

## 双频带通滤波器的优化设计<sup>•</sup>

孟令琴<sup>\*\*</sup>

(上海大学通信与信息工程学院, 上海, 2000072)

2009-03-04 收稿, 2009-10-15 改稿

**摘要:**利用阶跃阻抗谐振器优化,设计了一个工作在无线局域网(2.4/5.2GHz)的双频带通滤波器。通过奇、偶模分析,在阶跃阻抗谐振器理论计算公式基础上,根据不同的阻抗比条件,阶跃阻抗谐振器谐振频率比与阶跃阻抗高、低阻抗电长度之比的关系曲线,可以方便地确定阶跃阻抗谐振器的谐振频率和电长度,通过sonnet电路仿真软件验证了设计的合理性,并给出了用于无线通信2.4、5.2 GHz双频带通滤波器的设计结果。该带通滤波器可以分别在2.4、5.2 GHz处得到较好的通带性。由于交叉耦合的存在,该双频带通滤波器在两个通带端各有一个传输零点,以此来提高滤波器的通带频率选择性。最后,测量结果与仿真结果基本吻合。

**关键词:**双频;带通滤波器;阶跃阻抗谐振器

中图分类号:TN713<sup>+</sup>.5 文献标识码:A 文章编号:1000-3819(2010)02-0247-04

## Optimized Compact Dual-band Bandpass Filter for WLANs

MENG Lingqin

(School of Communication and Information Engineering, Shanghai University, Shanghai, 2000072, CHN)

**Abstract:** In this letter, a compact dual-band bandpass filter using stepped impedance resonators is optimized for WLAN (2.4/5.2GHz) applications. By analyzing odd-mode and even-mode and stepped impedance resonator formula, curves are got by matlab simulation. It is easy to design the electric length of SIRs and the dual-band frequency. It is also not difficult to optimize resonators circuit by using sonnet soft which gives designed results in 2.4/5.2 GHz wireless communication. The BPF has good dual-band passband performance at 2.4/5.2 GHz. Since the existing of the cross coupling, the dual-band BPF has two transmission zeros on either side of both passbands that improve the frequency selectivity of passband. Finally, the measured results validate the proposed design.

**Key words:** dual-band; bandpass filter; stepped impedance resonator

EEACC: 1270; 5200

### 引言

近几年来,双频带通滤波器是双频无线通信系统的重要器件,人们对其小型化、工程化的研究也越来越多。文献[1]提出一个基于类交趾阶跃阻抗谐振

器的双频带通滤波器,该滤波器工作在2.4、5.2 GHz并且具有良好的隔离性。在文献[2]中,提出一个新型的无需外部匹配模块的双频微带通滤波器。在文献[3]中,利用双模谐振器来设计双频带通滤波器。在文献[4]中,利用阶跃阻抗谐振器来设计双频带通滤波器,该设计大大减少双频带通滤波器

\* 基金项目:上海市科委资助项目(09511500302)  
\*\* 联系作者:E-mail:menglq@shu.edu.cn

的物理尺寸。Ch 等人<sup>[5]</sup>利用一种新型的能够产生 3 个传输零点的耦合结构来设计双频带通滤波器。

文中通过奇、偶模分析,在阶跃阻抗谐振器理论计算公式基础上,根据不同的阻抗比条件、阶跃阻抗谐振器谐振频率比与阶跃阻抗高、低阻抗电长度之比的关系曲线,通过优化阶跃阻抗谐振器的阻抗比( $R$ )和物理尺寸,可以获得工作在 2.4 和 5.2 GHz 的通带。最后,通过矢量网络分析仪的测量,设计结果得到了证实。

## 1 滤波器的设计

图 1(a)表示的是提出的双频带通滤波器的结构示意图,(b)表示的是两端开路的半波长阶跃阻抗谐振器(SIR),该谐振器由不同特性阻抗微带线构成。 $Z_1$ 、 $Z_2$  分别表示微带线的特性阻抗, $\theta_1$ 、 $\theta_2$  分别表示微带线的电尺寸长度。SIR 的阻抗比  $R$  用来表示特性阻抗  $Z_1$ 、 $Z_2$  两者之间的关系,定义  $R = Z_2/Z_1$ <sup>[5]</sup>。不同阻抗比  $R$  和物理尺寸长度可以在一定频率范围内调整谐振器的基频谐振频率( $f_0$ )和第二个谐振频率( $f_{s1}$ )。谐振条件由下列式子决定<sup>[1]</sup>:

$$R \cdot \cot \theta_2 = \tan \theta_1 \text{ (奇模)} \quad (1)$$

$$R \cdot \cot \theta_2 = -\cot \theta_1 \text{ (偶模)} \quad (2)$$

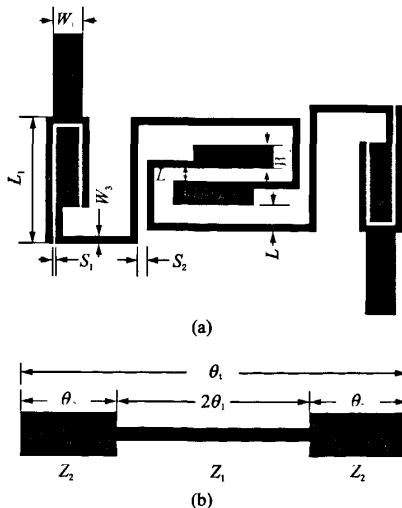


图 1 (a)微带双频带通滤波器的结构,(b)阶跃阻抗谐振器的结构

Fig. 1 (a) Schematic of dual-band microstrip bandpass filter; (b) Geometrical diagram of the stepped-impedance resonator (SIR)

(1)式和(2)式的解分别对应谐振器的奇模和偶

模谐振频率。当电尺寸长度  $\theta_2$  与谐振器的总的电尺寸长度  $\theta_1$  成比例时,可以定义  $a$ :

$$a = \frac{\theta_2}{\theta_1 + \theta_2} = \frac{2\theta_2}{\theta_1} \quad (3)$$

把(3)式带入(1)、(2)式得到:

$$R \cdot \cot \left( \frac{a\theta_1}{2} \right) = \tan \left[ \frac{(1-a)\theta_1}{2} \right] \quad (4)$$

$$R \cdot \cot \left( \frac{a\theta_1}{2} \right) = -\cot \left[ \frac{(1-a)\theta_1}{2} \right] \quad (5)$$

根据(4)、(5)式可知存在多个解来满足所要设计的双频滤波器要求,为了优化设计,首先对上式进行数据仿真,分析不同阻抗比时的各参数影响,结果如图 2。根据仿真数据用 EM sonnet 软件对其进行优化设计,用 sonnnnet 软件优化后,滤波器工作在 2.4、5.2 GHz,选择  $R=0.5$ , $a$  可以是 0.27 或 0.94。在文中,  $a=0.27$ ,  $\theta_1=53.5^\circ$ ,  $\theta_2=20^\circ$  被用来设计双频带通滤波器。

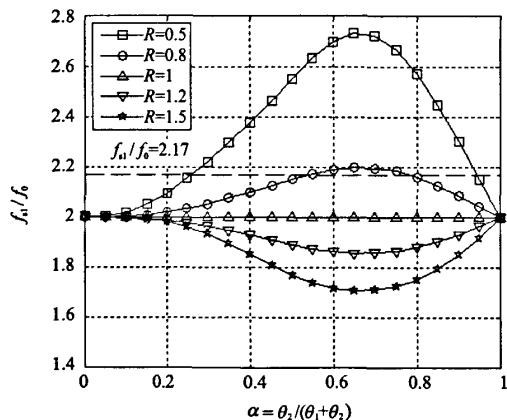


图 2 阻抗比  $R$  分别为 0.5、0.8、1、1.2、1.5 时,  $f_{s1}/f_0$  与  $a$  关系曲线图

Fig. 2 Normalized ratios of the second resonant frequency to the fundamental resonant frequency for an SIR with  $R=0.5, 0.8, 1, 1.2, 1.5$

为了验证设计的合理性,文中对滤波器电路设计中不同耦合  $S_2$ 、 $L_2$  及  $L$  对两个通频带的影响进行仿真,仿真结果如图 3(a)、(b)、(c)。结果表明:当  $S_2$  从 0.75 mm 减到 0.55 mm 时,两个通带的带宽都在小范围内变宽;当  $L$  从 1.1 mm 增加到 1.5 mm 时,第二个通带(5.2 GHz)的带宽小范围内变宽,而第一个通带(2.4 GHz)基本保持不变;当  $L_2$  从 1.3 mm 减小到 0.9 mm 时,第二个通带的带宽变宽,而第一个通带基本保持不变。

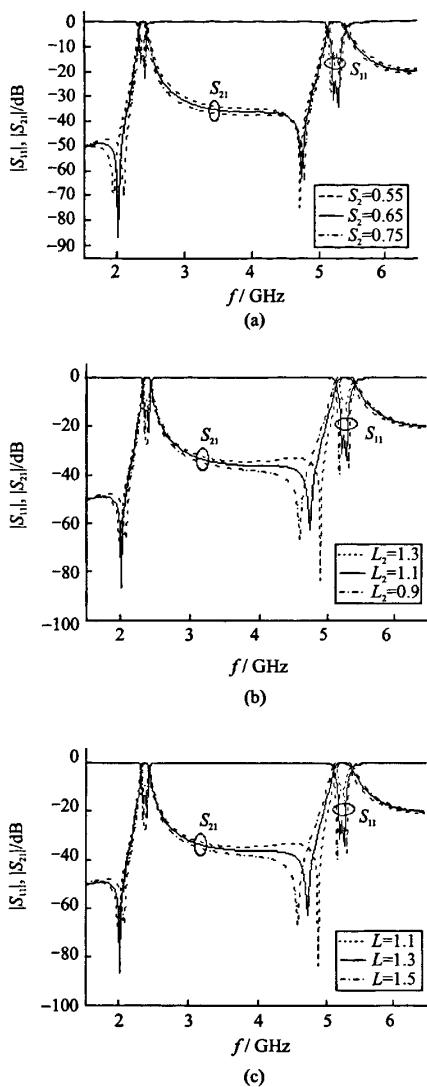


图3 在不同耦合距离下滤波器的仿真结果:(a)不同的 $S_2$ ;(b)不同的 $L_2$ ;(c)不同的 $L$

Fig. 3 Simulated frequency response results under different coupling spacing between two SIR resonators (without considering conductor loss and dielectric loss): (a) Different  $S_2$ ; (b) Different  $L_2$ ; (c) Different  $L$

选用滤波器设计材料时,选择相对介电常数为2.78,厚度为0.8 mm,介质损耗角正切值为0.02的介质板。通过综合设计和优化,双频带通滤波器的具体物理尺寸如下:

$L=1.3$  mm,  $L_1=7.2$  mm,  $L_2=1.1$  mm,  $W_1=2$  mm,  $W_2=1.4$  mm,  $W_3=0.3$  mm,  $S_1=0.2$  mm,  $S_2=0.65$  mm。

## 2 仿真与测试结果

图4所示的是双频带通滤波器的仿真结果和测试结果对比。仿真软件采用基于矩量法的EM Sonnet 9.52,而测试仪器采用Agilent 8722ES矢量网络分析仪。测试结果和仿真结果基本一致,该滤波器能产生两个传输零点,以提高滤波器的频率选择性能力。

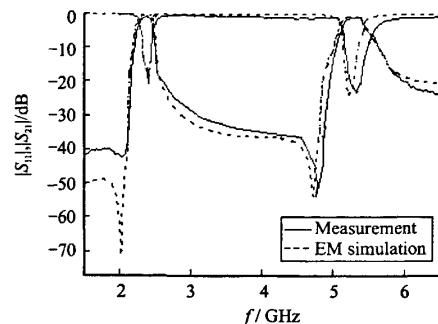


图4 双频微带带通滤波器仿真和测试结果

Fig. 4 Stimulated and measured frequency responses of the proposed dual-band microstrip bandpass filter

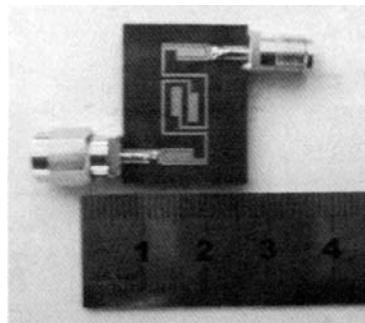


图5 双频微带带通滤波器实物照片

Fig. 5 Photograph of the fabricated dual-band microstrip bandpass filter

## 3 结论

通过奇、偶模分析,在阶跃阻抗谐振器理论计算公式基础上,根据不同的阻抗比及阶跃阻抗谐振器谐振频率比与阶跃阻抗高、低阻抗电长度之比的关系曲线,通过sonnet电路仿真,优化设计了一个2.4/5.2 GHz的交叉耦合双频带通滤波器。该带通滤波器可以分别在2.4、5.2 GHz处得到较好的通带性。

由于交叉耦合的存在,该双频带通滤波器在两个通带端各有一个传输零点,以此来提高滤波器的通带频率选择性,在2.4、5.2 GHz通带下端处,各有一个传输零点以提高滤波器的通带陡峭性。测量结果与仿真结果基本吻合,试验验证了文中的设计。

### 参 考 文 献

- [1] WENG Minhang, WU Hungwei, SU Yankuin. Compact and low loss dual-band bandpass filter using pseudo-interdigital stepped impedance resonators for WLANs[J]. IEEE Microwave Wireless Compon Lett, 2007(17):187-189.
- [2] SUN Sheng, ZHU Lei. Compact dual-band microstrip bandpass filter without external feeds[J]. IEEE Microwave Wireless Compon Lett, 2005 (15):644-646.
- [3] CHEN Jianxin, YUN Tszy Yin, LI Jialin, et al. dual-mode Dual-band bandpass filter using stacked-loop structure[J]. IEEE Microwave and Wireless Compon Lett, 2006(16):502-504.
- [4] Chen Fuchang, Chu Qingxin. A compact dual-band bandpass filter using meandering stepped impedance resonators[J]. Microwave Opt Tech Lett, 2008(50): 2619-2621.
- [5] Chu Qingxin, Chen Fuchang. A compact dual-band bandpass filter using meandering stepped impedance resonators[J]. IEEE Microwave and Wireless Compon Lett, 2008(18):320-322.



孟令琴(MENG Lingqin) 女,北京理工大学电子工程系微波电路实验室电磁场与微波技术博士,中国电子科技集团公司南京第十四研究所博士后。主要从事微波、毫米波电路数字化、小型化及集成化技术研究,毫米波电路三维空间仿真技术研究,微波遥感、测量技术研究。

(上接第 221 页)

### 3 结 论

新型E-PHEMT 达林顿放大器取消了传统结构中的偏置电阻,减少了电压消耗,直流功耗降低近40%。相较于传统的InGaP HBT设计,新型E-PHEMT 达林顿放大器的偏置电流、增益、IP3 和  $P_{1dB}$ 对于温度和供电电压的敏感性降低,IP3 带宽方面也得到了很大改善,更适合高频应用。而且其极具特点的高IP3 性能对于RF、LO 和 IF 增益放大器应用具有吸引力。

### 参 考 文 献

- [1] Kobayashi Kevin W. Improved efficiency, IP3-bandwidth and robustness of a microwave darlington amplifier using 0.5  $\mu$ m ED PHEMT and a new circuit topology [C]. IEEE Compound Semiconductor IC Symposium Digest, 2005: 93-96.
- [2] Kobayashi Kevin W. Self-Biased Darlington Amplifier[P]. US Patent No. 6,927,634. 2005.
- [3] Kobayashi Kevin W. High Linearity Wideband PHEMT Darlington Amplifier with +40 dBm OIP3 [C]. Asia Pacific Microwave Conference, 2006: 162-165.
- [4] Kobayashi Kevin W, Chen Yaochung, Smorchkova Ioulia, et al. 1-watt conventional and cascoded GaN-SiC darlington MMIC amplifiers to 18 GHz[C]. IEEE RFIC Symposium Digest, 2007: 585-588.



李晓倩(LI Xiaoqian) 女,1984 年生,江苏南京人,2007 年毕业于电子科技大学物理电子系,获学士学位,现为南京电子器件研究所微电子学与固体电子学在读硕士研究生,主要研究方向为集成电路设计。

## 微波滤波器设计培训——视频课程

易迪拓培训([www.edatop.com](http://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>