

平面多模带通滤波器的研究进展^①

刘海文^{*}, 万晶, 沈溧, 张智翀, 史丽云, 姜杨

(华东交通大学信息工程学院, 南昌 330013)

摘要:文章介绍了应用于射频微波系统的平面多模带通滤波器,结合最近几年国内外多模滤波器的研究成果,从平面多模带通滤波器的设计方法等方面阐述了各种多模滤波器的技术发展状态。

关键词:射频微波系统;平面带通滤波器;多模

0 引言

在微波通信电路中,微带线是应用最为广泛传输线之一,因其具有易于加工、成本低、体积小、可大批量印刷生产等优点而被广泛应用于功分器、滤波器、天线等微波器件的设计加工中。滤波器在整个收发机中占有很大的比重。如何开发出性能高、尺寸小、质量轻且成本低的滤波器,是研制人员面临的新的挑战。多模滤波器是微波带通滤波器小型化最有效的方法之一,对谐振器中的2个正交简并模进行微扰,从而使得它们的谐振频率发生分裂,相互之间发生耦合,可以产生滤波器的特性,即相当于在保持谐振回路面积不变的情况下,使谐振器的个数减少了一半^[1]。因此,研究平面多模滤波器具有重要的理论研究价值和应用潜力。

1 常用的平面多模带通滤波器的设计方法

通过分析近些年来国内外对平面多模带通滤波器的研究,可归纳为以下4种主要的设计方法:(1)环式加微扰法;(2)片式加微扰法;(3)DGS加载法;(4)单谐振器加载正交法。该文章将对这4类平面多模带通滤波器进行分类讨论。

1.1 环式加微扰法

环形滤波器因其结构紧凑、设计简单自由且多样化被广泛应用于滤波器设计中。自从 Wolff 第一次提出双模环形带通滤波器后,各式各样的创新双模电路被提出,通过采用方形环形、圆形环形、弯折环形、三角形环形以及五边形、六边形环形谐振器加

载微扰,在产生双模特性的同时,滤波器的尺寸也得到了有效减小。环形谐振器可以看成是双重可调谐振电路,其简并模的激励可以通过垂直馈线结构和引入不同的微扰产生。

图1为常规方形环形滤波器加载片式微扰^[2],从而分离简并模产生双模特性。从图1(d)中可以看出,当环形滤波器加载内切片微扰时,简并模之间呈现感性耦合,表现为准切比雪夫特性;当将微扰改为贴片(内贴片和外贴片)后,简并模之间呈现容性耦合,表现为类椭圆特性。2个模式之间的耦合强度通过改变微扰尺寸的大小来调节。

马刺线呈现为带阻特性,用作微扰并分离简并模简单容易且高效,不仅其大小和形状决定了简并模之间的耦合特性和强度,而且其位置也决定了耦合特性。图2中^[3],当一对马刺线微扰位于A、D处时,模式之间产生容性耦合;将马刺线移到B处后,模式之间转变为感性耦合。耦合特性决定频率响应特性,在图2(c)中也得到了证实。图3中的圆形环形双模带通滤波器^[4],采用垂直正交输入输出馈线的同时,在电路的对称面处加载了两个短接线作为微扰。圆形环形谐振器相对于方形环形谐振器,因其少了弯折处的反射损耗,性能会更佳,从而也简化了等效电路建模。

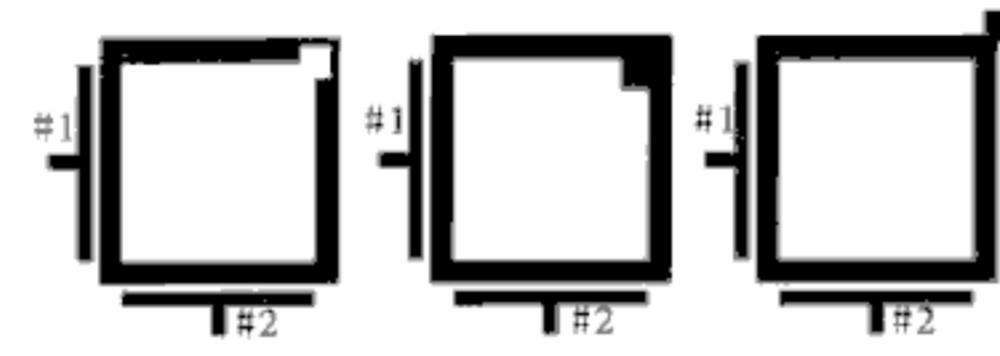
相对于广泛使用的方形、圆形环形滤波器,奇数边或更多边(>4)环形谐振器因其模式特性不明确而很少被讨论研究。近期研究成果中,如图4所示,一种新型的六边形环形双模带通滤波器^[5]通过加载

^① 收稿日期:2011-02-16;修回日期:2011-06-13。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61061001);江西省科技厅自然科学青年基金(2009GQS0018);2010年江西省对外科技合作项目(2010EHA01600)。

片式微扰产生双模,并讨论了不同加载位置对耦合特性的影响。它的微扰加载如同方形片式微扰加载,分为切片和贴片2种,但与方形片式微扰加载的不同之处在于,其耦合特性并不是根据微扰的类型改变,而是根据微扰加载的位置变化而改变。六边

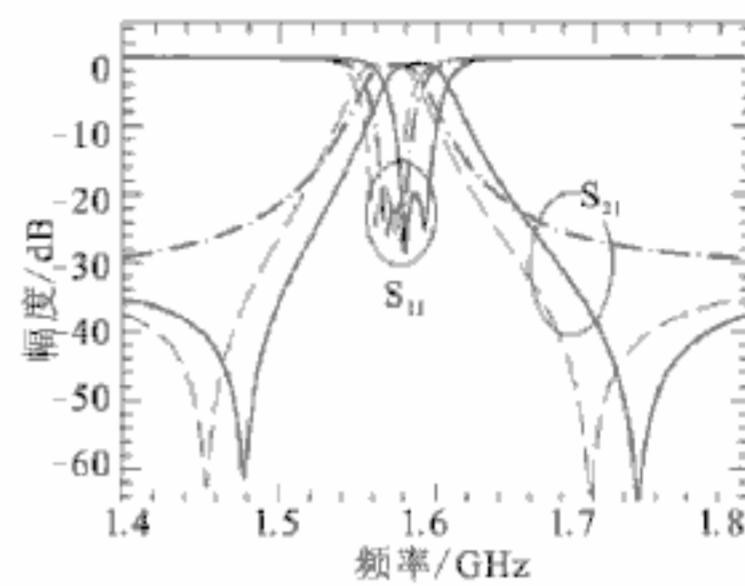
形结构中微扰的加载位置相对于输入输出馈线丰富多变,图4(b)中,当内贴片微扰位于结构1中的位置时,频率响应呈类椭圆特性;当内贴片微扰位于结构2和3中的位置时,频率响应呈准切比雪夫特性。同理,对于内切片微扰结论类似。



(a) 内切片微扰

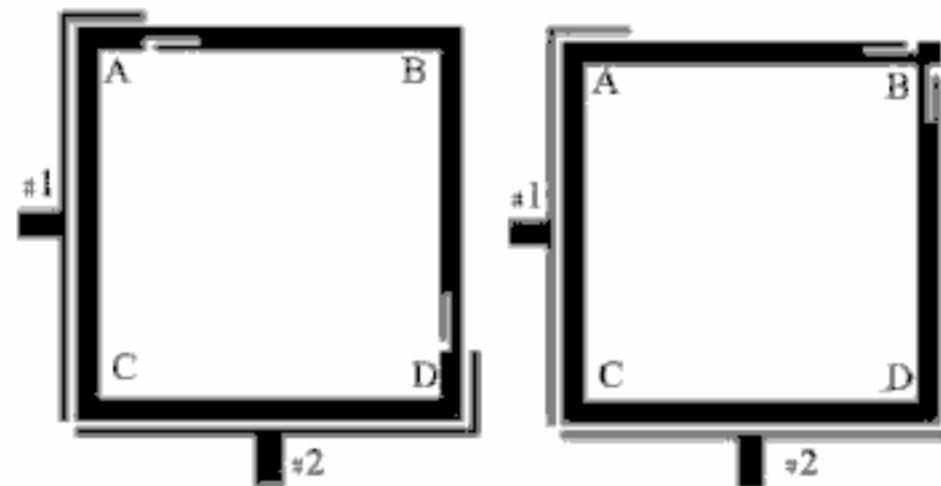
(b) 内贴片微扰

(c) 外贴片微扰



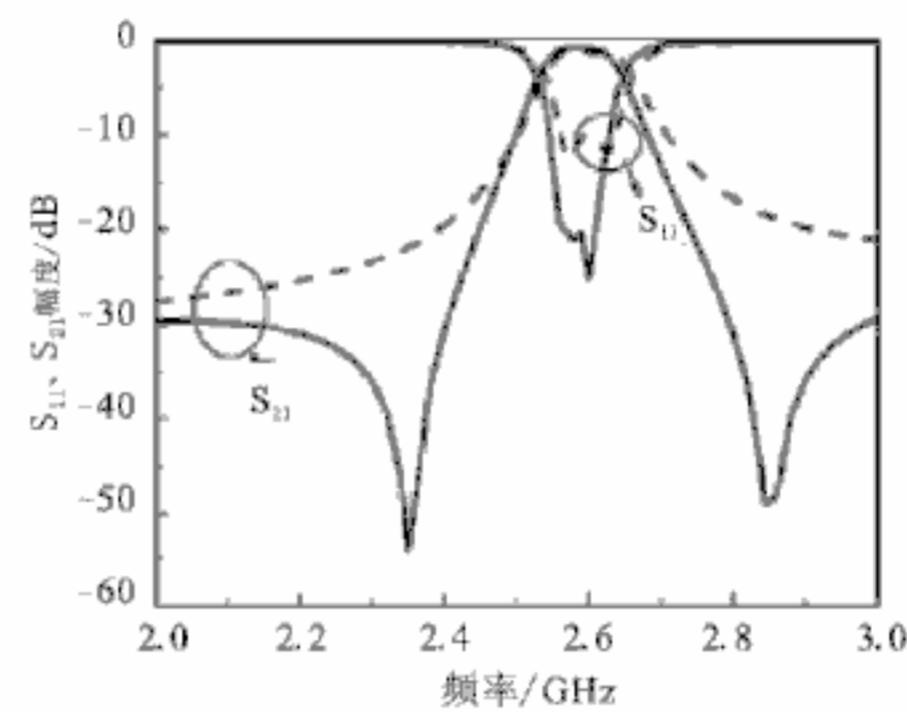
(d) 频率响应图

图1 3种加载片式微扰的双模环形带通滤波器及其频率响应图,其中虚点线为(a)的,实线为(b)的,虚线为(c)的



(a) 马刺线位于A、D处

(b) 马刺线位于B处



(c) 频率响应图

图2 2种加载马刺线微扰的双模环形带通滤波器及其频率响应图,其中实线为(a)的,虚线为(b)的

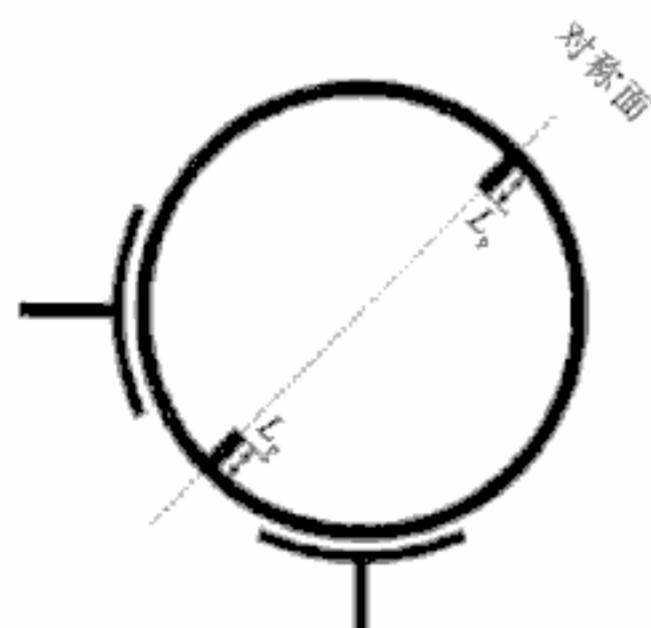


图3 圆形环形双模带通滤波器

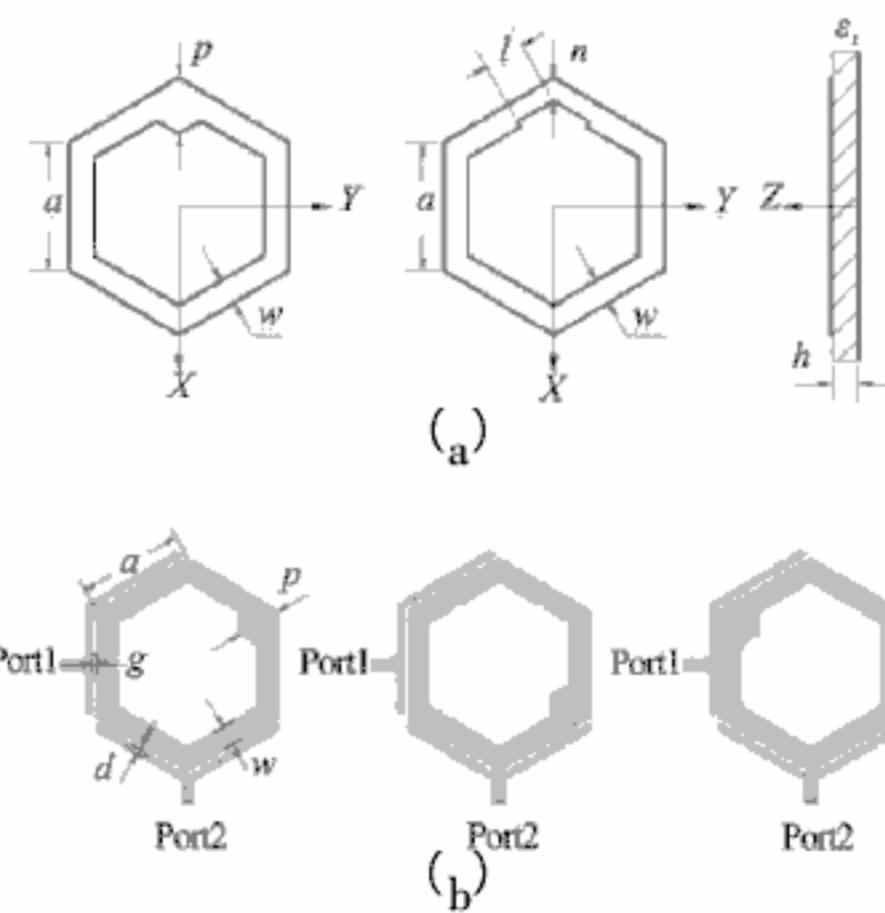


图4 使用2种不同片式微扰的六边形双模环形谐振器(a)及内贴片微扰的不同加载位置(b)

1.2 片式加载法

相比环式结构，片式结构双模滤波器具有低插入损、高功率容量的优点，但其尺寸相对较大。为了进一步缩减片式滤波器结构尺寸，往往需要通过在片上刻槽的方法来增大电流通路的长度，使其在物理尺寸保持不变的情况下，滤波器环路电长度加长；同时，片上刻槽、切片或加载 SIW 的方法可分离简并模产生双模特性。

采用马刺线刻槽作为微扰的双模片式谐振器^[4]已经被提出，且性能优异。类似于马刺线微扰，图 5(a) 中的切片加刻槽做微扰^[5]以及图 5(b) 中的 SIW 结构加刻槽做微扰^[6]，都是通过影响片式谐振器上的电流分布从而增大了电流通路的长度，使其在物理尺寸保持不变的情况下，滤波器环路的电长度加长。最终在获得双模特性的同时，滤波器的尺寸大大减小。

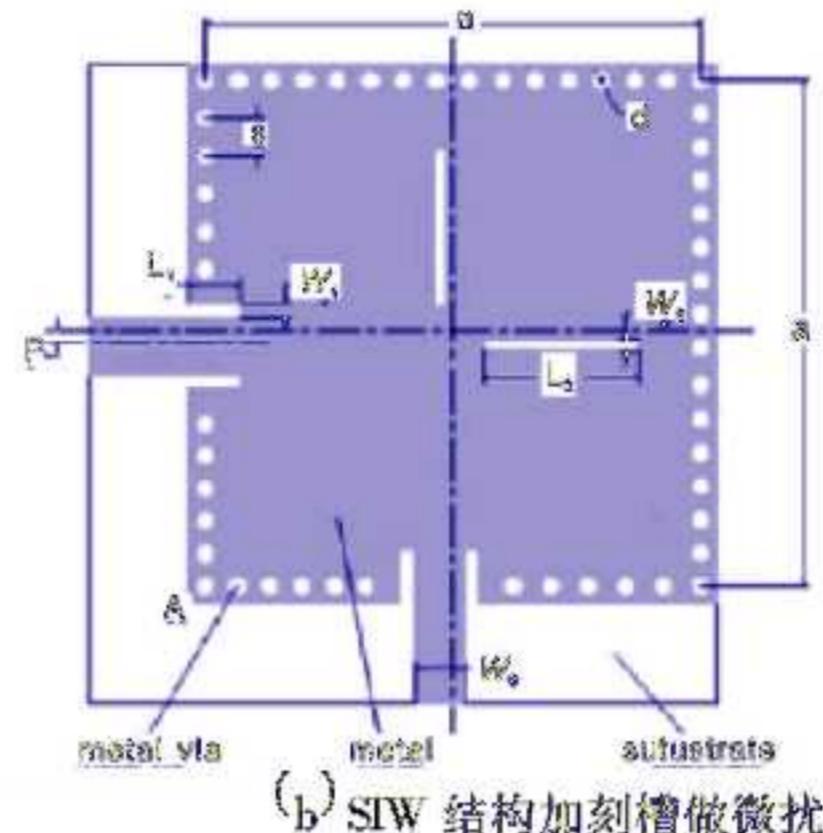
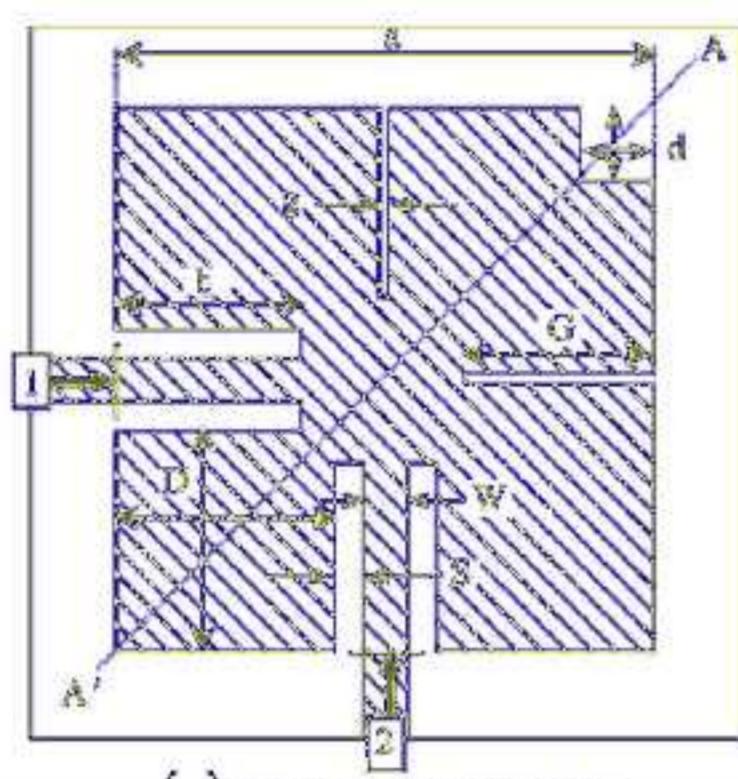


图 5 采用多种加载方式设计双模片式谐振器

对于三角形片式谐振器，类似的加载方式也被采用。图 6 展示了 2 种不同微扰的片式双模带通滤波器，图 6(a) 采用了槽线做微扰^[7]，纵向槽线延长了三角形下边缘电流通路的长度，横向槽线则延长了三角形上边缘电流通路的长度，通过调整槽线长度，使得两个模式的谐振频率分离产生双模特性。

图 6(b) 采用了切片做微扰^[8,11]，通过观察电场分布，三角形片式谐振器存在两个模式：模 1 沿着中垂线对称分布，模 2 则呈现为非对称场模式。因此，将三角形顶端切片处理后，模 1 的谐振频率有了稍微偏移，而模 2 始终没有变化。

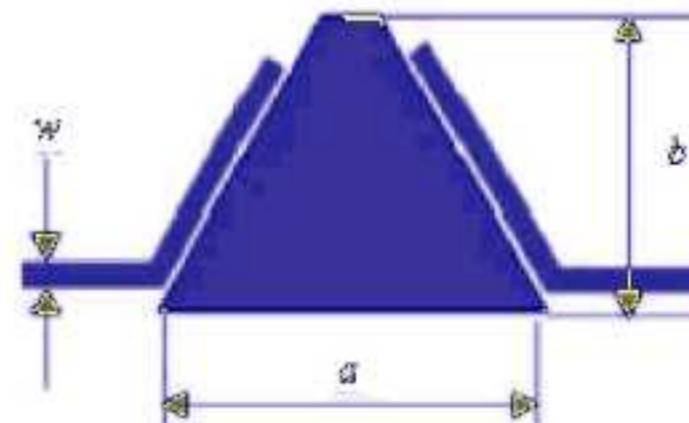
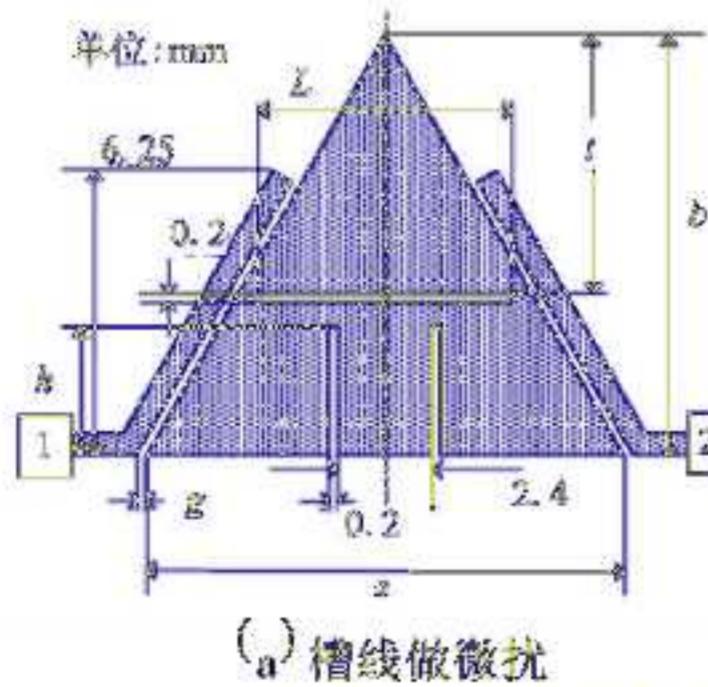


图 6 加载常规微扰的三角形片式双模带通滤波器

1.3 DGS 加载法

缺陷地结构(DGS)是刻蚀在接地面上的具有带阻特性的谐振单元，通过在环形微带谐振器的背部

接地面加载 DGS，用于分离简并模产生双模特性或用于抑制谐波，从而使双模滤波器的设计更丰富，特性更好。

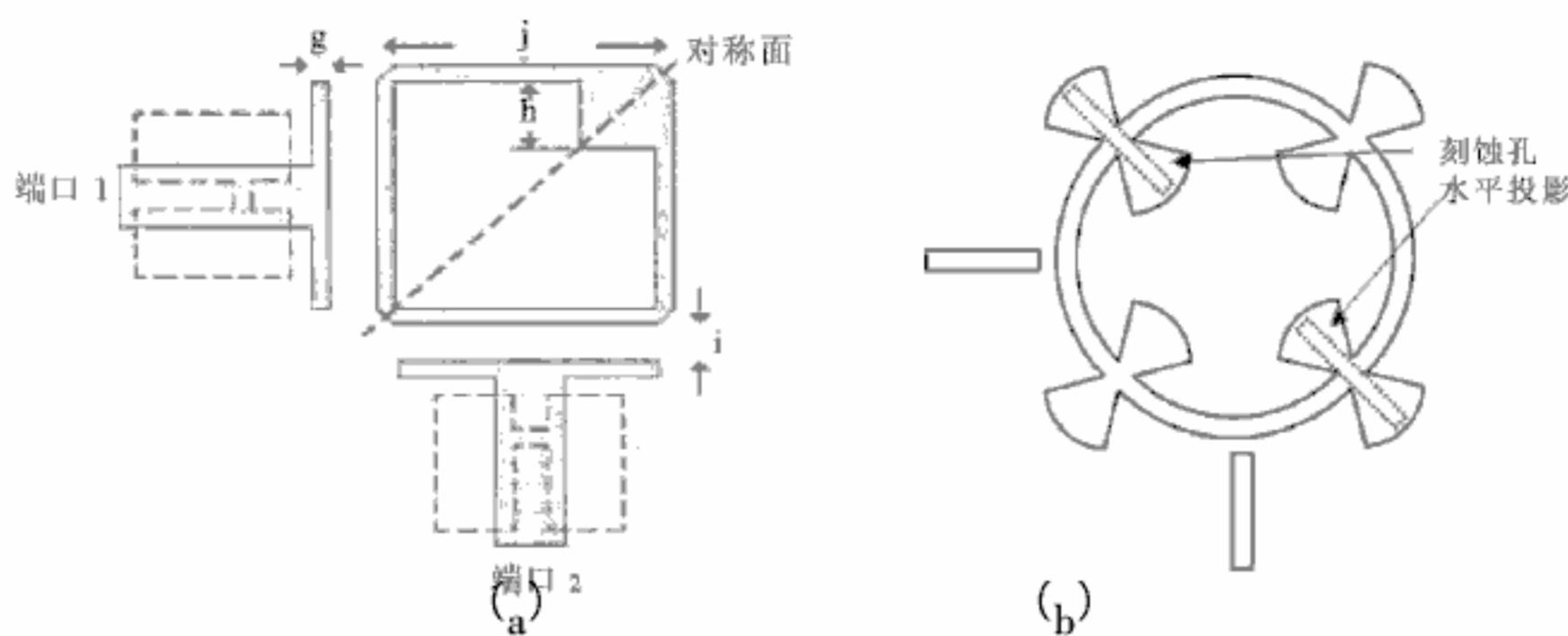


图7 DGS 用于抑制谐波的双模带通滤波器(a) 及 DGS 用于微扰的双模环形带通滤波器(b)

图7(a) 中的双模带通滤波器^[2] 通过在输入输出馈线背部接地面刻蚀 H 型 DGS, 抑制了双模带通滤波器的谐波, 从而使带外阻带特性提高, 谐振器依旧采用常规的加载贴片微扰的双模环形带通滤波器。将 DGS 直接用作微扰的滤波器设计很少被涉及, 如图7(b) 中提到的双模环形带通滤波器^[3] 就是采用了 DGS 作为微扰。环形谐振器上的扇形加载相当于容性加载, 可以实现滤波器的小型化。在环形谐振器的正下方接地面引入 DGS, 扰动了其电流路径, 相当于引入了额外的电长度(相当于串联电感), 从而实现了简并模的分离。

1.4 单谐振器加载正交法

单谐振器加载正交法滤波器从单个开环谐振器发展而来, 通过在半波长开环谐振器中心加载短接线引入奇偶模概念, 从而产生非耦合的双模以及三模特性, 并且可实现传输零点和带宽可控。其尺寸与单个开环谐振器相当, 比常规双模环形谐振器尺寸小。

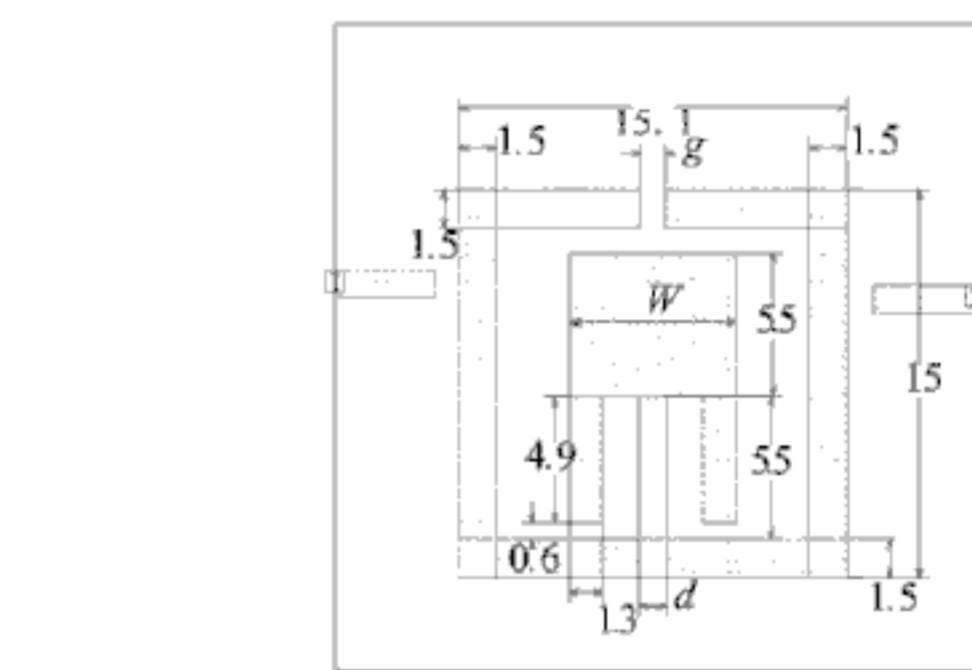


图8 双模微带开环谐振器

图8 中的双模微带开环谐振器^[4] 通过在二分之一波长开环谐振器上加载短接线, 实现了奇、偶模共存从而产生双模的特性。谐振时, 奇模由外侧开环谐振器决定, 电流只分布于外侧开环谐振器上; 而偶模由开环谐振器和负载共同决定, 电流分布于开环及中心负载整个电路中。其中负载不影响奇模特性及其频率响应。此滤波器结构中, 当改变 W 的尺寸时, 可以完成对奇偶模谐振频率和传输零点相对位置的调整。

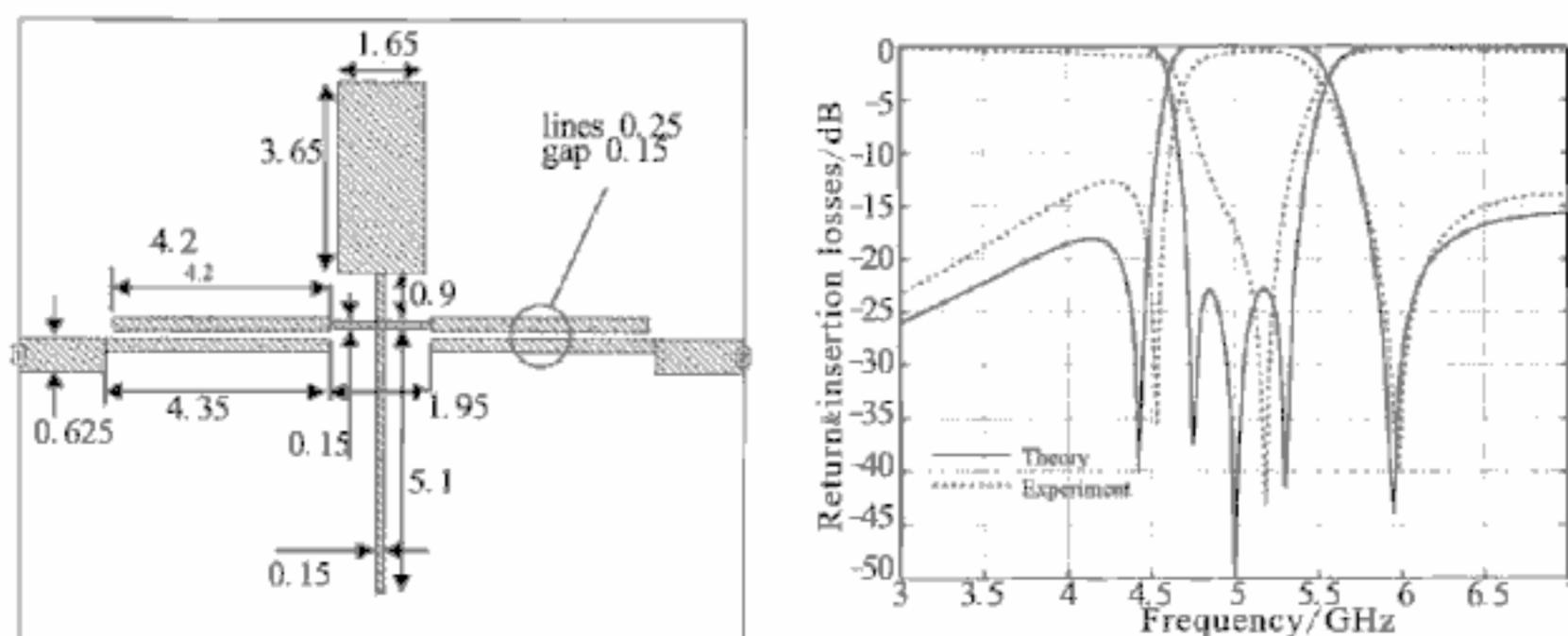


图9 三模带通滤波器

单谐振器加载正交法中的奇偶模因其模式不耦合,所以采用相同的加载方式产生多模便很容易实现。如图9中的加载方式产生了三模带通滤波器^[4],奇模固定不变,通过另一侧加载短接线增加一个偶模,从而实现了两偶一奇3个模式。这种方法设计多模滤波器简单有效,在增加带宽、提高滤波器性能上都是很好的方法。

2 结束语

平面多模带通滤波器的设计为滤波器的小型化提供了有效手段。文章通过研究国内外多模滤波器的研究进展,对其设计方法进行了分类讨论,以便于研究者从各个方面展开深入的设计应用。随着设计方法的提高和工艺技术的日益成熟,从双模到三模再到近些年来越来越多的多模滤波器设计,必将在滤波器的小型化和宽带设计中得到更多的应用。

参考文献:

- [1] Hong J S, Lancaster M J. Microstrip bandpass filter using degenerate modes of a novel meander loop resonator [J]. IEEE Microwave and Guided Wave Letters, 1995, Vol. 5 (11): 371 ~ 372.
- [2] Görür A. Description of coupling between degenerate modes of a dual-mode microstrip loop resonator using a novel perturbation arrangement and its dual-mode bandpass filter applications [J]. IEEE Trans. Microw. Theory Tech., 2004, Vol. 52: 671.
- [3] Hu Wei-liang, Yoshimasu T, Liu Hai-wen. A novel dual-mode square loop passband filter with second spurious passband suppression [C]. 2006 International Conference on Communications, Circuits and Systems Proceedings, June 2006, Vol. 4: 2273 ~ 2276.
- [4] Zhu L, Wu K. A joint field/circuit model of line-to-ring coupling structures and its application to the design of microstrip dual-mode filters and ring resonator circuits [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 1999, Vol. 47 (10): 1938 ~ 1948.
- [5] Mao R J, Tang X H. Novel dual-mode bandpass filters using hexagonal loop resonators [J]. IEEE Trans. Microw. Theory Tech., 2006, Vol. 54: 3526.
- [6] Sung Y, Kim B Y, Ahn C S, et al. Compact and low-insertion-loss dual-mode patch filter with spur-lines [J]. Microwave Opt. Technol. Lett., 43 (2004): 33 ~ 34.
- [7] Akgun O, Tezekici B S, Görür A. Reduced-size dual-mode slotted patch resonator for low-loss and narrowband bandpass filter applications [J]. Electron. Lett. Sep. 2004, Vol. 40 (20): 1275 ~ 1276.
- [8] Li R Q, Tang X H, Xiao F. Substrate integrated waveguide dual-mode filter using slot lines perturbation [J]. Electron. Lett. June 2010, Vol. 46 (12).
- [9] Hu W, Ma Z, Xu D, et al. Microstrip bandpass filter using degenerate dual-modes of slotted equilateral triangular patch resonators [C]. Proc. Asia-Pacific Microwave Conf, Dec. 2005, Vol. 1.
- [10] Hong J S, Li S Z. Theory and experiment of dual-mode microstrip triangular patch resonators and filters [J]. IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Apr. 2004, Vol. 52 (4): 1237 ~ 1243.
- [11] Hong J S and Lancaster M J. Microstrip filters for RF/microwave applications [M]. Wiley, New York, 2001.
- [12] Weng M H, Wu H W. Stopband improvement of a dual-mode ring bandpass filter [J]. Microw. Opt. Technol. Lett., 44 (2005): 247 ~ 249.
- [13] Tan B T, Yu J J, Chew S T, et al. A miniaturized dual-mode ring bandpass filter with a new perturbation [J]. IEEE Trans. Microwave Theory Tech., 53 (2005): 343 ~ 348.
- [14] Hong J S, Shaman H, Chun Y H. Dual mode microstrip open-loop resonators and filters [J]. IEEE Trans. Microwave Theory Tech., 55 (2007): 1764 ~ 1770.
- [15] Zhu L, Menzel W. Compact microstrip bandpass filter with two transmission zeros using a stub-tapped half-wavelength line resonator [J]. IEEE Microw. Wireless Compon. Lett., 2003, Vol. 13 (1): 16 ~ 18.

作者简介:

刘海文 1975年生,博士,教授。研究方向为微波电路、无线通信和雷达工程。

(下转第67页)

Analysis and Implementation of ZOOM-FFT Algorithm Based on Complex Analytic Band-pass Filter

XU Ting

(School of Electronic Engineering, University of Electronic Science and Technology of China,
Chengdu 611731, China)

Abstract: In order to zoom spectrum, the principle of ZOOM-FFT algorithm based on complex analytic band-pass filter is investigated in this paper. The core of this algorithm that is the design methods of complex analytic band-pass filter is then discussed. So the passband and stopband characteristics effectively can be controlled. ZOOM-FFT algorithm is implemented on TMS320DM6437 DSP by process of determining whether there is a need to adjust the zoom center frequency (if yes, adjust the center frequency) -constructing a complex analytic band-pass filter-selected pumping and filtering-if not adjust the center frequency, frequency shift-FFT. The spectrum of signals is detailed in this means.

Key words: ZOOM-FFT; Filter; Spectrum; DSP

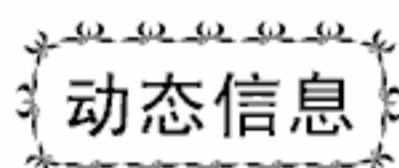
(上接第 54 页)

Research Progress of Planar Multi-mode Bandpass Filter

LIU Hai-wen, WAN Jing, SHEN Li, ZHANG Zhi-chong, SHI Li-yun, JIANG Yang
(College of Information Engineering, East China University of Jiaotong, Nanchang 330013, China)

Abstract: Some applications of planar multi-mode bandpass filter are introduced in this article in radio frequency and microwave systems. Combined with the research achievements of multi-mode filters in recent years, the design method and the state of art of various multi-mode filters are discussed.

Key words: Radio frequency microwave systems; Plane bandpass filter; Multi-mode



《2011 年中国的航天》白皮书公布未来五年主要任务

据国务院新闻办公室于 2011 年 12 月 29 日发表的《2011 年中国的航天》白皮书指出，未来五年我国将开展载人登月前期方案论证。我国将按照“绕、落、回”三步走的发展思路，继续推进月球探测工程建设，发射月球软着陆和月面巡视探测器，完成月球探测第二步任务。启动实施以月面采样返回为目标的月球探测第三步任务。白皮书还指出，“十二五”期间，我国将增强现役运载火箭的可靠性和发射适应性，发展新一代运载火箭和运载火箭上面级，实现“长征五号”、“长征六号”、“长征七号”运载火箭首飞。同时，未来五年我国将发射空间实验室、载人飞船和货运飞船，突破和掌握航天员中期驻留、再生式生命保障及推进剂补加等空间站关键技术，为空间站建设进行技术准备。未来五年，我国将加强航天工业基础能力建设，超前部署前沿技术研究，继续实施载人航天、月球探测、高分辨率对地观测系统、卫星导航定位系统、新一代运载火箭等航天重大科技工程以及一批重点领域的优先项目，从而推动航天事业的全面、协调、可持续发展。

摘自《西安晚报》2011 年 12 月 30 日

微波滤波器设计培训——视频课程

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养，是国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地。客户遍布中兴通讯、研通高频、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们推出的微波滤波器设计培训专题，有资深工程师领衔主讲，课程既有微波滤波器设计原理的详细解释，也有各种仿真分析工具的实际设计应用讲解，设计原理和设计仿真实践相结合，向大家呈现各种结构的微波滤波器的完整设计流程。旨在帮助大家透彻地理解并实际的掌握各种微波滤波器的设计。



微波滤波器设计培训专题视频课程

高清视频，专家授课，中文讲解，直观易学；既有微波滤波器设计原理的详细解释，也有像 ADS、CST、HFSS 各种仿真分析工具的实际设计应用讲解，旨在帮助大家透彻地理解并实际的掌握各种微波滤波器的设计。

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/filter/>

更多专业培训课程：

- **HFSS 视频培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/>

- **CST 视频培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/>

- **天线设计专业培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/>