

# 一种结构新颖的双通带滤波器的仿真设计

申 凯<sup>1,2</sup>, 雷 坚<sup>3</sup>, 许 冰<sup>1</sup>

(1. 空军装备研究院防空所, 北京 100085;

2. 空军 93605 部队, 北京 102100;

3. 兰州军区 68046 部队, 甘肃张掖 734000)

**摘 要:**为使工作在多个分离频段的无线通信系统能够公用一个多模终端实现不同的业务需求,采用零极点综合技术抽取了滤波器的耦合矩阵,借助经验公式实现了普通波结构滤波器向基片集成波导滤波器的转换,最终设计了一个结构新型双通带滤波器。仿真结果表显示滤波器通带内回波损耗大于15dB,插损小于1.8dB,通带间隔大于13dB。与传统矩形波导双通带滤波器相比,该滤波器具有成本低、重量轻、体积小和容易加工等优点。

**关键词:**双通带滤波器;传输零点;基片集成波导;耦合矩阵

**中图分类号:**TN713 **文献标识码:**A **文章编号:**1673-5692(2012)02-196-04

## Simulative Design of a Novel Dual-Passband Filter

SHEN Kai, LEI Jian, XU Bin

(1. EAAF Equipment Institute of Land-based Air Defence, Beijing 100085, China;

2. The Air Force 93605 Unit, Beijing 102100, China;

3. The PLA 68046 Unit, Gansu Zhangye 734000, China)

**Abstract:** A novel dual-passband filter was designed to ensure a multimode terminal can be shared in wireless communication system operating at different frequency channels. The coupled matrix of the filter was extracted using synthesis technique of poles and zeros, the conversion from traditional waveguide structure to SIW was realized by dint of experiential formula, At last, the dual-passband filter was realized using the substrate integrate waveguide cavity resonators. The simulated results show that the return loss is better than 15dB and the insertion lower is greater than 1.8dB and the isolation between two-channel is better than 13dB. Compared with conventional rectangle waveguide dual-passband filter, this structure has many advantages such as low cost, light weight, compact size and easy fabrication.

**Key words:** dual-passband filter; transmission zeros; substrate integrated waveguide(SIW); coupling matrix

## 0 引 言

为满足用一个多模终端实现不同的业务需求,现代无线通信系统要求射频器件工作在多个分离的频段,这种收发信机需要使用双通带滤波器来抑制杂散的噪声信号。为了满足这种需求,很多研究者致力于双通带滤波器的设计,提出了许多的设计方

法<sup>[1~6]</sup>。H. Miyake<sup>[1]</sup>等采用并联两个中心频率不同的带通滤波器实现了双通带滤波器。L. -C. Tsai<sup>[2]</sup>利用一个宽带带通滤波器串联一个窄带带阻滤波器也实现了双频段滤波器。J. T. Kuo<sup>[3]</sup>利用耦合谐振器的寄生通带,实现了双通带滤波器。S. Sun<sup>[4]</sup>应用耦合谐振器结构,将谐振器的基带谐振频率和它的第一个杂散响应频率通过合理的耦合设计,实现了双通带滤波器。H. C. Bell<sup>[5]</sup>利用 Zolo-

tarev 有理函数通过频率变换技术实现了双通带滤波器。Giuseppe Macchiarella 和 Stefano Tamiazzo<sup>[6]</sup>采用零点极点综合技术,通过在内部阻带内设置零点实现双通带滤波器的设计。综上所述,目前实现双通带滤波器主要途径有滤波器组合<sup>[1,2]</sup>、利用耦合谐振腔滤波器的寄生通带<sup>[3,4]</sup>、原型滤波器变换<sup>[5]</sup>和零点和极点综合<sup>[6]</sup>。采用零点和极点综合技术实现双通带滤波器的设计,首先抽取了滤波器的耦合矩阵,据此利用  $\mu$ Wave-Wizard 软件仿真设计了普通波导结构的双通带滤波器,最后借助普通波导结构与基片集成波导结构之间的等效公式,实现了一种结构新型的基片集成波导双通带滤波器设计,仿真结果显示滤波器具有良好的性能。

## 1 滤波器耦合矩阵的综合

假定滤波器设计指标为

通带一:9.71 GHz ~ 9.81 GHz,插损小于 3 dB,回波损耗小于 -15 dB;

通带二:9.97 GHz ~ 10.07 GHz,插损小于 3 dB,回波损耗小于 -15 dB;

通带隔离:频率 9.9 GHz,插损大于 18 dB。

确定滤波器的耦合拓扑结构,如图 1 所示。

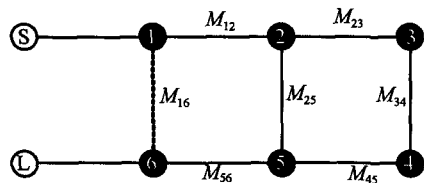


图1 六阶折叠型拓扑的耦合路径

利用文献[7]介绍的方法,首先得到归一化零点  $[-2j - 0.1j \ 0.1j \ 2j]$  和归一化得极点  $[-0.92j - 0.72j - 0.54j \ 0.54j \ 0.72j \ 0.92j]$ 。由零点和极点分布,选择目标函数<sup>[8]</sup>

$$K = \sum_{i=1}^N |S_{11}(\omega_{ri})|^2 + \sum_{i=1}^P |S_{21}(\omega_{pi})|^2 + \left[ |S_{11}(\omega = -1)| - \frac{\varepsilon}{\sqrt{1 + \varepsilon^2}} \right]^2 + \left[ |S_{11}(\omega = 1)| - \frac{\varepsilon}{\sqrt{1 + \varepsilon^2}} \right]^2 \quad (1)$$

式中,  $\omega_{ri}$  为传输极点;  $\omega_{pi}$  为传输零点,后面两项用于确定带内回波损耗。当  $K=0$ ,则满足目标,优化结束。优化得到的归一化输入输出端阻抗  $R_1 = R_n =$

0.6644,耦合矩阵  $M$  为

$$M = \begin{bmatrix} 0 & 0.8502 & 0 & 0 & 0 & -0.0756 \\ 0.8502 & 0 & 0.3711 & 0 & 0.3562 & 0 \\ 0 & 0.3711 & 0 & 0.4831 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.4831 & 0 & 0.3711 & 0 \\ 0 & 0.3562 & 0 & 0.3711 & 0 & 0.8502 \\ -0.0756 & 0 & 0 & 0 & 0.8502 & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

基于耦合矩阵  $M$ ,可得滤波器归一化频响,如图 2 所示。

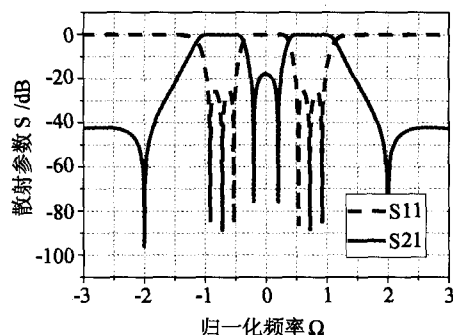


图2 滤波器理论频响曲线

## 2 等效矩形波导双通带滤波器的设计

利用普通耦合谐振腔滤波器的设计方法<sup>[9]</sup>可以得到等效波导滤波器的初始结构,然后借助  $\mu$ Wave-Wizard 软件进行优化,即可得到波导结构双通带滤波器的最终结构。

滤波器结构如图 3 所示,滤波器由 6 个谐振腔构成,分两层折叠放置,除了 1 腔和 6 腔之间为负耦合(电耦合)外,其余各腔之间均为正耦合(磁耦合)。1 腔和 2 腔,2 腔和 3 腔,4 腔和 5 腔,5 腔和 6 腔均采用金属膜片实现磁耦合,3 腔与 4 腔,2 腔与 5 腔分别在腔的边缘开窗,实现的也是磁耦合,2 腔和 6 腔在宽边中心开窗实现了电耦合,即负耦合。

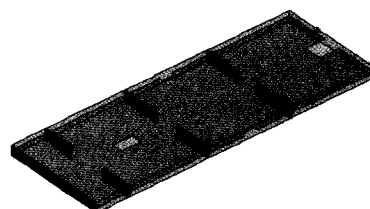
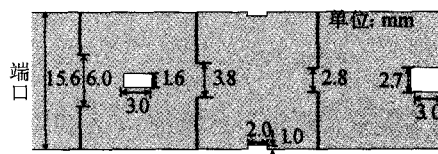


图3 滤波器的等效波导结构

波导宽边尺寸 15.6 mm, 厚度 0.78 mm, 填充介质介电常数 2.2, 目的是为了便于向基片集成波导的过渡。图 3 给出了最终得到的滤波器结构图。滤波器 S 参数的  $\mu$ Wave-Wizard 软件仿真结果如图 4 所示。相同结构的 HFSS 三维场仿真软件的仿真结果如图 5 所示, 不难看出, 二者一致性比较好。

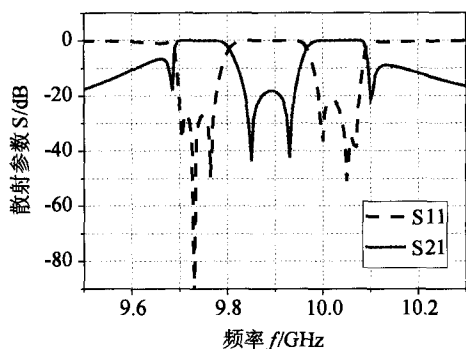


图 4 等效波导结构  $\mu$ Wave-Wizard 仿真结果

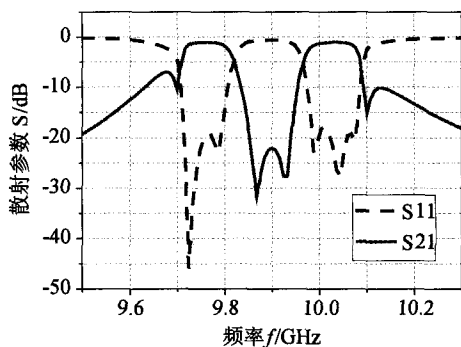


图 5 等效波导结构 HFSS 仿真结果

### 3 基片集成波导双通带带通滤波器的设计与仿真

在普通波导滤波器结构参数的基础上, 即可利用式(2)<sup>[10]</sup>实现向基片集成波导结构的等效和过渡。

$$a_{\text{eff}} = a - \frac{d^2}{0.95p} \quad (2)$$

式中,  $a_{\text{eff}}$  为等效矩形波导的宽度;  $a$  为 SIW 的宽度;  $d$  为过孔的直径;  $p$  为过孔周期; SIW 过孔直径、周期和宽度应满足:  $d < 0.2\lambda_g$ ,  $d < 0.4a$ ,  $p < 2d$ 。

选用 Rogers5880 介质基板, 介电常数 2.2, 厚度 0.78 mm。由工作频段首先确定基片集成波导金属化过孔的直径和周期分别为 0.5 mm 和 0.88 mm, 则基片集成波导的宽度为 15.9 mm。在设计基片集成波导滤波器的输入输出转换时, 首先需要确定基片集成波导 (SIW) 等效普通波导的宽度和高度, 从万方数据

而获得基片集成波导的等效阻抗, 求得基片转换器中靠近基片集成波导一侧微带的宽度, 本例等效阻抗为 28.9 欧姆, 对应的微带线宽为 5.08 mm; 另一方面, 转换器以 50 欧姆的微带线输出, 由此可以知道输出微带线的宽度为 2.4 mm。基片集成波导双通带滤波器的结构图如图 6 所示。该结构的 HFSS 仿真结果如图 7 所示。

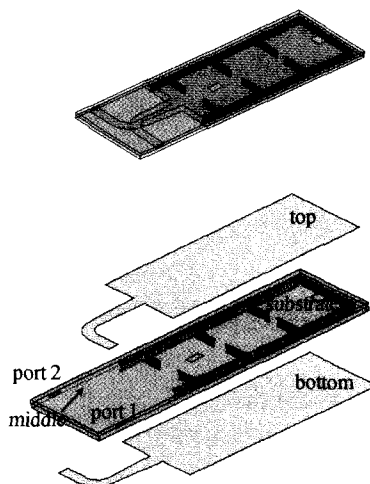


图 6 SIW 结构双通带滤波器结构

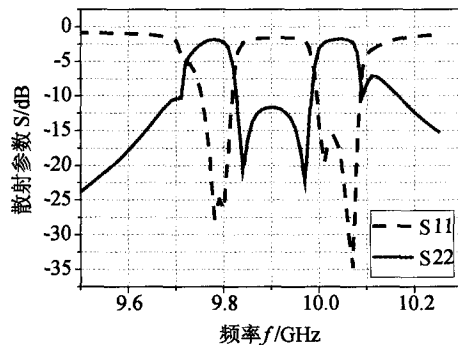


图 7 SIW 滤波器的 HFSS 仿真结果

比较图 4 和图 5, 不难发现二者的主要区别在通带内部, 基于模式匹配法的  $\mu$ Wave-Wizard 软件仿真的插损接近于 0, 而基于有限元法的 HFSS 仿真结果为 1.5 dB 左右, 这是因为模式匹配法没有考虑导体的损耗所致。而图 5 和图 7 的不一致主要是由于经验公式的微小误差及基片集成波导与微带结构的转换匹配不理想所导致。由以上仿真分析可见, 基于基片集成波导结构的双通道滤波器基本达到了设计指标要求。

### 4 结 语

本文给出了一种新型基片集成波导双通带滤波器的设计。首先采用优化方法得到了传输零点和滤

波器阶数,然后通过试探即可得到极点的分布;由零点、极点位置,利用优化技术,可得到满足指标要求的耦合矩阵。相对解析法抽取耦合矩阵,优化方法更加简单快捷;最后基于该耦合矩阵,采用耦合谐振腔滤波器的设计方法得到了等效波导结构滤波器的初始结构,并利用  $\mu$ Wave-Wizard 软件进行了优化,得到了等效波导结构双通带滤波器的结构参数,最后借助基片集成波导结构与矩形波导之间的等效公式,获得了基片集成波导双通带滤波器。该滤波器具有成本低、重量轻、体积小和容易加工等优点,非常适合在无线通讯系统中使用。

#### 参考文献:

- [1] MIYAKE H, KITAZAWA S, ISHIZAKI T, et al. A Miniaturized Monolithic Dual Band Filter Using Ceramic Lamination Technique for Dual Mode Portable Telephones [C]//IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Denver, USA, 1997: 789-792.
- [2] TSAI L C, HUSE C W. Dual-Band Bandpass Filters Using Equal-length Coupled-Serial-Shunted Lines and Z-Transform Techniques[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2004, 52(4): 1 111-1 117.
- [3] KUO J T, CHENG H S. Design of Quasi-Elliptic Function Filters With a Dual-Passband Response[J]. IEEE Microwave and Wireless Components Letters, 2004, 14(10): 472-474.
- [4] SUN S, ZHU L. Compact Dual-Band Microstrip Bandpass Filter Without External Feeds[J]. IEEE Microwave and Wireless Components Letters, 2005, 15(10): 644-646.
- [5] BELL H C. Zolotarev Bandpass Filters[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2001, 49(12): 2 357-2 362.

- [6] GIUSEPPE MACCHIARELLA, STEFANO TAMIAZZO. Design Techniques for Dual-Passband Filters[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2005, 53(11): 3 265-3 271.
- [7] YUNCHI ZHANG, ZAKI K A, RUIZ-CRUZ J A, et al. Analytical Synthesis of Generalized Multi-band Microwave Filters[C]//Microwave Symposium, 2007 IEEE/MTT-S International. 2007: 1 273-1 276.
- [8] AMARI S, ROSENBERG U. New Building Blocks for Modular Design of Elliptic and Self-Equalized Filters[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2004, 52(2): 721-736.
- [9] HONG JIA-SHENG, LANCASTER M J. Microstrip Filters for RF/Microwave Applications[M]. New York: Wiley & Sons, Inc, 2001.
- [10] CASSIVI Y, WU K. Dispersion Characteristics of Substrate Integrated Rectangular Waveguide[J]. IEEE Microwave and Wireless Components Letters, 2002, 12(9): 333-335.

#### 作者简介



申凯(1979—),男,山西运城人,博士,工程师,主要研究方向为雷达系统总体、微波毫米波电路设计;

E-mail: shenkai0359@163.com

雷坚(1987—),男,陕西渭南人,工程师,主要研究方向为通信系统工程以及通信对抗;

许冰(1970—),女,河南洛阳人,高级工程师,主要研究方向是信息对抗与信息安全技术。

(上接第195页)

- [6] PARR B, CHO B, WALLACE K. A Novel Ultra-Wideband Pulse Design Algorithm[J]. IEEE Communication Letters, 2003, 7(5): 219-221.
- [7] REZA S, DILMAGHANI, MOHAMMAD GHAVAMI, BEN ALLEN, et al. Novel UWB Pulse Shaping Using Prolate Spheroidal Wave Functions[C]//14th IEEE International Symposium on Personal, Indoor & Mobile Radio Communication Proceedings, Beijing, 2003: 602-606.
- [8] YUTAKA JITSUMATSU, TOHRU KOHDA. Prolate Spheroidal Wave Functions Induce Gaussian Chip Waveforms[C]//ISIT 2008, Toronto. 2008: 1 363-1 367.

#### 作者简介



张磊(1979—),男,安徽合肥人,工程师,博士研究生,主要研究方向为现代通信新技术、非正弦波通信理论及应用;

E-mail: win\_romance@163.com

康家方(1987—),男,河南泌阳人,博士研究生,主要研究方向为现代通信新技术、非正弦波通信理论及应用;

王红星(1962—),男,河南商丘人,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为现代通信新技术、非正弦波通信、无线光通信等;

刘锡国(1981—),男,山东烟台人,博士,讲师,主要研究方向为现代通信新技术、非正弦波通信理论及应用。

## 微波滤波器设计培训——视频课程

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立, 致力和专注于微波、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/>