

# 基于双面平行带状线与人工传输线的功分器设计

黄文 张彪 江婉 刘长军

(四川大学电子信息学院, 成都 610064)

huang\_jindao@163.com cjliu@scu.edu.cn

**摘要:** 本文通过双面平行带状线与人工传输线的技术相结合设计了一款小型平衡 Wilkinson 功分器。文章首先对人工传输线技术进行了分析和介绍, 指出人工传输线能够缩减微波电路尺寸。再对双面平行带状线技术进行了分析, 使用双面平行带状线技术设计的这款平衡型功分器, 可以直接接入平衡型的电路, 而不需要转换电路, 因而减小了损耗并节约了空间。最后仿真结果表明这款功分器具有良好的性能, 证实了这两种技术相结合具有良好的应用前景。

**关键词:** 双面带状线, 人工传输线, 功分器

## Design of a Power Divider Using Double-Sided Parallel Strip lines and Artificial Transmission Lines

Huang Wen, Zhang Biao, Jiang Wan, And Liu Changjun

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

**Abstract:** In this paper, a miniaturized Wilkinson power divider based on double-sided parallel strip lines and artificial transmission lines has been proposed. The technology of artificial transmission lines has been analyzed and introduced, which reduces the size of microwave circuits. Double-sided parallel strip lines have been introduced and applied to this balanced power divider. This power divider may be connected to balanced circuit directly, and need no other transfer circuits. Therefore, the loss decreases while dimensions are saved. Finally, the simulation results have demonstrated that this power divider has good performance.

**Keywords:** Double-sided parallel strip lines; Artificial transmission lines; Power divider

### 1 引言

微波功分器主要用于功率分配或合成, 是高频电路中使用最广泛的微波器件之一。宽频化、小型化、低损耗一直是微波射频电路研究的热点和趋势。C.W. Wang 提出的用人工传输线理论设计微波器件, 可以使尺寸大为较小, 而且可以有效抑制谐波产生。而双面带状线技术为设计平衡型电路提供了便利, 并加上微带线到双面带状线的宽带转换电路, 便于测试和应用。本文基于这两种技术设计了一款小型平衡功分器。设计简单, 便于实现, 且测

量结果表明性能良好。

### 2 人工传输线的特性分析

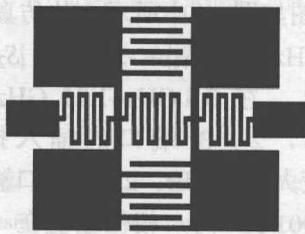
近年来, 由 C. W. Wang<sup>[1]</sup> 提出了人工传输线的理论, 被广泛应用于微波电路中。人工传输线由微带结构形式的折线电感、平板电容、交指电容构成。人工传输线的构建思想是使用亚波长的微结构来代替均匀传输线的增量单元, 实现等效均匀的传输线。图 1 为人工传输线单元的微带结构形式及等效集总电路图。每段人工传输线单元的特征阻抗  $Z_c$  和传播常数  $\beta_g$  为:

$$Z_c = \sqrt{L_{tot} / C_{tot}} \quad (1)$$

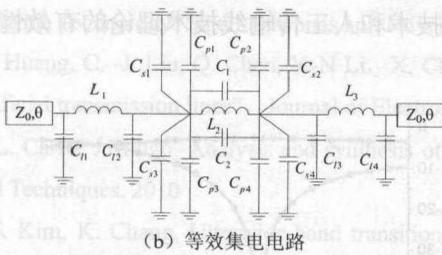
基金项目: 国家自然科学基金项目资助 (NFSC 60971051 和 61271074)

$$\beta_g = \omega \sqrt{L_{tot} \cdot C_{tot}} \quad (2)$$

其中,  $L_{tot} = L_1 + L_2 + L_3$ ,  $C_{tot}$  为所有并联电容值之和。因此, 通过改变交指电容或平板电容的尺寸, 折线电感的长度等, 进而改变等效电路的总电容和电感值, 得到所需特征阻抗和电长度的传输线。由于人工传输线在相等长度条件下, 可以比传统微带传输线具有更大的等效并联电容值和串联电感值, 因此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, 从而实现器件的小型化<sup>[2,3]</sup>。



(a) 人工传输线的微带结构图



(b) 等效集总电路

图1 人工传输线的微带结构图及其等效集总电路

### 3 双面带状线介绍

#### 3.1 双面带状线特性

在微波电路中, 当非平衡电路应用于平衡电路时, 必须采用非平衡到平衡的转换电路。这样增加了电路的复杂性, 并且增大了损耗, 增加了电路空间。因此, 直接采用平衡型电路接入平衡电路中, 会节约成本, 减小损耗和电路空间。而双面平行带状线就是构造平衡电路的一种实现方法。

双面平行带状线<sup>[4,5]</sup>是一种平衡型的结构, 即为在介质板两面均有平行的金属传输线, 如图2中所示。由于顶层和底层的金属传输线上电流方向相反, 因此其电压相等, 但相差为 180 度。在顶层和底层金属线完全对称没有错开的情况下, 介质基板的一半高度所处平面为一个虚拟的地平面, 此处的电压为 0。

当把双面平行带状线按照介质板一半高度处,

也即虚拟地面处进行剖分时, 其等效为一个高度为  $h/2$  的微带传输线结构。因此, 可以按照微带电路的方法来分析这剖分后一半的电路。双面平行带状线实际上等效为两个共用一个接地板的微带线电路。因此, 双面平行带状线特征阻抗就等于一半介质板厚度的相同金属导带宽度的微带线阻抗的 2 倍。因此, 在设计时可以很简便地计算出带状线的特征阻抗。

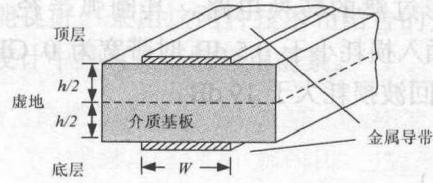


图2 双面平行带状线的剖面图

#### 3.2 微带线到双面带状线的转换电路

微带传输线到双面带状线的超宽带转换电路如图3中所示。

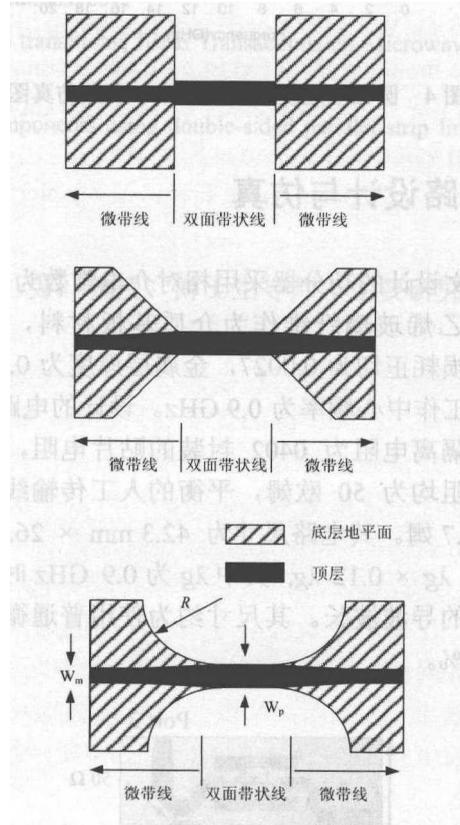


图3 三种微带到带状线的转换电路

其中, 第三种转换电路, 即圆弧形过渡的带状线到微带线的转换电路, 因为在阻抗变换过程中底面金属导带不连续性更少, 过渡更平滑, 已被 S.G.

Kim 等人<sup>[5]</sup>证实, 其转换效果最好。当工作频率为 0.9 GHz 时, 特征阻抗为 50 欧姆的平行双面带状线宽度为 3.5 mm, 而采用相同介质基板的 50 欧姆微带线宽度为 2.7 mm。

如图 4 所示, 分别对 R 为 5 mm, 10 mm, 15 mm 时的转换电路进行仿真, 仿真结果表明半径长度不同时, 在插入损耗和回波损耗等方面性能差别不大。因此在本设计中, 从电路尺寸方面考虑, 采用的是圆弧形过渡的转换电路, 其圆弧半径 R 为 5 mm, 当插入损耗小于 0.5 dB 时带宽为 0 GHz 到 10.8 GHz, 回波损耗大于 19 dB。

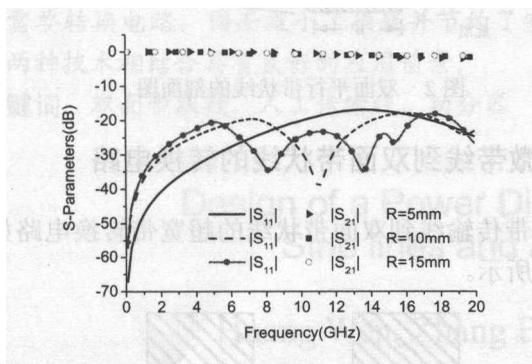
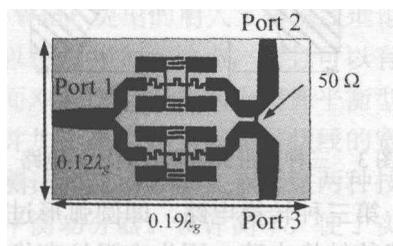


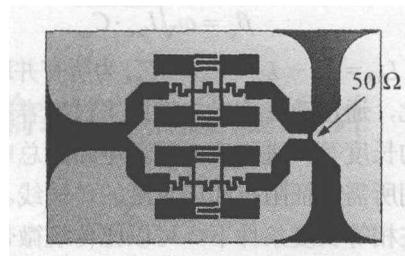
图 4 圆弧形过渡的转换电路 S 参数仿真图

## 4 电路设计与仿真

本文设计的功分器采用相对介电常数为 2.65 的聚四氟乙烯玻璃纤维作为介质基板材料, 板厚为 1 mm, 损耗正切为 0.0027, 金属层厚度为 0.017 mm, 设计的工作中心频率为 0.9 GHz。设计的电路如图 5 所示, 隔离电阻为 0402 封装的贴片电阻, 顶面和底部电阻均为 50 欧姆, 平衡的人工传输线特征阻抗为 70.7 姆。其电路尺寸为  $42.3 \text{ mm} \times 26.8 \text{ mm}$ , 即  $0.19 \lambda_g \times 0.12 \lambda_g$ , 其中  $\lambda_g$  为 0.9 GHz 时的微带传输线的导波波长。其尺寸约为使用普通微带传输线的 25%。



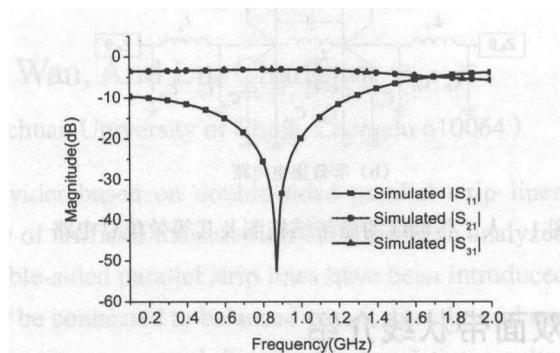
(a) 顶部图片



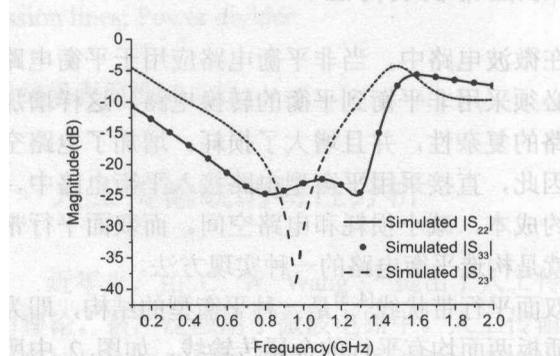
(b) 底部图片

图 5 所设计的平衡 Wilkinson 功分器图片

仿真结果图如图 6 中所示。从仿真结果看, 在中心频率 0.9 GHz 处,  $|S_{11}| = -51.2 \text{ dB}$ ,  $|S_{21}| = -3.08 \text{ dB}$ ,  $|S_{31}| = -3.08 \text{ dB}$ , 在 0.4 GHz~1.25 GHz 内, 回波损耗大于 10 dB, 2、3 端口的插入损耗均小于 3.1 dB, 隔离度大于 10 dB。2、3 端口输出功率的幅度差值在  $\pm 0.001 \text{ dB}$  内, 相位差值在  $\pm 0.05$  度以内。仿真结果表明功分器性能良好, 证实了平行双面带状线技术和人工传输线技术理论的有效性。



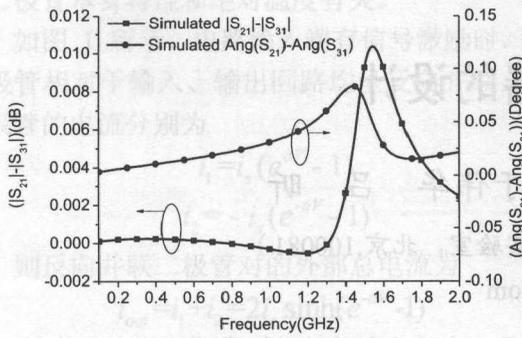
(a) 仿真的  $|S_{11}|$ ,  $|S_{21}|$ ,  $|S_{31}|$



(b) 仿真的  $|S_{22}|$ ,  $|S_{33}|$ ,  $|S_{23}|$

## 5 结论

本文基于双面平行带状线和人工传输线设计制作了一款小型平衡 Wilkinson 功分器。首先分析了人工传输线的特性阻抗、相位传播常数等参量。然后介绍了双面平行带状线的特性。在此基础上,采用双面带状线与人工传输线技术相结合设计了一款小型平衡 Wilkinson 功分器。仿真结果表明,功分器性能良好。采用这两种技术相结合的方法在微波电路设计中具有良好的应用前景。



(c) 仿真的幅度差值和相位差值

图6 仿真结果

## 参考文献

- [1] C.W. Wang, T. G. Ma, C. F. Yang, A new planar artificial transmission line and its applications to a miniaturized butler matrix, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2007
- [2] T. G. Ma, C.W. Wang, R.C. Hua, C.F. Yang, Phased array antenna for UHF RFID applications using artificial transmission lines, Antenna Technology: Small Antennas and Novel Metamaterials, 2008
- [3] W. Huang, C. -J. Liu, Q. Chen, Y.-N Li, X. Chen and K.-M. Huang, "Compact unequal Wilkinson power dividers using planar artificial transmission lines", Journal of Electromagnetic Waves and Applications, 2011
- [4] P. L. Carro, J.Mingo, Analysis and synthesis of double-sided parallel-strip transitions, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2010
- [5] S.G. Kim, K. Chang, Ultrawide-band transitions and new microwave components using double-sided parallel-strip lines, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2004

## 作者简介:

黄文,女,博士,主要研究领域为射频电路设计;刘长军,男,教授、博士生导师,主要研究领域为电磁场与微波技术。