传统的 $\lambda_g/4$ 微带线, 可以使 Wilkinson 功分器的尺寸大为缩减; 通过引入额外的 2 个交指电容, 使功分器隔离带宽的中心频点调节方便, 在没有增加功分器面积的情况下增大了功分器的工作带宽。该功分器基于微带线结构, 紧凑小巧, 易于实现, 性能良好。实验测量表明: 该功分器中心频率为 0.93 GHz, 频带宽度为 0.71 GHz (0.49~1.20 GHz), 插入损耗低于 3.2 dB, 回波损耗大于 10.0 dB, 端口幅度平衡度 ± 0.2 dB, 相位平衡度 $\pm 1^\circ$, 尺寸仅为 21.6 mm $\times$ 22.3 mm, 约为 $0.1\lambda_g \times 0.1\lambda_g$ 。

参考文献:

- [1] Wilkinson E J. An n-way hybrid power dividers[J]. *IEEE Trans on Microwave Theory and Techniques*, 1960, 8(1):116-118.
- [2] 刘长军, 闫丽萍, 范如东, 等. L 波段微波脉冲对微型计算机的辐照效应实验[J]. *强激光与粒子束*, 2007, 19(9):1580-1584. (Liu Changjun, Yan Liping, Fan Rudong, et al. Radiation effects of microwave pulses in L band on personal computer. *High Power Laser and Particle Beams*, 2007, 19(9):1580-1584)
- [3] 刘长军, 黄卡玛, 闫丽萍, 等. 电磁辐射作用于计算机主板的模拟及效应评估[J]. *强激光与粒子束*, 2006, 18(5):847-852. (Liu Changjun, Huang Kama, Yan Liping, et al. Simulation and effect evaluation of electromagnetic radiation on computer motherboard. *High Power Laser and Particle Beams*, 2006, 18(5):847-852)
- [4] 蒲天乐, 刘长军, 闫丽萍, 等. 微型计算机微波辐照效应的实验研究[J]. *强激光与粒子束*, 2006, 18(9):1549-1552. (Pu Tianle, Liu Changjun, Yan Liping, et al. Experimental study on microwave radiation effects on personal computer. *High Power Laser and Particle Beams*, 2006, 18(9):1549-1552)
- [5] Wang C W, Ma T G, Yang C F. A new planar artificial transmission line and its applications to a miniaturized butler matrix[J]. *IEEE Trans on Microwave Theory and Techniques*, 2007, 55(12):2792-2801.
- [6] Wang Chaowei, Ma Tzyghuang, Yang Changfa. Miniaturized branch-line coupler with harmonic suppression for RFID applications using artificial transmission lines[C]//*Microwave Symposium*, 2007:29-32.
- [7] Ma T G, Wang C W, Huang R C, et al. Phased array antenna for UHF RFID applications using artificial transmission lines[C]//*Antenna Technology; Small Antennas and Novel Metamaterials*, 2008:454-457.
- [8] Draskovic D, Budimir D. An optically reconfigurable dual-band branch-line coupler with artificial transmission lines[C]//*Antennas and Propagation Society International Symposium*, 2008:1-4.
- [9] Li K H, Wang C W, Yang C F. A miniaturized diplexer using planar artificial transmission lines for GSM/DCS applications[C]//*Proceedings of Asia-Pacific Microwave Conference*, 2007:1-4.
- [10] Zhu L, Devabhaktuni V, Wang C Y, et al. Adjustable bandwidth filter design based on interdigital capacitors[J]. *Microwave and Wireless Components Letters*, 2008, 18(1):16-18.

- [11] Wang C W, Li K H, Wu C J, et al. A miniaturized Wilkinson power divider with harmonic suppression characteristics using planar artificial transmission lines[C]//Proceeding of Asia-Pacific Microwave Conference. 2007:1-4.
- [12] Pozar D M. 微波工程[M]. 北京:电子工业出版社, 2006:363-367. (Pozar D M. Microwave engineering. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2006:363-367)
- [13] 刘长军,黄卡玛,闫丽萍. 射频通信电路设计[M]. 北京:科学出版社, 2005:197-199. (Liu Changjun, Huang Kama, Yan Liping. RF communication circuit design. Beijing: Science Press, 2005:197-199)

Design of miniaturized microstrip Wilkinson power divider based on artificial transmission lines

Huang Wen, Liu Changjun

(School of Electronics and Information Engineering, Sichuan University, Chengdu 610064, China)

Abstract: In this paper, a novel microstrip Wilkinson power divider based on artificial transmission lines is proposed. The design consists of recently proposed artificial transmission lines using L-C components instead of conventional microstrip transmission lines. Two interdigital capacitors and a chip resistor were applied to improve output port isolation. A power divider at 915 MHz was designed and fabricated. Compared with conventional Wilkinson power dividers, it features a size reduction of 75%. The bandwidth of the power divider is from 0.49 GHz to 1.2 GHz, the insertion loss is less than 3.2 dB, and the return loss is greater than 10.0 dB. Furthermore, the amplitude balance is within 0.2 dB and the phase balance is better than 1° in its operating band. Measured results show good consistent with those of simulations.

Key words: artificial transmission line; Wilkinson power divider; interdigital capacitor; miniaturized