文章编号:1001 - 893X(2012)08 - 1368 - 04

一种新型双频 Wilkinson 功分器的设计*

周银磊,吴国安

(华中科技大学 电子科学与技术系,武汉 430074)

摘　要:为了实现功分器工作在任意两个频率的目的,设计了一种新型功分器。基于奇偶模分析方法,利用微波网络理论推导了电路参数的设计公式,通过求解相应的非线性方程组获取了具体电路参数。制作了一个工作频率为1 GHz和2.6 GHz的双频 Wilkinson 功分器。实物测试结果表明,该功分器在两个中心频率的传输衰减小于3.3 dB,端口回波损耗大于 21 dB,端口隔离度大于28 dB,在中心频率100 MHz的通带范围内都具有良好性能,验证了设计方法的可靠性。

关键词:功分器;双频;奇偶模;微带

中图分类号:TN626　　**文献标志码:**A　　doi:10.3969/j.issn.1001 - 893x.2012.08.030

Design of a Novel Dual-band Wilkinson Power Divider

ZHOU Yin-lei, *WU Guo-an*

(Department of Electronic Science and Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: A novel power divider is designed for the purpose of operating at two arbitrary frequencies. The circuit parameter design formula is obtained on the basis of even - odd mode analysis and microwave network theory and the specific circuit parameters are derived by solving the corresponding nonlinear equations. A 1 GHz/2.6 GHz dual - band power divider is made for verification. Measured results show that the transmission coefficient at the two central frequencies is less than 3.3 dB, return loss greater than 21 dB and port isolation greater than 28 dB and it has a good performance in 100 MHz bandwidth of the central frequencies.

Key words: power divider; dual-band; even-odd mode analysis; microstrip

1 引　言

功率分配器作为基础的微波器件在微波和毫米波系统中获得了广泛的应用。传统的 Wilkinson 功分器只能工作在单一的频点和其奇次谐波处[1]。随着多频通信系统的日益普及,频率复用器件的研究成为热点。近年来,多种不同结构的双频功分器陆续报道出来[2-6]。文献[2]介绍了利用两段传输线在任意两个频点实现阻抗变换的方法。文献[3]利用双频阻抗变换原理设计了一个双频功分器,但设计没有考虑传输线相位匹配,端口隔离度比较差。文献[4]通过在输出端口增加电容和电感实现了相位匹配,但是分立元件的值均固定且精度较低,难以满足实际设计的要求。文献[5]通过在功分器输入端增加开路传输线较好地实现了输出端口隔离,但是尺寸较大(开路传输线长度为 1/2 波长),限制了应用。文献[6]改进了文献[5]提出的设计,调整了输出端口的位置,有效减小了器件尺寸。

本文提出了一种新的双频功分器,该功分器具有如下的特点:分布参数结构(隔离电阻除外);良好

* 收稿日期:2012 - 02 - 27;修回日期:2012 - 04 - 17

的传输和端口匹配隔离特性;可调整的版图布局;整体结构有利于减小寄生效应。通过奇偶模分析方法,利用微波网络理论推导电路参数的设计公式,然后利用微波仿真软件对电路进行仿真并制作了实物。仿真和实物测试结果验证了本文推导结果的正确性,同时表明功分器能够很好地工作在设计的两个频段内。

2　设计与理论分析

图 1 给出了双频功分器的原理图,由微带线和隔离电阻组成,其中 Z_1、Z_2、Z_3为微带线的特征阻抗,R 为隔离电阻,θ 为电长度。电路结构是完全对称的,因此可以采用奇偶模分析方法来获得具体的电路参数。

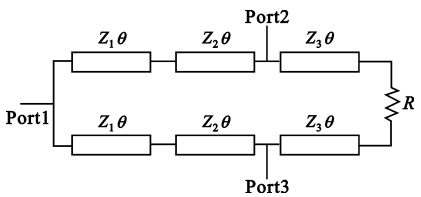


图 1　双频功分器原理图

Fig.1 Proposed dual - band power divider topology

2.1　偶模分析

偶模激励条件下,其半边等效电路如图 2(a)所示,*ABCD* 矩阵可以表示为

$$\begin{bmatrix} \cos\theta & \mathrm{j}Z_1\sin\theta \\ \mathrm{j}\dfrac{\sin\theta}{Z_1} & \cos\theta \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \cos\theta & \mathrm{j}Z_2\sin\theta \\ \mathrm{j}\dfrac{\sin\theta}{Z_2} & \cos\theta \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \mathrm{j}\dfrac{\tan\theta}{Z_3} & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \tag{1}$$

为了满足阻抗变换,Port2 的阻抗 Z_0必须变换到 Port1 的阻抗 $2Z_0$,故从 Port1 看进去的输入阻抗 Z_{in}可由下式表示:

$$Z_{\mathrm{in}} = \frac{AZ_0 + B}{CZ_0 + D} = 2Z_0 \tag{2}$$

根据式(1)、(2),通过代数运算,可得 Z_1、Z_2、Z_3、θ 满足以下关系:

$$(2Z_2^2Z_3 - Z_1^2Z_3 - Z_1^2Z_2 - Z_1Z_2^2)\tan^2\theta - Z_1Z_2Z_3 = 0 \tag{3}$$

$$2Z_2Z_3 + 2Z_1Z_3 + 2Z_1Z_2 - 2Z_2^2\tan^2\theta - Z_1^2Z_2Z_3 - Z_1Z_2^2Z_3 = 0 \tag{4}$$

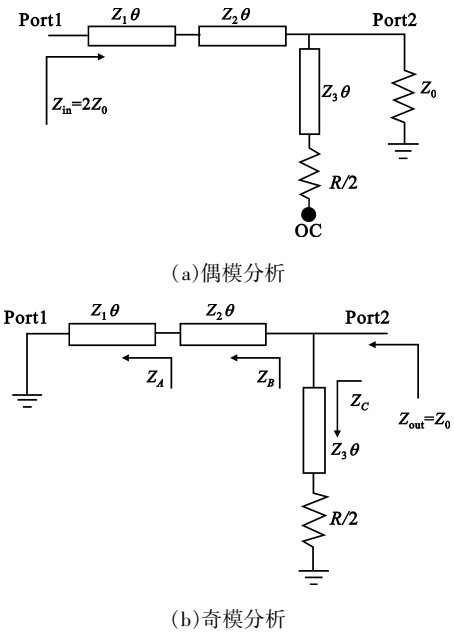


图 2　功分器半边等效电路

Fig.2 Half - circuit of power divider

2.2　奇模分析

奇模激励条件下,其等效半边电路如图 2(b)所示,其阻抗 Z_A、Z_B、Z_C可由以下 3 个公式表示:

$$Z_A = \mathrm{j}Z_1\tan\theta \tag{5}$$

$$Z_B = Z_2\frac{Z_A + \mathrm{j}Z_2\tan\theta}{Z_2 + \mathrm{j}Z_A\tan\theta} \tag{6}$$

$$Z_C = Z_3\frac{R + 2\mathrm{j}Z_3\tan\theta}{2Z_3 + \mathrm{j}R\tan\theta} \tag{7}$$

为了满足阻抗匹配,Z_B、Z_C必须满足以下等式:

$$\frac{1}{Z_B} + \frac{1}{Z_C} = \frac{1}{Z_0} \tag{8}$$

经过改写,可得

$$R^2 - 2R - 2R\tan^2\theta - 4Z_3^2\tan^2\theta = 0 \tag{9}$$

$$Z_3(Z_2 - Z_1\tan^2\theta)(R^2 + 4Z_3^2\tan^2\theta) - Z_2(Z_1 + Z_2)(R^2 - 4Z_3^2)\tan^2\theta = 0 \tag{10}$$

2.3　双频分析

假定功分器的工作频率分别为 f_1和 f_2(其中 $f_2 > f_1$),$f_2 = Kf_1$(K 为中心频率比值)。为了满足双频工作的需要,以上推导公式应该在给定的两个频率同时成立。只需取 $\theta_{f_1} = \dfrac{\pi}{1+K}$、$\theta_{f_2} = \dfrac{K\pi}{1+K}$即可满足 $\tan^2\theta_{f_1} = \tan^2\theta_{f_2}$。这样在两个中心频率点,推导公式(3)、(4)、(9)、(10)同时成立,满足双频工作的要求。

联立式(3)、(4)、(9) 、(10),根据给定工作频率比值 K,求解非线性方程组,可以求出电路参数 Z_1、Z_2、Z_3、R。图 3 显示了 Z_1、Z_2、Z_3、R 与不同频率比值 K 之间的变化关系(其中 Z_1、Z_2、Z_3、R 均为归一

化阻抗)。由图3可知,在比较宽的频率比值范围内(2.2~5.0),双频功分器都能用切合实际的微带线和隔离电阻实现。

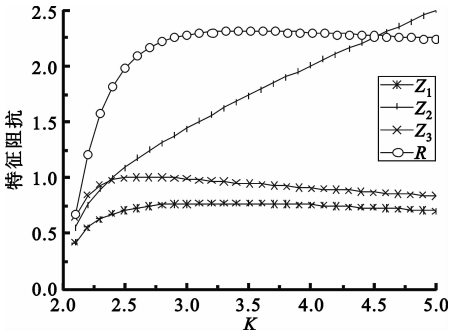


图 3 特征阻抗与频率比值 K 之间的关系
Fig.3 Characteristic impedances(normalized) against K

3 仿真与实物测试

为了验证上述设计方法,设计制作了一个工作频率为1 GHz和2.6 GHz的双频功分器,实物如图 4 所示,其中基板为 TLY-5(介电常数 $\varepsilon_r = 2.2$, 基板厚度 $H = 0.78$ mm, 铜箔厚度 $T = 35$ μm),所有的端口阻抗为50 Ω。通过求解非线性方程组(3)、(4)、(9)、(10),可得 $Z_1 = 36.45\ \Omega$, $Z_2 = 58.60\ \Omega$, $Z_3 = 50.30\ \Omega$, $R = 104.75\ \Omega$,1 GHz对应的电长度为 $\theta_{f_1} = \frac{\pi}{1+K} = \frac{\pi}{3.6}$。通过微波仿真软件的微带线计算工具,可以得到各段微带线的宽度和长度。利用微波仿真软件仿真和实测(矢量网络分析仪 Advantest R3767CG 测试)得到的结果如图 5 所示。实测结果表明,中心频率点插入损耗 $S21$ 小于3.3 dB,各端口的回波损耗 $S11$、$S22$ 均大于21 dB,端口隔离度 $S23$ 大于28 dB。综合实测数据,本次设计的功分器在中心频率100 MHz带宽内满足插入损耗小于3.5 dB,端口隔离和回波损耗大于14 dB,显示了良好的性能。测试结果与文献[5]相比,插入损耗和回波损耗性能指标相近,端口隔离度更优,并且本次设计仿真结果和实测结果吻合好,容差小,更能指导设计工作。

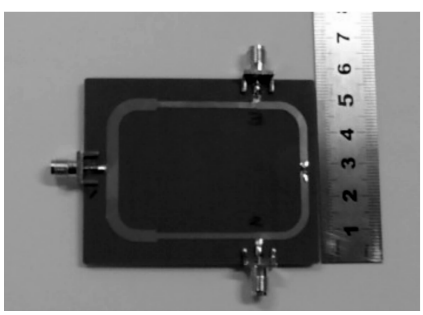
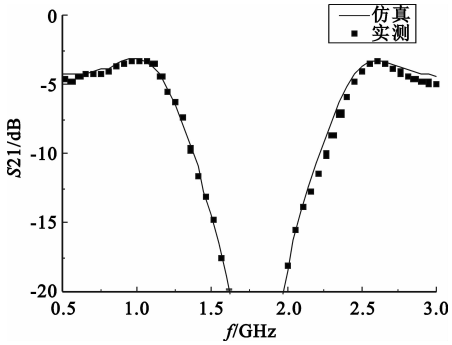
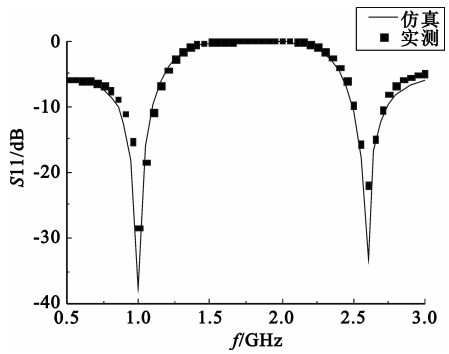


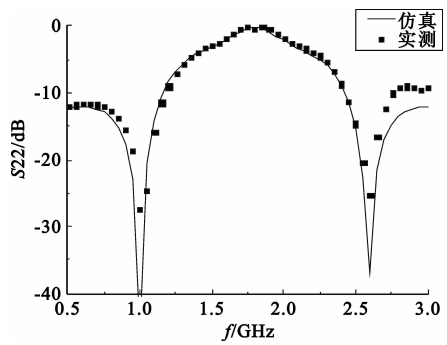
图 4 1 GHz/2.6 GHz 双频功分器实物图
Fig.4 Photo of fabricated power divider operating at 1 GHz and 2.6 GHz



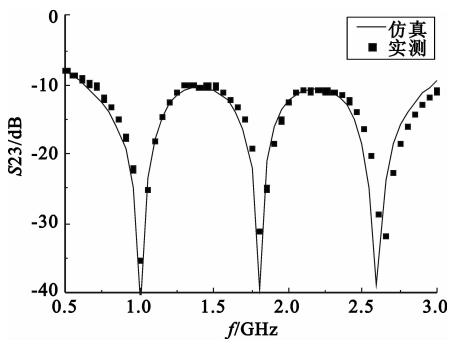
(a) $S21$



(b) $S11$



(c) $S22$



(d) $S23$

图 5 双频功分器 S 参数仿真和实测结果
Fig.5 Simulation and measurement results of S-parameters for proposed dual-band power divider

4 结　论

本文介绍了一种新的双频功分器的结构和设计方法,通过电路模型仿真和实物测试验证了设计方法的可行性。设计的功分器具有良好的信号传输、端口匹配和隔离特性,并且采用平面微带结构,具有设计精确灵活的特点。通过调整版图设计,可以有效地减小器件体积,广泛地应用到各种射频电路中。

参考文献:

[1] Pozar D M. Microwave Engineering[M]. 3rd ed. New York: Wiley, 2005.

[2] Monzon C. A Small Dual - Frequency Transformer in Two Sections[J]. IEEE Transactions on Microwave, Theory and Techniques, 2003, 51(4): 1157 - 1161.

[3] Srisathit S, Virunphun S, Bandudej K, et al. A dual - band 3dB three - port power divider based on a two - section transmission line transformer[C]//Proceedings of 2003 IEEE MTT - S International Microwave Symposium Digest. Philadelphia, PA, USA: IEEE, 2003: 35 - 38.

[4] Lei Wu, Sun Zengguang, Berroth M. A Dual - Frequency Wilkinson Power Divider[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2006, 54(1): 278 - 284.

[5] Cheng Kwok - Keung, Wong Fai - Leung. A New Wilkinson Power Divider Design for Dual Band Application[J]. IEEE Microwave and Wireless Components Letters, 2007, 17(9): 664 - 666.

[6] Cheng Kwok - Keung, Carlos Law. A Novel Approach to the Design and Implementation of Dual - Band Power Divider[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2008, 56(2): 487 - 492.

作者简介:

周银磊(1987—),男,浙江宁波人,2010 年于华中科技大学电子科学与技术系获学士学位,现为硕士研究生,主要从事微波射频器件的设计和研究;

ZHOU Yin-lei was born in Ningbo, Zhejiang Province, in 1987. He received the B.S. degree from Huazhong University of Science and Technology in 2010. He is now a graduate student. His research concerns R&D of microwave and RF devices.

Email: zhou.yinlei@foxmail.com

吴国安(1962—),男,湖北大冶人,教授,主要研究方向为电调滤波器和电子材料与器件。

WU Guo-an was born in Daye, Hubei Province, in 1962. He is now a professor. His research interests include electric tunable filters and electronic materials and device.