

# 一种宽带脊波导滤波器的设计和优化

王司亮, 贾宝富

(电子科技大学 应用物理研究所, 四川 成都 610054)

## Design and Optimization of a Wideband Ridge Waveguide Filter

WANG Si-liang JIA Bao-fu

(Institute of Applied Physics, UESTC, Chengdu 610054, China)

**Abstract:** A new wideband ridge waveguide filter is presented in this paper. We realize a ridge waveguide filter with pass band from 3.5 GHz to 6.5 GHz using the design procedure following, and verify the result with CST. Excellent agreement is obtained. This configuration is easy for manufacturing and can be applied to other technology such as LTCC for integration.

**Key words:** Ridge waveguide; Wideband filter; Microwave CAD

**摘要:** 本文设计了一种新型脊波导宽带滤波器。实现了中心频率 5 GHz 相对带宽 60% 通带内回波小于 -20 dB 的宽带脊波导滤波器, 并通过 CST 仿真进行优化, 达到了设计目的。此类滤波器加工方便, 应用低温共熔陶瓷技术可实现集成化。

**关键词:** 脊波导; 宽带滤波器; 微波 CAD

**中图分类号:** TN713 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-8935(2010)05-0016-03

射频滤波器在通信领域中占有重要地位, 其性能的优劣直接影响整个系统的质量。随着通信技术的发展, 宽带、超宽带通信越来越受到人们的重视, 它以其频率范围大、功耗低、对其他系统不产生有害噪声的优点成为短距离无线通信中的重要技术。

宽带滤波器是宽带通信系统关键部件之一, 以往的文献中多使用微带滤波器实现宽带滤波, 其缺点是插损过大难以达到指标要求。脊波导滤波器相对微带结构插损小, 较其他波导滤波器又具有截止频率低、基模工作带宽大等优点, 因此被广泛应用于现代通信系统。

在传统的脊波导滤波器设计中, 常用处于凋落模式的矩形波导作为耦合结构。而宽带滤波器设计所要求的耦合往往非常强, 这使得以矩形波导作为耦合结构的滤波器无法实现宽带响应。而本文应用脊波导作为耦合结构不但可以达到更大的带宽而且能大大降低加工难度。之前, 马里兰大学 Kawthar A. Zaki 小组应用模式匹配优化算法设计出一种超宽带脊波导滤波器<sup>[1]</sup>, 由于算法程序为该小组内部基于研究目的而编写并非商业软件, 使得外部设计人员无法应用此算法设计脊波导宽带滤波器。本文

将提出此类超宽带滤波器的一般设计方法, 从而推动脊波导宽带滤波器的研究与应用。

## 1 结构与 设计

### 1.1 结构

本文提出的脊波导宽带滤波器结构如图 1 所示, 其谐振单元及耦合结构均由脊波导构成, 谐振单元通过优化设计谐振在中心频率处, 耦合的强弱由脊的宽度决定。波导尺寸限定了截止频率和基模工作带宽, 从而使本次设计的滤波通带处于基模工作状态。

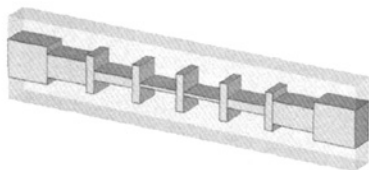


图 1 脊波导滤波器三维结构图

### 1.2 设计

图 2 给出了本文将要设计的脊波导宽带滤波器的全尺寸视图, 其中 L1-L5 为谐振器(耦合节宽度:

$W_{c1}=0.6812\text{ cm}$ ,  $W_{c2}=0.2713\text{ cm}$ ,  $W_{c3}=0.0991\text{ cm}$ ;耦合节长度: $L_{c1}=L_{c6}=1.32\text{ cm}$ ,  $L_{c2}=L_{c5}=1.27\text{ cm}$ ,  $L_{c3}=L_{c4}=1.19\text{ cm}$ ;谐振节长度: $L_1=L_2=L_3=L_4=L_5=0.25\text{ cm}$ ,因耦合结构对谐振频率(即中心频率,截止频率的算术平均数)的影响很大,谐振频率需通过在加入耦合结构后应用频域端口驱动模式观察  $S_{11}$  跳变处频率得出,而非传统的本征模求解。由于输入输出及谐振器间耦合都非常强,因此所有的耦合均采用脊波导结构。耦合量的大小由脊的宽度和长度控制,增加脊的宽度、减小脊的长度均可以增加耦合量。谐振器与耦合结构都为脊波导使得相互之间影响较大,谐振器最终尺寸需在整体仿真时经参数扫描进一步调整以使得通带响应在所需频率范围内。

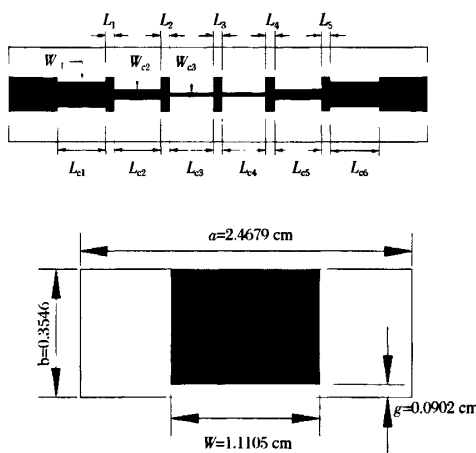


图2 脊波导滤波器尺寸图

耦合结构设计共分为两步:首先,从低通原型滤波器出发按照指标求得相应的  $g$  值,从而由阻抗变换及频率变换求得宽带滤波器等效电路的  $K$  值<sup>[2]</sup>。

$$K = \sqrt{\frac{1 - |S_{11}|}{1 + |S_{11}|}} \quad (1)$$

而后,应用式(1)在保证耦合脊电长度大于等于中心频率处  $90^\circ$  的前提下<sup>[3]</sup>,应用微波仿真软件通过调整耦合脊的宽度使得  $K$  值等于等效电路中的理论值<sup>[4]</sup>。仿真过程中需注意将参考面平移至耦合脊两端,如图3所示。

图4给出耦合脊波导在几种不同宽度下其  $K$  值随脊长度的变化情况。如图所示,相同长度的情况下脊的宽度正比于耦合强度,并且脊波导可实现的耦合度远大于矩形波导。无论是对于所需  $K$  值

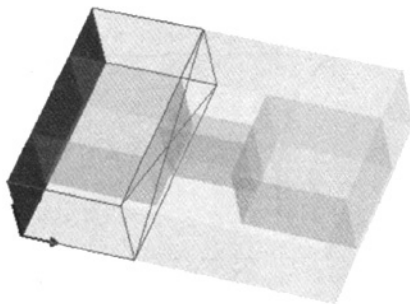


图3 参考面设置示意图

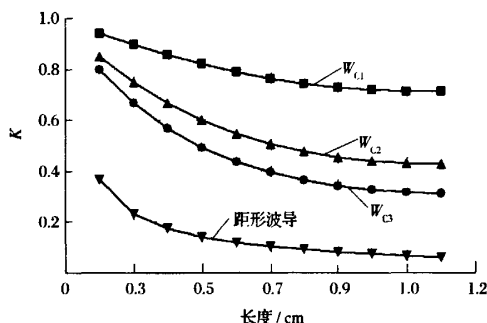


图4 不同脊宽度的  $K$  值随脊长度变化曲线

还是加工极限而言,矩形波导都无法达到要求。而脊波导不但可以实现强耦合,而且提供了两个自由度即宽度和长度,这样可在不改变长度(实际设计中耦合结构电长度应等于或略大于中心频率处  $90^\circ$ )的前提下通过调整宽度来优化整体响应。

## 2 实例

最后结合微波仿真软件 CST 设计出了一种中心频率为  $5\text{ GHz}$ ,相对带宽  $60\%$ ,回波损耗小于  $-20\text{ dB}$  的脊波导宽带滤波器,其频率响应如图5所示。由于脊宽度跳变带来的不连续性,整体仿真结果并不令人满意,此时可通过调整耦合脊宽度优化

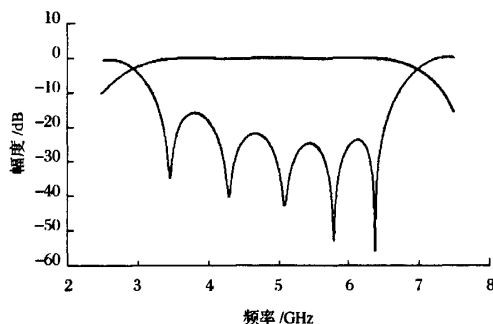


图5 优化前频率响应

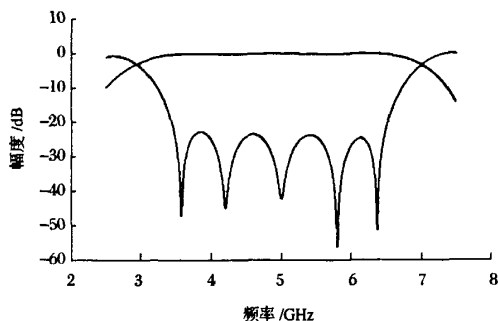


图6 优化后频率响应

整体性能,图6给出优化后的响应。从图中可知滤波器性能指标已达到设计预期,表1给出优化前后的滤波器尺寸。

### 3 结论

本文结合变换器等效电路理论和微波仿真软件设计出了脊波导宽带滤波器,给出了详细的设计步骤并通过 CST 仿真,优化出了一种相对带宽 60% 的模型。这种结构插损小、加工方便、重量轻,可应用于通信基站、雷达、导航等多种平台。

表1 优化前后滤波器尺寸表

状态	$W_{c1}/\text{cm}$	$W_{c2}/\text{cm}$	$W_{c3}/\text{cm}$	$L_1/\text{cm}$	$L_2/\text{cm}$	$L_3/\text{cm}$	$L_4/\text{cm}$	$L_5/\text{cm}$
优化前	0.6812	0.2713	0.0991	0.254	0.254	0.254	0.254	0.254
优化后	0.7209	0.3048	0.0991	0.241	0.254	0.279	0.254	0.241

### 参 考 文 献

- [1] Zhong M L, Jorge A Ruiz-Cruz, *et al.* An Extremely Wideband Ridge Waveguide Filter[C]. IEEE MTT-S Digest, 2004: 615—618.
- [2] 甘本斌, 吴万春. 现代滤波器的结构与设[M]. 北京: 科学出版社, 1973.
- [3] Rong Y, Zaki K A, Hageman M, *et al.* Low Temperature Cofired Ceramic (LTCC) Ridge Waveguide Band-pass Filters[C]. IEEE MTT-S Int Symp Dig, 1999: 1147—1150.
- [4] Yao H W, Abdelmonem A E, Liang J F, *et al.* Wide-Band Waveguide and Ridge Waveguide T-Junctions for Diplexer Applications[J]. IEEE Trans Microwave Theory, 1993, 41: 2166—2173.

收稿日期: 2009—11—15

### 动态信息

### 成都虹波实业股份有限公司

成都虹波实业股份有限公司的前身,是1965年“三线建设”中由北京电子管厂的一部分搬迁到成都组建成的国营745厂,1994年改制为股份有限公司,1998年与厦门钨业股份有限公司资产重组,现为厦门钨业股份有限公司(集团)控股的具有独立法人资格的企业。公司下辖一个独资子公司,一个中日合资公司。

公司通过了 GB/T19001—2000 和 GJB9001A—2001 质量体系认证,具备军工产品科研生产资质。2006年公司的虹波牌电真空电光源钨钼材料获得四川省名牌称号、省质量管理先进企业称号、在四川省企业质量信誉评定中被评为 AAA 级企业、四川核心竞争力企业;2006年被成都市确定为高新技术企业。

主要服务领域为电光源,电真空,电加工,高温设备结构材料等。

#### 公司产品信息

钨及钨合金:含钨及钨合金粉末,烧结件,杆( $\varphi 0.8 \sim 14\text{mm}$ )、丝( $\varphi 0.006 \sim 3.0\text{mm}$ ),制品(钨绞丝、加热子,舟皿)。

钼及钼合金:含钼酸铵,氧化钼及钼粉;烧结件(含未加工的坯及其它烧结件),杆( $\varphi 0.8 \sim 16\text{mm}$ )、丝( $\varphi 0.03 \sim 3.0\text{mm}$ )、板、带,制品(舟皿等)。

镍及镍合金:含镍丝、带、板、薄壁管。

复合金属材料:杜美丝等。

金刚石拉丝模、金刚石挤塑模、高纯氢气等产品。

## 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/>