

工程与应用

# 微带阶跃阻抗谐振器小型化滤波器的精确设计

申凯,王光明,郑武团

(空军工程大学 导弹学院,陕西三原 713800)

**摘要:**采用具有内部耦合的微带阶跃阻抗谐振器实现小型化,借助电磁场全波分析软件,拟合出了谐振器的级间耦合系数 $k$ 和外部 $Q$ 值与谐振器结构的关系曲线,得出了滤波器的物理结构,实际设计制作了一个中心频率为1.52 GHz的带通滤波器,并对滤波器传输特性进行了实测。

**关键词:**阶跃阻抗谐振器;带通滤波器; $Q$ 值;全波分析法

中图分类号:TN713 文献标识码:A 文章编号:1673-5692(2008)02-195-04

## Accurate Design for Bandpass Filters Miniaturization Using Microstrip SIR

SHEN Kai, WANG Guang-ming, ZHENG Wu-tuan

(Missile Institute, AFEU, Shan'xi Sanyuan 713800, China)

**Abstract:** Miniaturization of the microstrip filter is achieved in this paper by stepped-impedance-resonator with inner coupling. The coupling coefficient  $k$  and external quality factors  $Q$  of the resonators are extracted by full-wave Analysis. According to the obtained curves, the geometrical dimension of the filter is gained. At last, a 1.52 GHz microstrip band-pass filter is framed. And the transmission characteristic of corves is gained by testing.

**Key words:** SIR; band-pass; filter; microstrip resonator; quantity factor; full-wave analysis

## 0 引言

微波带通滤波器是通讯系统中的主要部件之一。当频率较低时,采用一般半波长谐振器电路尺寸较大,不易于整机系统的小型化;而采用微带阶跃阻抗谐振器(SIR)可以将滤波器尺寸减小一半,且具有良好的滤波性能。从已发表的文献来看<sup>[1]</sup>,以往的滤波器设计没有考虑输出、输入的耦合,以及微带T型接头及拐角效应对电路特性的影响,而从实际情况来看,这些效应对滤波器的性能影响很大。所以,本文给出了一种用于这类小型滤波器的简单设计方法,并据此设计制作了一滤波器,表明此种方法设计精度较高,便于工程应用。

## 1 微带阶跃阻抗谐振器

在VHF以上频段中最常采用的谐振器是传输线谐振器,阶跃阻抗谐振器(SIR)如图1所示。在不减小无载品质因数的情况下可以缩短谐振器长度,并且在结构和设计上有很大的自由度<sup>[2]</sup>。

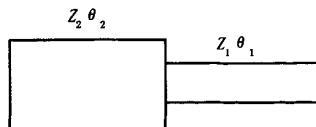


图1  $\frac{\lambda}{2}$ -SIR 示意图

对于终端短路的微带阶跃阻抗谐振器,若输入端的导纳、阻抗分别定义为 $Y_i$ 和 $Z_i$ 。如果忽略阶跃

非连续性和开路端的边缘效应,  $Z_i$  的表达式如下。

$$Z_i = jZ_2 \frac{Z_1 \tan \theta_1 + Z_2 \tan \theta_2}{Z_2 - Z_1 \tan \theta_1 \tan \theta_2} \quad (1)$$

设  $Y_i = 0$ , 那么平衡谐振条件为

$$Z_2 - Z_1 \tan \theta_1 \tan \theta_2 = 0 \quad (2)$$

式中,

$$\tan \theta_1 \tan \theta_2 = \frac{Z_2}{Z_1} = R_z \quad (3)$$

从式(1)~(3)可见, SIR 的谐振条件取决于  $\theta_1$ 、 $\theta_2$  和阻抗率  $R_z$ 。一般的均匀阻抗谐振器的谐振条件惟一地取决于传输线的长度, 而对 SIR 则同时要记入长度和阻抗比。因此, 阶跃阻抗谐振器(SIR)比均匀阻抗谐振器(UIR)多了一个设计自由度。

设 SIR 两端之间的总的电学长度  $\theta_T$  为<sup>[2]</sup>

$$\theta_T = \theta_1 + \theta_2 = \theta_1 + \arctan \left( \frac{R_z}{\tan \theta_1} \right) \quad (4)$$

式(4)的曲线如图 2 所示, 由此知, 谐振器长度在  $R_z \geq 1$  时有极大值,  $R_z < 1$  时有极小值。且当  $0 < R_z < 1$  时,  $0 < \theta_T < \frac{\pi}{2}$ 。所以 SIR 相比普通 UIR 减小了尺寸。

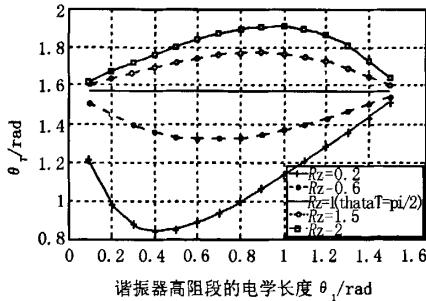


图 2 SIR 总电学长度随阻抗率  $R_z$  变化的曲线

## 2 滤波器设计原理

SIR 的上述特性公式均是把横向电磁场模式作为主导谐振模式, 在没有考虑微带线高次模和阻抗阶跃面的不连续性的条件下得到的, 所以据此设计的滤波器理论与实际出入会比较大。因此本文首先通过全波分析, 拟合出谐振器级间耦合系数和外部品质因数与耦合缝宽的关系曲线, 再根据低通到带通的变换公式, 求出谐振器级数  $n$  和各低通原型的元件值。最后有谐振器级间耦合系数和外部品质因

数曲线得到滤波器的物理结构。

带通滤波器的设计可通过耦合系数  $k_{j,j+1}$  和外部  $Q_e$  值来确定。

外部品质因数  $Q_e$  ( $i = 1, 2$ ) 提供了滤波器与外部电路(输入输出电路)之间的关系, 表达式为<sup>[2]</sup>

$$Q_{e1} = \frac{g_0 g_1}{\omega} \quad (5)$$

$$Q_{e2} = \frac{g_n g_{n+1}}{\omega} \quad (6)$$

级间耦合系数  $k_{j,j+1}$  确定了滤波器各组成谐振器之间的关系<sup>[2]</sup>

$$k_{j,j+1} = \frac{\omega}{\sqrt{g_j g_{j+1}}} \quad (7)$$

其中  $g_i$  为低通原型的值;  $\omega$  为中心频率的 3 dB 带宽;  $Q_{e1}$ 、 $Q_{e2}$  分别为输入输出端的外部  $Q$  值;  $k_{j,j+1}$  是第  $j$  级与第  $j+1$  级间的耦合系数。

### 2.1 谐振器级间的耦合

当两个具有相同谐振频率的谐振器之间发生耦合时, 会出现谐振频率分离情况, 如图 3 所示。

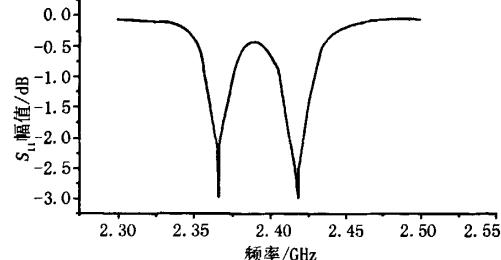


图 3 谐振器耦合时谐振频率分裂情况

设两个谐振频率分别为  $f_1$  和  $f_2$ , 则耦合系数定义为

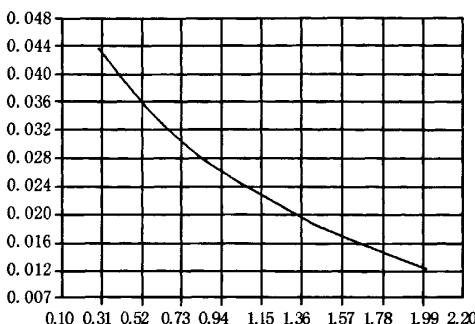
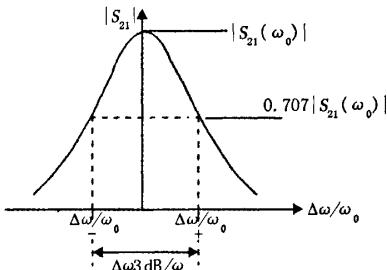
$$k = \frac{f_2 - f_1}{f_0} \quad (8)$$

$$\text{其中 } f_0 = \frac{f_1 + f_2}{2}.$$

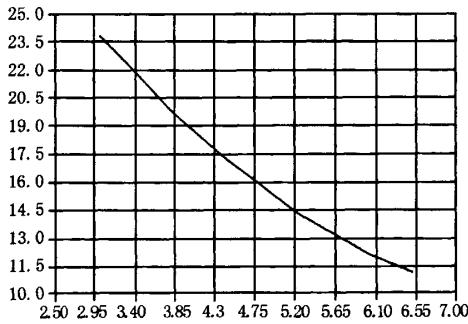
由全波分析法可以得到谐振频率  $f_1$  和  $f_2$ 。图 4 为由全波分析法得到耦合系数  $k_{j,j+1}$  与耦合缝宽  $s$  的关系曲线。

### 2.2 谐振器与外部电路的耦合

双加载谐振器的传输频响如图 5 所示, 外部品质因数  $Q_e$  由此求出<sup>[2]</sup>:  $Q_e = \frac{f_0}{BW}$ ,  $BW$  为中心频率  $f_0$  的 3 dB 带宽。

图4 椭合系数 $k$ 与椭合缝宽 $s$ 的关系曲线图5 双端加载谐振器的 $S_{21}$ 幅值

假定双加载谐振器的输入输出端同步调谐,单加载谐振器的外部品质因数近似为双加载品质因数的2倍。即 $Q'_e=2Q_e=2\frac{f_0}{BW}$ , $Q'_e$ 为单加载谐振器的外部品质因数。如图6所示为谐振器耦合缝宽与外部品质因数的关系曲线。

图6 外部品质因数 $Q_e$ 与耦合位置 $t$ 的关系曲线

### 3 设计实例

作为设计实例,用上述方法设计制作了带通滤波器,其指标为:中心频率 $f_0=1.52$  GHz,通频带宽100 GHz,通带插损 $\leq 3$  dB,在带外 $f_0 \pm 100$  GHz处,衰减 $\geq 20$  dB。

为满足上述指标,选用三阶切比雪夫滤波器。滤波器的优化电参数为 $Q_e=19.68$ , $m_{12}=m_{23}=$

0.043 3,由图4、图5可查得滤波器的结构参数为: $S_{12}=S_{23}=0.3$  mm, $t=3.8$  mm。在相对介电常数为3.38,厚度为0.813 mm的双面覆铜介质Rogers基板上设计制作。得到的电路结构如图7所示。

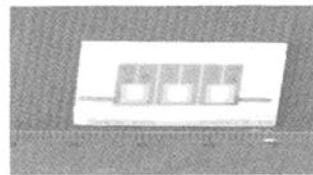


图7 三级SIR谐振器滤波器

### 4 结果分析

将上述所得到的滤波器结构用Sonnet电磁仿真软件进行仿真,得到的滤波器传输特性曲线如图8所示。图9为用Agilent8720ET矢量网络分析仪测得的滤波器 $S_{21}$ 曲线。

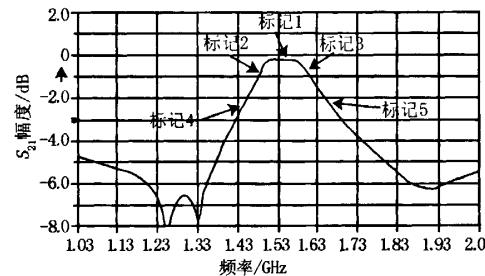


图8 软件仿真结果

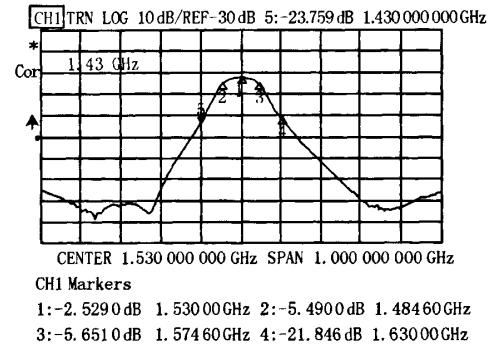


图9 实测结果

为了更进一步比较设计指标、设计仿真结果和测试结果,表1列出了三者的具体数据,不难发现,三者吻合比较好,设计误差很小。整个电路尺寸不大于30 mm×25 mm。

表1 设计、仿真和实测结果比较

	中心频率	3 dB 带宽及频率范围	中心频点插损	$f_0 \pm 100$ GHz 处衰减
设计指标	1.52 GHz	100 MHz(1.475 0 GHz ~ 1.575 0 GHz)	<3 dB	≥20 dB
仿真结果	1.54 GHz	100 MHz(1.495 0 GHz ~ 1.595 0 GHz)	2.490 dB	1.440 GHz, -25.919 dB 1.640 GHz, -17.501 dB
实测结果	1.53 GHz	90 MHz(1.484 6 GHz ~ 1.574 6 GHz)	2.529 dB	1.430 GHz, -23.759 dB 1.630 GHz, -21.846 dB

5 结语

本文采用具有内部耦合的微带阶跃阻抗谐振器实现小型化，并借助电磁场全波分析软件拟合出了谐振器的级间耦合系数  $k$  和外部  $Q$  值与谐振器结构的关系曲线，得出了滤波器的物理结构。通过实例分析，进一步证明了该设计方法的准确性，也验证了阶跃阻抗谐振器实现小型化的有效性。

#### 参考文献：

- [1] HONG J S, LANCASTER M J. Microstrip Filter for RF/Microwave Applications [M]. New York: A Wiley-Interscience Publication, John Wiley&Sons, INC. 2001.
  - [2] MAKIMOTO M, YAMASHITA S. 无线通信中的微波谐振器与滤波器 [M]. 赵宏锦,译. 北京: 国防工业出版社

社.2002.

- [3] 羊恺, 朴世荣, 等. 高温超导小型化多折线滤波器研制 [J]. 科学通报, 2002, 47(18): 1 378-1 380.  
 [4] HONG J S, LANCASTER M J. Cross-coupled Microstrip Hairpin-resonator Filters [J]. IEEE Trans. Microwave Theory and Tech. 1998, 46:118-122.

### 作者简介



申凯(1979-),男,山西运城人,空军工程大学导弹学院电磁场与微波技术专业博士研究生,主要研究方向为微波电路与系统。

王光明(1964-),男,安徽砀山人,教授,博士生导师,主要从事微带天线、微波电路与系统方面的研究工作。

(上接第 189 页)  
本文将小波分析技术引入到 MFCC 的语音特征提取中,得到了 WMFCC 语音识别特征参数。仿真试验表明,它在低信噪比和较大词汇量情况下,识别率优于 MFCC 特征的结果。这为抗噪语音识别技术的研究提供了借鉴,同时也扩展了小波技术的应用领域。

## 参考文献·

- [1] 赵力. 语音信号处理 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
  - [2] ALBERT BOGESS. 小波与傅立叶分析基础 [M]. 芮国胜, 康健, 译. 北京: 电子工业出版社, 2004.
  - [3] 秦欢, 柴佩琪, 陈锴. 基于小波子带分解的特征参数对语音自动切分的改进 [J]. 计算机应用, 2005, 6 (25): 1 345-1 346.
  - [4] 赵姝彦, 张雪英. 基于 ZCPA 和 DHMM 的孤立词语音识别系统 [J]. 太原理工大学学报, 2005. 3 (36): 246-249.

作者简介



张小玫(1950-),女,山西太原人,教授级高级工程师,太原理工大学信息工程学院实验中心主任,主要从事信号处理与自动控制系统的研究,发表包括被EI收录在内的相关学术论文数十篇:

张雪英(1964-),女,河北行唐人,博士生导师,教授,太原理工大学信息学院副院长,主要研究方向为嵌入式系统与语音信号处理;

梁五洲(1975-),男,山西芮城人,硕士,主要从事语音识别方面的研究。

## 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/>