

基于分支线加载的紧凑微带双通带滤波器设计

黄 强 夏祖学 梁 尧 薛 强

(西南科技大学信息工程学院 四川绵阳 621010)

摘要:提出了一种紧凑的零度馈电的具有分支线加载的具有3个传输零点的微带双带通滤波器。首先完成了中心频率2.4 GHz的微带单带通滤波器设计,再次完成了加载分支线的优化仿真设计,最终实现了2.4/3.5 GHz微带双通带滤波器,实测和仿真结果吻合较好,实测得到了的第一、二通带相对带宽大于5%,第一通带内插损小于1.5 dB,第二通带内插损小于3 dB。提出的分支加载的微带双带通滤波器具有设计简单、结构紧凑、很好的选择性等优点,可以满足无线局域网(WLAN)系统和固定无线接入(FWA)通信需要。

关键词:微带带通滤波器 双带通 分支线加载谐振器 零度馈电 传输零点

中图分类号:TN713 文献标志码:A 文章编号:1671-8755(2014)01-0045-04

Design of Compact Microstrip Double Passband Filter Based on Stub - Loaded Resonators

HUANG Qiang, XIA Zu - xue, LIANG Yao, XUE Qiang

(School of Information Engineering, Southwest University of Science and Technology,
Mianyang 621010, Sichuan, China)

Abstract: A compact microstrip dual - band passband filter with three transmission zeros using open stub - loaded resonator and 0 - degree feed structure was presented. First, the design of the 2.4 GHz passband filter was completed. Second, the optimization simulation loading the branch line is completed too. Finally, the 2.4/3.5 GHz dual - band microstrip passband filter was fabricated. The measured results of the filter was in good agreement with the simulation. The fractional frequency bandwidths of the measured dual passbands are greater than 5%. The insertion loss of the low - band is below 1.5 dB. The insertion loss of the high - band is below 3 dB. So the proposed dual - band microstrip passband filter based on Stub - Loaded Resonators not only has high selectivity, but also is compact in size, and easy to design and realize. It can meet the 2.4 GHz and 3.5 GHz wireless communication requirements such as short - range wireless communication in WLAN and FWA application.

Key words: Microstrip passband filter ; Dual - band passband ; Stub - loaded resonator (SLR) ; Zero - degree feed structure ; Transmission zeros

随着现代无线通信技术的发展,频谱资源日益拥挤,快速发展的多通道通信系统对双带通甚至多带滤波器有了很大的需求^[1-2]。平面微带双通带滤

波器由于尺寸小、加工容易、成本低、易集成等优点,日益成为无线系统通信中广泛采用的滤波器形式。最近几年发展起来的无线局域网(WLAN)系统和固

定无线接入(FWA)日渐成为研究热点。其中,2.4 GHz 的通信频率广泛应用在蓝牙技术(Bule tooth)、无线局域网(WLAN)、紫蜂(Zigbee)等领域,而 3.5 GHz 通信频率则应用在固定无线接入(FWA)的频段。

目前,设计微带双频滤波器的方法主要有 4 种^[3]:(1)最简单和直接的方法是级联宽带带通与带阻滤波器,把阻带插入宽带而获得双通带滤波器,但是,该方法结构尺寸过大,插损也较大;(2)采用双模结构,通过在微带贴片上引入微扰,使一对简并模式适当分离并相互耦合,但双模结构的滤波器所实现的带宽较小,最大也仅达 4%;(3)采用阶跃阻抗谐振器(stepped - impedance resonator, SIR),常利用该谐振器的谐波特性设计双频滤波器,但两个通带的中心频率并不独立;(4)采用枝节加载谐振器来设计双频滤波器^[4]。自从 2007 年香港城市大学的章秀银教授设计了通带频率易控的枝节加载双频滤波器^[5]以来,利用支节线加载谐振器设计多频滤波器变得很受欢迎。近 3 年来,IEEE 数据库检索的分支加载的双通滤波器文章 31 篇,主要研究终端开路或短路枝节,或开路、短路枝节结合,构成双、三通带以及宽带滤波器^[6-7],或采用 SIR 分支加载的终端开路/短路,以进一步减小滤波器尺寸^[8-9];或通过分支加载结合变容管可独立调节中心频率及两个通带的带宽^[9]。通过对以上相关文章技术方案对比分析发现,分支加载双通滤波器都是基于奇偶模理论,奇模谐振频率固定不变,偶模谐振频率只和分支长度相关。我们也发现了由于 SIR 自身的谐振特性,采用 SIR 结构的分支加载微带双通滤波器设计的谐振频率可控性就变得相对困难。

本文提出的微带双通滤波器,由于不用增加接地金属通孔,采用均匀的终端开路枝节加载,较短路枝节加载更容易实现,设计也相对简单。与文献[4-5]的带通滤波器都是基于分支加载的微带双通滤波器,而文献[5]得到的双频特性的中心频率分别为 1.83 GHz 和 2.94 GHz,也没有具体的应用背景,文献[4]基于开路分支线加载双模谐振器的微带带通滤波器设计,虽然也加工了实物,但是只是实现了中心频率 2.45 GHz 单频特性,没有得到双通特性。本文设计的滤波器实现了双频滤波器,中心频率分别为 2.4 GHz 和 3.5 GHz,有相应的应用背景,其中 2.4 GHz 的通信频率广泛应用在蓝牙技术(Bule tooth)、无线局域网(WLAN)、紫蜂(Zigbee)等

领域,而 3.5 GHz 通信频率则应用在固定无线接入(FWA)的频段。采用了折叠微带开口环,分支加载采用了弯折,使得微带滤波器结构更加紧凑。

1 基于分支线加载谐振器的双通带滤波器的设计

现设计一个微带双带通滤波器,双通带中心频率分别为 2.4 GHz 和 3.5 GHz,相对带宽大于 5%,第一、二通带插入损耗分别小于 1.5 dB 和 3 dB。

1.1 2.4 GHz 微带环形带通滤波器设计

本文首先要设计的是微带单通带滤波器,具体结构如图 1 所示。选用相对介电常数 2.65、板厚为 1 mm 的聚四氟乙烯玻璃布覆铜箔板作为材料。该滤波器主要由折叠的两个开环谐振器组成,环的周长为中心频率所对应导波波长的一半。输入输出端口的特性阻抗为 50 Ω,对应的微带宽度 $w_{in} = 2.7$ mm,本文选择零度馈电的方式,如文献[5-6]所述。IE3D 软件是一个很好的射频微波的模拟平台,仿真效率高,特别适合微带平面电路的优化设计^[10]。这里采用 IE3D 软件进行仿真,其它主要相关参数如下:谐振环线宽 $w_1 = 1.4$ mm,环间缝隙 $s_1 = 0.2$ mm,开口间距 $g_1 = 0.4$ mm,开口谐振环的周长为半波长长度 43.2 mm,这里对开口环进行了内弯折 $l_w = 4$ mm,减小了滤波器面积,具体电路结构如图 1 所示。仿真结果如图 2 所示。

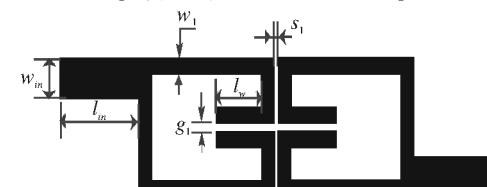


图 1 折叠微带开口环带通滤波器的电路结构
Fig. 1 The circuit structure of the passband filter

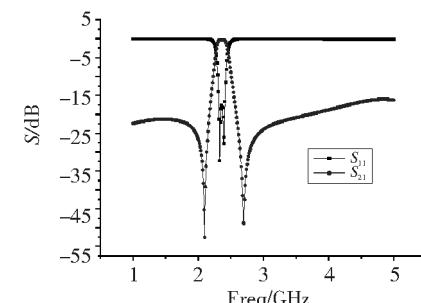


图 2 微带环形滤波器的仿真 S 参数
Fig. 2 The simulation S parameters of the passband filter

从仿真结果图2可以看出,在中心频率为2.4 GHz处的衰减为0.31 dB,相对带宽约8%,零度馈电滤波器产生了两个传输零点分别位于2.09 GHz和2.69 GHz处,衰减都大于45 dB,起到了很好的频率选择作用。设计满足第一通带要求。

1.2 分支线加载的双通带滤波器设计

本文提出的分支线加载谐振器如图3所示,它由一个折叠型微带半波长开口谐振环和一个开路分支线组成。开路分支线加载在微带线的中点。由于该谐振器是轴对称的结构,因此可以利用奇偶模来分析其特性。

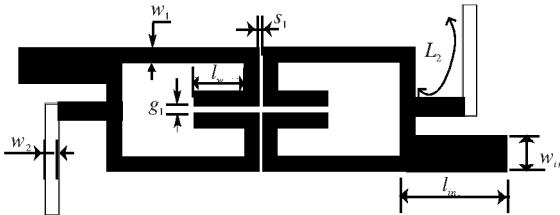


图3 分支线加载的微带双带通滤波器的电路结构

Fig. 3 The circuit structure of the branch loading microstrip double passband filter

由文献[5]可以得到奇模谐振频率为

$$f_{\text{odd}} = \frac{(2n-1)c}{2L_1 \sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}} \quad (2)$$

其中, $n = 1, 2, 3, \dots$, c 为自由空间中的光速, ϵ_{eff} 为介质的有效介电常数。由此可见, 奇模谐振频率不受开路分支线的影响。这里取 $n = 1$, $f_{\text{odd}} = 2.4$ GHz, 可以求得 $L_1 = 43.2$ mm, 即前所述的开口谐振环的半波长长度。

由文献[5]也可以得到偶模谐振频率为:

$$f_{\text{even}} = \frac{nc}{(L_1 + 2L_2) \sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}} \quad (3)$$

这里 $f_{\text{even}} = 3.5$ GHz, 可以求得开路分支线的长度 $L_2 = 11$ mm, 取开路分支线宽度 w_2 与谐振环线宽 w_1 一致, 即 $w_2 = 1.4$ mm, 用全波仿真工具 IE3D 来进行验证上述结果, 谐振特性如图4所示。

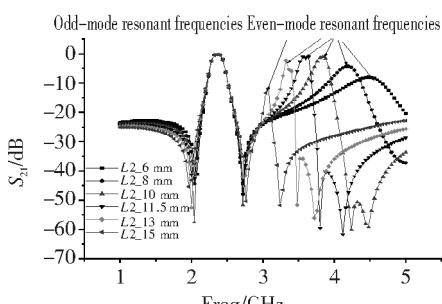


图4 加载不同长度开路枝节的微带谐振特性

Fig.4 Resonant properties of the SLR with different stub lengths

从图4可以看到, 奇模谐振频率不随开路枝节长度变化, 基本保持不变, 而偶模谐振频率随着开路枝节 L_2 的变化而变化, 当开路枝节的长度 L_2 为 11.5 mm 时, 第二通带中心频率恰好是 3.5 GHz。对开路枝节进行弯折, 减小了电路尺寸。

最终分支加载的微带双通滤波器实物如图5所示, 实测结果和版图仿真结果对比如图6所示。

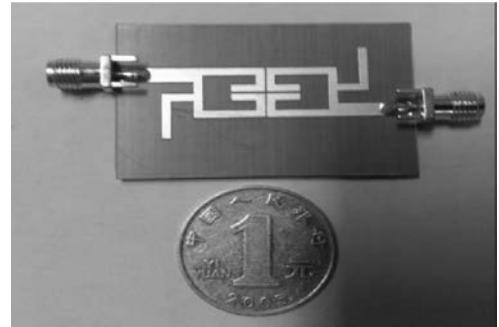


图5 微带双通滤波器的实物图

Fig. 5 Photograph of the microstrip DBPF

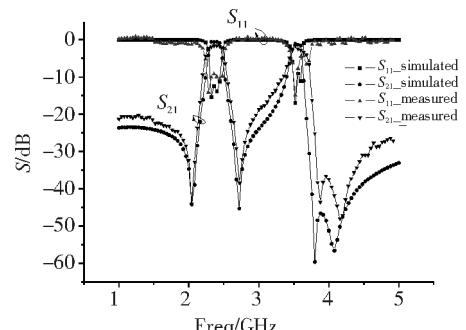


图6 微带双带通滤波器的仿真及实测S参数比较

Fig. 6 Simulated and measured S parameters of the DBPF

从图6可以看到, 仿真与实测的 S 参数结果吻合较好, 都实现了双带通特性, 实测的双带通滤波器的中心频率分别是 2.36 GHz, 3.58 GHz, 相应插损分别为 1.32 dB, 2.96 dB, 相对带宽分别为 6.8% 和 5.6%。实测曲线较仿真结果略差, 实测和仿真的第一通带的反射系数都低于 -10 dB, 实测的第二通带的反射系数为 -9 dB, 实测和仿真的第二通带的 S_{21} 参数都随频率升高而变差。实测和仿真结果都产生了 3 个传输零点分别位于 2.09 GHz, 2.69 GHz 及 4.08 GHz 处, 衰减都大于 40 dB, 从而获得了较好的频率选择特性。实测插损较大的原因可能是导体损耗及网络分析仪测量误差; 频率偏移的原因可能是软件仿真误差、制造误差。总的说来, 本文提出的微带双通滤波器能够满足 2.4 GHz 无线通信技术和 3.5 GHz 通信技术的带宽要求。

2 结论

本文基于 IE3D 软件完成了分支线加载谐振器的双通带滤波器设计的优化仿真设计,制作了实物。仿真与实测的中心频率均为 2.4 GHz,3.5 GHz, 相对带宽大于 5%, 产生了 3 个传输零点, 达到了设计要求, 本文提出的分支加载的微带双带通滤波器具有结构紧凑、设计方便、便于加工等优点, 能够满足短距离和 WLAN 通信的需要。

参考文献

- [1] HONG J S, LANCASTER M J. Microstrip filters for RF/Microwave Applications [M]. New York: Wiley, 2001.
- [2] CHANG F R, CHEN W L, CHANG S C, et al. A dual – band RF transceiver for multi – standard WLAN applications [J]. IEEE Trans. Microw. Theory Tech. , 2005, 53(3) : 1048 – 1055.
- [3] 张智翀, 沈溧, 等. 微波双带带通滤波器的研究与进展 [J]. 华东交通大学学报, 2010, 27(2) : 45 – 51.
- [4] 程昆仑, 李平辉, 赵志远. 基于开路分支线加载双模谐振器的微带带通滤波器设计 [J]. 军事通信技术, 2011, 32(2) : 53 – 56.
- [5] ZHANG X Y, CHEN J X, XUE Q. Dual – band bandpass filter using stub – loaded resonators [J]. IEEE Microw. Wireless Compon. Lett. , 2007, 17 (8) : 583 – 585.
- [6] XUE W, LIANG C H, DAI X W, et al. Design of miniature planar dual – band filter with 0 degree feed structures [J]. Progress In Electromagnetics Research , 2007, 77 : 493 – 499.
- [7] LI Gao, XIU Yin – zhang. High – selectivity dual – band bandpass filter using a quad – mode resonator with source – load coupling [J]. IEEE Microw. Wireless Compon. Lett. , 2013, 23(9) : 474 – 476.
- [8] CHEN C F. Design of a compact microstrip quint – band filter based on the tri – mode stub – loaded stepped – impedance resonators [J]. IEEE Microw. Wireless Compon. Lett. , 2012, 22(7) : 357 – 359.
- [9] CHEN Chi – feng. A compact reconfigurable microstrip dual – band filter using varactor – tuned stub – loaded stepped – impedance resonators [J]. IEEE Microw. and Wireless Compon. Lett. , 2013, 23(1) : 16 – 18.
- [10] IE3D 用户手册 [Z]. 发布号: 9.2.

(上接第 38 页)

- [14] 杜伟杰, 王瑞波, 李济洪. 基于均衡 7×2 交叉验证的模型选择方法 [J]. 太原师范学院学报: 自然科学版, 2013, 12(1) : 27 – 31.
- [15] 刘学艺, 李平, 鄢传厚. 极限学习机的快速留一交叉验证算法 [J]. 上海交通大学学报, 2011, 45 (8) : 1141 – 1145.
- [16] JOHN G H. Robust Decision Trees: Removing Outliers from Databases [A]. Proceedings of the First International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining [C]. Menlo Park, CA: AAAI Press, 1995. 174 – 179.

- [17] 张健沛, 杨显飞, 杨静. 交叉验证容噪分类算法有效性分析及其在数据流上的应用 [J]. 电子学报, 2011, 39(2) : 378 – 381.
- [18] COHN D, GHAHRAMANI Z, JORDAN MI. Active learning with statistical models [J]. Journal of Artificial Intelligence Research , 1996, (4) : 129 – 145.

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>