

文章编号: 1671-7449(2009)04-0303-04

双通带带通滤波器的分析与设计

安婷婷, 张文梅

(山西大学 物理电子工程学院, 山西 太原 030006)

摘要: 基于方型环与开路线相结合的结构设计了一种新型微带双通带带通滤波器. 该滤波器通过调节方型环与开路线的尺寸分别获得两个通带. 经仿真优化, 并制作了实物模型. 测试结果表明该滤波器能够工作在 2.365 GHz 和 4.465 GHz, 插入损耗都小于 3 dB. 测量结果与仿真曲线一致性较好. 该滤波器结构简单、设计方便、体积小、易于加工, 便于与其它电路集成, 可以广泛应用于射频前端.

关键词: 无线通信; 微带线; 双通带; 滤波器; 回波损耗

中图分类号: TN713.5 文献标识码: A

Design and Analysis of Dual-Band Filter

AN Tingting, ZHANG Wenmei

(College of Physics and Electronics, Shanxi University, Taiyuan 030006, China)

Abstract: A new dual-band microstrip filter based on square ring and loaded stub is proposed. The center frequencies of its low-band and high-band can be easily adjusted by the dimensions of the square ring and loaded stub. Then the simulations are carried out and the experimental prototype is also made. The measured center frequencies of the optimized filter are 2.365 GHz and 4.465 GHz, and the insertion loss is lower than 3 dB. A basic agreement between the simulated and the measured results is obtained. The presented filter has simple structure and small size, and is easy to be designed and realized. Moreover, it is also convenient to integrate with the system, and can be widely used in the radio frequency (RF) front-ends.

Key words: wireless communication; microstrip; dual-band; filter; return loss

随着无线通信技术的迅猛发展, 涌现出了许多无线互联的技术和标准, 例如蓝牙技术的工作频段在 2.4 GHz, 802.11a 工作在 5 GHz 的频率范围内, 同时支持 802.11a/b/g 标准的双通带的无线网络产品将是未来 WLAN 选择的主流. 双通带微带滤波器作为双通带无线通信系统中最重要的模块之一受到了广泛重视. 其种类繁多, 结构各异, 有平行耦合滤波器、梳状滤波器、交指滤波器和发夹型滤波器等多种形式. 文献 [1-3] 提出了 SIR(Stepped-Impedance Resonator) 双通带带通滤波器, 通过调节 SIR 的阻抗比和长度比来调节两中心频率. 文献 [4-5] 应用 SIR 的发夹型结构实现了双通带的特性. 文献 [6] 中提出了一种基于开环谐振器的微带双通带滤波器, 它由两根均匀的微带线和两对开环谐振器组成, 每一对开环谐振器控制一个通带, 环的周长为中央频率所对应导波波长的一半. 文献 [7] 中提出了嵌入式谐振器结构, 得到了性能优良的双通带滤波器.

* 收稿日期: 2009-01-05

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60771052); 国家博士后基金特别资助项目(200801424); 山西省自然科学基金资助项目(2006011029); 太原市科技资助项目(0703004)

作者简介: 安婷婷(1983-), 女, 硕士生, 主要从事射频与微波通信研究

通信作者: 张文梅(1969-), 女, 教授, 博导, 主要从事电磁场与微波技术研究.

本文提出了一种方型环与开路线相结合的新型微带双通带带通滤波器,其低端与高端频率分别由方形环与开路线的尺寸来控制。利用商用电磁仿真软件 ensemble SV 对滤波器性能进行仿真优化,并实际制作了实物模型,测量其中心频率为 2.365 GHz 和 4.465 GHz,回波损耗分别为 -11.86 dB 和 -12.61 dB,插入损耗小于 3 dB。由于制作以及测量上的误差,实际测量与理论模拟结果有些许的差异,但基本与理论模拟结果吻合。该滤波器设计方便、体积小、易于加工,便于与其它电路集成,可广泛应用于射频前端。

1 设计与模拟

双通带滤波器结构如图 1 所示,输入输出端口的特性阻抗为 50Ω ,馈电方式为接近式耦合馈电,等效电路如图 2 所示。其中 LC 为输入输出端口谐振回路,LC₁ 和 LC₂ 分别为两个频段上的谐振回路,J 为导纳转换器。滤波器谐振频率由式 (1)~(4) 给出

$$f_1 = \frac{c}{4l_1 \sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}}, \quad (1)$$

$$f_2 = \frac{c}{(2l_1 + 2l_3) \sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}}, \quad (2)$$

$$\epsilon_{\text{eff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2 \sqrt{1 + 12 \frac{h}{a}}}, \quad (3)$$

$$a = \frac{\lambda_0}{2 \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}}, \quad (4)$$

式中: c 为光速; ϵ_{eff} 为等效介电常数; λ_0 为真空中的波长; h 为介质厚度。

图 3 给出了电流在 2.52 GHz 和 4.65 GHz 的分布。可以看出,滤波器的低端工作频率 f_1 主要是由方形环的大小来决定,而与加入的开路线无关,其导波波长为环形的周长,而高端的工作频率 f_2 由环形边长和开路线同时决定,该频率上的导波波长为环周长的一半与 2 倍开路线的和,在低端频率确定后,可通过调整开路线的长度 l_3 改变 f_2 , l_3 与 f_2 的对应关系如图 4 所示。其中, $l_1 = 20 \text{ mm}$, $l_2 = 15 \text{ mm}$, $l_4 = 20 \text{ mm}$, $s = 0.5 \text{ mm}$, $w_1 = 4 \text{ mm}$, $w_2 = 0.5 \text{ mm}$, $w_3 = 2.5 \text{ mm}$ 。由图 4 可见,随着 l_3 的增加,第二通带中心频率呈线性减小。

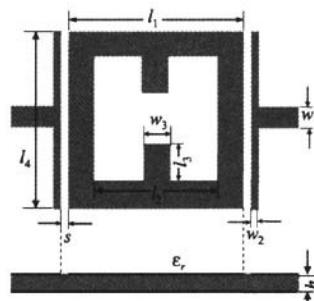


图 1 微带双通带滤波器结构示意图
Fig. 1 Schematic of the dual-band microstrip filter

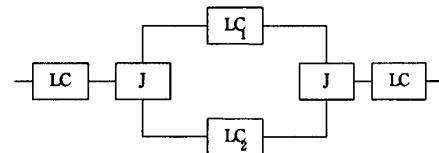


图 2 微带双通带滤波器等效电路图
Fig. 2 Equivalent circuit of the dual-band microstrip filter

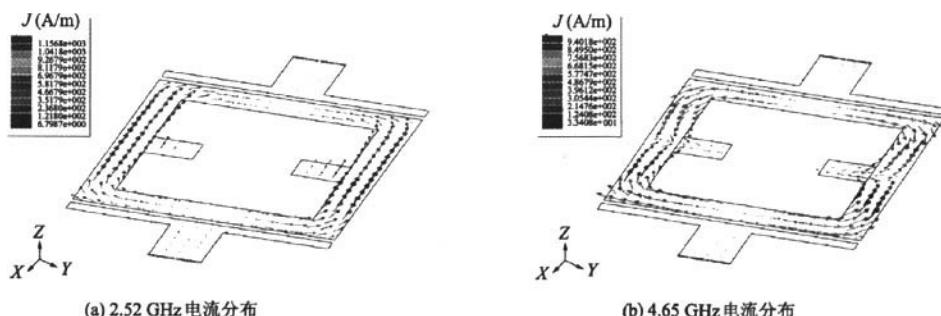


图 3 电流分布图
Fig. 3 Distribution of the filter's current

另外,滤波器参数 s , l_4 对滤波器特性也有影响,分析结果图 5~图 7 所示。

图 5 给出了缝隙 s 与两通带相对带宽的关系, 其中 $l_1=20 \text{ mm}$, $l_2=15 \text{ mm}$, $l_3=3.75 \text{ mm}$, $l_4=20 \text{ mm}$, $w_1=4 \text{ mm}$, $w_2=0.5 \text{ mm}$, $w_3=2.5 \text{ mm}$. 滤波器的带宽计算公式为

$$BW = (f_u - f_l)/f_0, \quad (5)$$

$$f_0 = (f_u + f_l)/2, \quad (6)$$

从而可以确定下列耦合系数

$$J_{0,1} = \frac{1}{Z_0} \sqrt{\frac{\pi BW}{2g_0g_1}}, \quad (7)$$

$$J_{1,2} = \frac{1}{Z_0} \frac{\pi BW}{2 \sqrt{g_0g_1}}, \quad (8)$$

式中: f_u, f_l 为上边频和下边频; f_0 为中频; Z_0 为输入输出端口的传输线特性阻抗; g_0, g_1 为 2 阶切比雪夫滤波器元件参数. 可见, s 主要影响谐振环与馈电端的耦合, 从而影响两个通带的带宽.

输出端耦合线对滤波器的特性也有一定影响, 如果将其延长并弯折(如图 6 所示), 可提高两个通带上的耦合, 减小插入损耗, 同时, 耦合线还会在带外引入谐振点, 一般使该谐振点频率接近 f_1 或 f_2 . 图 7 给出了参数 l_4 变化时对滤波器 S 参数的影响. 由图 6 可见, 改变 l_4 可以调节带内插入损耗, 改善带外抑制.

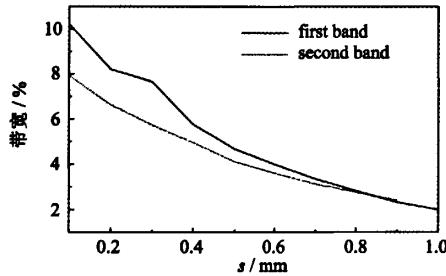


图 4 长度 l_3 与第二通带中心频率 f_2 关系图

Fig. 4 Relation of the length l_3 and the second central frequency f_2

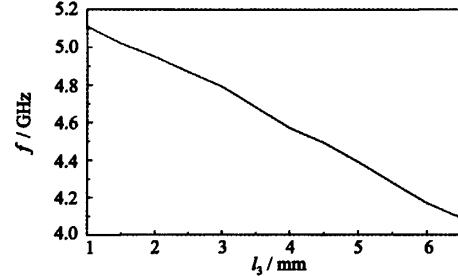


图 5 缝隙 s 与相对带宽关系图

Fig. 5 Relation of the spacing s and the bandwidth

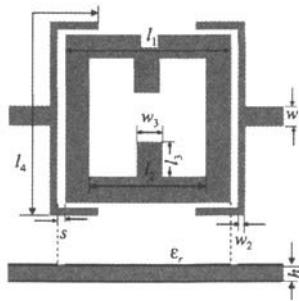


图 6 滤波器结构示意图

Fig. 6 Schematic of the filter

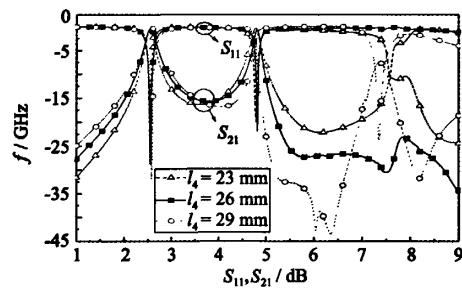


图 7 长度 l_4 变化时 S 参数对比

Fig. 7 Simulated S-parameters under different length l_4

2 测量

设计过程采用商用电磁仿真软件 ensemble SV 进行仿真, 通过优化程序对天线尺寸进行优化, 并按照优化的结果制作出滤波器. 所实现的滤波器如图 8 所示, 具体参数为 $l_1=20 \text{ mm}$, $l_2=15 \text{ mm}$, $l_3=3.75 \text{ mm}$, $l_4=20 \text{ mm}$, $s=0.5 \text{ mm}$, $w_1=4 \text{ mm}$, $w_2=0.5 \text{ mm}$, $w_3=2.5 \text{ mm}$. 滤波器面积为 $26 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$. 选用相对介电常数 $\epsilon_r=4.4$, 厚度 $h=1.6 \text{ mm}$ 的 FR4 介质板. 并用 Agilent N5230A 矢量网络分析仪进行测试, 测试和仿真结果如图 9 所示.

从图 9 看出, 测试结果的两通带中心频率分别为 2.365 GHz 和 4.465 GHz , S_{11} 在两个通带中心频率

的值分别为 -11.86 dB 和 -12.61 dB, S_{21} 在两个通带中心频率的值分别为 -2.34 dB 和 -2.72 dB, 3 dB 相对带宽分别为 3.89% 和 1.79% . 而仿真结果两通带中心频率分别为 2.52 GHz 和 4.65 GHz, S_{11} 在两个通带中心频率的值分别为 -22.54 dB 和 -26.74 dB, S_{21} 在两个通带中心频率的值分别为 -0.71 dB 和 -0.42 dB, 3 dB 相对带宽分别为 4.68% 和 4.13% . 测量与仿真结果相比, 两通带中心频率都向下偏移, 回波损耗和插入损耗变差, 相对带宽稍有减少, 其原因主要有以下 4 点: ① 介质损耗、导体损耗和辐射损耗对其的影响. ② 受到加工精度与制作工艺的限制. ③ 用软件进行仿真时, 接地板认为无限大, 而实际加工样品的接地板尺寸有限, 出现了边缘处的场泄漏, 尤其是在介质基片较小时更为严重. ④ 测量的损耗还包括一对 SMA 接头的损耗在内. 因此, 相应地改进措施有以下 4 点: ① 在仿真过程中对介质、金属层属性的设置尽量全面, 有条件的可以对测试样品加屏蔽盒来减小辐射损耗. ② 提高加工工艺. ③ 在加工时适当加大接地板的尺寸. ④ 改进测量技术. 可以把 50Ω 特性阻抗的微带线两端直接加载 SMA 接头, 通过测量得到纯粹有接头引入的损耗, 然后得出滤波器的损耗.

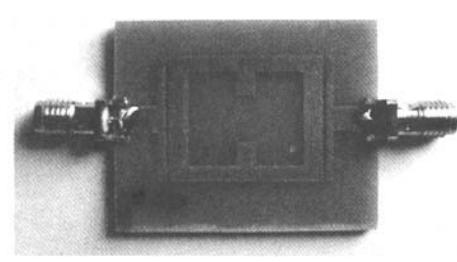


图 8 微带双通带滤波器实物照片

Fig. 8 Photograph of the dual-band microstrip filter

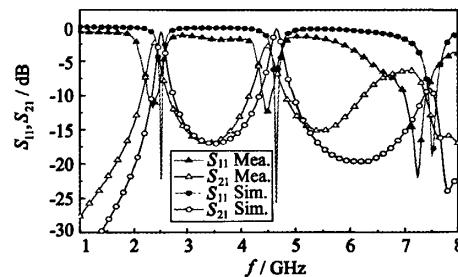


图 9 测试与仿真的双通带滤波器频率响应

Fig. 9 Simulated and measured frequency responses of the dual-band microstrip filter

3 结 论

微带双通带带通滤波器实现了双通带的性能. 通过调节滤波器的各个参数, 分析了滤波器参数对其性能的影响, 可以很方便地得到较好的性能. 这种滤波器设计方法简单, 体积小, 成本低, 加工方便, 便于与其它电路集成, 而且带内损耗小, 可以直接应用于微波电路, 从而可以很好地满足无线通信的应用需求, 也便于与系统整体集成.

参考文献:

- [1] Kuo J T, Chen H S. Design of quasi-elliptic function filters with a dual-passband response [J]. IEEE Microwave and Wireless Components Letters, 2004, 14(10): 472-474.
- [2] Kuo J T, Yeh T H, Yeh C C. Design of microstrip bandpass filters with a dual-passband response [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2005, 53(4): 1331-1337.
- [3] Sun Sheng, Zhu Lei. Compact dual-band microstrip bandpass filter without external feeds [J]. IEEE Microwave and Wireless Components Letters, 2005, 15(10): 644-646.
- [4] Zhang Yueping, Sun Mei. Dual-band microstrip bandpass filter using stepped-impedance resonators with new coupling schemes [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2006, 54(10): 3779-3785.
- [5] Chen Chifeng, Huang Tingyi, Wu R B. Design of Dual-and Triple-Passband Filters Using Alternately Cascaded Multiband Resonators [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2006, 54(9): 3550-3558.
- [6] Chen Chuyu, Hsu C Y. A simple and effective method for microstrip dual-band filters design [J]. IEEE Microwave and Wireless Components Letters, 2006, 16(5): 246-248.
- [7] Chen Chuyu, Hsu C Y, Chuang H R. Design of miniature planar dual-band filter using dual-feeding structures and embedded resonators [J]. IEEE Microwave and Wireless Components Letters, 2006, 16(12): 669-671.

微波滤波器设计培训——视频课程

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养，是国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地。客户遍布中兴通讯、研通高频、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们推出的微波滤波器设计培训专题，有资深工程师领衔主讲，课程既有微波滤波器设计原理的详细解释，也有各种仿真分析工具的实际设计应用讲解，设计原理和设计仿真实践相结合，向大家呈现各种结构的微波滤波器的完整设计流程。旨在帮助大家透彻地理解并实际的掌握各种微波滤波器的设计。

微波滤波器设计培训专题视频课程



高清视频，专家授课，中文讲解，直观易学；既有微波滤波器设计原理的详细解释，也有像 ADS、CST、HFSS 各种仿真分析工具的实际设计应用讲解，旨在帮助大家透彻地理解并实际的掌握各种微波滤波器的设计。

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/filter/>

更多专业培训课程：

- **HFSS 视频培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/>

- **CST 视频培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/>

- **天线设计专业培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/>

专注于微波、射频、天线设计人才的培养

易迪拓培训

官方网址: <http://www.edatop.com>

淘宝网店: <http://shop36920890.taobao.com>