

基于折叠双模谐振器结构的微带带通滤波器

张友俊, 林 君

(上海海事大学 信息工程学院, 上海 201306)

摘 要:设计了一种采用折叠双模谐振器结构的新型双模微带带通滤波器。通过在折叠双模谐振器两侧加载交叉耦合结构,使通带两端产生一对传输零点。实验结果表明,该滤波器具有结构紧凑,体积小,损耗低,带外抑制性能好等优点,且其中心频率为 3.65 GHz,通带为 2.5~4.8 GHz,最大回波损耗优于 -33.5 dB,最小插入损耗为 -0.18 dB,实测结果和仿真结果相吻合。

关键词:微带带通滤波器;折叠双模谐振器;传输零点;插入损耗;交叉耦合结构

中图分类号:TN713 **文献标识码:**A

Microstrip Bandpass Filter Based on Folded Dual-mode Resonator Structure

ZHANG Youjun, LIN Jun

(School of Information Engineering, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China)

Abstract: A novel microstrip bandpass filter with the folded dual-mode resonator structure is designed. The cross coupling structure loaded at both sides of folded dual-mode resonator of the filter is used to generate a pair of transmission zeros at the both ends of the pass band. The experimental results show that the filter has advantages of compact structure, small size, low loss and good rejection features outside of the pass band etc; the pass band of the filter is from 2.5 GHz to 4.8 GHz at the center frequency of 3.65 GHz, the maximum return loss surpasses -33.5 dB, and the minimum insertion loss is -0.18 dB. The measurement result is consistent with the software simulation result each other.

Key words: microstrip bandpass filter; folded dual-mode resonator; transmission zero; insertion loss; cross coupling structure

0 引言

随着无线通信技术的迅猛发展和集成电路的更加集成化,作为无线通信系统的重要元件,微波滤波器正向小型化方向发展,同时小型化的基础上提高滤波器的性能,降低损耗等也很重要^[1-2]。由于双模谐振器具有体积小、成本低、质量小等优点,且1个双模谐振器相当于2个双调谐的谐振电路,因此对于一定阶数的微波滤波器来讲,其所需谐振器的数目将减半,从而使得滤波器的结构更紧凑,尺寸更小,也更易于集成。所以,双模谐振器在滤波器的设计中占有重要地位^[3-4]。

1972年,德国学者 Wolff 首次利用双模谐振器提出了一种双模带通滤波器^[5]。2009年, L.

Athukorala 等利用开环微扰谐振器设计了一种结构紧凑的双模带通滤波器,使带外产生了一对传输零点,提高了带外抑制性能^[6]。2010年, Jung-Woo Baik 等利用方环双模谐振器通过耦合馈电的方式设计了一种双模双通带滤波器^[7]。传统的滤波器一般通过引入微扰破坏其对称性使简并模分离,而本文设计的滤波器却不需加入任何微扰,仅需适当调节相应参数即可使谐振频率发生分离,从而形成通带,这不仅提高了调节自由度,且保证了良好的带外抑制性能。

1 滤波器设计

1.1 折叠谐振器结构分析

本文提出的折叠双模谐振器的结构示意图如图

收稿日期:2014-12-28

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61131002)

作者简介:张友俊(1961-),男,江苏扬州人,教授,博士,中国电子学会高级会员,主要从事光纤传感器、微波电路方面的研究。E-mail: leyjzhang@zsu.edu.cn.

1所示。其中, Z_1 、 Z_2 、 θ_1 、 θ_2 分别为两段微带线的特性阻抗和等效电长度。定义阻抗比为

$$R_z = Z_2 / Z_1 \quad (1)$$

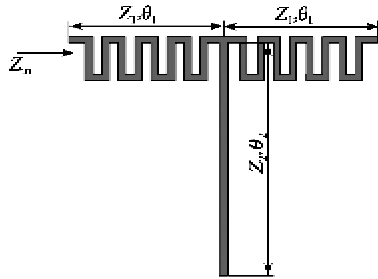


图1 折叠双模谐振器结构

采用传输线理论对其谐振特性进行分析, 则其输入导纳为

$$Y_{in} = \frac{Z_2 - Z_1 \tan \theta_1 \tan \theta_2}{jZ_2(Z_1 \tan \theta_1 + Z_2 \tan \theta_2)} \quad (2)$$

根据谐振条件 $Y_{in} = 0$, 可得

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

由式(3)可看出, 谐振条件取决于 θ_1 、 θ_2 和 R_z 。对于特殊情况 $Z_1 = Z_2$, 则有

$$\tan \theta_1 \tan \theta_2 = 1 \quad (4)$$

因此, 假定 $\theta = \theta_1 = \theta_2$, 可通过适当调节 R_z 来控制谐振器的谐振频率。

1.2 新型折叠双模微带带通滤波器结构分析

图2、3分别为采用T型谐振器构成的双模带通滤波器和本文提出的新型折叠双模微带带通滤波器的结构示意图。由图3可看出, 该滤波器的信号输入、输出端口关于对称轴对称, 馈线长为 a_0 , 端口宽为 b_0 ; 谐振器的折叠枝节线由长 $(16a_2 + 16b_3 + a_3 - 26b_2)$ 、宽 b_2 的矩形通过等长度折叠后形成, 其中中心加载的开路枝节线长为 l_1 , 宽为 w_2 ; 交叉耦合线为与谐振器的开路枝节线相平行的两条平行线, 其长为 l_1 , 宽为 w_1 ; 交叉耦合线与端口间通过一个 $\lambda/4$ (λ 为波长) 的谐振器相连, 该 $\lambda/4$ 的谐振器长为 a_1 , 宽为 b_1 ; 该滤波器关于开路枝节线的中心线左、右完全对称。

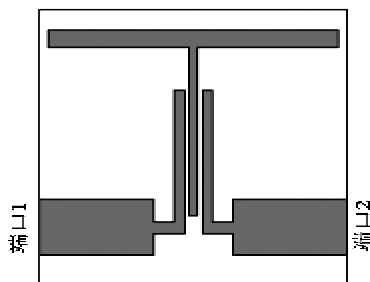


图2 T型双模微带带通滤波器结构

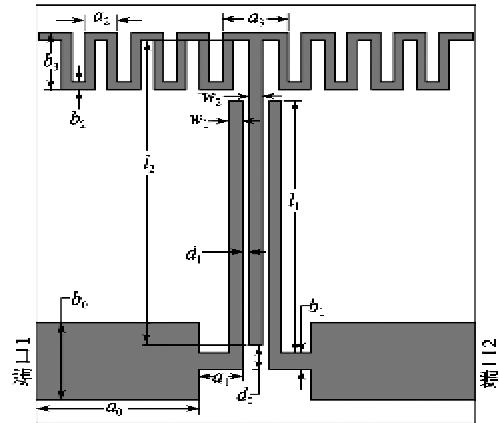


图3 新型折叠双模微带带通滤波器的结构

经过仿真、优化T型滤波器(见图2)可发现, 增加T型谐振器横向矩形的尺寸可有效减小滤波器的插入损耗和回波损耗。但随着横向矩形尺寸的增大其损耗减小不明显, 且若要减小损耗则必须增大滤波器的尺寸。文献[8]基于折叠多模谐振器结构设计了一种双通带带通滤波器, 该滤波器具有结构简单紧凑, 插入损耗低, 带外抑制性能好等优点。因此, 为设计结构紧凑且尺寸小的滤波器, 本文基于文献[8]同时对T型谐振器进行改进, 提出了一种新型的折叠型双模滤波器, 该滤波器通过在折叠型谐振器两侧加载交叉耦合结构, 使其形成容性CT结构, 从而使滤波器通带外产生一对传输零点, 提高了带外抑制性能, 并实现了滤波器的高选择性。

1.3 主要参数对滤波器性能的影响

图4为 d_1 变化时的频率响应。由图可看出, $d_1 = 0.2$ mm 时, 滤波器通带性能良好, 边带衰减较快, 通带范围为 2.5~4.8 GHz, 满足设计指标要求; 随着 d_1 不断减小, s_{21} 曲线高阻带传输零点不断右移, 低阻带传输零点不断左移, 带宽增大, 插入损耗和回波损耗不断减小。因此, 通过改变 d_1 可调节滤波器的通带带宽和回波损耗。

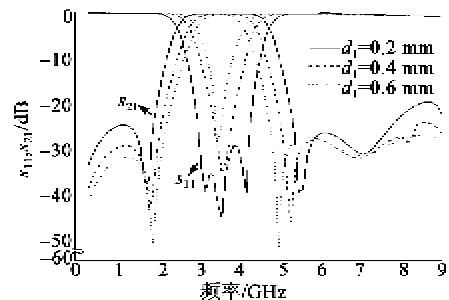


图4 d_1 变化时的频率响应

图5为 w_1 变化时的频率响应。由图可看出,

$w_1=0.4\text{ mm}$ 时, s_{21} 曲线边带衰减较快, 插入损耗和回波损耗较小, 通带为 $2.5\sim 4.8\text{ GHz}$; $w_1=0.2\text{ mm}$ 时, s_{21} 曲线右边带衰减较慢; $w_1=0.6\text{ mm}$ 时, 高阻带带外 8.2 GHz 附近产生高次谐波。因此, 适当调节 w_1 的值可相应调节滤波器的带宽、回波损耗和带外抑制性能。

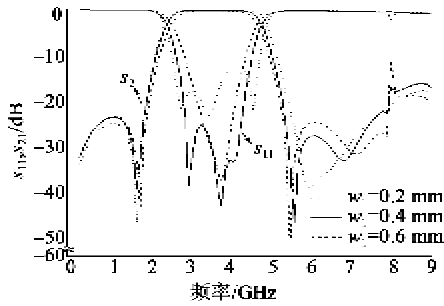


图 5 w_1 变化时的频率响应

图 6 为 a_2 变化时的频率响应。由图可看出, $a_2=1.0\text{ mm}$ 时, 带内出现 3 个衰减极点, 曲线 s_{21} 较良好, 通带为 $2.5\sim 4.8\text{ GHz}$; 随着 a_2 不断增大, s_{21} 曲线左、右边带不断左移, 但左边带移动的较缓慢, 同时插入损耗和回波损耗不断减小; $a_2=0.6\text{ mm}$ 时, 通带发生凹陷, 插入损耗较大; $a_2=0.8\text{ mm}$ 时, 高阻带带外 8.2 GHz 附近出现高次谐波。因此, 适当调节 a_2 可调节通带带宽、中心频率、插入损耗和带外抑制性能。

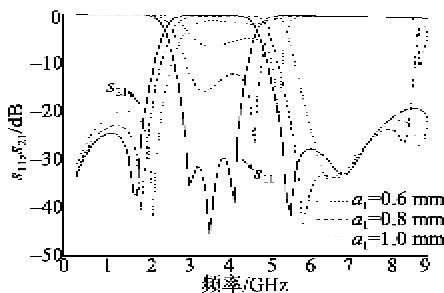


图 6 a_2 变化时的频率响应

图 7 为 b_2 变化时的频率响应。由图可知, $b_2=0.3\text{ mm}$ 时, 曲线 s_{21} 较良好, 通带为 $2.5\sim 4.8\text{ GHz}$;

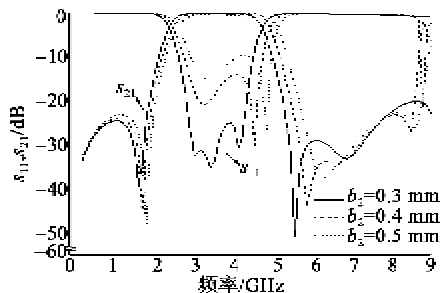


图 7 b_2 变化时的频率响应

随着 b_2 的不断增大, s_{21} 曲线整体右移, 且带宽和回波损耗都增大。当 b_2 为 0.4 mm 和 0.5 mm 时, 其高阻带带外 8.2 GHz 附近都出现了高次谐波。因此, 适当调节 b_2 可调节滤波器的通带位置、回波损耗和带外抑制性能。

综上所述, 该滤波器主要受折叠枝节线和交叉耦合线的影响, 且具有很大的调节自由度, 因此可通过适当调节二者的相应参数来设计所需滤波器。

2 滤波器的仿真与测试

采用 ANSOFT 公司的高频电磁仿真软件 HFSS13.0 进行仿真与优化, 并采用介电常数 $\epsilon_r=2.65$, 厚度 $h=1\text{ mm}$ 的基板进行仿真与加工, 输入、输出端口均采用 $50\ \Omega$ 的馈电方式, 馈线宽度为 2.8 mm 。

通过仿真, 最终确定了滤波器各参数尺寸大小如表 1 所示。

表 1 不同参数大小

a_0/mm	5.0	b_8/mm	2.1
a_1/mm	1.3	d_0/mm	0.9
a_2/mm	1.0	d_1/mm	0.2
a_3/mm	2.0	l_1/mm	14.2
b_0/mm	2.8	l_2/mm	16.1
b_1/mm	0.6	w_1/mm	0.4
b_2/mm	0.3	w_2/mm	0.4

图 8、9 分别为滤波器实物的正面图和滤波器仿真与测试的频率响应。

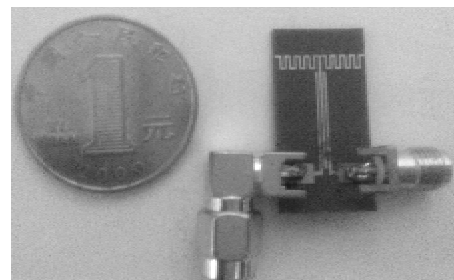


图 8 滤波器实物的正面图

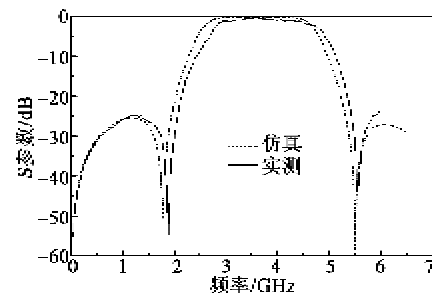


图 9 滤波器仿真与测试的频率响应

由图 8 可看出,整个滤波器的面积约为 $13.4\text{ mm} \times 18.4\text{ mm}$,满足小型化要求。利用 HP8722ES 型矢量网络分析仪对实物进行了测量,最终仿真和测试结果。

由图 9 可看出,通带吻合良好,因耦合间隙 d_1 的尺寸较小,在制作过程中存在误差,因此中心频率和极点位置稍有偏移。实测结果与仿真结果相比通带向右偏移 0.15 GHz 。整体上看,测量结果与仿真结果相一致,验证了本文研究结果的正确性。

3 结束语

本文在 T 型谐振器的基础上作了改进,提出了新型的折叠型谐振器结构。文中对折叠双模谐振器结构进行了理论分析,并研究了不同参数对滤波器性能的影响,通过不断的仿真和优化,最终确定了滤波器的理想参数。该滤波器通带为 $2.5\sim 4.8\text{ GHz}$,相对带宽为 65% ,具有结构简单紧凑,易加工,损耗低,选择性高及带外抑制性能好等优点。实物测量结果与仿真结果相吻合,验证了本文设计方法的正确性和有效性。

参考文献:

- [1] QIN W, XUE Q. Complementary compact microstrip resonant cell and its applications to microwave single- and dual-band bandpass filters[J]. *Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on*, 2013, 61(2): 773-781.
- [2] CHEN C F. A compact reconfigurable microstrip dual-band filter using varactor-tuned stub-loaded stepped-impedance resonators [J]. *Microwave and Wireless Components Letters, IEEE*, 2013, 23(1): 16-18.
- [3] SUN S. A dual-band bandpass filter using a single dual-mode ring resonator [J]. *Microwave and Wireless Components Letters, IEEE*, 2011, 21(6): 298-300.
- [4] 张友俊,岳澄.新型的方形贴片双模微带带通滤波器 [J]. *电子元件与材料*, 2013, 32(4): 54-56.
ZHANG Youjun, YUE Cheng. Novel square patch dual-mode microstrip bandpass filter [J]. *Electronic Components and Materials*, 2013, 32(4): 54-56.
- [5] WOLFF I. Microstrip bandpass filter using degenerate modes of a microstrip ring resonator [J]. *Electronics Letters*, 1972, 8(12): 302-303.
- [6] ATHUKORALA L, BUDIMIR D. Compact dual-mode open loop microstrip resonators and filters [J]. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 2009, 19(11): 698-700.
- [7] BAIK J W, ZHU Lei, KIM Y S. Dual-mode dual-band bandpass filter using balun structure for single substrate configuration [J]. *IEEE Microwave and Wireless Component Letters*, 2010, 20(11): 613-615.
- [8] HSU K W, CHIEN C H, TU W H. Compact dual-wideband bandpass filter using asymmetrical resonator [J]. *Electronics Letters*, 2013, 49(2): 123-124.
- [9] XU Guangliang, ZENG Liwen, LIU Guixiang, et al. Low-temperature firing and magnetic properties of YIG ferrites doped with $\text{ZnO-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ glass [J]. *Piezoelectrics & Acoustooptics*, 2012, 34(1): 96-99.
- [10] WU Mingzhong, HOFFMANN A. Recent advances in magnetic insulators-from spintronics to microwave applications [M]. USA, Elsevier Academic Press Inc, 2013.
- [11] SAHOO S C, VENKATARAMANI N, PRASAD S, et al. Substrate temperature dependent anomalous magnetic behavior in CoFe_2O_4 thin film [J]. *IEEE Trans Magn*, 2011, 47(2): 337-340.
- [12] 徐光亮,曾丽文,刘桂香,等.掺 ZBS 玻璃低温烧结 YIG 铁氧体及其磁性能研究 [J]. *压电与声光*, 2012, 34(1): 96-99.

(上接第 1056 页)

- [17] SAHOO S C, VENKATARAMANI N, PRASAD S, et al. Substrate temperature dependent anomalous magnetic behavior in CoFe_2O_4 thin film [J]. *IEEE Trans Magn*, 2011, 47(2): 337-340.
- [18] 徐光亮,曾丽文,刘桂香,等.掺 ZBS 玻璃低温烧结 YIG 铁氧体及其磁性能研究 [J]. *压电与声光*, 2012, 34(1): 96-99.

- [19] WU Mingzhong, HOFFMANN A. Recent advances in magnetic insulators-from spintronics to microwave applications [M]. USA, Elsevier Academic Press Inc, 2013.