

文章编号:1000-5862(2013)05-0488-04

# 基于双模开环谐振器的双通带带通滤波器设计

刘海文<sup>1,2</sup>, 雷久淮<sup>2</sup>, 赵玉龙<sup>2</sup>, 王 杉<sup>2</sup>, 彭苏萍<sup>1</sup>

(1. 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:** 利用加载 T 型枝节的单元开环双模谐振器的双模频率特性, 设计了一种新型的双模双带滤波器。

该滤波器具有多个传输零点, 显著提高了通带的选择性和阻带特性, 且滤波器的 2 个通带都具有良好的阻带深度和隔离度, 通带的中心频率和带宽独立可控。

**关键词:** 微带; 双模; 双带; 带通滤波器; 开环谐振器

中图分类号: TN 454

文献标志码: A

## 0 引言

近年来, 随着对多频带无线通信系统需求的增加, 工作在多个频段的通信系统无疑成为无线通信研究的一个重要方向。然而, 在传统的多频带通信系统中, 往往需要多个相互独立的天线、滤波器、LNA 等器件, 这样会使无线系统的体积和损耗增加。如果将元器件做成多频段结构, 则整个系统功耗就将大大降低, 结构也会更加紧凑, 更利于集成。因此对射频前端的关键部件——多频带滤波器的研究就显得更加迫切和重要。

目前实现多模、多频带滤波器的方法有很多<sup>[1-12]</sup>。通过级联开路枝节和短路枝节的方法实现的双频带通滤波器<sup>[1-3]</sup>, 虽然实现了滤波器带宽的独立控制, 然而由于寄生通带的存在导致阻带特性不是很好。基于缺陷地结构的双频滤波器虽然有其特殊的优点, 但是, 目前如何有效地控制辐射损耗是其广泛应用在通信系统的一个关键问题<sup>[5]</sup>。

本文分析了单元开环双模谐振器的基本工作原理, 研究了通过加载开路枝节使得单元谐振器本征谐振频率出现模式分离方式。采取两组不同频率的双模谐振器与输入输出端口嵌套并联结构, 设计了一种新型的双模双带带通滤波器。该滤波器的工作中心频率设计为 1.8 和 2.4 GHz, 同时利用 2 个谐振器之间的电磁混合耦合, 使得滤波器通带内的插入损耗可以达到 20 dB 以上。每个通带中心频率独

立可控, 其通带两侧均有零点, 使滤波器通带的选择性显著提高。

## 1 双模开环谐振器分析

### 1.1 双模谐振电路结构

如图 1(a) 所示, 单元双模开环谐振器采用对称的平面方形开环结构, 在谐振器内部加入一个 T 型开路枝节。由于整个谐振器结构关于面 T-T' 对称, 因此可以用奇偶模理论来分析<sup>[4]</sup>, 其奇、偶模电路分别如图 1(b) 和图 1(c) 所示。

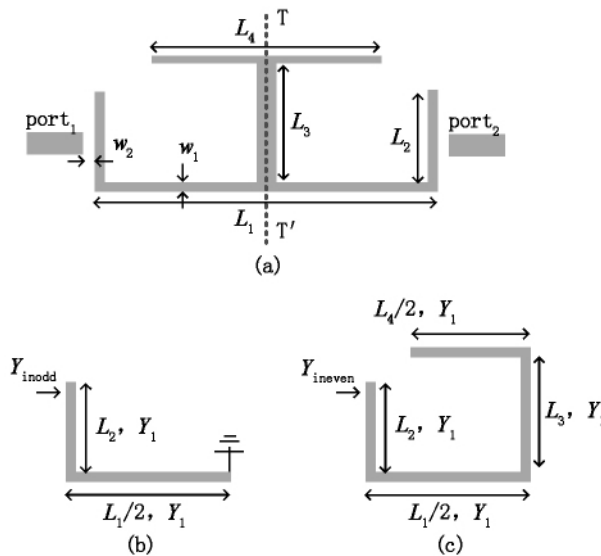


图 1 (a) 单元开环双模谐振器示意图;  
(b) 奇模等效电路; (c) 偶模等效电路

收稿日期: 2013-05-17

基金项目: 国家自然科学基金(61061001, 61261041)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。

在奇模激励的情况下,对称面 T-T' 相当于理想电壁,可以将其视作短路端,此时,输入导纳( $Y_{inodd}$ )可表示为

$$Y_{inodd} = jY_1 \frac{1}{\tan(\theta_2 + \theta_1/2)}, \quad (1)$$

其中  $\theta_1$ 、 $\theta_2$  分别为物理长度  $L_1$ 、 $L_2$  相对应的电长度。

由谐振条件  $\text{Im}(Y_{in}) = 0$  可得,奇模谐振频率  $f_{odd}$  表达式为

$$f_{odd} \approx \frac{(2n-1)c}{4(L_2 + L_1/2)\sqrt{\epsilon_{eff}}}, \quad (2)$$

其中  $n=1, 2, 3, \dots$ ,  $c$  为真空中的光速,  $\epsilon_{eff}$  为有效介电常数。

在偶模激励的情况下,对称面 T-T' 相当于理想磁壁,可以将其视作开路端,此时,输入导纳( $Y_{ineven}$ )可表示为

$$Y_{ineven} = jY_1 \tan(\theta_2 + \theta_3 + \theta_1/2 + \theta_4/2). \quad (3)$$

同理,由谐振条件  $\text{Im}(Y_{in}) = 0$  可得,偶模谐振频率  $f_{even}$  表达式为

$$f_{even} \approx \frac{nc}{2(L_2 + L_1/2 + L_3 + L_4/2)\sqrt{\epsilon_{eff}}}. \quad (4)$$

结合(1)~(4)式,图1(a)所示谐振器设计在 2.4 GHz 频段的参数分别为  $L_1 = 17.20$  mm,  $L_2 = 9.50$  mm,  $L_3 = 7.20$  mm,  $L_4 = 13.00$  mm,  $w_1 = 0.50$  mm,  $w_2 = 0.2$  mm. 设计采用的微波材料是有效介电常数 4.5, 厚度  $h = 0.8$  mm 的聚四氟乙烯介质板. 两端用线宽为 1.5 mm 的 50  $\Omega$  微带线,对谐振器进行端耦合. 通过使用 EM 仿真软件 HFSS 10 对单元谐振电路进行仿真,仿真结果如图 2 所示. 从图 2 可以看出仿真结果有 2 个谐振峰和一个传输零点,其中谐振频率分别为  $f_1 = 2.4$  GHz 和  $f_2 = 2.44$  GHz.

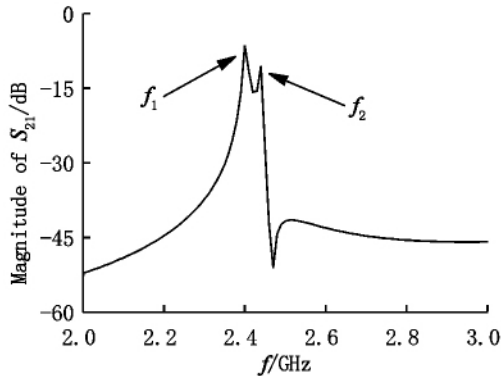


图2 单元双模谐振器频率响应图

## 1.2 双模谐振电路频率特性分析

下面对单元开环谐振器的频率特性进行分析. 谐振器在 2 个谐振频率点的电场分布图如图 3 所示. 从图 3 可以看出,在谐振频率点  $f_1$  处,电场主要

集中在开环自身结构,而与加载的 T 型开路枝节无关,所以此时的双模谐振器可以等效为一个  $\lambda/2$  开环谐振器,谐振频率仅与开环有关;而在谐振频率点  $f_2$  处,电场不但在开环自身结构有电场分布,而且在加载 T 型开路枝节上也有电场分布,此时该谐振频率点与开路枝节相关,谐振频率与开环和加载 T 型开路枝节均有关系。

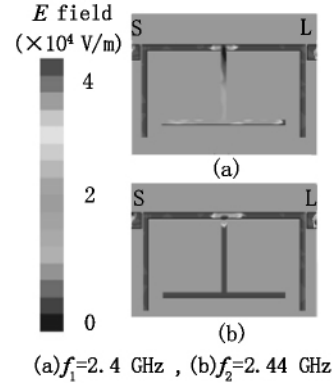


图3 双模谐振器在谐振频率处的电场分布图

下面对单元双模谐振器的模式进行分析. 通过对开路枝节尺寸的改变来观察单元双模谐振器模式变化. 如图 4 所示,当开路枝节的参数  $L_4$  的尺寸分别为 9, 11 和 13 mm 时,谐振频率  $f_1$  基本没有改变,而谐振频率  $f_2$  却发生了显著的变化. 从图 4 可以看出:谐振频率  $f_1$  与开路枝节变化无关,而谐振频率  $f_2$  与开路枝节变化存在一定联系,按照奇偶模理论<sup>[4]</sup>分析可知,谐振频率点  $f_1$  为奇模谐振频率,而谐振频率点  $f_2$  为偶模谐振频率。

由于在设计中,利用奇、偶模的基频,因此,结合(2)式和(4)式可以得出单元开环谐振器的谐振频率为

$$f_1 = \frac{c}{(4L_2 + 2L_1)\sqrt{\epsilon_{eff}}}, \quad (5)$$

$$f_2 = \frac{c}{(2L_2 + 2L_3 + L_1 + L_4)\sqrt{\epsilon_{eff}}}, \quad (6)$$

其中  $c$  为光速,  $\epsilon_{eff}$  为有效介电常数。

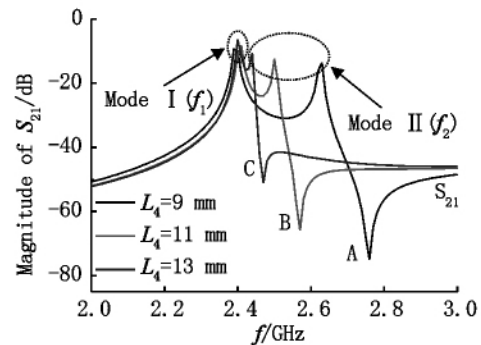


图4 电路参数  $L_4$  对谐振器奇偶模位置的影响

## 2 双通带带通滤波器的实现

基于前一节开环双模谐振器的设计理论,采用 2 个不同尺寸的双模开环结构,设计了一个双模双通带带通滤波器.滤波器的拓扑结构和加工实物图如图 5 所示.该结构是将 2 个双模谐振器并联,其中一个双模谐振器在开环内部加入开路枝节,而另一个双模谐振器在开环外部加入开路枝节,馈线深入到 2 个谐振器之间进行共用端耦合.利用(5)式和(6)式,可以通过改变 2 个谐振器的尺寸来设计双

频带的中心频率.通过改变 2 个谐振器之间的距离和与馈线的距离来调节滤波器的耦合特性.本文设计的滤波器中心频率是 1.8 和 2.4 GHz.该滤波器优化后的电路尺寸为: $L_1 = 11.35$  mm,  $L_2 = 11.70$  mm,  $L_3 = 20.00$  mm,  $L_4 = 12.95$  mm,  $L_5 = 8.20$  mm,  $L_6 = 20.75$  mm,  $L_7 = 16.60$  mm,  $L_8 = 9.80$  mm,  $L_9 = 6.60$  mm,  $L_{10} = 10.90$  mm,  $w_1 = 0.50$  mm,  $w_2 = 1.50$  mm,  $w_3 = 0.35$  mm.本设计所用的基板材料介电常数为 4.5,厚度  $h = 0.8$  mm.

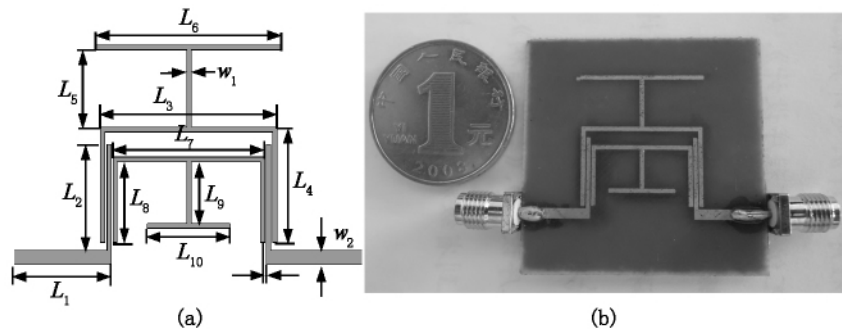


图 5 滤波器拓扑结构图和加工实物图

利用仿真软件 HFSS 10 对上述结构进行仿真,并对实物进行了测试,对比结果如图 6 所示.测试结果显示出 2 个通带的中心频率分别为 1.8 和 2.4 GHz,该滤波器在 2 个通带内的插入损耗分别为 1.57 和 1.72 dB,回波损耗分别为 -12.6 和 -14.9 dB,相对带宽分别为 8.3% 和 12.9%.同时,在每个通带的两侧都有零点,实现了小型化、低损耗、高选择性的高性能滤波特性.

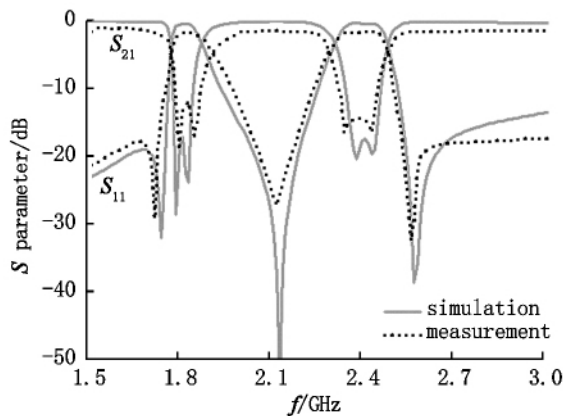


图 6 滤波器频率响应仿真和测试结果图

## 3 结论

分析了加载 T 型枝节的单元开环双模谐振器

的双模频率特性;在此基础上,设计了一种新型的双模双带滤波器.该滤波器具有多个传输零点,显著提高了通带的选择性和阻带特性.而且,滤波器的 2 个通带都具有良好的阻带深度和隔离度,通带的中心频率和带宽独立可控.结果表明 2 个通带中心分别在 1.8 和 2.4 GHz,其对应的相对带宽为 8.3% 和 12.9%.这种滤波器特别适合用在双频带移动通信系统中.

## 4 参考文献

- [1] Deng Hongwei, Zhao Yongjiu, Zhang Lu, et al. Dual-band BPF with DSIR and TSIR [J]. Electronics Letters, 2010, 46(17):1205-1206.
- [2] Lee J, Lim Y S. Dual-band filter using dual-band resonators [J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2011, 53(11):2515-2517.
- [3] Chen Fuchang, Chun Qingxin, Tu Zhihong. Design of compact dual-band bandpass filter using short stub loaded resonator [J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2009, 51(4):959-963.
- [4] Hong Jiasheng, Shaman H, Chun Y H. Dual-mode microstrip open-loop resonators and filters [J]. IEEE Transactions On Microwave Theory And Techniques, 2007, 55

- (8):1764-1770.
- [5] Liu Haiwen, Shen L, Zhang Z C, et al. Dual-mode dual-band bandpass filter using defected ground waveguide (DGW) [J]. *Electro Lett* 2010 46(13):895-897.
- [6] 付树红, 童创明, 李西敏. 一种新颖的开环地面缺陷结构低通滤波器 [J]. *电波科学学报* 2009 24(6):1115-1118.
- [7] 王华红, 杨雪霞, 周建永, 等. 基于开环双模谐振器的双频带滤波器 [J]. *上海大学学报:自然科学版* 2010 16(2):115-119.
- [8] 张德锋, 尹映辉. 一种新颖微带双通带带通滤波器的设计方法 [J]. *火控雷达技术* 2009 38(4):91-94.
- [9] 褚庆昕, 叶亮华, 陈付昌. 小型双频带带通滤波器的设计 [J]. *华南理工大学学报:自然科学版* 2010 38(6):7-10.
- [10] 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.
- [11] Adnan G, Ceyhan K. Miniature dual-mode microstrip filters [J]. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters* 2007 17(1):37-39.
- [12] Weng M H, Wu H W, Su Y K. Compact and low loss dual-band band-pass filter using Pseudo-Interdigital stepped impedance resonators for WLANs [J]. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters* 2007 17(3):187-189.

## The Design of Dual-Band Bandpass Filter Based-on Dual-Mode Open-Loop Resonator

LIU Hai-wen<sup>1,2</sup>, LEI Jiu-huai<sup>2</sup>, ZHAO Yu-long<sup>2</sup>, WANG Shan<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 novel dual-mode dual-band bandpass filter using dual-mode open-loop resonator with a center-loaded T-shaped stub has been presented. There are several transmission zeros located at both sides of each passband. It provides the filter with improved selectivity and stopband suppression. Also, the centrality frequency and bandwidth of the each passband can be controlled independently.

**Key words:** microstrip; dual-mode; dual-band; bandpass filter; open-loop resonator

(责任编辑:冉小晓)