

文章编号: 1000-5862(2014)04-0370-04

# 基于开环谐振器和非对称耦合线的三通带带通滤波器设计

刘海文<sup>1,2</sup>, 蒋浩<sup>2</sup>, 雷久淮<sup>2</sup>, 覃凤<sup>2</sup>, 彭苏萍<sup>1</sup>

(中国矿业大学煤炭资源与安全开采国家重点实验室, 北京 100083; 2. 华东交通大学信息工程学院, 江西 南昌 330013)

**摘要:** 利用枝节加载开环多模谐振器和非对称耦合线, 设计了一种紧凑型三通带带通滤波器. 该多模谐振器在通带内能产生 3 个奇模和 3 个偶模. 运用奇偶模理论对该谐振器的特性进行分析, 其通带边缘的多个传输零点, 可显著提高滤波器的选择性和阻带特性, 且通过调节非对称耦合线位置, 还可以实现对传输零点的有效调控. 该滤波器可应用于全球移动通信系统 GSM、全球定位系统和数字蜂窝系统 DCS.

**关键词:** 三通带; 滤波器; 非对称耦合线; 枝节加载; 开环谐振器; 奇偶模理论

中图分类号: TN 454 文献标志码: A

## 0 引言

近年来, 随着无线通信系统的快速发展, 滤波器的设计向小型化、高性能化、低成本和易集成等方向发展. 将滤波器做成多频段结构, 整个系统功耗将大大降低, 结构也会更加紧凑, 更利于集成. 因此, 对多频无线前端的关键部件——多频带滤波器的研究, 就显得更加迫切和重要<sup>[1-2]</sup>. 目前, 设计三频带滤波器的方法主要有: 通过级联多个谐振器的方法来实现三通带滤波器<sup>[3]</sup>, 但该方法会占用较大电路尺寸. 基于阶跃阻抗和缺陷地结构的三频带滤波器<sup>[4-5]</sup>, 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.

本文利用枝节加载开环多模谐振器和非对称耦合线来设计三通带滤波器. 运用奇偶模理论对多模谐振器的特性进行了分析, 证明通过调节相关电路结构尺寸参数, 3 个通带的中心频率位置能够独立可调. 同时, 通过调节非对称耦合线位置, 还可以改变耦合线与谐振器之间的耦合度, 从而实现对传输零点(TZ)位置的调控, 进而提高通带的选择性和阻带特性<sup>[6-8]</sup>.

## 1 三通带滤波器的设计

### 1.1 谐振器的分析

本文设计的枝节加载开环多模谐振器如图 1 所示, 它由 3 段长度分别为  $2L_1$ 、 $2L_2$ 、 $2L_3$ , 宽度为  $w$  的平行微带线, 和 1 段长度为  $H_0 = H_1 + H_2 + H_3$ 、宽度为  $2w$  的微带线构成. 由于整个谐振器结构沿分界线  $T-T_1$  对称分布, 因此, 可运用奇偶模理论对谐振器进行分析, 其奇、偶模等效电路如图 2 所示. 本文采用仿真工具为电磁仿真软件 Sonnet 11, 介质基片厚度为 0.8 mm, 介电常数为 3.5.

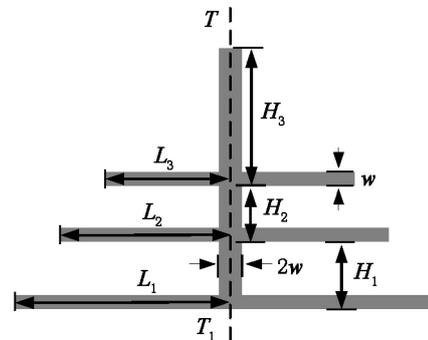


图 1 谐振器示意图

收稿日期: 2014-05-07

基金项目: 国家自然科学基金(61061001) 和国际合作基金(20121BDH80015) 资助项目.

作者简介: 刘海文(1975-), 男, 湖南邵阳人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事微波技术及 MMIC 电路方面的研究.

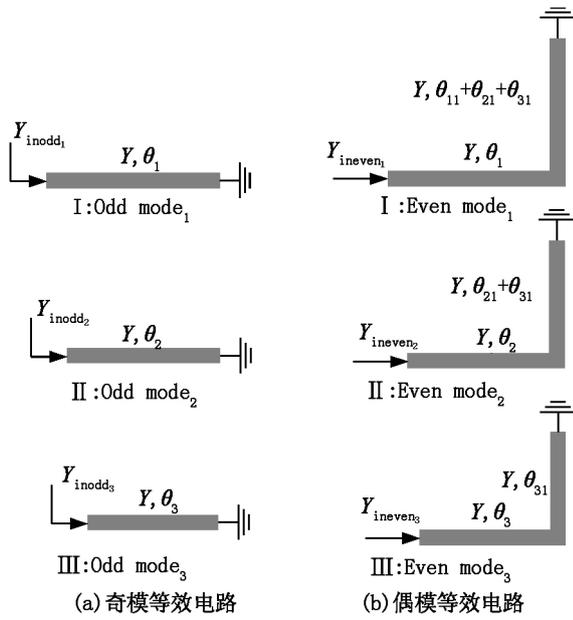


图 2 等效电路图

在奇模激励的情况下, 对称面  $T-T_1$  相当于理想电壁, 可以将其视作短路端, 奇模等效电路如图 2 (a) 所示. 此时, 输入导纳 ( $Y_{inodd_i}, i = 1, 2, 3$ ) 可表示为  $Y_{inodd_1} = -jY \cot \theta_1, Y_{inodd_2} = -jY \cot \theta_2, Y_{inodd_3} = -jY \cot \theta_3$ , 其中  $\theta_1, \theta_2$  和  $\theta_3$  分别为与物理长度  $L_1, L_2$  和  $L_3$  相对应的电长度.

由谐振条件  $\text{Im}(Y_{inodd_i}) = 0$  可得

$$\cot \theta_1 = 0, \quad (1)$$

$$\cot \theta_2 = 0, \quad (2)$$

$$\cot \theta_3 = 0, \quad (3)$$

从 (1) ~ (3) 式可以看出, 分别调节微带线长度  $L_1, L_2$  和  $L_3$  可以有效地控制 3 个奇模的位置. 在偶模激励的情况下, 对称面  $T-T_1$  相当于理想磁壁, 可以将其视作开路端, 偶模等效电路如图 2 (b) 所示. 此时, 输入导纳 ( $Y_{ineven_j}, j = 1, 2, 3$ ) 可表示为  $Y_{ineven_1} = -jY \tan(\theta_1 + \theta_{11} + \theta_{21} + \theta_{31}), Y_{ineven_2} = -jY \tan(\theta_2 + \theta_{21} + \theta_{31}), Y_{ineven_3} = -jY \tan(\theta_3 + \theta_{31})$ , 其中  $\theta_{11}, \theta_{21}$  和  $\theta_{31}$  分别为与物理长度  $H_1, H_2$  和  $H_3$  相对应的电长度.

同理, 由谐振条件  $\text{Im}(Y_{ineven_j}) = 0$  可得

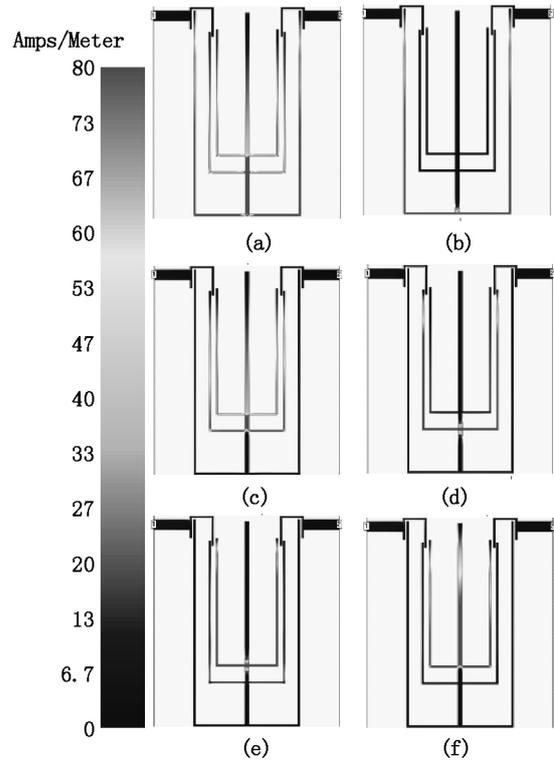
$$\tan(\theta_1 + \theta_{11} + \theta_{21} + \theta_{31}) = 0, \quad (4)$$

$$\tan(\theta_2 + \theta_{21} + \theta_{31}) = 0, \quad (5)$$

$$\tan(\theta_3 + \theta_{31}) = 0, \quad (6)$$

从 (4) ~ (6) 式可以看出, 分别调节微带线长度  $L_1 + H_0, L_2 + H_2 + H_3$  和  $L_3 + H_3$  可以有效地控制 3 个偶模的位置. 在弱耦合仿真下, 谐振器在 3 个奇模和 3 个偶模频率处的电场分布图如图 3 所示. 从图 3 可以看出, 在奇模谐振频率点处, 电场主要集中分布在开

环处而与加载的开路枝节无关, 但在偶模谐振频率点处, 电场不但在开环自身结构有电场分布, 而且在加载开路枝节上也有电场分布. 根据上面的分析, 此谐振器可以设计成三通带滤波器. 滤波器的第 1 通带可由谐振器的第 1 个奇模  $f_{odd_1}$  和第 1 个偶模  $f_{even_1}$  构成. 第 2 通带和第 3 通带分别可以由第 2 个奇模  $f_{odd_2}$  和第 2 个偶模  $f_{even_2}$  及第 3 个奇模  $f_{odd_3}$  和第 3 个偶模  $f_{even_3}$  构成.



注: (a)  $f_{even_1} = 0.935 \text{ GHz}$ ; (b)  $f_{odd_1} = 0.975 \text{ GHz}$ ;  
(c)  $f_{even_2} = 1.540 \text{ GHz}$ ; (d)  $f_{odd_2} = 1.570 \text{ GHz}$ ;  
(e)  $f_{odd_3} = 1.800 \text{ GHz}$ ; (f)  $f_{even_3} = 1.845 \text{ GHz}$ .

图 3 谐振器在谐振频率处的电场分布图

### 1.2 非对称耦合线的特性

本文设计三通带滤波器拓扑结构如图 4 所示. 在滤波器的输入输出端, 采用非对称耦合线结构, 通过调节非对称耦合线可以有效控制传输零点的位置, 从而提高通带的选择性和阻带特性. 在其他参数不变的前提下, 只改变馈线长度  $L_4$ 、馈线长度  $L_5$  和耦合间隙  $S$  得到的频率响应图  $|S_{21}|$  如图 5 所示. 从图 5 (a) 可以看出, 由于调节  $L_4$  改变了耦合线与谐振器之间的耦合度, 所以  $TZ_2$  随着  $L_4$  的增加向低频方向移动. 在图 5 (b) 中, 在保持  $L_5 + L_6 = 48.4 \text{ mm}$  前提下,  $TZ_1$  和  $TZ_2$  随着  $L_5$  的减小而向低频方向移动, 而  $TZ_3$  随着  $L_5$  的减小向高频方向移动. 在图 5 (c)

中 随着耦合间隙  $S$  的增加,  $TZ_4$  向低频方向移动. 根据以上分析可以知道, 在不改变谐振器参数的情况下, 可通过调节非对称耦合线来有效控制传输零点位置, 提高滤波器的滤波选择性.

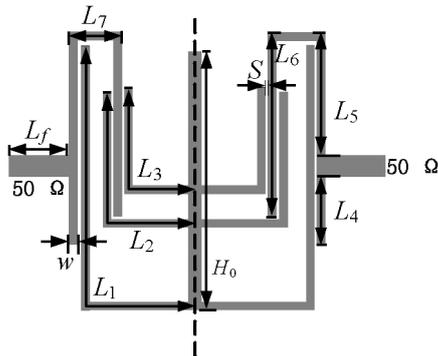
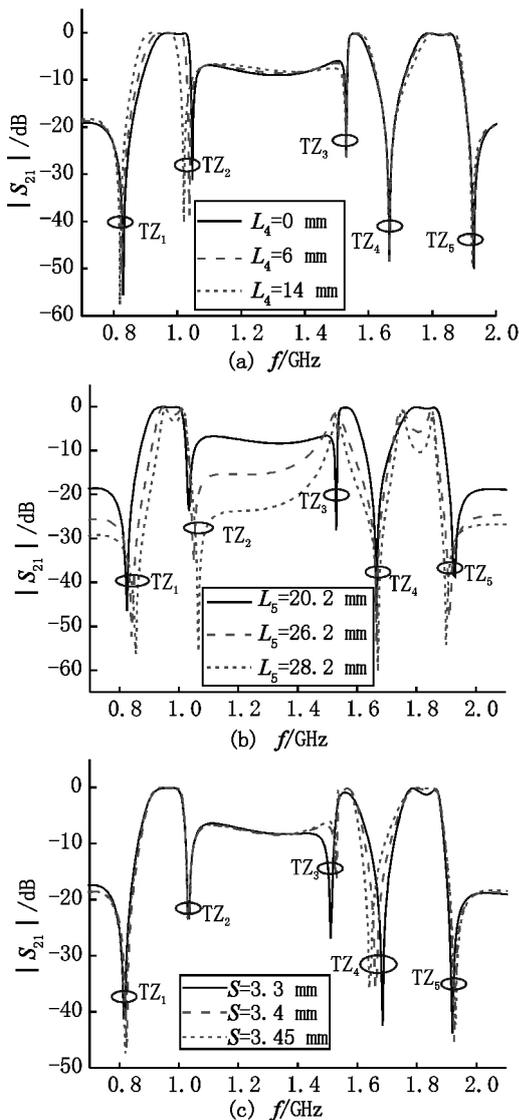


图4 滤波器的拓扑结构图



(a) 改变  $L_4$  (b) 改变  $L_5$  ( $L_5 + L_6 = 48.4$  mm) (c) 改变  $S$ .

图5 电路参数  $L_4$  对谐振器奇偶模位置的影响

## 2 仿真与测试结果

通过电磁仿真工具进一步优化滤波器, 其物理尺寸选定为:  $w = 0.4$  mm,  $S = 0.2$  mm,  $L_1 = 44.2$  mm,  $L_2 = 31$  mm,  $L_3 = 27.3$  mm,  $L_4 = 8.7$  mm,  $L_5 = 20.2$  mm,  $L_6 = 28.2$  mm,  $L_7 = 4.2$  mm,  $L_f = 6.1$  mm,  $H_0 = 35.2$  mm. 加工的实物图如图6所示, 电路的实际尺寸为  $18.2$  mm  $\times$   $35.6$  mm (约  $0.10 \lambda_g \times 0.19 \lambda_g$ ,  $\lambda_g$  为第1通带中心频率所对应的导波波长). 电磁仿真与实测结果对比如图7所示, 两者吻合较好. 通带内的3对奇、偶模分别在  $0.935 \sim 0.975$  GHz,  $1.54 \sim 1.57$  GHz 和  $1.8 \sim 1.845$  GHz, 该滤波器在3个通带内的插入损耗分别是  $1.3$ ,  $1.46$  和  $1.92$  dB, 5个传输零点分别位于  $0.815$ ,  $1.02$ ,  $1.49$ ,  $1.63$  和  $1.91$  GHz.

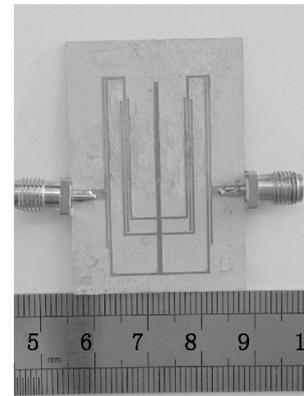


图6 三通带滤波器实物图

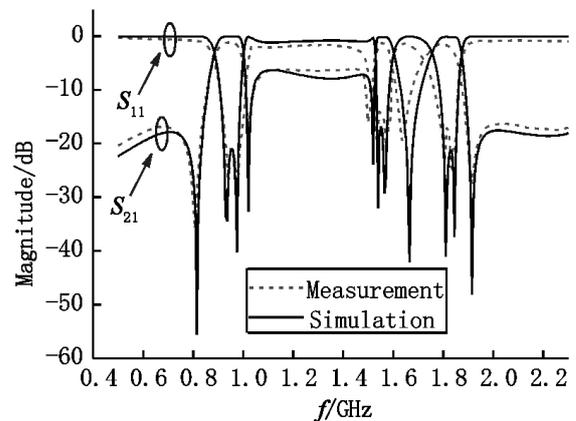


图7 滤波器频率响应仿真和测试结果图

## 3 结论

本文基于多模开环多模谐振器和非对称耦合线设计了1款三通带滤波器, 可应用于 GSM, GPS 和

DCS 无线通信系统. 运用奇偶模理论对谐振器进行了分析, 通过调节非对称耦合线位置, 实现对传输零点的有效调控, 提高通带的选择性和阻带特性. 此滤波器实现了小型化、低损耗、高选择性的高性能滤波特性, 这种滤波器特别适用在多频带移动通信系统中, 具有一定的商业价值.

## 4 参考文献

- [1] 肖鹏程, 曾力, 熊友符, 等. 一种伪交指型微带带通滤波器设计 [J]. 微波学报, 2012( S<sub>1</sub> ): 178-181.
- [2] 陈付昌, 褚庆昕. 基于组合多通带谐振器的三频滤波器设计 [J]. 华南理工大学学报: 自然科学版, 2009, 37( 1 ): 10-14.
- [3] Chen Chifeng, Huang Tingyi, Wu Ruyi-Beei. Design of dual-and triple passband filters using alternately cascaded multiband resonators [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2006, 54( 9 ): 3550-3558.
- [4] Chen Weiyu, Su Yi-hsin, Kuan Hon, et al. Simple method to tri-band bandpass filter using asymmetric SIRs for GSM, WiMAX, and WLAN Applications [J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2011, 53( 7 ): 1573-1576.
- [5] Lai Xin, Liang Changhong, Di Hao, et al. Design of tri-band filter based on stub loaded resonator and DGS resonator [J]. IEEE Microwave and Wireless Components Letter, 2010, 52( 4 ): 265-267.
- [6] Cheng Wei, Wang Xinhai, Tuo Yong, et al. High-selectivity dual-band bandpass filter using folded stepped-impedance resonators and asymmetric coupling lines [J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2012, 54( 8 ): 1866-1869.
- [7] 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.
- [8] 刘海文, 雷久淮, 赵玉龙, 等. 基于双模开环谐振器的双通带带通滤波器设计 [J]. 江西师范大学学报: 自然科学版, 2013, 37( 5 ): 488-491.

## The Design for Tri-Band Bandpass Filter Using Open-Loop Resonator and Asymmetric Coupling Lines

LIU Hai-wen<sup>1, 2</sup>, JIANG Hao<sup>2</sup>, LEI Jiu-huai<sup>2</sup>, QIN Feng<sup>2</sup>, PENG Su-ping<sup>1</sup>

(1. Laboratory of Coal Resources and Mine Safety, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. College of Information Engineering, East China of Jiaotong University, Nanchang Jiangxi 330013, China)

**Abstract:** A compact tri-band bandpass filter ( BPF ) using stub-loaded open-loop multi-mode resonator and asymmetric coupling lines has been presented. The multi-mode resonator can generate three odd modes and three even modes in the desired passband. Odd-even mode theory has been used to analyze the characteristics of the resonator, there are several transmission zeros ( TZ ) near the passband edge, and they can improve selectivity and stopband suppression. Meanwhile, transmission zeros can be controlled by tuning the asymmetric coupling lines. The filter has been applied for GSM, GPS and DCS.

**Key words:** tri-band; bandpass filter ( BPF ); asymmetric coupling lines; stub-loaded; open-loop resonator; odd-even mode theory

( 责任编辑: 冉小晓 )