

文章编号: 1005-0523(2010)02-0045-08

微波双带带通滤波器的研究与进展

张智翀 沈 漂 姜 杨 史丽云 官雪辉 刘海文

(华东交通大学 信息工程学院 江西 南昌 330013)

摘要: 随着无线通信需求的不断增加, 双频便携式电话和无线局域网被广泛应用, 双带滤波器也成为这些通信系统前端的重要器件, 其具有小型化、低功耗、高选择性等特点, 非常适合应用于现代通信系统。该文主要研究微波双带带通滤波器的设计理论和研究方法, 介绍近几年微波双带带通滤波器的研究与进展, 并从电路结构特征及设计方法上对其进行了分类讨论, 最后简要报道我们在双带带通滤波器领域的研究工作以及微波双频带滤波器的研究态势与未来的展望。

关键词: 微波; 滤波器; 双带; 带通

中图分类号: TN713⁺.5

文献标识码: A

伴随着信息革命的浪潮, 无线通信技术近几年进入了高速发展时期。由于人们可以使用的频谱资源是有限的, 特别是射频与微波频段低段可以说已经到了捉襟见肘的地步, 因此单频段通信系统已显得陈旧, 不能很好地满足无线通信的需求, 通信向更高频段发展, 又同时能兼容现用的各种通信频段资源的双频和多频通信系统是今后无线通信的一个发展方向。为了充分利用现有的频谱和基础设备资源, 在通信系统中设置能同时工作的多个通信频段, 有效途径之一就是研究和开发高性能的双频段微波滤波器。双频段微波滤波器, 是用一个双频段单元来处理两个波段的信号, 这种设计概念提供了容易实现的基础设施和高性能的产品。采用具有单端口输入单端口输出的双频段滤波器可以大大降低系统体积, 提高系统可靠性, 因此通信设备中双频段滤波器已经成为微波频段的无线通信设备中的重要元件。近年来中国的通信与信息技术发展及应用日新月异, 通信与信息产业已成为我国的经济支柱产业之一, 而无线通信相关产业又是其中发展最快的部分之一, 例如, 双频滤波器已经广泛应用于 GSM/GPRS 系统(0.9/1.8 GHz 频段)、WLAN 系统(2.4/5.2/5.8 GHz 频段)等无线通信领域。因此研究双频段滤波器理论, 开发无线通信中的双频段滤波器具有极其重要的理论意义、极大的经济效益和广阔的应用前景。

1 微波双带带通滤波器主要实现形式

近年来微波双带带通滤波器出现了各种新型结构, 从主要设计思想、设计方法来看可分为 5 大类, 分别是加载枝节方法、双谐振器方法、阶跃阻抗高次谐波方法、缺陷地方法、双模方法。

1.1 加载枝节方法

加载枝节方法的微波双频带滤波器由导纳变换器、相当于电感的细传输线与相当于电容的粗传输线组成, 其主要通过加载短截线长度粗细的不同来得到不同的谐振频率以达到双通带的目的。其设计的主要思路是利用低通原型电路, 采用一次频率变换后得到带通滤波特性电路, 得到的带通滤波器通过另一次频率变换后得到双频带通滤波器, 在进行频率变换的同时, 通过引入导纳变换器对电路经过二次变换, 得到只含有 LC 串联或 LC 并联谐振器与导纳变换器的双频带通电路。而在实际设计中, 电路中的导纳变换器可以用四分之一波长微带线来实现, LC 串联谐振回路和 LC 并联谐振回路分别可用四分之一波长开路线和短路线实现。通常为了提高滤波器的边带特性, 常需要增加滤波器的级数来实现。

收稿日期: 2009-10-21

基金项目: 韩国国家研究基金会国际合作项目(KRF-2009-220-D00074); 东南大学毫米波国家重点实验室开放基金项目(K200918)

作者简介: 张智翀(1988-), 男, 硕士研究生, 研究方向为微波技术。

2006年Chen Chuyu与Hsu Chengying等人^[5]提出了一种使用双平行输入结构的双带滤波器,该滤波器工作于2.45 GHz和5.7 GHz频段,其主要特点是两谐振器之间采用了电耦合与磁耦合共存的混合耦合方式,磁耦合强度和谐振器的传输线宽度有关,阻抗越大的传输线,电流分布越大,产生的磁场也越大,因此采用了阶跃阻抗谐振器的结构。因为是双平行输入结构,该滤波器的频率选择性与插入损耗被大大改善,且尺寸更加紧凑,在无线通信中有着广泛的应用前景。其结构图如图5所示。

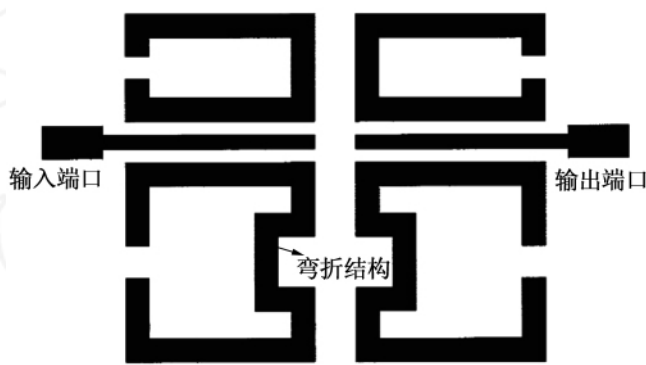


图4 双带耦合微带开环滤波器结构

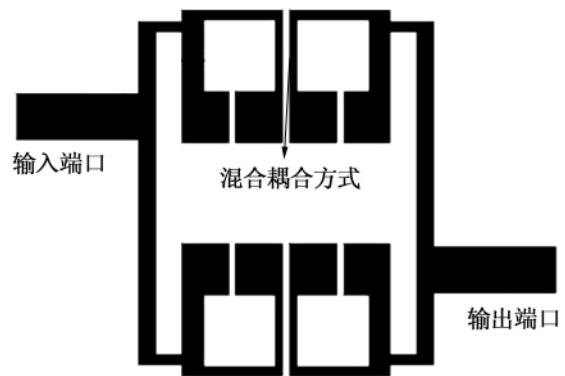


图5 使用双平行输入结构的双带滤波器结构

2008年Lung Hwa与Gerald L Stolarczyk等人^[6]基于上面同样的原理提出一种使用平行连接开路环形谐振器的双带带通滤波器,该滤波器工作于1.85 GHz和2.33 GHz频段,其产生双频段主要是由于上下不对称的馈线结构造成了谐振频率的不同。该滤波器生产时无需打孔到地,且高频通带不是由二次谐波产生,其双通带的位置可以随意调节,每个通带可以单独优化,具有良好的可调性。其结构图如图6所示。

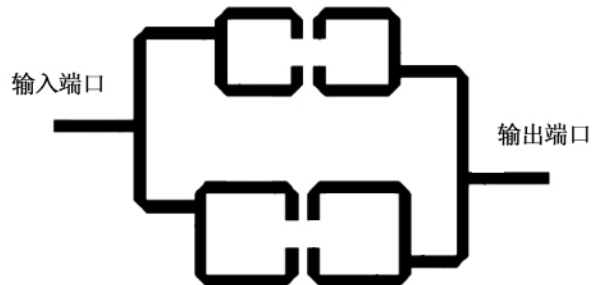


图6 使用平行连接开路环形谐振器的双带带通滤波器结构

1.2.2 串联

2007年Jiang Meshon与Lin Hueiping等人^[7]在提出了一种对高次谐波抑制的双通带准椭圆函数滤波器,该滤波器工作在2.4 GHz和5.2 GHz频段,其交叉耦合结构可以在设计的频段产生一对传输零点来增强通带的选择性,不同于传统的阶跃阻抗谐振器,该阶跃阻抗谐振器被折叠形成了一条有着奇偶模特性阻抗的耦合线。此滤波器和上面所述滤波器最大的不同就是他们中的第3个谐振器交错能实现高次谐波抑制。其结构图如图7所示。

1.2.3 内嵌

2006年Chen Chifeng与Huang Tingyi等人^[8]提出了一种谐振器内嵌的滤波器,该滤波器主要工作原理如图8所示,谐振器1分别通过导纳变换器与上下不同的均匀阻抗谐振器和阶跃阻抗谐振器耦合,再通过导纳变换器与谐振器4耦合,以及谐振器1与谐振器4直接通过导纳变换器耦合,于是产生了具有良好特性的双通带滤波器。

2009年Zhang Xiuyin与Jin Shi等人^[9]提出了一种使用新型传输结构的双带带通滤波器,该滤波器工作在1.8 GHz和2.45 GHz频段,产生双频带主要是由于内外的均匀阻抗谐振器的物理尺寸不同,以致于引导波长不同,在不同的频率段产生谐振,外部的谐振器产生低频段的通带,内嵌的谐振器产生了高频段的通带。此外,其中内嵌的谐振器还采用了交趾结构,大大增强了其耦合特性。其结构图如图9所示。



图7 高次谐波抑制的双带通准椭圆函数滤波器结构

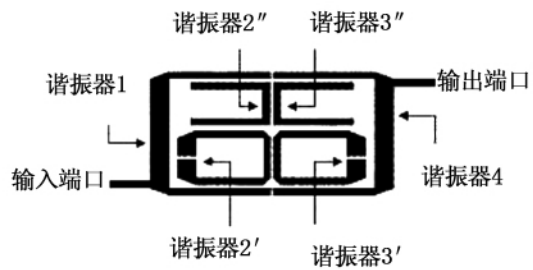


图8 谐振器内嵌的滤波器结构

1.3 阶跃阻抗高次谐波方法

SIR(阶跃阻抗谐振器)就是由两个以上具有不同特征阻抗的传输线组合而成的横向电磁场或准横向电磁场模式的谐振器。这种谐振器的最主要优点就是在结构和设计上有很大的自由度。这种方法的原理是利用 SIR 能产生可控谐振频率与二次谐波频率,把 SIR 谐振器的基频设置成我们所需要的双频中的较低频,把 SIR 谐振器的二次谐波频率设置成我们所需要的双频中的较高频,从而实现双频带。实现公式为 $\frac{f_1}{f_0} = \frac{\pi}{2 \tan^{-1} \sqrt{K_0}}$ 。其中: f_0

为 SIR 的谐振频率(也就是基频); f_1 为 SIR 的二次谐波频率; K_0 为 SIR 的阻抗比。

2005 年 Sheng Sun 和 Lei Zhu 等人^[10]提出用上述方法实现的双带带通滤波器,该滤波器工作在 2.4 GHz 和 5.2 GHz 频段。图 10 为该滤波器的结构图,外部为 50 Ω 输入输出馈线,内部为一对二分之一波长 SIR,对于 SIR,调节 K_0 ,使得 $\frac{f_1}{f_0} = \frac{\pi}{2 \tan^{-1} \sqrt{K_0}} = \frac{5.2}{2.4}$ 。同时调节 SIR 的长度,使得 $f_0 = 2.4$ GHz,从而实现双带带通特性。

2007 年 Chang Yuchi 和 Kao Chiahsiung^[11]等人提出既然二分之一波长 SIR 能实现,那四分之一波长 SIR 也能实现。图 11 为四分之一波长 SIR 实现的双带带通滤波器的结构图,外部为 50 Ω 输入输出馈线,内部为一对四分之一波长 SIR。

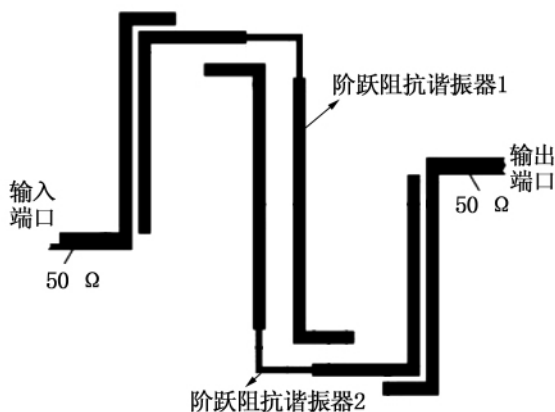


图10 利用二分之一波长 SIR 的谐波的双带带通滤波器结构

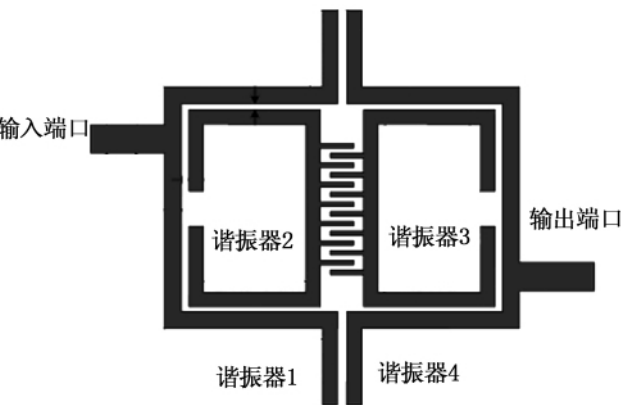


图9 新型传输结构的双带带通滤波器结构

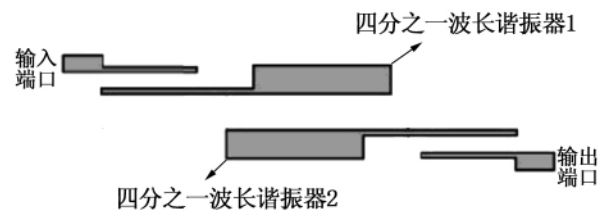


图11 利用四分之一波长 SIR 的谐波的双带带通滤波器结构

1.4 (DGS) 缺陷地方法

DGS(Defect Ground Structure) 缺陷地结构就是在接地面刻蚀缺陷图案,这种结构有着极好的带隙效应和慢波效应。最早是2001年,韩国安教授在“A design of the low-pass filter using the novel microstrip defected ground structure”^[12]首次提出的。此后,DGS广泛应用于微波、毫米波电路。这种方法的原理是利用DGS也能构成谐振器,因此可以做成我们所需要的两种不同频率的两对谐振器,从而实现双频带特性。根据这两对谐振器是否都由DGS构成,可以分为两对谐振器都由DGS构成和一对DGS另一对微带SIR(或UIR)。

1.4.1 两对谐振器都由DGS构成

2008年Wu Bian,Liang Changhong等人^[13]提出利用两对DGS谐振器实现双带带通特性。如图12所示,面积较大的这对DGS谐振器实现1.85 GHz带通特性,面积较小的这对DGS谐振器实现2.35 GHz带通特性,从而实现双带带通特性。

1.4.2 一对谐振器由DGS构成另一对由微带构成

2008年Wu Bian,Liang Changhong等人^[14]又提出利用一对谐振器由DGS构成,另一对由微带构成,实现双带带通特性。如图13所示,下面的DGS谐振器实现2.35 GHz带通特性,上面的微带SIR谐振器实现3.15 GHz带通特性,从而实现双带带通特性。

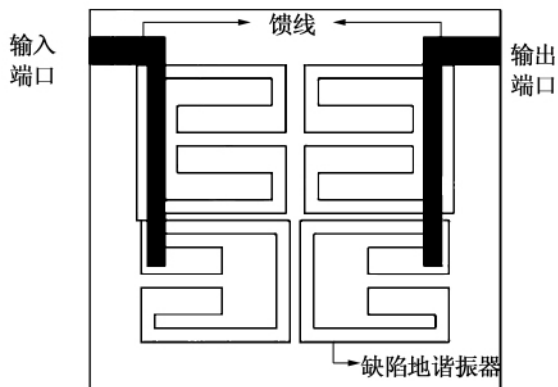


图12 利用两对 DGS 谐振器的双带带通滤波器结构

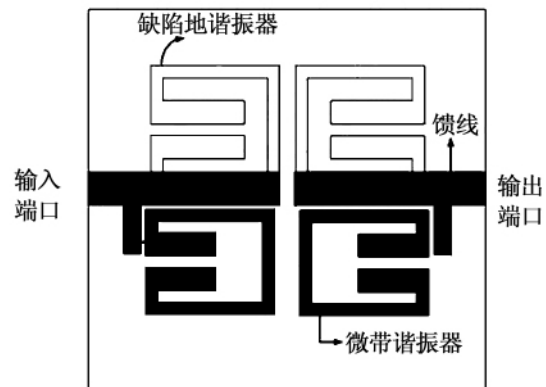


图13 利用一对谐振器由 DGS 构成另一对由微带构成的双带带通滤波器结构

1.5 双模方法

两个闭合环路可以看作两个全波长谐振器,由于这两个全波长谐振器的长度不同,大环可以在较低频谐振,小环可以在较高频谐振。因此可以产生两个谐振频率,再加上微扰可以劈开双模,利用这个原理可以做成双模双带带通滤波器。

2007年Chen Z X,Dai X W等人^[15]提出利用大方形环嵌套小方形环加微扰可以产生双模双带带通特性。图14为大方形环嵌套小方形环的双模双带带通滤波器结构设计图,大方形环嵌套着小方形环,微扰1、微扰2所对应的方形贴片就是用来劈开双模的微扰。该滤波器实现的是3.7 GHz、5.8 GHz双模双带通特性。其中大方形环谐振器的谐振频率为3.7 GHz,小方形环谐振器的谐振频率为5.8 GHz。

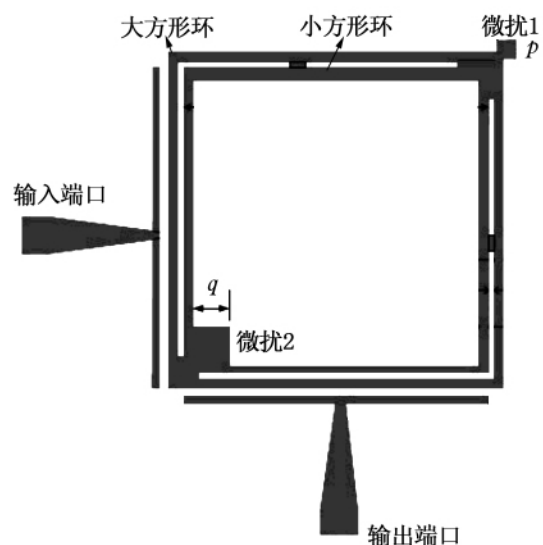


图14 大方形环嵌套着小方形环的双模双带带通滤波器

2007 年 Zhao L P, Dai X W, Chen Z X 等人^[16]提出利用大三角形环嵌套小三角形环也可以产生双模双带带通特性。图 15 为大三角形环嵌套小三角形环的双模双带带通滤波器结构设计图,大三角形环谐振器的谐振频率为 5.15 GHz,小方形环谐振器的谐振频率为 7.28 GHz。

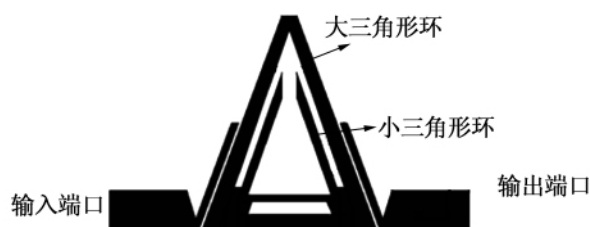


图 15 大三角形环嵌套小三角形环的双模双带带通滤波器

2 我们的工作

WLAN(Wireless Local Area Network) 指应用无线通信技术将计算机设备互联起来,构成可以互相通信和实现资源共享的网络体系。无线局域网本质的特点是不再使用通信电缆将计算机与网络连接起来,而是通过无线的方式连接,从而使网络的构建和终端的移动更加灵活。由于无线局域网的通信频率为 2.4 GHz 和 5.2 GHz。我们设计了一个通带分别为 2.4 GHz 5.2 GHz 的双带带通滤波器,结构图如图 16,其中 2.4 GHz 为基频,5.2 GHz 为二次谐波频率,其幅度与频率关系如图 17 所示。

该滤波器的优点为

- (1) 这两个通带频率可控,根据第 3 种方法阶跃阻抗高次谐波方法,我们将其调节至 2.4 GHz 和 5.2 GHz。
- (2) 外部品质因数 Q_e 可以通过改变输入输出较短耦合馈线的长度来调节。
- (3) 谐振器之间的耦合系数 K 可以通过改变这两个谐振器之间的距离直接调节。

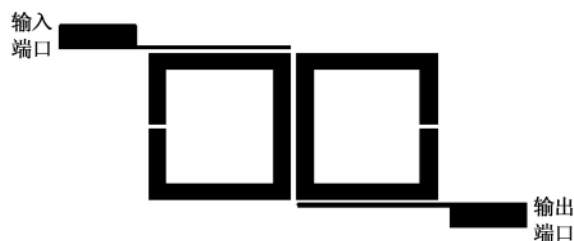


图 16 我们设计的双频段滤波器结构图

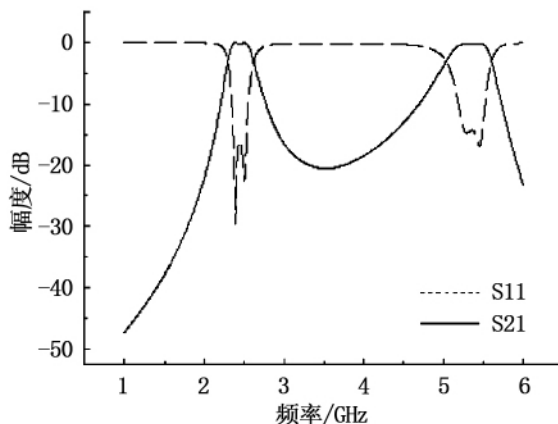


图 17 双频段滤波器结果图

3 微波双频带滤波器研究态势与未来展望

通过上述对微波双带带通滤波器设计方法的归纳与总结,微波双带带通滤波器还存在以下几方面值得进一步扩充和深入。

滤波器带宽的控制。利用 SIR 结构和慢波结构谐振器可以实现滤波器通带位置的控制,但是谐振器之间的耦合需要同时满足两个频段的要求,因此滤波器的频带控制范围比较小。并且为了提高滤波器的特性,在增加滤波器的级数时谐振器之间的耦合更难设计,特别当滤波器引入交叉耦合时,同一谐振器需要满足两个频段、两组耦合系数的要求,实现方法还值得进一步探讨。

滤波器的高性能化。高性能的滤波器是滤波器设计者的一个孜孜不倦的追求目标,双频段滤波器也不例外。在利用通用滤波器电路综合设计双频段滤波器时,虽然带宽可以比较自由控制,但是由于电路中需要的双频段倒置变换器,这种直接耦合形式的双频段滤波器的低频特性比较差,同时由于电路的谐波响

应,滤波器的阻带非常窄,因此滤波器的阻带特性还有待提高。

双频带滤波器的小型化也是滤波器设计的一个重要课题。各种形式的谐振器结构和滤波器电路结构都用来降低滤波器的体积,但是这些方法都是基于单层电路。采用多层电路也可以有效降低滤波器的体积,特别是LTCC技术,把滤波器电路的各个部分分别安排在多层结构的层面上,滤波器的体积可以做的非常小,适合在模块化电路中应用,也有利于滤波器的批量生产,降低成本。

本文系统分析了双频段滤波器的设计理论和方法。随着通信技术的不断发展,相信在不久的将来,会有更多的通信频段应用到生活中,满足人们日益增长的多元化通信要求,因此,多频段共用技术必将得到更大地发展。这种发展和应用双频段(多频段)通信技术,不但可以缓解频谱资源日益紧张的问题,而且建设和发展多频段通信也可以为国家节省大量的通信产业基础建设资金。

参考文献:

- [1] GUAN XUEHUI, MA ZHEWANG, CAI PENG, ANADA TETSUO, GEN HAGIWARA. Design of microstrip dual-band bandpass filter with controllable bandwidth[J]. Microwave and Optical Technology Letters 2007, 49(3): 740-742.
- [2] LI LIN, LI ZHENG FAN. Design of a new dual-band microstrip bandpass filter with multiple transmission zeros[J]. Microwave and Optical Technology Letters 2008, 50(11): 2874-2877.
- [3] MA ZHEWANG, SHIMIZU TAICHI, KOBAYASHI YOSHIO, ANADA TETSUO, GEN HAGIWARA. Design and implementation of microwave dual-band bandpass filters using microstrip composite resonators[J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2008, 50(6): 1628-1632.
- [4] CHUANG MING LIN. Cascaded dual band coupled microstrip open-loop filter[J]. Microwave and Optical Technology Letters 2005, 45(6): 519-522.
- [5] CHEN CHUYU, HSU CHENGYING, CHUANG HUEYRU. Design of miniature planar dual-band filter using dual-feeding structures and embedded resonators[J]. IEEE Microwave and Wireless Components Letters 2006, 16(12): 669-671.
- [6] HSIEH LUNHWA, GERALD L STOLARCZYK, CHANG KAI. Microstrip dual-band bandpass filters using parallel-connected open-loop ring resonators[J]. International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering 2008, 18(3): 219-224.
- [7] JIANG MESHON, LIN HUEIPING, KUO JENTSAL. Design of quasi-elliptic function filters with dual-passband Responses and multi-spurious suppression[C]. Asia-Pacific Microwave Conference 2007: 2365-2368.
- [8] CHEN CHIFENG, HUANG TINGYI, WU RUEYBEEI. 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.
- [9] ZHANG XIUYIN, SHI JIN, CHEN JIANXIN, XUE QUAN. Dual-band bandpass filter design using a novel feed scheme[J]. IEEE Microwave and Wireless Components Letters 2009, 19(6): 350-352.
- [10] SUN SHENG, ZHU LEI. Compact dual-band microstrip bandpass filter without external feeds[J]. IEEE Microwave and Wireless Components Letters 2005, 15(10): 644-646.
- [11] CHANG YUCHI, KAO CHIAHSIUNG, WENG MINHANG, YANG RUYUAN. A novel compact dual-band bandpass filter using asymmetric SIRs for WLANs[J]. IEEE Microwave and Wireless Components Letters 2008, 50(5): 1237-1240.
- [12] DAL A, PARK J S, KIM C S, KIM J, QIAN Y X, ITOH T. A design of the low-pass filter using the novel microstrip defected ground structure[J]. IEEE Trans Microwave Theory Tech 2001, 49(1): 86-93.
- [13] WU BIAN, LIANG CHANGHONG, QIN PEIYUAN, LI QI. Compact dual-band filter using defected stepped impedance resonator[J]. IEEE Microwave and Wireless Components Letters 2008, 18(10): 674-676.
- [14] WU BIAN, LIANG CHANGHONG, QIN PEIYUAN, LI QI. Novel dual-band Filter Incorporating Defected SIR and Microstrip SIR[J]. IEEE Microwave and Wireless Components Letters 2008, 18(6): 392-394.
- [15] CHEN Z X, DAI X W, LIANG C H. Novel dual-mode dual-band bandpass filter using double square-loop structure[J]. Progress in Electromagnetics Research 2007, 77(2): 409-416.
- [16] ZHAO L P, DAI X W, CHEN Z X, LIANG C H. Novel design of dual-mode dual-band bandpass filter with triangular resonators[J]. Progress in Electromagnetics Research 2007, 77(2): 417-424.

Research and Development of Microwave Dual – band Bandpass Filter

Zhang Zhichong ,Shen Li ,Jiang Yang ,Shi Liyun ,Guan Xuahui ,Liu Haiwen

(School of Information Engineering ,East China Jiaotong University ,Nanchang 330013 ,China)

Abstract: In recent years ,dual – band portable telephones and WLAN(wireless local area networks) become quite popular due to the need of wireless mobile communications. Dual – band filters become key components in the front of these communications systems due to its characteristics of miniaturization ,low loss and good selection. This paper gives a study on the design technique and theory of dual – band filters and introduces the development of the dual – band microstrip filter in recent years. Based on the circuit structure and design method ,the dual – band filters are classified and discussed. Finally ,our work in this field and the prospect of dual – band filter is briefly reported.

Key words: microwave; filter; dual – band; bandpass

(责任编辑 刘棉玲)

(上接第 44 页)

A Design of Vehicle Remote Tracking Alarm Based on GSM and GPS Technology

Yu Weiqing ,Liu Juping

(School of Mechanical and Electrical Engineering ,East China Jiaotong University ,Nanchang 330013 ,China)

Abstract: GSM communication technology can overcome the defects such as short distance ,and single alarming form of existing conventional vehicle sound and light alarm. GPS technology can provide the geographic coordinate of the vehicle. The vehicle remote tracking alarm of SPCE061A core is designed in the paper. The working principles of hardware are discussed ,and the corresponding software flowchart is given. The property has good results and reliability. Therefore ,it can be applied to various occasions which require location monitoring.

Key words: SPCE061A; GSM; GPS; remote monitor; embedded

(责任编辑 王建华)