

文章编号: 1004-4353(2019)03-0264-04

基于双模环形谐振器的双频带滤波器设计

赵芳丽, 翁敏航, 陈德礼
(莆田学院 信息工程学院, 福建 莆田 351100)

摘要: 为实现无线通信领域对滤波器的小型化要求, 基于微带平面结构易于集成的特点, 设计了一款应用于无线局域网(WLAN)的双频带微波滤波器, 其中心频率为 2.4/5.2 GHz. 首先, 利用矩形环形微带谐振器自身存在的两个模态相互耦合形成通带, 以缩小滤波器体积, 并且在通带两边各形成一个零点, 以提高滤波器的选择性. 然后, 对矩形环形谐振器进行压缩, 以进一步缩小滤波器体积. 最后, 采用 IE3D 仿真软件对所设计滤波器的性能进行仿真测试. 实验结果显示: 在 2.4/5.2 GHz 时, 滤波器通带内的插入损耗分别为 -3.0 dB 和 -2.5 dB, 回波损耗均小于 -15 dB, 且整个电路尺寸为 18 mm×18 mm. 这表明, 该方案设计的滤波器达到了性能指标, 且实现了小型化.

关键词: 双频带; 双模态; 环形谐振器; 带通滤波器

中图分类号: TN713 **文献标识码:** A

Design of the dual frequency band filter based on dual mode ring resonator

ZHAO Fangli, WENG Minhang, CHEN Deli
(School of Information Engineering, Putian University, Putian 351100, China)

Abstract: Aiming at the requirement of miniaturization of filter in wireless communication field, based on the characteristics of easy integration of microstrip plane structure, a dual-frequency microstrip filter with central frequency of 2.4/5.2 GHz for Wireless Local Area Network (WLAN) is designed. Firstly, two modes of the rectangular ring microstrip resonator are coupled each other to form the passband to reduce the volume of the filter, and two zeros are formed on both sides of the passband to improve the selectivity of the filter. Then, the rectangular ring resonator is compressed to further reduce the filter size. IE3D simulation software is used to simulate the performance of the designed filter. The test results show that the insertion loss in 2.4/5.2 GHz is -3.0 dB and -2.5 dB respectively, and the return loss is less than -15 dB, and the overall circuit size is 18 mm×18 mm. The experimental results show that the filter proposed in this paper can meet the requirements of performance indicators, and the structure can realize the miniaturization.

Keywords: dual band; dual mode; ring resonator; bandpass filter

随着无线局域网的发展,多业务无线移动通信系统引起了人们的广泛关注,尤其是在无线局域网的组合方面.带通滤波器作为射频前端的关键器件,近年来逐渐向多频带、小型化、高隔离度等方向发展^[1].目前,多频带滤波器的结构设计主要有以下类型:级联带通和带止滤波器,采用步阶阻抗谐振器(SIRs),两个或多个单谐振器的组合等^[2].因这些类型的多频带滤波器的结构均由两个或两个以上谐振器组合而成,因此导致滤波器的结构复杂,体积大,而且不同的谐振器模态之间难以耦合.对此,Luo 等

通过在一个均匀特性阻抗的微带圆环上添加开路枝节作为微扰点,使圆环的 2 个奇偶模式分离,从而形成了双通带滤波器^[3].这种方法可减小滤波器的尺寸,但因第 2 通带的谐振频率约是第 1 通带谐振频率的 2 倍,因而使得第 2 通带的谐振频率难以调节. Huang 等提出了一种环形结构的阶梯阻抗谐振器^[4],该谐振器虽然可减小电路尺寸,并调节第 2 通带的谐振频率问题,但其结构较为复杂,不利于设计.基于上述研究,本文根据奇偶模分析法,利用压缩双模环形谐振器设计一种双模态矩形环形滤波器,并通过实验验证该滤波器的性能.

1 双频带滤波器理论

1.1 双模态矩形环形滤波器

1972 年, Wolff^[5]首次提出了可产生双模态的环形结构,基于此, Hong 等^[6]利用方形环设计了一种全波长的双模态滤波器,并实现了滤波器的小型化.双模态环形滤波器须具备以下条件^[7]:①输入输出必须正交;②在谐振器内顺有一微扰点,使电磁波在传输路径上形成不连续,从而激发共振频率;③整体电路结构必须是对称的.

本文以 Hong 等设计的方形环形双模态滤波器为基础,设计一种双模态矩形环形滤波器,其结构如图 1 所示.

1.2 奇偶模分析法

根据图 1 所示结构,定义矩形环边长为 L ,电长度为 θ ,阻抗为 Z .微扰点采用正方形贴片,边长为 P ,电长度为 θ_p ,特性阻抗为 $2Z_p$.本文采用奇偶模分析法分析双模态环形谐振器的谐振特性.

根据微带线理论^[8],奇模态时,对称面 CD 为“电壁”(相当于短路),其等效电路如图 2(a) 所示.图 2(a) 中的输入端奇模输入导纳 $Y_{in,o}$ 的计算公式为:

$$Y_{in,o} = \frac{Y}{j \tan \frac{3\theta}{2}} + \frac{Y}{j \tan \frac{\theta}{2}} = -jY \frac{\tan 2\theta (1 - \tan \frac{3\theta}{2} \tan \frac{\theta}{2})}{\tan \frac{3\theta}{2} \tan \frac{\theta}{2}}. \quad (1)$$

根据并联谐振电路理论,当电路处于谐振状态时 $Y_{in,o} = 0$,故由式(1)得 $\tan 2\theta = 0$ 或 $\tan \frac{3\theta}{2} \tan \frac{\theta}{2} = 1$.由此可知,奇模谐振频率与环形谐振器的电长度 θ 和特征阻抗 Z 有关.

偶模态时,对称面 CD 为“磁壁”(相当于开路),其等效电路如图 2(b) 所示.图 2(b) 中的输入端偶模输入导纳 $Y_{in,e}$ 的计算公式为:

$$Y_{in,e} = Y \frac{jY_p \tan \theta_p + jY \tan \frac{3\theta}{2}}{Y + j(jY_p \tan \theta_p)} \frac{3\theta}{2} + jY \tan \frac{\theta}{2} = jY \frac{Y_p \tan \theta_p + Y \tan \frac{3\theta}{2} + Y \tan \frac{\theta}{2} - Y_p \tan \theta_p \frac{3\theta}{2} \tan \frac{\theta}{2}}{Y - Y_p \tan \theta_p \frac{3\theta}{2}}. \quad (2)$$

根据并联谐振电路理论,当电路处于谐振状态时 $Y_{in,e} = 0$,故由式(2)得 $Y_p \tan \theta_p + Y \tan \frac{3\theta}{2} + Y \tan \frac{\theta}{2} - Y_p \tan \theta_p \frac{3\theta}{2} \tan \frac{\theta}{2} = 0$.由此可知,偶模谐振频率不仅与谐振器环的电长度 θ 有关,而且还与微扰点的大小 θ_p 和阻抗 Z_p 有关.

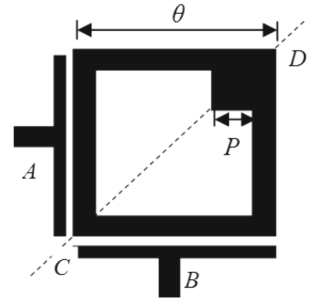


图 1 双模态矩形环形滤波器结构图

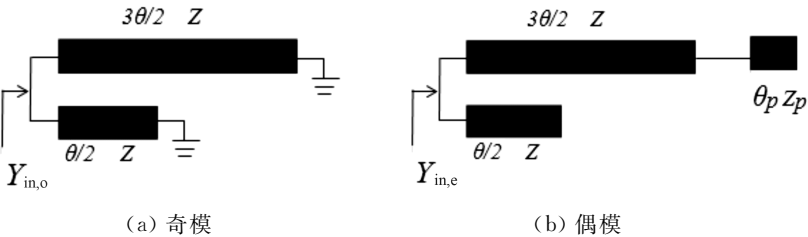


图 2 奇偶模等效电路

2 双模态双频带滤波器设计

2.1 设计流程

根据上述分析,若调整环形谐振器的两个通带的位置,即可实现带通滤波器,同时可以减小滤波器的尺寸.在确保双模态滤波器的设计性能下,为了进一步缩小滤波器的尺寸,本文在图 1 所示的双模态矩形环形滤波器的基础上,将双模态矩形环从每个边的中间向环中心压缩,形成交叉型间隙(g),如图 3 所示.

图 4 中的 3 条曲线是不同 g ($g=1,3,8\text{ mm}$) 的双频带滤波器的频率响应.由图 4 可以看出,在 2.4 GHz 附近,第 1 个通带几乎不随 g 发生变化,而第 2 个通带则随 g 的增大发生较大偏移.由此可以看出,通过调节 g 可以调整两个通带中心频率的位置,从而达到设计要求.

为得到 $2.4/5.2\text{ GHz}$ 2 个通带,本文利用 IE3D 软件对压缩双频带滤波器的结构进行仿真分析,并以此确定压缩双模环形双频带带通滤波器的压缩间隙($g=3\text{ mm}$). $g=3\text{ mm}$ 时的双频带滤波器的频率响应如图 5 所示.由图 5 可以看出, $2.4/5.2\text{ GHz}$ 2 个通带的插入损耗分别为 -2.5 dB 和 -0.8 dB ,回波损耗均大于 -15 dB .

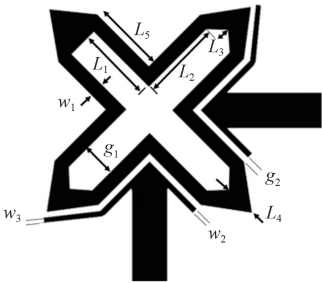


图 3 压缩双频带带通滤波器的结构

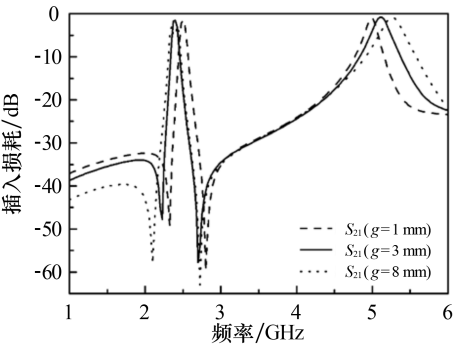


图 4 不同 g 的双频带滤波器的频率响应

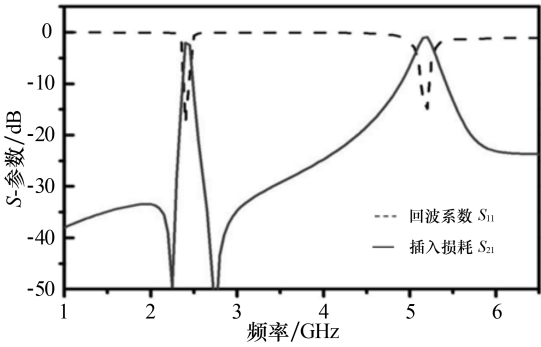


图 5 $g=3\text{ mm}$ 时的双频带滤波器的频率响应

2.2 滤波器的制作及检测

本文采用 RF4 基板制作压缩双模环形双频带滤波器,结构如图 3 所示. RF4 基板的厚度为 1.60 mm , 相对介电常数为 4.4 , 损耗角正切为 0.01 . 实际制作尺寸为: $L_1=6.713\text{ mm}$, $L_2=7.0\text{ mm}$, $L_3=1.3\text{ mm}$, $L_4=2.8\text{ mm}$, $L_5=6.274\text{ mm}$, $g_1=3\text{ mm}$, $g_2=0.5\text{ mm}$, $w_1=1.23\text{ mm}$, $w_2=w_3=0.5\text{ mm}$. 各参数表示的意义如图 3 所示.

制作的双频带滤波器的实物图如图 6 所示. 经测量,该滤波器的电路尺寸为 $18\text{ mm}\times 18\text{ mm}$. 与传统的双频带环形带通滤波器的体积相比,本文设计的压缩环形双频带滤波器的体积减小了约 19% .

使用 HP8722ES 网络分析仪对制作的双通带滤波器的频率响应进行测试,测试结果如图 7 所示. 由图 7 可以看出:在 2.5 GHz 时,插入损耗 $S_{21} = -3.0$ dB,回波损耗 $S_{11} = -10$ dB;在 5.25 GHz 时,插入损耗 $S_{21} = -2.2$ dB,回波损耗 $S_{11} = -12$ dB;在第 1 个中心频率(2.4 GHz)的两侧(2.3 GHz 和 2.9 GHz)出现了传输零点,表明滤波器的选择性得到了提高. 测量数据与仿真结果相比,测量数据中的插入损耗有所增大,反射系数有所减小. 其主要原因为:一是 FR4 基板自身损耗较大;二是雕刻机的针头较粗,使得制作的误差较大. 在上述设计制造中,若采用低损耗基板(如 RT/Duroid 或者 Al_2O_3) 和更细的雕刻机的针头,即可降低滤波器的插入损耗,频率漂移会得到很大改善^[9-10].

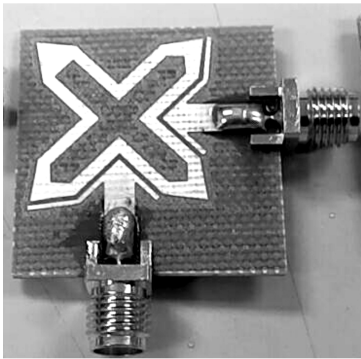


图 6 制作的双频带滤波器的实物图

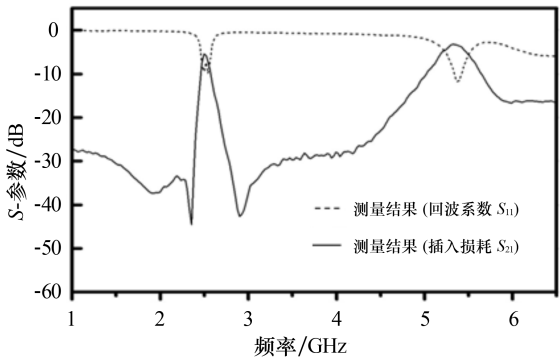


图 7 双频带滤波器频率响应的测量值

3 结论

测试表明,本文设计的基于双模环形谐振器的双频带带通滤波器,与传统的双频带环形带通滤波器相比具有结构简单、体积小、选择性好的优点,因此该滤波器在无线通信系统中具有良好的应用价值. 在滤波器的设计制作过程中,由于本文使用的是 FR4 基板,因此在测试中插入损耗和回波损耗略有增大,若采用低损耗基板即可有效克服这一缺点.

参考文献:

[1] 刘凯正. 基于矩形环谐振器的超宽带滤波器设计[J]. 电子测量技术, 2018, 41(5): 138-142.

[2] 雷涛, 向天宇, 陆安江, 等. 开路支节加载的双模滤波器设计[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2014, 54(1): 84-87.

[3] LUO Sha, ZHU Lei, SUN Sheng. A dual-bandring-resonator bandpass filter based on two pairs of degenerate modes[J]. Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions, 2010, 58(12): 3427-3432.

[4] HUANG Tsunghui, CHEN Hanjan, CHANG Chinsheng, et al. A novel compact ring dual-mode filter with adjustable second-passband for dual-band applications[J]. Microwave and Wireless Components Letters, IEEE, 2006, 16(6): 360-362.

[5] Wollf. Microstrip bandpass filter using degenerate modes of a microstrip ring resonator[J]. Electronics Letters, 1972, 8(12): 302-303.

[6] HONG J S, LANCASTER M J. Microstrip Filters for RF/Microwave Applications[M]. New York: John Wiley and Sons, 2001: 315-321.

[7] 黄玉兰. 射频电路理论与设计[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2014: 53-183.

[8] 郭辉萍, 刘学观. 电磁场与电磁波[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2017: 159-184.

[9] CHANG C H, WU H S, YANG J, et al. Coalesced single-input single-output dual-band filter[J]. IEEE MTT-S International, 2003, 1(1): 511-514.

[10] WENG Minhang, WU Hongwei. A novel dual-band bandpass filter using dual-mode resonators[J]. IEICE Electric, 2005, 88(1): 146-148.