

文章编号: 1000-5862(2016)03-0303-04

# 基于改进的方环枝节加载谐振器的三通带滤波器

高明华 郭晓飞 杨根红 王忠磊 彭 阳

(华东交通大学信息工程学院 江西 南昌 330013)

摘要: 基于改进型的方形环枝节加载多模谐振器,设计了一款可用于LTE系统和WLAN系统的三通带滤波器.与传统的方形环枝节加载多模谐振器相比,通过引入阶跃阻抗谐振器的概念,使滤波器的设计具有更高的自由度.实验结果表明:该滤波器的工作频段可以覆盖LTE和WLAN频段,有较高的实用性.

关键词: 三通带滤波器;改进型的方形环枝节加载谐振器;阶跃阻抗谐振器;奇偶模理论

中图分类号: TN 454 文献标志码: A DOI: 10.16357/j.cnki.issn1000-5862.2016.03.18

## 0 引言

近年来,随着无线通信的飞速发展,作为无线通信系统关键部件的微波滤波器的设计向小型化、高性能、多功能和易于集成等方向发展.由于多频前端器件的应用,系统的体积可以大幅减小,相应的设备成本大大降低<sup>[1-2]</sup>.其中,多频带通滤波器兼有多功能和易于集成的优点,成为了当前无线通信研究的热点,受到了广泛的关注.通常,多频带通滤波器可以采用多个滤波器进行组合形成,文献[3]使用带通滤波器和带阻滤波器进行级联,使滤波器的尺寸较大<sup>[4-5]</sup>.为了减小尺寸,文献[6]使用阶跃阻抗谐振器来设计多频带通滤波器.文献[7]使用多模谐振器来设计多频带通滤波器——枝节加载谐振器.在多频带通滤波器中,三通带滤波器具有更好的应用前景.传统的三通带滤波器是通过级联多个阶跃阻抗谐振器实现的<sup>[8]</sup>,但是这将增大滤波器的尺寸.为了减小尺寸,文献[9-15]提出了用一组半波长谐振器和枝节加载谐振器来进行设计.文献[11]是基于阶跃阻抗和缺陷地结构的三频带滤波器,虽然有其独特的优点,但3个工作频带与对应电路结构尺寸不能独立可调,从而降低了滤波器设计的灵活性.笔者设计了一款可用于LTE系统和WLAN系统的三通带滤波器,该滤波器基于改进型的方形环枝节加载多模谐振器而设计,与传统的方形环枝节加载多模谐振器相比,通过引入阶跃阻抗谐振器的概念,使滤波器的设计具有更高的自由度.

## 1 谐振器分析

如图1(a)所示,本文设计了一种改进型的方形环枝节加载多模谐振器.它由一个半波长的均匀阻抗谐振器和在其基础上加载方形环枝节所组成.其中 $L_i$  ( $i = 1, 2, 3$ )和 $W_i$  ( $i = 1, 2$ )是该谐振器上相应部分的物理长度和宽度.与传统的方形环枝节加载不同,该方形环枝节的阻抗和半波长的均匀阻抗谐振器的阻抗不同,即引入了阶跃阻抗的理论,使得此谐振器比传统的方形环枝节加载谐振器具有更高的设计自由度.整个谐振器关于对称面(图1(a)中虚线所示)对称,因此可以应用奇偶模理论进行电路分析.图1(b)和图1(c)分别是此多模谐振器的奇模和偶模等效电路,其中 $\theta_i$  ( $i = 1, 2, 3$ )和 $Y_i$  ( $i = 1, 2$ )分别是谐振器上相应部分的电长度与导纳.

在奇模激励下,对称面相当于理想电壁,可以将其视为短路端,此时输入阻抗 $Y_{\text{odd}}$ 可以表示为

$$Y_{\text{odd}} = jY_1(\tan \theta_1 - \cot \theta_2 - K \cot(\theta_3 + \theta_2)). \quad (1)$$

在偶模激励下,对称面相当于理想磁壁,可以将其视为开路端,此时输入阻抗 $Y_{\text{even}}$ 可以表示为

$$Y_{\text{even}} = jY_1(\tan \theta_1 + \tan \theta_2 + K \tan(\theta_3 + \theta_2)), \quad (2)$$

其中 $\theta_i = \beta L_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ),  $K = Y_2/Y_1$ ,  $\beta$ 为传播常数.

由于谐振器的谐振条件是输入导纳的虚部为0,即 $\text{Im}(Y) = 0$ .这样由(1)~(2)式可得

$$\tan \theta_1 - \cot \theta_2 - K \cot(\theta_3 + \theta_2) = 0, \quad (3)$$

$$\tan \theta_1 + \tan \theta_2 + K \tan(\theta_3 + \theta_2) = 0, \quad (4)$$

收稿日期: 2015-12-19

基金项目: 国家自然科学基金(61161005)资助项目.

作者简介: 高明华(1966-),男,江西南昌人,副教授,主要从事移动通信的研究.

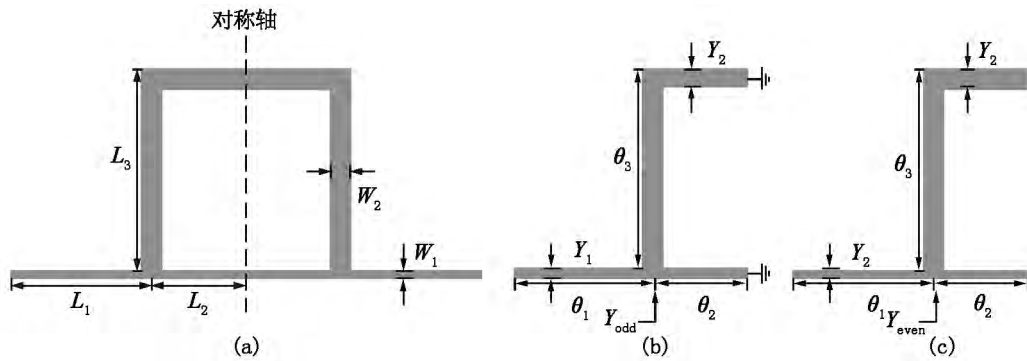


图1 (a) 改进型的方形环枝节加载谐振器 (b) 奇模等效电路 (c) 偶模等效电路

其中(3)式为奇模条件下谐振点的计算公式,(4)式为偶模条件下谐振点的计算公式.为了简化计算,将 $\theta_1 + \theta_2$ 设置为 $90^\circ$ .同时 $L_2$ 的大小直接影响 $\theta_2$ ,即 $\theta_2$ 、 $\theta_3$ 和 $K$ 这三个关键参数共同决定了谐振器的谐振模式,阻抗比 $K$ 的引入增加了设计谐振模式的自由度,其曲线关系如图2所示.

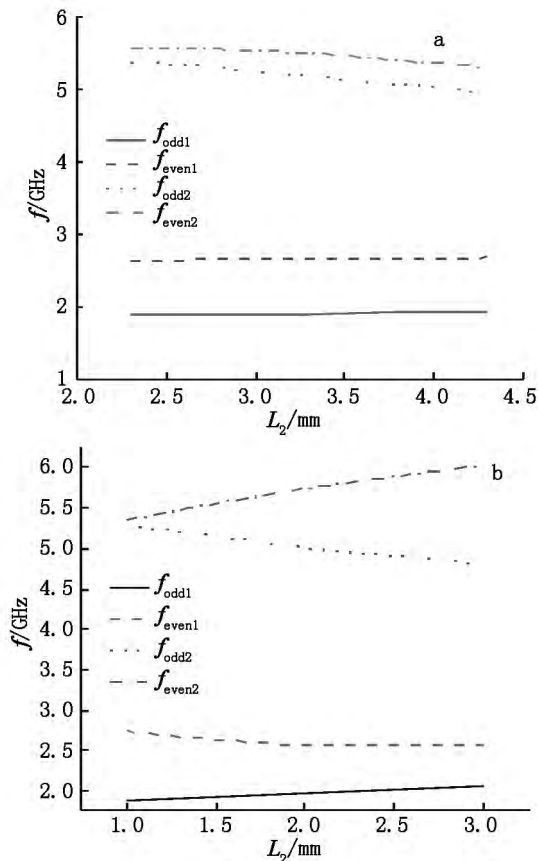


图2 (a)  $L_2$  对谐振模式的影响,

(b) 阻抗比  $K$  对谐振模式的影响

图2(a)和图2(b)分别是关键分布参数 $L_2$ 和阻抗比 $K$ 对谐振模式的影响.从图2(a)可以看出当 $L_2$ 逐渐增大时 $f_{\text{odd}2}$ 和 $f_{\text{even}2}$ 逐渐减小,而 $f_{\text{odd}1}$ 和 $f_{\text{even}1}$ 变化较小.在图2(b)中,当阻抗比 $K$ 逐渐增大时, $f_{\text{odd}1}$ 和 $f_{\text{even}2}$ 逐渐增大,相反 $f_{\text{odd}2}$ 和 $f_{\text{even}1}$ 逐渐减小.这

样就可以根据设计指标来确定分布参数的具体数值.

根据图2的设计思路,图3(a)是在弱耦合情况下,谐振器的 $S$ 参数: $f_{\text{odd}1}$ 、 $f_{\text{even}1}$ 、 $f_{\text{odd}2}$ 和 $f_{\text{even}2}$ 分别为1.9、2.64、5.2和5.5 GHz.具体物理尺寸为 $L_1 = 23$  mm、 $L_2 = 3.3$  mm、 $L_3 = 8.9$  mm、 $W_1 = 0.2$  mm,以及 $W_2 = 0.5$  mm.图3(b)~图3(e)分别是4个谐振模式下的电流图,可以看出:在第1个奇模频率 $f_{\text{odd}1}$ 条件下,电流主要集中在两边的开路枝节 $L_1$ 和

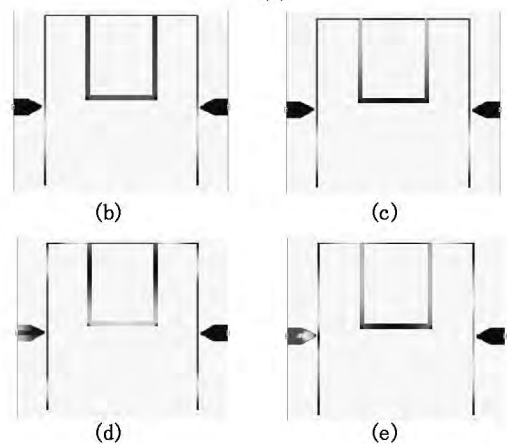
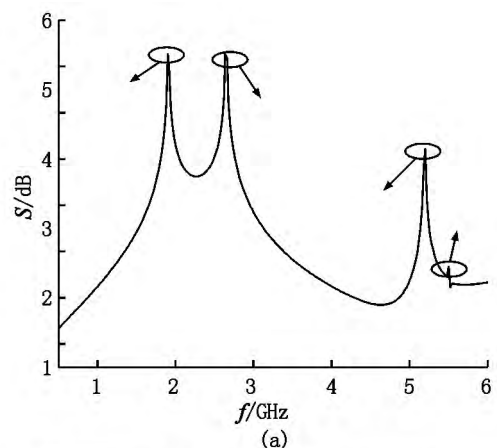


图3 (a) 弱耦合条件下的 $S$ 参数 (b)  $f_{\text{odd}1} = 1.9$  GHz时的电流图 (c)  $f_{\text{even}1} = 2.64$  GHz时的电流图 (d)  $f_{\text{odd}2} = 5.2$  GHz时的电流图 (e)  $f_{\text{even}2} = 5.5$  GHz时的电流图

方形环的下平行部分  $L_2$ . 在第 2 个奇模频率  $f_{\text{odd}2}$  条件下, 电流主要集中在两边的开路枝节  $L_1$  和方形环的上下部分  $L_2$ . 在第 1 个和第 2 个偶模频率  $f_{\text{even}1}$  和  $f_{\text{even}2}$  条件下, 电流主要集中在两边的开路枝节  $L_1$  和方形环的垂直部分  $L_3$ .

2 滤波器设计

根据上述对于谐振器的分析, 引入伪交指耦合结构和高阻抗平行馈线分别实现滤波器的耦合系数和外部  $Q$  值. 滤波器的拓扑结构如图 4(a) 所示. 具体物理尺寸如下:  $L_0 = 10.5\text{ mm}$ ,  $W_0 = 0.3\text{ mm}$ ,  $g_1 = 0.7\text{ mm}$ ,  $g_2 = 2\text{ mm}$ ,  $g_3 = 2\text{ mm}$ ,  $g_4 = 0.2\text{ mm}$ .

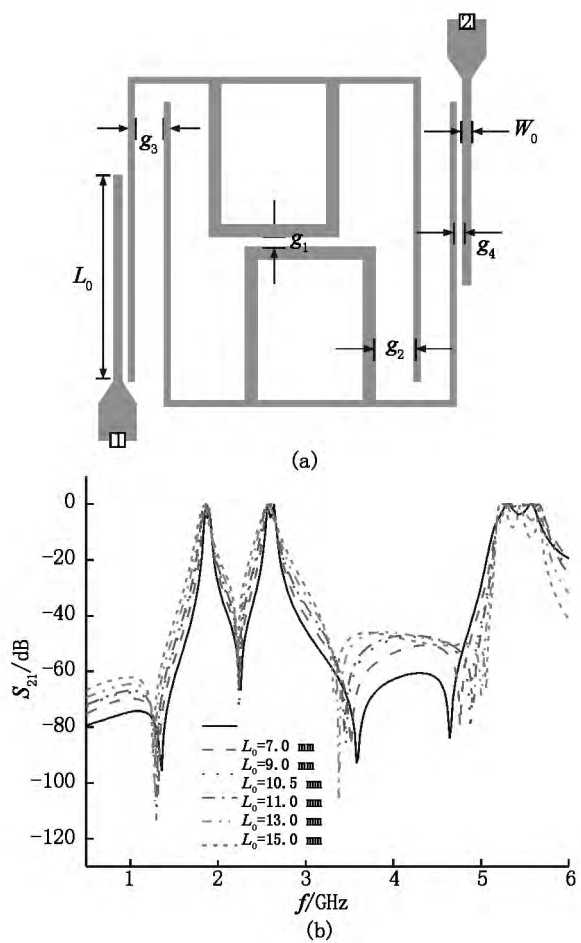


图 4 (a) 三通带滤波器 (b) 参数  $L_0$  对  $S_{21}$  的影响

图 4(b) 是对  $L_0$  高阻抗馈线的长度进行的参数扫描, 分析此关键参数对滤波器通带特性的影响. 结果表明当  $L_0 = 10.5\text{ mm}$  时能够更好地实现滤波器的频率响应.

3 设计结果

本文采用高频结构仿真软件 (Sonnet) 对设计的滤波器进行仿真. 仿真使用的介质基板是 Taconic RF-35, 厚度为  $0.76\text{ mm}$ , 介电常数是  $3.5$ , 损耗角为  $0.0018$ . 滤波器的尺寸为  $25\text{ mm} \times 25\text{ mm}$ . 图 5 是滤波器的频率响应仿真结果与实测结果对比, 实线是测试结果, 虚线是仿真结果. 从图 5 可以看出, 仿真结果和实测结果比较吻合.  $3\text{ dB}$  绝对带宽分别为第 1 通带:  $80\text{ MHz}$ , 第 2 通带:  $110\text{ MHz}$ , 以及第 3 通带:  $520\text{ MHz}$ . 8 个极点分别位于  $1.84, 1.88, 2.56, 2.60, 5.22, 5.30, 5.46, 5.64\text{ GHz}$ . 4 个传输零点分别位于  $1.30, 2.24, 3.46, 4.88\text{ GHz}$ . 插入损耗: 第 1 通带:  $0.21\text{ dB}$ , 第 2 通带:  $0.19\text{ dB}$ , 第 3 通带:  $0.98\text{ dB}$ . 回波损耗: 第 1 通带:  $13.28\text{ dB}$ , 第 2 通带:  $14.57\text{ dB}$ , 第 3 通带:  $10.45\text{ dB}$ .

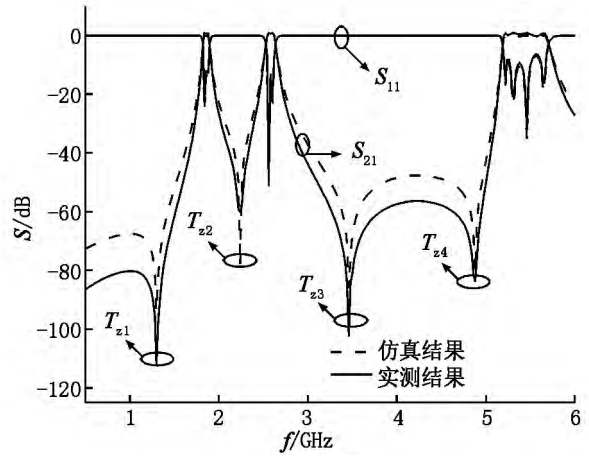


图 5 滤波器的频率响应仿真结果与实测结果对比

表 1 为滤波器的关键技术指标的对比, 其中  $\lambda_g$  是基频处的导波波长. 从表 1 可以看出, 本文设计的滤波器插入损耗较小, 可以满足 LTE 和 WLAN 通信的要求.

表 1 滤波器的关键技术指标的对比

出处	三通带 /GHz	插入损耗 /dB	传输零点	尺寸 $\lambda_g \times \lambda_g$
文献 [8]	3.00/4.20/4.55	2.90/2.40/3.00	9	$0.157 \times 0.108$
文献 [9]	1.84/2.45/2.98	0.90/1.60/0.80	5	$0.111 \times 0.090$
文献 [10]	2.41/3.56/5.29	1.90/1.42/1.51	5	$0.090 \times 0.050$
文献 [11]	2.45/3.50/5.25	0.90/1.70/2.10	0	$0.160 \times 0.147$
本文	1.80/2.50/5.20	0.21/0.19/0.98	4	$0.250 \times 0.250$

## 4 总结

本文基于改进型的方形环枝节加载多模谐振器设计了一款用于 LTE 和 WLAN 的三通带微带滤波器. 此滤波器带内插损低, 并有 4 个传输零点, 使带外抑制性好. 结果表明该滤波器整体结构紧凑, 有效地实现了小型化, 同时能够满足现代无线通信的要求, 有较高的实用性.

## 5 参考文献

- [1] Chang Sheng-Fuh R, Chen Wenlin, Chang Shuen-Chien, et al. A dual-band RF transceiver for multistandard WLAN applications [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques 2005, 53(3): 1048-1055.
- [2] Lin Yoshen, Liu Chien-Chan, Li Ko-Mai, et al. Design of an LTCC tri-band transceiver module for GPRS mobile applications [J]. IEEE Trans Microwave Theory and Techniques 2004, 52(1): 2718-2724.
- [3] Tsai L C, Hsue C W. Dual band bandpass filters using equal-length coupled-serial-shunted lines and Z-transform technique [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques 2004, 52(4): 1111-1117.
- [4] 季来运, 王一鸣, 侯艳红, 等. 一种带有陷波单元的高温超导滤波器设计 [J]. 低温物理学报 2008, 30(1): 62-65.
- [5] Dai Xiwang, Liang Changhong, Wu Zhixi. Novel dual-band bandpass filter design using microstrip open-loop resonators [J]. Journal of Electromagnetic Waves and Applications 2008, 22(2/3): 219-225.
- [6] Sun Sheng, Zhu Lei. Compact dual-band microstrip band-pass filter without external feeds [J]. IEEE Microwave and Wireless Components Letters 2005, 15(10): 644-646.
- [7] Mondal P, Mandal M K. Design of dual-band bandpass filters using stub-loaded open-loop resonators [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques 2008, 56(1): 150-155.
- [8] Chen Bojiun, Shen Tze-min, Wu Ruey-Beei. Design of tri-band filters with improved band allocation [J]. IEEE Transaction Microwave Theory Techniques 2009, 57(7): 1790-1797.
- [9] Zhang Xiuyin, Xue Quan, Hu Binjie. Planar tri-band band-pass filter with compact size [J]. IEEE Microwave Wireless Components Letter 2010, 20(5): 262-264.
- [10] Chu Qingxin, Wu Xiaohu, Chen Fuchang. Novel compact tri-band bandpass filter with controllable bandwidths [J]. IEEE Microwave Wireless Components Letter 2011, 21(12): 655-657.
- [11] Lai Xin, Liang, Changhong, Di Hao, et al. Design of tri-band filter based on stub loaded resonator and DGS resonator [J]. IEEE Microwave Wireless Components Letter 2010, 20(5): 265-267.
- [12] Hong J S, Lancaster M J. Development of new microstrip pseudo-interdigital bandpass filters [J]. IEEE Microwave Guide Wave Letter 1995, 5(8): 261-263.
- [13] 喻易强, 谢杰亮, 张红梅, 等. 一种基于介质基座的内置多频带 4G LTE 手机天线 [J]. 江西师范大学学报: 自然科学版 2015, 39(2): 145-149.
- [14] 刘海文, 覃凤, 雷久淮, 等. 一种基于 Minkowski 分形边界的小型化宽频蝶形天线 [J]. 江西师范大学学报: 自然科学版 2014, 38(2): 124-127.
- [15] 张蒙, 骆兴芳, 张芳. 宽带频率选择表面带阻滤波器的优化设计 [J]. 江西师范大学学报: 自然科学版 2015, 39(2): 150-153.

## The Triple Band Bandpass Filter Based on Improved Square Ring Loaded Resonator

GAO Minghua, GUO Xiaofei, YANG Genhong, WANG Zhonglei, PENG Yang

(Department of Communication Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang Jiangxi 330013, China)

**Abstract:** Using the improved square ring loaded resonator, a triple band filter for LTE system and WLAN system has been proposed. Compared with conventional square ring loaded multimode resonator, the proposed resonator has a higher design degree of freedom by introducing stepped impedance resonator. The results indicate the working frequency of the filter covering the LTE system and WLAN system, there are practical.

**Key words:** triple band filter; the improved square ring loaded resonator; stepped impedance resonator; even-odd mode theory

(责任编辑: 冉小晓)