

宽频比双频 Wilkinson 功分器的研究与设计

南敬昌, 王 鑫, 曲 昀

(辽宁工程技术大学 电子与信息工程学院, 辽宁 葫芦岛 125105)

摘 要: 为了实现双频 Wilkinson 功分器的宽频比特性, 并简化设计结构, 在研究奇模-偶模分析理论的基础上, 提出了一种在输出端口并联开路微带线的新型结构. 首先通过奇模-偶模分析理论得出设计电路的参数方程, 接着利用 Matlab 对推导方程进行求解, 获得具体的设计参数, 从而设计出宽频比(2.0~6.0)的双频 Wilkinson 功分器. 为了验证设计方法的正确性, 仿真并且加工了一个工作在 870MHz 和 2140MHz 两个基站频率的功分器. 测试结果表明: 双频功分器在两个工作频段内都具有良好的性能, 测试与仿真结果吻合良好, 验证了该方法是可行的.

关键词: 宽频比; 双频; Wilkinson 功分器; 奇模-偶模分析

中图分类号: TN626

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2012)07-0131-04

Study and Design on Dual-Band Wilkinson Power Divider with Wide-Range Frequency Ratio

NAN Jing-chang, WANG Xin, QU Yun

(School of Electrics and Information Engineering, Liaoning Technical University, Huludao 125105, China)

Abstract: To achieve wide band-ratio Wilkinson power with simple construction, this paper introduces a new type of structure based on researching of the odd-even mode analysis, which parallels the open-circuit stub at each output port. Firstly, according to the odd-even mode analysis, the equations of the design circuit are obtained. Secondly, using Matlab solves equations to obtain the design parameters to design the Wilkinson power divider with wide-range frequency ratio (2.0~6.0). To verify the proposed design method, a Wilkinson power divider operating at 870/2140MHz base station bands is simulated and fabricated. Measured results show that the designed dual-band power divider has a good performance at the two working bands, and the measurements have a good agreement with the simulation results. It means the design method is feasible.

Key words: wide band-ratio; dual-band; Wilkinson power divider; odd-even mode analysis

1 引言

随着无线通信系统的快速发展, 为了提高频带资源的利用率, 双频通信电路已经被广泛研究. 功分器是通信系统的关键器件之一, 对于传统意义上的 Wilkinson 功分器而言, 其工作频率只限于某一个频率或该频率的奇次谐波处, 不能满足双频通信系统的工作要求. 因此, 设计在任意两个或者多个频段同时工作的功分器, 具有重要的实用意义.

近年来, 双频 Wilkinson 功分器的设计取得了

许多成就. 文献[1-2]中的功分器由于采用了电容、电感等有寄生效应的集总元件, 影响了其在高频时的性能. 为了消除寄生效应带来的影响, 可以利用微带线来代替集总元件. 因此, 文献[3]和文献[4-7]等新颖结构的功分器相继出现. 其中, 文献[3]的功分器整体尺寸较大, 文献[4]给出了频率比为 2.16~4.9 的宽频比功分器结构, 但在传输线后同时采用并联开路与短路微带线, 结构过于复杂. 文献[5-6]所设计的功分器频率比相对较窄. 文献[7]在功分器的输入端引入耦合线, 设计的频率比相对较宽, 但是

收稿日期: 2012-01-03; **修回日期:** 2012-02-17

基金项目: 国家自然科学基金(60971048)

其整体尺寸较大. 本文在输入端口连接微带线, 并在功分器的输出端口引入并联开路微带线, 在缩小尺寸的同时, 减少输出端回退损耗, 提高输出端口之间的隔离度.

2 设计原理

本设计所用的结构如图 1 所示. 在图中, Z_1 、 Z_2 为传输的微带线特征阻抗, Z_3 是并联的开路微带线特征阻抗, R 为隔离电阻, 输入端口与输出端口分别接有 50 欧姆的匹配阻抗. 两个工作频率分别为 f_1 、 f_2 ($f_2 = mf_1$, m 为大于 1 的正实数). 为了简化计算, 本文的微带线均设定为相同的电长度 θ . 图 1 中传输线阻抗和隔离电阻均为归一化值, 各端口的特性阻抗为 $Z_0 = 1$.

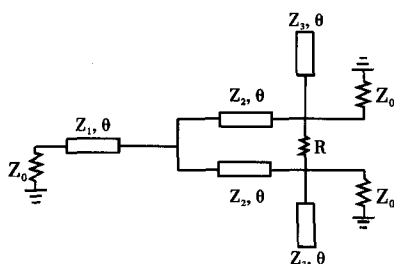


图 1 双频 Wilkinson 功分器结构

2.1 奇模-偶模分析

在进行奇模-偶模电路分析时, 根据电路的对称性, 可以把图 1 的电路剖开分别获得如图 2(a) 奇模等效电路与图 2(b) 的偶模等效电路.

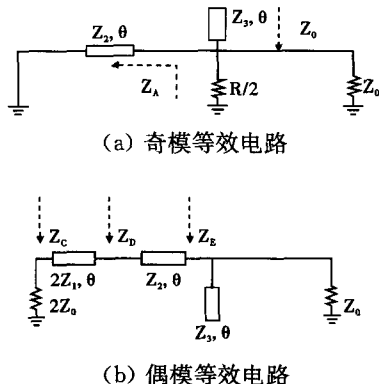


图 2 奇模等效电路和偶模等效电路

为了便于计算, 在图 2 的奇模等效电路和偶模等效电路中引入 Z_A 、 Z_B 、 Z_C 、 Z_D 和 Z_E 这 5 个中间变量. 参考图 2(a) 可列出奇模分析方程如下:

$$Z_A = j \tan \theta * Z_2 \quad (1)$$

$$Z_B = \frac{Z_3}{j \tan \theta} \quad (2)$$

$$\frac{1}{Z_0} = \frac{1}{Z_A} + \frac{1}{Z_B} + \frac{2}{R} \quad (3)$$

将以上式(1)和(2)分别代入到式(3)中, 利用实部和虚部分别相等可得:

$$Z_3 = Z_2 \tan^2 \theta \quad (4)$$

$$R = 2 \quad (5)$$

参考图 2(b) 可列出偶模分析方程如下:

$$\frac{1}{Z_E} = \frac{j \tan \theta}{Z_3} + \frac{1}{Z_0} \quad (6)$$

$$Z_D = Z_2 \frac{Z_E + j \tan \theta * Z_2}{Z_2 + j \tan \theta * Z_E} \quad (7)$$

$$2Z_0 = Z_C = 2Z_1 \frac{Z_D + j \tan \theta * 2Z_1}{2Z_1 + j \tan \theta * Z_D} \quad (8)$$

将式(6)代入到式(7), 然后代入到式(8)中, 利用实部和虚部分别相等可得:

$$\tan^2 \theta * (2Z_1^2 Z_2 + 2Z_1^2 Z_3 - Z_2^2 Z_3 + Z_1 Z_2^2) + Z_1 Z_2 Z_3 = 0 \quad (9)$$

$$2(Z_1 Z_3 + Z_1 Z_2) + Z_2 Z_3 - Z_2^2 Z_1 Z_3 - 2Z_1^2 Z_2 Z_3 - Z_2^2 \tan^2 \theta = 0 \quad (10)$$

根据方程(4)、(5)、(9)和(10), 归一化特性阻抗及隔离电阻的非线性方程可得:

$$Z_3 = Z_2 \tan^2 \theta \quad (11)$$

$$R = 2 \quad (12)$$

$$\tan^2 \theta * (2Z_1^2 Z_2 + 2Z_1^2 Z_3 - Z_2^2 Z_3 + Z_1 Z_2^2) + Z_1 Z_2 Z_3 = 0 \quad (13)$$

$$2(Z_1 Z_3 + Z_1 Z_2) + Z_2 Z_3 - Z_2^2 Z_1 Z_3 - 2Z_1^2 Z_2 Z_3 - Z_2^2 \tan^2 \theta = 0 \quad (14)$$

2.2 双频分析

对于可以同时工作在两个不同频率的双频 Wilkinson 功分器, 方程(11)、(13)、(14)应该在两个频率同时成立, 因此必有

$$\tan^2 \theta_{f_1} = \tan^2 \theta_{f_2} \quad (15)$$

也就是

$$\theta_{f_2} \pm \theta_{f_1} = n\pi \quad (n \text{ 为任意整数}) \quad (16)$$

为了使得设计的功分器最为紧凑小巧, 这里对它们各自频率的电长度分别取值如下式(17)、(18). 可以看到满足 $\theta_{f_1} + \theta_{f_2} = \pi$, 因此, 最终的设计参数可以通过求解方程(11)~(14)而得到.

$$\theta_{f_1} = \frac{\pi}{1+m} \quad (17)$$

$$\theta_{f_2} = \frac{m\pi}{1+m} \quad (18)$$

2.3 宽频比特性分析

根据设计要求, 对频率比为 2.0~6.0 进行参数的求解, 由设计方程可以看出, 隔离电阻 R 为定值,

大小为 100 欧姆。首先,利用 Matlab 软件建立相应方程组。然后,输入不同的频率比因子,在方程(17)、(18)的基础上求解方程(11)、(13)、(14)。频率比 m 与所对应的归一化特性阻抗关系如图 3 所示,部分频率比 m 与归一化特性阻抗大小由表 1 给出。

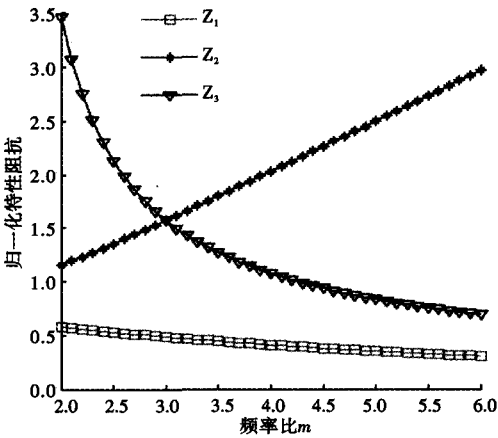


图 3 归一化特性阻抗值和频率比 m

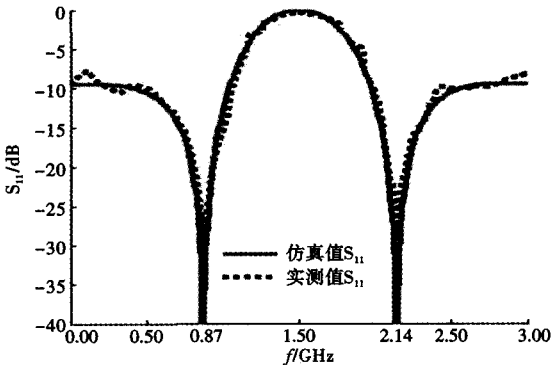
表 1 频率比的归一化特性阻抗

频率比 m	特性阻抗		
	Z_1	Z_2	Z_3
2.0	0.5774	1.1547	3.4641
2.1	0.5680	1.1926	3.0695
2.2	0.5586	1.2316	2.7587
2.3	0.5492	1.2717	2.5080
2.4	0.5398	1.3127	2.3020
2.46	0.5342	1.3377	2.1954
...	...	...	...
4.0	0.4097	2.0310	1.0720
4.1	0.4031	2.0775	1.0411
4.2	0.3967	2.1241	1.0122
...	...	...	...
5.7	0.3179	2.8276	0.7256
5.8	0.3137	2.8746	0.7127
5.9	0.3095	2.9214	0.7003
6.0	0.3055	2.9682	0.6884

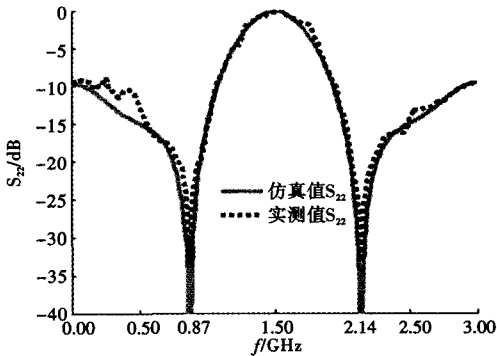
3 仿真与测试

为了验证设计方法的可行性,研制了一款工作于 870MHz 和 2140MHz 两个基站系统频段的 Wilkinson 功分器,由表 1 选取频率比 $m=2.46$,具体的设计参数: $\theta=\pi/3.46$ 、 $Z_1=26.71\Omega$ 、 $Z_2=66.89\Omega$ 、 $Z_3=109.77\Omega$ 、 $R=100\Omega$ 。在 ADS 建立相应结构进行仿真,通过调谐、优化选取最后的设计参数。选用 F4B 板材,板厚 0.8mm,介电常数 2.65。根据上述参

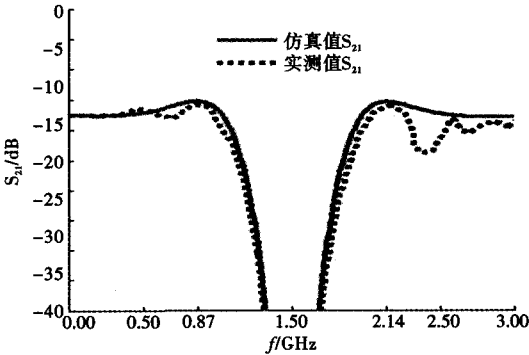
数,最终制作出双频 Wilkinson 功分器实物。利用安捷伦公司的矢量网络分析仪进行相应测试,仿真与实际测量值对比如图 4 所示。实物如图 5 所示。



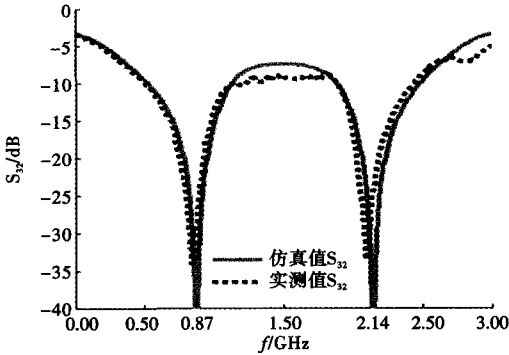
(a) 输入端口回波损耗曲线



(b) 输出端口回波损耗曲线



(c) 传输特性曲线



(d) 隔离度曲线

图 4 双频功分器的 S 参数的实测值和仿真值

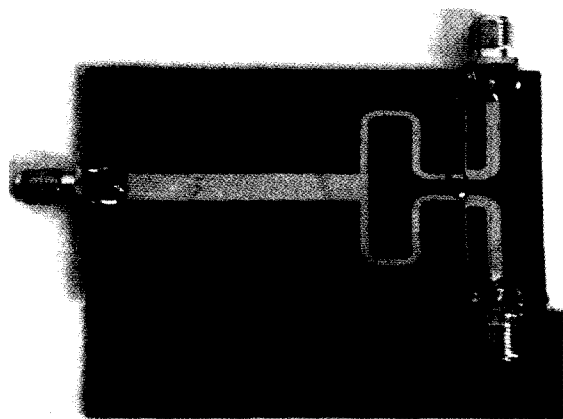


图5 双频功分器实物图

通过图4仿真与实测对比可以看出:仿真和测试结果较符合,实测结果为在两个中心频率870MHz和2140MHz上,功分器的输入端口回波损耗(S_{11})为-32.49dB/-31.40dB,输出端口回波损耗($S_{22}=S_{33}$)为-33.60dB/-33.19dB,传输特性($S_{21}=S_{31}$)为-3.18dB/-3.25dB,输出端口之间的隔离度(S_{32})为-31.71dB/-29.95dB.

4 结束语

本文在对奇模-偶模理论研究的基础上,设计出了一种新型结构的双频Wilkinson功分器.该功分器结构可以适用于较宽的频率比(2.0~6.0).在结构上,采用在输出端口并联开路微带线,有效地缩小了尺寸,并且能使两个输出端口达到很好的隔离效果.功分器的测试结果表明:工作在其两个中心频率上,其输入输出端口的回波损耗均优于-30dB,传输损耗不高于3.25dB,输出端口之间的隔离度低于-29dB.实物的测试结果验证了设计方法的可行性

和正确性.

参考文献:

- [1] 南敬昌,单晓艳. 新颖双频Wilkinson功率分配器的研究与设计[J]. 半导体技术, 2011, 36(6):459-462.
- [2] Myun-Joo Park. Dual-band wilkinson divider with coupled out-put port extensions[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2009, 57(9): 2232-2237.
- [3] Wu L, Sun Z. A dual-frequency wilkinson power divider[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2006, 54(1):278-284.
- [4] Hualiang Zhang, Hao Xin. Designs of dual-band wilkinson power dividers with flexible frequency ratios [C]//IEEE MTT-S Int Microwave Symp Dig, 2008: 1223-1226.
- [5] Myun-Joo Park, Byungje Lee. A dual-band Wilkinson power divider[J]. IEEE Microw. Wireless Compon Lett, 2008, 18(2):85-87.
- [6] Park M J, Lee B. Wilkinson power divider with extended ports for dual-band operation [J]. Electron Lett, 2008, 44(15):916-917.
- [7] 杨彦炯,李爱勤. 宽频比双频耦合线Wilkinson功分器的设计方法[J]. 西安电子科技大学学报, 2011, 38(6):60-64.

作者简介:

南敬昌 男,(1971-),教授,博士.研究方向为射频电路与器件、多媒体信息编码、通信系统仿真.

王鑫 男,(1987-),硕士研究生.研究方向为射频电路与器件、智能交通.

曲昀 女,(1988-),硕士研究生.研究方向为射频电路器件设计.