

文章编号: 1000-5862(2016)03-0392-04

基于 AFSLR 谐振器的三通带带通滤波器设计

刘海文, 饶凌欣, 刘建伟, 文品, 任宝平, 朱爽爽

(华东交通大学信息工程学院, 江西 南昌 330013)

摘要: 提出了一种采用非对称叉形枝节加载的新型三模谐振器, 并对该谐振器结构特性进行具体分析. 该谐振器具有 3 个非谐波模式, 可以通过调节非对称叉形枝节的电长度进行单独调节. 利用该三模谐振器在 0.8 mm 厚的介质基板上设计了一种中心频率分别为 2.08、2.42 和 3.04 GHz 的紧凑型三通带带通滤波器, 并且通过 0° 抽头馈线引进额外零点提高了滤波器的选择性和阻带抑制效果. 测试结果与理论分析相吻合.

关键词: 枝节加载; 三模谐振器; 三通带; 叉形谐振器; 带通滤波器

中图分类号: TN 454 **文献标志码:** A **DOI:** 10.16357/j.cnki.issn1000-5862.2016.04.12

0 引言

近年来, 无线通信系统对于多通带无源器件的需求越发迫切, 多通带滤波器作为多模式射频前端的重要组成部分成为一个重要研究方向. 许多方法被用来设计工作频率非谐波并拥有可控的中心频率的三通带带通滤波器^[1-8]. 在文献[1]中的方法采用多个谐振器共用一个馈电接口来获得三通带响应, 然而其主要缺点是由于采用多个谐振器而导致的尺寸过大. 其他的设计三通带滤波器的方法还有在单个宽带中引进多个传输零点. 尽管设计方式较多, 但是同时达到紧凑的尺寸和良好的响应特性对于多通带滤波器设计还是一个挑战.

微带枝节加载谐振器广泛应用于设计微带滤波器^[9-17]. 传统枝节加载谐振器拥有 2 个非谐波模式. 本文提出一种新型枝节加载三模谐振器结构, 该谐振器通过设置非对称枝节微扰分离 2 个简并模的方法^[8]将传统枝节加载谐振器的非谐振模式扩展为 3 个. 谐振器单元结构如图 1 所示, 对该谐振器的特性进行详细分析, 并采用谐振器的 3 个模式来设计一款三通带带通滤波器, 详细地介绍新型开路枝节加载的三模谐振器的谐振特性分析、三通带滤波器的设计与实现.

1 非对称叉形枝节加载三模谐振器分析

如图 1(a) 所示: 非对称叉形枝节加载谐振器由 2 个开路微带线和一个非对称叉形枝节构成. 和传统的枝节加载谐振器一样, 奇模等效电路如图 1(b) 所示, 谐振频率可以通过

$$f_{\text{odd}} = c / (2L_1 \sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}) \quad (1)$$

获得, 其中 c 为光在真空中的传播速度, ϵ_{eff} 为电路在介质基板上的有效介电常数, 奇模频率不受枝节的尺寸影响. 本文中, 奇模频率用作第 2 通带频率 (即, 另 $f_2 = f_{\text{odd}}$).

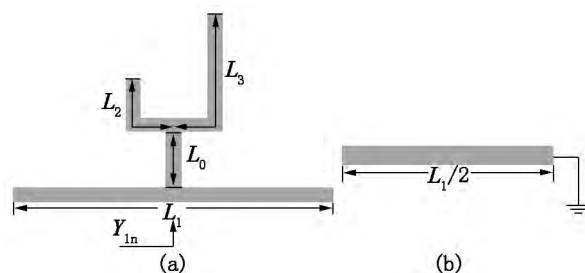


图 1 (a) 非对称叉形枝节加载谐振器; (b) 谐振器奇模等效电路

另一方面, 谐振器的输入导纳有:

$$Y_{\text{in}} = jY_0 (\tan \theta_2 + \tan \theta_3 + \tan \theta_0 + 2 \tan \theta_1 - 2 \tan \theta_0 \tan \theta_1 (\tan \theta_2 + \tan \theta_3)) / (1 - \tan \theta_0 \cdot (\tan \theta_2 + \tan \theta_3)) \quad (2)$$

Y_0 为谐振器的特征导纳, $\theta_k = \beta L_k$ ($k = 0, 1, 2, 3$), β 为传播常数. 如果 L_0 足够小, $\tan \theta_0$ 近似等于 0, 因

收稿日期: 2016-01-01

基金项目: 国家自然科学基金(61461020, U1431110) 和国际合作基金(20132BDH80013) 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, 主要从事微波技术和 MMIC 电路方面的研究.

此, 谐振器输入导纳 Y_{in} 可以简化为

$$Y_{in} = jY_0(\tan \theta_2 + \tan \theta_3 + 2\tan \theta_1), \quad (3)$$

由谐振条件 $\text{Im}(Y_{in}) = 0$ 可得

$$\tan \theta_2 + \tan \theta_3 + 2\tan \theta_1 = 0. \quad (4)$$

在设计中确定第2通带谐振频率 f_2 后, 通过(1)式计算 L_1 , 剩余2个谐振模式通过解(4)式来获得. 计算(4)式得到图2, 显示 f_1/f_2 和 θ_2 在 θ_3 分别等于 100° , 110° 和 120° 时的解. 这里所有的电长度都是定义在频率 f_2 处 f_r ($r = 1, 2, 3$) 是谐振器的3个非谐振频率. 图2表明 f_3 在不影响 f_1 和 f_2 的情况下可以通过调节 θ_2 来控制. 同时, 在 θ_2 分别等于 100° , 110° 和 120° 时 f_1 的变化量保持为一个恒定的值, f_2 不变 f_3 变化较小, 尤其是当 θ_2 在 70° 到 90° 之间时 f_3 的变化量约等于0. 表明谐振器的谐振频率可以单独可控.

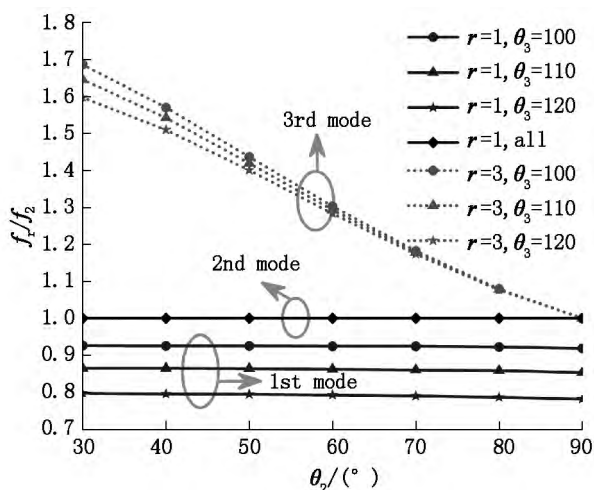


图2 叉形枝节两段电长度与谐振器3个模式频率比的关系图

谐振器在3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 (2.04 GHz) 处, 电场主要集中在叉形枝节较长的枝节上; 而在谐振频率点 f_2 (2.42 GHz) 处, 电场只在自身奇模结构有电流分布, 而且在加载叉形开路枝节上没有电场分布, 此时该谐振频率点只与奇模相关; 而在谐振频率点 f_3 (3 GHz) 处, 电场主要分布在“Y”型枝节较短的枝节上, 但是在其他位置均有电场分布, 因此谐振频率点主要与 L_2 相关, 同时受其他参数影响, 与上述中谐振频率单独可控的理论分析一致.

2 三通带滤波器的实现

对于带通滤波器的设计而言, 通带中心频率和带宽是最主要的2个参数. 基于前一节非对称叉形枝节加载三模谐振器的设计理论, 采用本文提出的

谐振器, 通带中心频率可以单独可控. 带宽主要有耦合系数(k) 和外部品质因数(Q_e) 决定. 设计两级级联的滤波器, k 由2个谐振器间的间隙决定. 基于非对称叉形枝节加载谐振器, 一个3个通带分别工作在 2.08、2.42 和 3.04 GHz 的三通带滤波器被设计并制造出来. 优化设计后的结构如图4所示. f_1 、 f_2 和 f_3 的带宽分别由耦合间隙 S_2 、 S_3 、 S_4 和它们对应的耦合长度控制, 因此, 可以通过合理地折叠耦合区域的微带线来灵活控制滤波器3个带宽. 引入 0° 抽头馈线在调节 Q_e 的同时, 在阻带上提供额外的零点, 达到拓宽阻带的效果.

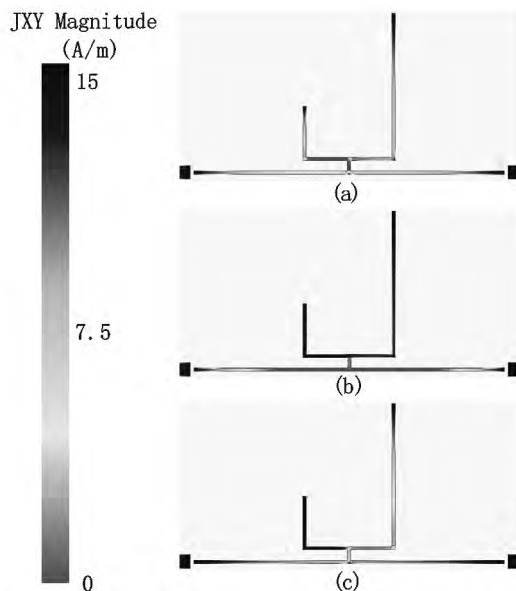


图3 三模谐振器在谐振频率处的电流密度分布图

基于上述设计方法, 采用谐振器的两级级联设计了一个三通带带通滤波器, 拓扑结构图如图4. 对物理尺寸进行优化, 得出滤波器优化后的物理尺寸: $L_1 = 19.95$ mm, $L_2 = 12.5$ mm, $L_3 = 24.85$ mm, $S_1 = 1$ mm, $S_2 = S_5 = 0.5$ mm, $S_3 = S_4 = 0.2$ mm. 整个电路大小仅为 20.4 mm \times 18 mm ($0.217 \lambda_g \times 0.191 \lambda_g$, λ_g 为第1个通带中心频率的导波波长). 仿真与测试结果对比如图5, 测试得出的三通带中

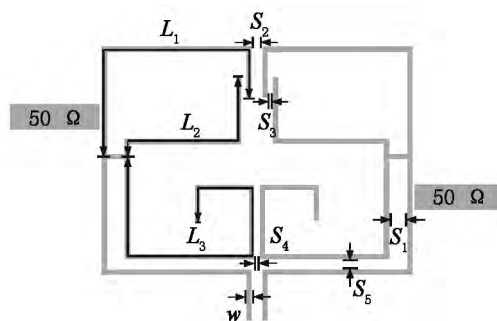


图4 滤波器拓扑结构图

心频率带宽分别为 2.02、2.36 和 2.95 GHz, 和仿真结果存在 60 MHz 的频率偏移, 3 个通带的相对带宽分别为 8.78%、6.81% 和 1.55%。仿真和测量的偏差主要是由于加工精度不够带来的。通过(1)式, 可以计算得出实际加工 L_1 与设计中的 L_1 的偏差

$$\Delta L = \frac{2\sqrt{\varepsilon_{\text{eff}}}(f_2 + \Delta f)}{c} - L_1. \quad (5)$$

通过(5)式的计算, 实物中的 L_1 比设计长 0.26 mm, 这与长度测量结果一致。同时, 加工不精确的 S_2 、 S_3 和 S_4 对各通带耦合系数 k 造成影响, 带来了一些插入损耗。

在通带边缘处产生 3 个传输零点(位于 2.52, 2.89, 3.62 GHz), 大大提高了滤波器的选择特性。

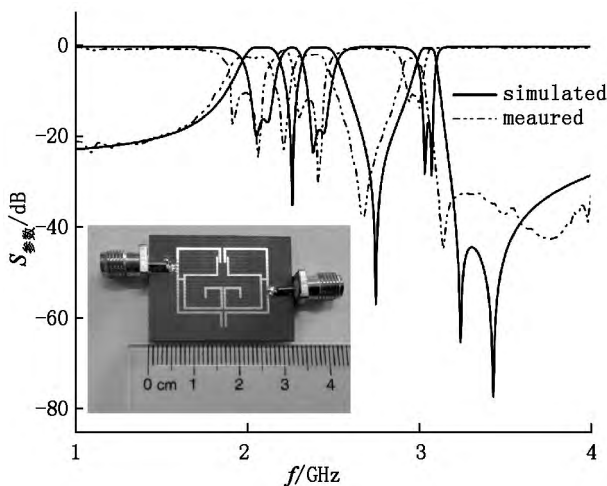


图5 滤波器频率响应仿真、测试结果图及实物图

3 结论

通过引进非对称叉形枝节加载得到一种灵活可控的新型三模非对称叉形枝节加载谐振器, 并对其单元谐振器的三模频率特性分析。在此基础上, 设计了一种新型的三通带带通滤波器, 该滤波器在各通带间具有传输零点, 显著提高了通带的选择性和阻带特性。这样大大提高了滤波器的通带选择性, 同时引进 0° 抽头馈线结构在阻带上带来了额外的传输零点, 提高了阻带特性。该谐振器的特性被仿真与实测结果吻合。

4 参考文献

[1] Weng Minhang, Wu Hungwei, Chen Jau-Rung, et al. A novel triple-band bandpass filter using multilayer-based substrates for WiMAX [EB/OL]. [2015-10-17]. 10.1109/

EUMC.2007.4405192.

- [2] Zhang Xiuyin, Xue Quan, Hu Binjie. Planar tri-band bandpass filter with compact size [J]. IEEE Microwave Wireless Components Letters 2010, 20(5): 262-264.
- [3] Jankovic N, Geschke R, Crnojevic-Bengin V. Compact tri-band bandpass and bandstop filters based on Hilbert-Fork resonators [J]. IEEE Microwave Wireless Components Letters 2013, 23(6): 282-284.
- [4] 刘海文, 蒋浩, 雷久怀, 等. 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 [J]. 江西师范大学学报: 自然科学版 2014, 38(4): 370-373.
- [5] 王磊. 利用嵌套缺陷地谐振器实现小型化三通带滤波器 [J]. 科技展望 2015(20): 161.
- [6] 李好, 肖中银, 储君君, 等. 新型开路短路枝节加载三频带通滤波器 [J]. 上海大学学报: 自然科学版 2014, 20(2): 174-179.
- [7] 林磊, 孙守家, 吴边, 等. 一种新型多模三通带滤波器 [J]. 西安电子科技大学学报: 自然科学版 2015, 42(3): 38-42, 96.
- [8] Lin Lei, Wu Bian, Su Tao, et al. Design of tri-band bandpass filter using novel Hexa-mode stub-loaded ring resonator [J]. Microwave and Optical Technology Letters 2015, 57(9): 2005-2008.
- [9] Liu Yun, Zhao Yijie, Zhou Yiguo, et al. Integrated dual-band BPF and single-band BSF for tri-band filter design [J]. Journal of Electromagnetic Waves and Application, 2011, 25(17): 2420-2428.
- [10] Hong Jiansheng, Hussein Shaman, Young-Hoon Chun. Dual-mode microstrip open-loop resonators and filters [J]. IEEE Transactions Microwave Theory and Techniques, 2007, 55(8): 1764-1770.
- [11] Chen Fuchang, Qiu Jieming, Chu Qingxin. Design of compact tri-band bandpass filter using centrally loaded resonators [J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2013, 55(11): 2695-2699.
- [12] Luo Sha, Zhu Lei, Sun Sheng. A dual-band Ring-Resonator bandpass filter based on two pairs of degenerate modes [J]. IEEE Transactions Microwave Theory and Techniques 2010, 58(12): 3427-3432.
- [13] 曹晖晖, 张友俊. 基于折叠枝节加载多模谐振器的超宽带滤波器 [J]. 电子工程设计 2014, 23(1): 123-125.
- [14] 石立雄, 官伯然. 基于枝节加载开环谐振器的带阻滤波器设计 [J]. 微波学报 2014, 30(5): 72-75.
- [15] 赖鑫, 梁昌洪, 李良, 等. 一种新型的微带三通带滤波器设计 [J]. 西安电子科技大学学报: 自然科学版 2010, 37(5): 884-887.
- [16] 黄靖沛, 夏雷. 枝节加载型微带均衡器设计 [J]. 微波学报 2014(51): 199-202.
- [17] 王斌, 官雪辉, 王晓燕, 等. 枝节加载的高性能双模双频

段滤波器 [J]. 华东交通大学学报 2012 29(6):6-10.

Triple-Band Bandpass Filters Based on Asymmetric Fork Stub-loaded Resonator

LIU Haiwen ,RAO Lingxin ,LIU Jianwei ,WEN Pin ,REN Baoping ,ZHU Shuangshuang
(School of Information Engineering ,East China Jiaotong University ,Nanchang Jiangxi 330013 ,China)

Abstract: A novel Triple-mode resonator using asymmetric fork stub-loaded is proposed in this paper. The modes of the resonator can be independently controlled by adjusting the electrical length of asymmetric fork stub-loaded. A tri-band filter with three center frequencies at 2.08 GHz, 2.42 GHz and 3.04 GHz is designed and fabricated on 0.8-mm substrate. The measured results are given and show a good agreement with the theoretical analysis.

Key words: Stub-loaded; Triple-mode resonator; Tri-band; Fork resonator; Bandpass filter(BPF)

(责任编辑: 冉小晓)

(上接第 385 页)

The New Inconsistency-Tolerant Semantics for DL-Lite

LIU Qiuyun¹ ,FU Xuefeng^{2*}

(1. College of Mathematics and Information Science ,Jiangxi Normal University ,Nanchang Jiangxi 330022 ,China;

2. School of Information Engineering ,Nanchang Institute of Technology ,Nanchang Jiangxi 330099 ,China)

Abstract: In ontology engineering, inconsistency will appear in the evolution process of ontologies and the inconsistency of ontologies will lead to the invalidity of reasoning. In order to resolve the problem of reasoning invalid, a new inconsistency-tolerant semantics for dealing with inconsistencies in DL-Lite ontologies has been proposed. The advantage of our inconsistency-tolerant semantics over existing ones has been discussed and the data complexity of union of conjunction queries entailment under the new semantics has been studied.

Key words: DL-Lite; conjunction query; inconsistency handling; inconsistency-tolerant

(责任编辑: 冉小晓)