

文章编号: 1001 - 893X(2011)02 - 0098 - 04

新型小型化超宽带功率分配器*

李 魏, 范海军, 周希朗

(上海交通大学 射频与微波技术研究中心, 上海 200240)

摘要:利用长为四分之一波长、两端交叉短路的对称耦合微带线和长为四分之三波长折叠微带线并联结构,提出一种新型小型化超宽带功率分配器。在等效传输线模型的基础上,采用奇偶模分解方法对其进行了理论分析,给出了参数设计方程。利用 HFSS 仿真优化一个微带结构的超宽带功率分配器。仿真和测量结果表明,通带内插入损耗小于 2 dB,输入输出端口的回波损耗分别大于 10 dB 和 7 dB,隔离度大于 6 dB,高频带外插入损耗在 13 ~ 20 GHz 范围内大于 20 dB。该结构尺寸仅为 28 mm × 32 mm,具有小型化的特点。

关键词:功率分配器;超宽带;奇偶模分解方法;对称耦合微带线

中图分类号:TN626 **文献标识码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1001-893x.2011.02.020

A Novel Compact Ultra-wideband Power Divider

LI Wei, FAN Hai-jun, ZHOU Xi-lang

(Center for Microwave and RF Technologies, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: A novel compact ultra-wideband (UWB) power divider is proposed. The structure is formed by a short-circuited coupled microstrip lines section connected in parallel to a folded microstrip line segment at each output port. Based on equivalent transmission line model, design equations and guidelines of the proposed UWB power divider are given using even-and-odd-mode analysis. Then a prototype of this power divider is designed and fabricated on microstrip topology. The simulated and measured results show the insertion loss is less than 2 dB. The return loss for the input/output ports is better than 10 dB/7 dB whereas the isolation is better than 6 dB. The out of band rejection level is more than 20 dB from 13 GHz to 20 GHz. It also has a small size of 28 mm × 32 mm.

Key words: power divider; ultra-wideband (UWB); even-and odd-mode decomposition method; symmetric coupled microstrip lines

1 引言

自从美国联邦通信委员会(FCC) 2002 年公布超宽带标准以来,关于超宽带器件的研究逐渐增加。到目前为止,已经有很多设计超宽带天线和滤波器的文献^[1-3],但关于超宽带功率分配器的文献并不

多。文献[4]通过级联多级威尔金森功率分配器来达到扩展频宽的目的,但这种结构尺寸太大而且使用了更多的电阻。文献[5]中使用微带线到槽线形成的 T 型结构,提出了一种小型化的异相超宽带功率分配器。文献[6]中采用了一对四分之一波长短路分支线和一对平行耦合线设计超宽带功率分配

* 收稿日期:2010-11-12;修回日期:2010-12-15

基金项目:国家重点基础研究发展规划(973 计划)项目(2009CB320204);国家自然科学基金资助项目(60821062)

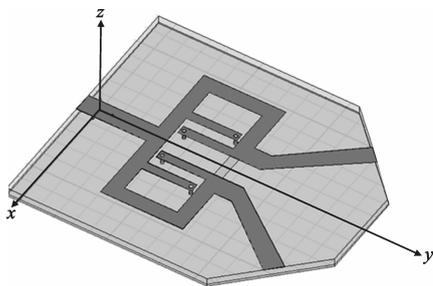
Foundation Item: The National Program on Key Basic Research Project (973 Program) (No. 2009CB320204); The National Natural Science Foundation of China (No. 60821062)

器,具有很好的带通性能和隔离度,但这种结构尺寸相对于现在的移动设备尺寸仍比较大。通过在两级级联的威尔金森功率分配器的两个分支上加入开路分支线,也可以实现超宽带功能^[7]。文献[8]提出用多层微带线槽线耦合结构设计超宽带功率分配器,具有很好的带通性能和带外抑制性能,但是结构复杂,不利于加工。

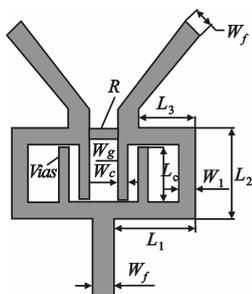
本文采用长为四分之一波长、两端交叉短路的对称耦合微带线和长为四分之三波长的折叠微带线并联结构,设计出一种新型小型化超宽带功率分配器。两端交叉短路对称耦合微带线的引入不仅可以增加通带内的传输极点,还可以在带外引入传输零点。使用折叠微带线可以进一步减少结构尺寸。采用奇偶模分解方法对其进行理论分析,得到相应的设计方程。利用给出的初始设计参数对此功率分配器进行了仿真优化,最后加工成实物,仿真和测量结果具有很好的一致性。

2 设计原理

图 1 给出了本文所设计的功率分配器结构图。由于其结构的对称性,因此采用奇偶模分解方法^[9]来分析它。



(a) 结构图



(b) 尺寸图

图 1 超宽带功率分配器的结构图

Fig.1 Structure of the proposed UWB power divider

2.1 偶模分析

功率分配器的偶模等效电路如图 2(a) 所示。 Y_2 和 θ_2 分别表示折叠微带线的特性导纳和电长度, θ_c 是对称耦合微带线的电长度。由于 θ_1 较小,分析过程中忽略 Y_1 。推导出此两端口网络的导纳矩阵^[10]为

$$[Y]_s = \begin{bmatrix} -jY_2 \cot \theta_2 - \frac{j}{2} Y_{o+} \cot \theta_c & jY_2 \csc \theta_2 + \frac{j}{2} Y_{o-} \cot \theta_c \\ jY_2 \csc \theta_2 + \frac{j}{2} Y_{o-} \cot \theta_c & -jY_2 \cot \theta_2 - \frac{j}{2} Y_{o+} \cot \theta_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中, $Y_{o+} = Y_{oe} + Y_{oo}$, $Y_{o-} = Y_{oe} - Y_{oo}$ 。 Y_{oe} 和 Y_{oo} 分别是对称耦合微带线的偶、奇模特性导纳。经过复杂的代数运算,端口 1 和 2 的输入导纳分别为

$$Y_{ini}^e = \frac{C + DY_{pj}}{A + BY_{pj}}, i = 1, j = 2 \text{ 或 } i = 2, j = 1 \quad (2)$$

其中:

$$A = D = \frac{Y_{o+} \cot \theta_c + 2Y_2 \cot \theta_2}{Y_{o-} \csc \theta_c + 2Y_2 \csc \theta_2} \quad (3)$$

$$B = \frac{j}{Y_2 \csc \theta_2 + \frac{Y_{o-}}{2} \csc \theta_c} \quad (4)$$

$$C = \frac{Y_2^2 + Y_2(Y_{o-} \csc \theta_2 \cos \theta_c - Y_{o+} \cot \theta_2 \cos \theta_c) + \frac{1}{4}(Y_{o-}^2 \csc^2 \theta_c - Y_{o+}^2 \cot^2 \theta_c)}{j \frac{Y_{o-}}{2} \csc \theta_c + Y_2 \csc \theta_2} \quad (5)$$

当 $Y_{in1}^e = Y_{p1}$ 、 $Y_{in2}^e = Y_{p2}$ 时,端口实现匹配。由 $\theta_2 = 3\theta_c = 1.5\pi$,从式(2)可以得到:

$$\left(Y_2 - \frac{Y_{o-}}{2}\right)^2 = Y_{p1} Y_{p2} \quad (6)$$

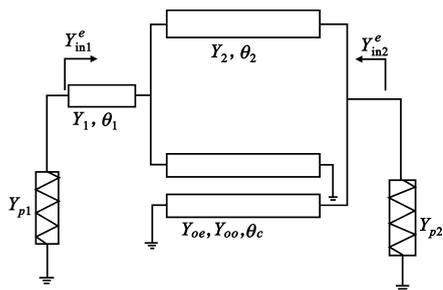
2.2 奇模分析

功率分配器的奇模等效电路如图 2(b) 所示,得到端口 2 的输入导纳为

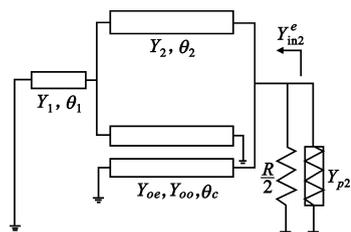
$$Y_{in2}^o = \frac{2}{R} + \frac{C + D(-jY_1 \cot \theta_1)}{A + B(-jY_1 \cot \theta_1)} \quad (7)$$

当 $Y_{in2}^o = Y_{p2}$ 、 $\theta_2 = 3\theta_c = 1.5\pi$ 时,由式(7)可以得到 $R = 2Z_{p2} = 100 \Omega$ 。当 $Z_{oe} = 100 \Omega$,通过式(2)、

(6)、(7)以及 $S_{11} = \frac{Y_{p1} - Y_{in1}^e}{Y_{p1} + Y_{in1}^e}$,可以计算出参变量为 Z_{oo} 、自变量为 θ 的 $|S_{11}|$ 和 $|S_{21}|$ 。通过分析对比,最后选择 $Z_{oo} = 80 \Omega$,然后利用式(6)计算得到 $Z_2 = 77 \Omega$ 。



(a) 偶模等效电路图



(b) 奇模等效电路图

图2 功率分配器的奇偶模等效电路图
Fig.2 Even-and-odd-mode equivalent circuit of the proposed UWB power divider

3 仿真与测试结果

本文采用相对介电常数为 2.65、厚度为 0.8 mm、损耗角正切为 0.001 的介质基片。利用上文中分析得到的特性阻抗计算出该结构的初始值, 利用 HFSS 仿真优化得到最终的尺寸为: $L_1 = 8.4$ mm, $L_2 = 9.4$ mm, $L_3 = 5.8$ mm, $L_c = 5.7$ mm, $W_1 = 1.7$ mm, $W_c = 1$ mm, $W_g = 1.1$ mm, $W_f = 2.2$ mm。

加工出的实物如图 3 所示, 尺寸为 28 mm × 32 mm。仿真和测量结果如图 4 所示。

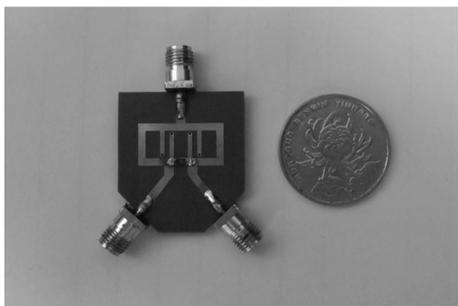
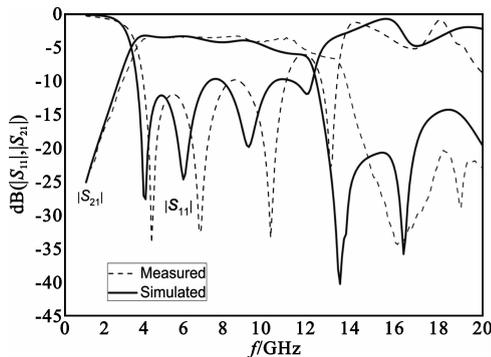


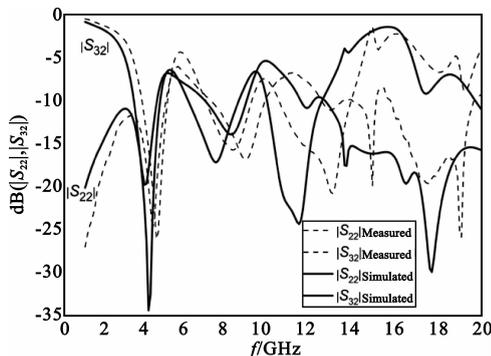
图3 实际制作的功率分配器
Fig.3 Photograph of the fabricated circuit

仿真的 $|S_{11}|$ 在 3.1 ~ 10.6 GHz 范围内均大于 10 dB, 实测的 $|S_{11}|$ 在 3.6 ~ 11.1 GHz 范围内大于 10 dB, 这种差异可能是由加工精度以及 SMA 接头

的影响所致。实测的 $|S_{21}|$ 在 3.6 ~ 8.9 GHz 范围内小于 1 dB, 在 8.9 ~ 11.1 GHz 范围内小于 2 dB。高频段插入损耗的增加与 SMA 接头以及微带线的色散效应有关。对称耦合微带线的引入导致 $|S_{21}|$ 的两边非常陡峭并且从 13 ~ 20 GHz 范围插入损耗都大于 20 dB。 $|S_{22}|$ 在整个通带内均大于 7 dB 而 $|S_{32}|$ 则大于 6 dB, 输出端口之间的隔离度偏大可能是由于隔离电阻的高频效应引起的。



(a) $|S_{11}|$ 和 $|S_{21}|$



(b) $|S_{22}|$ 和 $|S_{32}|$

图4 仿真和测量结果图
Fig.4 Simulated and measured results of the proposed UWB power divider

4 总结

本文提出了一种适用于超宽带应用、微带结构的小型化超宽带功率分配器。通过研究发现, 对称耦合微带线的引入不仅可以增加通带内的传输极点还可以在带外引入传输零点。使用折叠微带线可以进一步减少结构尺寸。本文提出的超宽带功率分配器可望用于实际的超宽带移动通信系统, 采用的分析方法对进一步研究其它新型功率分配器以及滤波器其有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] Sanchez-Soriano M A, Bronchalo E, Torregrosa-Penalva G. Compact UWB Bandpass Filter Based on Signal Interference Techniques[J]. IEEE Microwave Wireless Components Letters, 2009, 19(11): 692 - 694.
- [2] Sun S, Zhu L, Tan H H. A Compact Wideband Bandpass Filter Using Transversal Resonator and Asymmetrical Interdigital Coupled lines[J]. IEEE Microwave Wireless Components Letters, 2008, 18(3): 173 - 175.
- [3] Suh S Y, Stuzman W L, Davis W A. A New Ultra-Wide Band Printed Monopole Antenna: the-Planar Inverted Cone Antenna [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2004, 52(5): 1361 - 1365.
- [4] Wilkinson E. An n-way Hybrid Power Divider[J]. IRE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 1960, 8(1): 116 - 118.
- [5] Bialkowski M E, Abbosh A M. Design of a Compact UWB Out-of-Phase Power Divider[J]. IEEE Microwave Wireless Components Letters, 2007, 17(4): 289 - 291.
- [6] WONG S W, ZHU L. Ultra-wideband Power Dividers with Good Isolation and Sharp Roll-off skirt[J]. IET Microwaves Antennas and Propagation, 2009, 3(8): 1157 - 1163.
- [7] QU Xing-ping, CHU Qing-xin. A Modified Two-Section UWB Wilkinson Power Divider[C] //Proceedings of 2008 International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology. Nanjing, China; IEEE, 2008: 1258 - 1260.
- [8] Song Kai-jun, Xue Quan. Novel Ultra Wideband(UWB) Multilayer Slotline Power Divider with Bandpass Response[J]. IEEE Microwave Wireless Components Letters, 2010, 20(1): 13 - 15.
- [9] Pozar D. Microwave Engineering [M]. 3rd ed. New York : Wiley, 2005.
- [10] Zysman G L, Johnson A K. Coupled Transmission Line Networks in an Inhomogeneous Dielectric Medium[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 1969, 17(10): 753 - 759.

作者简介:

李魏(1985-),男,安徽淮南人,2007年于吉林大学获电子信息科学与技术专业学士学位,现为上海交通大学射频与微波技术研究中心硕士研究生,主要研究领域为射频、微波电路;

LI Wei was born in Huainan, Anhui Province, in 1985. He received the B.S. degree from Jilin University in 2007. He is now a graduate student in Center for Microwave and RF Technologies, Shanghai Jiaotong University. His research concerns RF and microwave circuits.

Email: liwei_0308@163.com

范海军(1986-),男,江苏南通人,2008年于电子科技大学应用物理专业获学士学位,现为上海交通大学射频与微波技术研究中心硕士研究生,主要研究领域为微波无源器件小型化;

FAN Hai-jun was born in Nantong, Jiangsu Province, in 1986. He received the B.S. degree from University of Electronic Science and Technology of China in 2007. He is now a graduate student in Center for Microwave and RF Technologies, Shanghai Jiaotong University. His research concerns microwave passive components.

Email: h.j.fan@sytu.edu.cn

周希朗(1952-),男,江苏徐州人,教授、博士生导师,主要研究领域为微波、毫米波集成电路。

ZHOU Xi-lang was born in Xuzhou, Jiangsu Province, in 1952. He is now a professor and also the Ph.D. supervisor. His research concerns microwave and millimeter-wave integrated circuits.

Email: xlzhou@sytu.edu.cn

本刊加入“万方数据 - 数字化期刊群” 等数据库的声明

为了适应我国信息化建设的需要,扩大作者学术交流渠道,实现科技期刊编辑、出版发行工作的电子化,推进科技信息交流的网络化进程,本刊现已加入“万方数据 - 数字化期刊群”、“中国学术期刊(光盘版)”、“中国期刊全文数据库”、“中国学术期刊网”、“中文科技期刊数据库”、“中国期刊网”等本刊目次页上著录的数据库,本刊录用发表的论文,将由编辑部统一纳入上述数据库,进入因特网或光盘提供信息服务。本刊所付稿酬已包含著作权使用费和刊物内容上网服务报酬,不再另付。凡有不同意见者,请事先声明,本刊将作适当处理。

《电讯技术》编辑部