

基于枝节加载的内嵌式三频滤波器设计

杨虹¹, 肖雄¹, 彭松², 马晋毅³

(1. 重庆邮电大学 光电工程学院, 重庆 400065; 2. 中国电子科技集团公司第四十四研究所, 重庆 400060;

3. 中国电子科技集团公司第二十六研究所, 重庆 400060)

摘要:利用 $\lambda/4$ (λ 为波长)的多模谐振器(MMR),通过输入、输出端共用短路过孔,采用内嵌方式设计了一款WLAN频段(2.4 GHz/5.2 GHz)的双频滤波器,在此基础上,通过开路枝节加载方式,设计了一款中心频率为2.3 GHz/3.3 GHz/5.5 GHz的三频段滤波器。滤波器尺寸为11 mm×9 mm,满足小型化的要求。利用HFSS12软件设计并仿真,得到验证结果。实验结果表明,双频段和三频段滤波器的损耗参数 s_{11} 和 s_{21} 均达到标准,可适用于无线通信系统。

关键词:多模谐振器;内嵌式;三频段;HFSS;小型化

中图分类号:TN713

文献标识码:A

Design of a Tri-band Filter With Embedded Structure Based on Stub Loaded

YANG Hong¹, XIAO Xiong¹, PENG Song², MA Jinyi³

(1. College of Optoelectronic Engineering, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China;

2. 44th Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Chongqing 400060, China;

3. 26th Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Chongqing 400060, China)

Abstract: A dual band filter with embedded structure operating at WLAN band (2.4 GHz/5.2 GHz) is designed by using the multi-mode resonator with $\lambda/4$ wavelength and sharing the input and output short-circuit. Then on the basis of the dual band filter design, a tri-band filter with center frequency of 2.3 GHz/3.3 GHz/5.5 GHz is designed based on the open stub loading. The size of the filter is 11 mm×9 mm, which meets the requirement of miniaturization. The HFSS12 software is used for filter design and simulation. The results show that both the dual-band and tri-band filter parameters of s_{11} and s_{21} are up to the standard, the filters can be used for wireless communication system.

Key words: multi-mode resonator; embedded; tri-band; HFSS; miniaturization

0 引言

随着信息技术的不断发展与进步,各种无线通信系统的应用越来越广泛,频谱资源紧张的问题日益严重。单一频段的通信系统已无法满足通信发展的需求,因此,多频段滤波器的研究与设计是一个重要的研究课题。同时,随着信息社会的发展,移动终端的便携化和微型化已成未来趋势,小型化的研究也一直是滤波器中的一个热点。目前,国内、外学者研究的重点是如何在保证各项性能的同时实现滤波器的小型化。常见的微带滤波器小型化的方法有采用弯折型谐振器、缺陷接地结构、分形结构和多模谐

振器(MMR)。

多模谐振器因插入损耗低,尺寸小及谐振模式多而成为目前应用最广泛的结构。常用的多模谐振器的实现方法有闭环谐振微扰^[1],贴片谐振开槽^[2]及枝节加载法^[3]。目前的滤波器小型化研究中,一般采用半波长的阶跃阻抗谐振器(SIR),通过弯折、枝节加载或耦合其他谐振器的方式来实现小型化和多频段^[4-10]。利用 $\lambda/4$ (λ 为波长)SIR来实现滤波器多频和小型化的研究报道较少,本文作者主要探讨利用多对 $\lambda/4$ SIR内嵌来实现滤波器的多频段和小型化。

收稿日期:2016-12-27

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61102075);模拟集成电路重点实验室基金资助项目(61428020115162802003);重庆市重点产业共性关键技术创新专项基金资助项目(cstc2016zdcy-ztxx0038)

作者简介:杨虹(1966-),男,四川蓬溪人,硕士生导师,教授,主要从事微电子材料与元器件及微波技术的研究。E-mail: yanghong@cqupt.edu.cn。通信作者:肖雄(1992-),男,湖北天门人,硕士生,主要从事集成电路芯片与系统设计的研究。E-mail: 2431541350@qq.com。

1 滤波器结构的设计

1.1 $\lambda/4$ MMR 设计

图1为 $\lambda/4$ SIR结构图。定义其输入阻抗 Z_{in} 为

$$Z_{in} = jZ_2 \frac{Z_1 \tan \theta_1 + Z_2 \tan \theta_2}{Z_2 - Z_1 \tan \theta_1 Z_1 \tan \theta_2} \quad (1)$$

式中: Z_1 、 Z_2 分别为 $\lambda/4$ SIR 高阻抗线和低阻抗线部分的阻抗; θ_1 、 θ_2 为阻抗线的电长度。

$\lambda/4$ SIR 谐振器的谐振条件是 $Y_{in}=0$,则

$$Z_2 - Z_1 \tan \theta_1 Z_1 \tan \theta_2 = 0 \quad (2)$$

由式(2)可得

$$\tan \theta_1 \tan \theta_2 = Z_2 / Z_1 = R_Z \quad (3)$$

式中: Z_{in} 、 Y_{in} 分别为输入端阻抗、导纳; R_Z 为阶梯阻抗比。

由式(3)可知,SIR 谐振的3个自由度是 θ_1 、 θ_2 和 R_Z ,与均匀阻抗谐振器(UIR)相比,SIR 多了一个自由度 R_Z 。 $\lambda/4$ SIR 的归一化谐振器总电长度为

$$L_n = \theta_{TA} / (\pi/2) = 2\theta_{TA} / \pi \quad (4)$$

式中 θ_{TA} 为SIR 总长度。

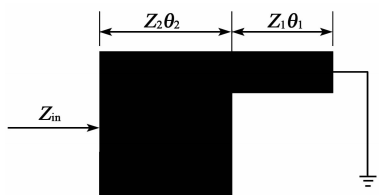


图1 $\lambda/4$ SIR 结构图

在图1的基础上,本文利用一对 $\lambda/4$ SIR 对称耦合设计了一款中心频率为2.4 GHz的单一频段滤波器,其结构如图2所示。输入、输出端采用了共用短路过孔的方式,弯折了部分高阻抗线使滤波器尺寸更小,低阻抗线耦合形成信号传输路径,同时在输入和输出端的馈线上,采用阶梯式的馈电结构,这种结构可使滤波器在2.4 GHz的通带外产生1个传输零点,提高通带选择性。

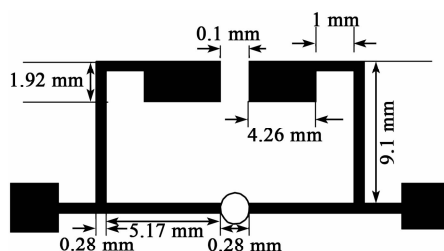


图2 2.4 GHz 滤波器结构图

图3、4分别为利用HFSS12对图2的2.4 GHz

滤波器进行仿真所得的损耗参数 s_{11} 、 s_{21} 图。由图可看出,2.4 GHz滤波器回波损耗优于25 dB,插入损耗为0.06 dB,相对带宽330 MHz,证明设计的滤波器结构性能良好。

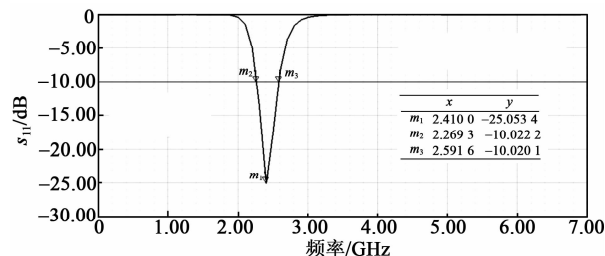


图3 2.4 GHz 滤波器的 s_{11} 参数

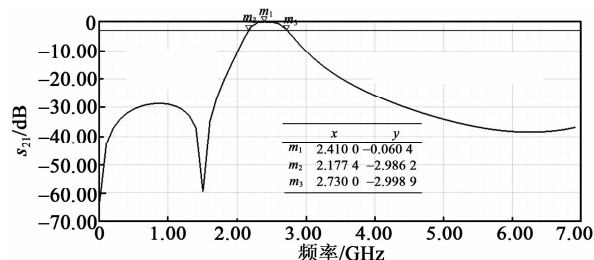


图4 2.4 GHz 滤波器的 s_{21} 参数

1.2 内嵌式双频滤波器设计

图5为本文设计的双频滤波器结构。采用的介质基板为Rogers RT/duroid5880,相对介电常数 $\epsilon=2.2$,基板厚度为0.65 mm。选定 $R_Z=0.4$, θ_2 设为 17° ,利用ADS的微带线计算工具计算出微带线的长、宽。同样采用图2所示滤波器结构的设计方式,在滤波器的输入、输出端共用短路过孔形成一条信号传输路径,采用内嵌的方式,2个微带线共用一个短路过孔和部分高阻抗微带线,同时2个频段的低阻抗线间分别耦合形成另外两条信号传输路径2、3,不同路径的信号在输出端进行叠加,信号在某些频率下如果出现幅度相、同相位相反,则会产生传输零点,控制零点出现的频率在通带外,可提高滤波器的选择性。

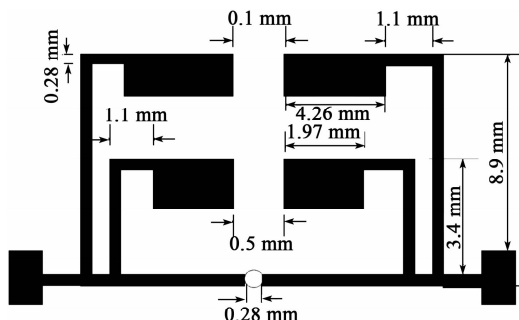


图5 双频滤波器结构图

利用 HFSS12 对结构进行仿真,结果如图 6、7 所示。由图可看出,该滤波器工作的中心频率是 2.4 GHz /5.2 GHz,在 2.4 GHz 频段的带宽为 300 MHz,2.4 GHz 的插入损耗小于 0.5 dB,回波损耗较低(小于 18 dB),矩形系数良好,满足滤波要求;在 5.2 GHz 频段的带宽为 360 MHz,插入损耗(小于 0.5 dB)、回波损耗(小于 18 dB)和矩形系数均满足滤波要求。本文设计的双频滤波器能工作在 WLAN 频段,并满足基本的滤波要求(回波损耗小于 10 dB,插入损耗小于 3 dB)。

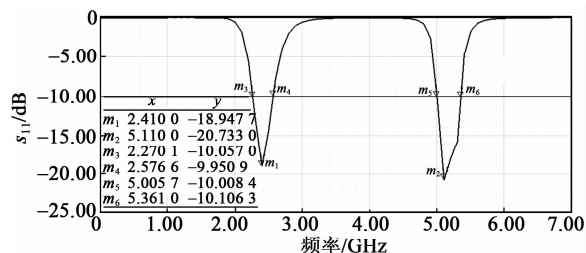


图 6 双频段滤波器仿真 s_{11} 结果

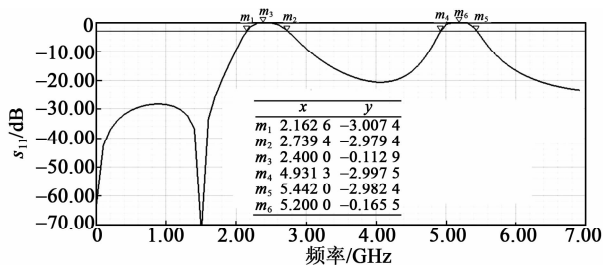


图 7 双频段滤波器仿真 s_{21} 结果

2 枝节加载的三频滤波器设计

在双频滤波器基础上,本文设计了一款枝节加载的三频滤波器,滤波器的结构如图 8 所示。在 5.2 GHz $\lambda/4$ SIR 上对称加载开路枝节,通过枝节耦合形成一个新的信号传输路径,调整枝节加载的长度,可形成第 3 个滤波频段,在加载开路枝节后,对滤波器的各个参数进行优化,最后设计出了一款中心频率为 2.3 GHz /3.3 GHz /5.5 GHz 的三频滤波器。该滤波器仿真的 s_{11} 和 s_{21} 参数结果分别如图 9、10 所示。由图可看出,本文设计的三频滤波器的相对带宽分别为 370 MHz/120 MHz/110 MHz。2.3 GHz 频段的插入损耗变化不大,3.3 GHz/5.5 GHz 频段的插入损耗变化略有上升,但基本满足要求(小于 2 dB),3 个频段的回波损耗均小于 15 dB,证明设计的滤波器性能良好,能适用于 LTE/WiMAX/WLAN 频段。

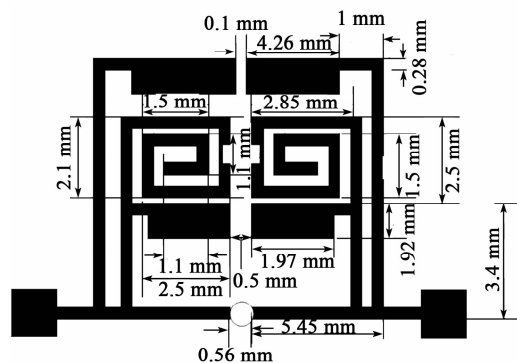


图 8 枝节加载三频滤波器结构图

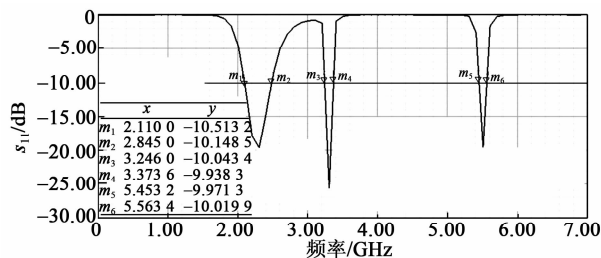


图 9 三频段滤波器仿真 s_{11} 结果

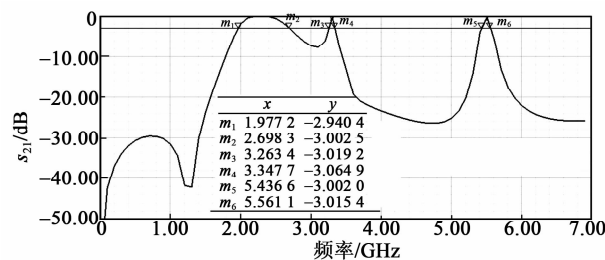


图 10 三频段滤波器仿真 s_{21} 结果

3 结束语

本文利用一对 $\lambda/4$ 的 SIR 对称耦合,在输入、输出端共用短路过孔,低阻抗线之间耦合形成信号传输路径的方式,采用内嵌的方法设计了一款满足 WLAN(2.4 GHz /5.2GHz)通信频段要求的双频滤波器。在设计的双频滤波器的基础上,采用开路直接加载方式,在 5.2 GHz 的 SIR 上对称加载一段开路枝节,通过弯折枝节之间的耦合形成一个新的信号传输路径来增加一个新的滤波频段。最后使用 HFSS12 对设计的结构进行仿真和优化,设计出了一款中心频率满足 LTE/Wimax/WLAN 频段要求的三频滤波器,实验结果表明,滤波器性能良好,满足无线通信的基本要求。