

阶跃阻抗同轴介质滤波器的设计*

黄振宇¹, 肖芬¹, 陈锐¹, 熊兆贤²

(1. 厦门大学 物理系, 福建 厦门 361005; 2. 厦门大学 材料科学系, 福建 厦门 361005)

摘要:提出一种新型阶跃阻抗同轴滤波器的设计方案, 并以小灵通射频前端滤波器为例, 介绍了整个设计流程。与均匀阻抗同轴滤波器相比, 阶跃阻抗同轴滤波器能够减小谐振波长, 从而减小滤波器的尺寸。同时在同轴内导体表面开槽, 能进一步减小滤波器的尺寸。

关键词:阶跃阻抗滤波器; 耦合系数; 有载 Q 值

中图分类号: TN95

文献标识码: A

文章编号: 1001-9731(2004)增刊

1 引言

随着无线通讯的发展, 对无线通讯终端小型化的要求越来越高^[1]。滤波器在无线通讯终端中占的体积较大, 它的小型化对于整个终端的小型化具有十分重要的意义。本文提出一种新型阶跃阻抗同轴滤波器的设计方案。这种滤波器与传统的均匀阻抗介质滤波器相比, 相同频率下工作波长较短, 从而能减小滤波器的尺寸。同时, 在同轴内导体表面开槽, 这一措施能进一步减小滤波器的尺寸。

2 设计指标

本文以小灵通射频前端的滤波器为例, 设计指标如下:

通带从 $f_1=1930\text{MHz}$ 到 $f_2=1990\text{MHz}$, 带内纹波为 0.5dB , 在 $f_a=1900\text{MHz}$ 和 $f_b=2020\text{MHz}$ 处衰减为 24dB 。

3 设计流程

3.1 滤波器原型的电路参数

根据设计指标要求, 可求得相对带宽为:

$$w = \frac{2(f_2 - f_1)}{f_2 + f_1} = 0.0306 \quad (1)$$

中心频率为:

$$f_0 = \frac{2f_1 f_2}{f_1 + f_2} = 1960\text{MHz} \quad (2)$$

$$\frac{\omega}{\omega_0} = \frac{2}{w} \left(\frac{f - f_0}{f} \right) = \frac{2}{0.0306} \left(\frac{f - 1960}{f} \right) \quad (3)$$

在 $f = f_a = 1900\text{MHz}$ 时, $\left| \frac{\omega}{\omega_0} \right| = 2.05$, 在

$f = f_b = 2020\text{MHz}$ 时, $\left| \frac{\omega}{\omega_0} \right| = 1.96$; 由 0.5dB 波纹的

切比雪夫低通滤波器的阻带衰减特性可知^[2], 谐振单元个数 $n = 3$, 滤波器原型的 g 值分别为:

$$g_0 = g_4 = 1.0000$$

$$g_1 = g_3 = 1.5963$$

$$g_2 = 1.0967$$

由此可得谐振单元间的耦合系数要求为:

$$k_{12} = k_{23} = \frac{bw}{\sqrt{g_0 g_1}} = 0.0231 \quad (4)$$

有载 Q 值要求为:

$$Q_l = \frac{g_0 g_1}{bw} = 52.167 \quad (5)$$

3.2 谐振单元的结构

采用同轴阶跃阻抗谐振器作为谐振单元。其结构如图 1 所示:

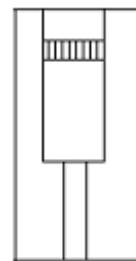


图 1 谐振单元结构示意图

Fig 1 Structure of resonant unit

* 基金项目: 863 计划项目(2001AA325100)

收稿日期: 2004-05-02 通讯作者: 黄振宇

作者简介: 黄振宇(1979-), 福建龙岩人。现为厦门大学物理系无线电物理硕士研究生。

谐振单元由内径大小不同的两个同轴结构连接而成。内径大小不同导致特性阻抗有差异，从而形成阶跃阻抗谐振器。这种结构比均匀阻抗谐振器具有较短的谐振波长。其中内径较大的同轴内导体表面开有一个环状的槽，由于电容缩短效应，可以进一步减小谐振波长。同轴的填充材料采用高介微波陶瓷材料，介电常数为 96，损耗正切为 0.001。

这种谐振器的谐振条件为^[3]：

$$\tan \beta l_1 \tan \beta l_2 = \frac{Z_2}{Z_1} \quad (6)$$

其中 l_1 和 l_2 为两个同轴体的长度， $\frac{Z_2}{Z_1}$ 是特性阻抗之比。

3.3 耦合结构

耦合结构决定谐振单元间的耦合系数。其结构如图 2 所示：

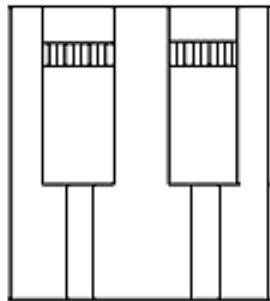


图 2 耦合结构示意图

Fig 2 Coupling Structure between two resonant units

耦合系数的计算公式为：

$$K = \frac{2(f_2 - f_1)}{f_2 + f_1} \quad (7)$$

其中 f_1 和 f_2 分别为耦合结构基模和最低高次模的谐振频率。耦合系数的大小与两谐振单元间的距离成反比。通过 Ansoft Optimetrics 进行仿真，得到耦合系数 k 和谐振单元间距的关系如图 3 所示。由图 3 可以得到所需 k 值对应的谐振单元间的距离。

3.4 端口结构

端口结构决定滤波器的有载 Q 值。采用工形槽作为输入输出端口。其结构如图 4 所示：

有载 Q 值的计算公式为：

$$Q_L = \frac{f_r}{BW_{3db}} = \frac{f_r}{2f_i} \quad (8)$$

其中 BW_{3db} 为滤波器的 3dB 带宽， f_r 和 f_i 分别为基模复谐振频率的实部和虚部。有载 Q 值的大小与端口距谐振单元的距离成反比。通过 Ansoft Optimetrics

进行仿真，得到有载 Q 值和端口与谐振单元间距离的关系如图 5 所示。从图 5 可以得到所需的有载 Q 值所对应端口与谐振单元的距离。

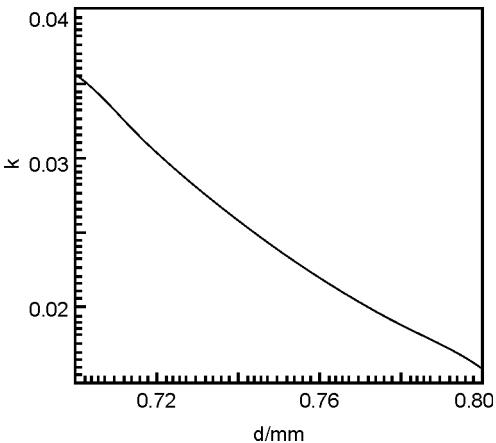


图 3 耦合系数和谐振单元间距的关系

Fig 3 Coupling coefficients vs distances of two resonance units

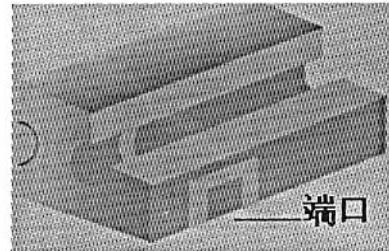


图 4 端口结构示意图

Fig 4 Port structure of dielectric filter

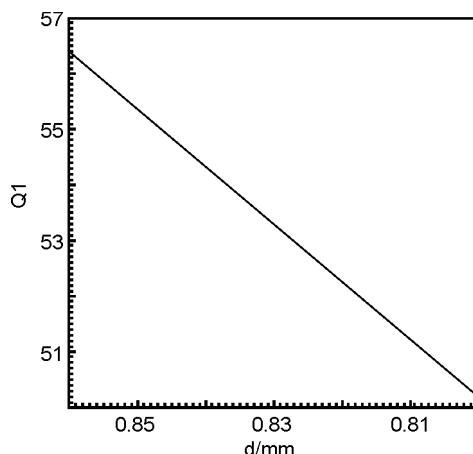


图 5 有载 Q 值与端口和谐振单元距离的关系

Fig 5 Relationship between loaded Q and the distance of port and resonant unit

3.5 滤波器结构

根据上述谐振单元结构, 耦合结构和端口结构, 可最终构建出滤波器的结构, 如图 6 所示:

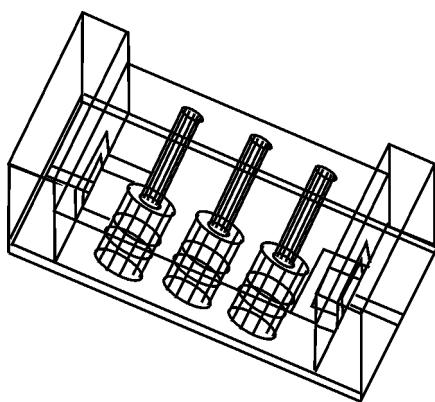


图 6 阶跃阻抗滤波器结构示意图

Fig 6 The structure of the SIR dielectric filter
通过 Ansoft HFSS 进行仿真, 可得到该滤波器的
S21 曲线如图 7 所示:

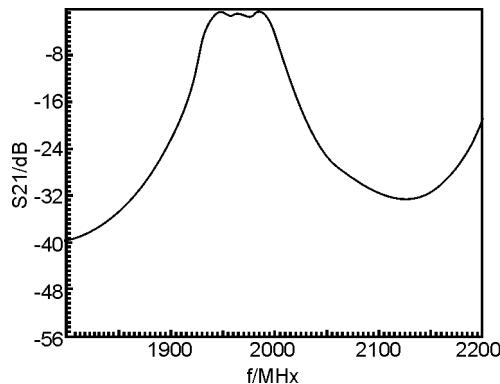


图 7 滤波器 S21 曲线图

Fig 7 S21 curve of SIR dielectric filter

4 结果与讨论

4.1 设计结果与设计指标的比较

设计结果与设计指标的比较如表 1 所示。从表 1 可以看出, 中心谐振频率, 带宽和带外抑制 3 个指标与设计要求很接近, 而带内纹波与要求有较大差距。主要原因是在滤波器结构中耦合系数和有载 Q 值会互相影响, 造成耦合系数和有载 Q 值与要求值有一定偏差, 从而使带内纹波变大。

表 1 设计结果与设计指标的比较

Table 1 Compare between the requirement and the result

	设计指标	设计结果
中心谐振频率(MHZ)	1960	1963
带宽 (MHz)	60	58
带内纹波 (dB)	0.5	1.6
带外抑制 (dB)	24	22

4.2 同频率下不同滤波器长度的比较

假定设计工作频率都是 1960MHz, 采用相同介电材料, 几种滤波器长度比较如表 2 所示。由表 2 可以看出, 开槽阶跃阻抗滤波器的长度大约只有均匀阻抗滤波器的长度的一半, 这对于减小整个滤波器的体积和无线通讯终端的小型化具有重大的意义。

表 2 几种滤波器长度比较

Table 2 The comparison of the length of the several coaxial filters

类 型	长 度(mm)
开槽阶跃阻抗滤波器	3.5
普通阶跃阻抗滤波器	5.6
均匀阻抗滤波器	6.8

5 结语

本文提出一种新型阶跃阻抗同轴介质滤波器的设计方案。这种设计方案在满足设计指标的前提下, 能得到比均匀阻抗介质滤波器更小的尺寸, 有利于无线通讯终端的小型化。实际的滤波器样品正在制备之中。

参考文献:

- [1] 甘仲民, 张更新, 王华力, 等. [M]. 毫米波通信技术与系统. 北京: 电子工业出版社, 2003, 4.
- [2] 甘本祓, 吴万春. [M]. 现代微波滤波器的结构与设计. 北京: 科学出版社, 1973, 193-194.
- [3] M.Makimoto, S.Yamashita. [M]. 无线通信中的微波谐振器与滤波器. 北京: 国防工业出版社, 13-14.

(下转第 1574 页)

- ture, Tokyo, Japan, 2003.
- [21] 关新春, 韩宝国, 欧进萍, 等. 碳纤维表面氧化处理对碳纤维水泥石压敏性的影响[J]. 材料科学与工艺, 2003, 11(6): 6-10.
- [22] Fu Xuli, Chung D D L. Improving the strain-sensing ability of carbon fiber-reinforced cement by ozone treatment of the fibers [J]. Cement and Concrete Research, 1998, 28(2): 183-187.
- [23] 关新春, 韩宝国, 欧进萍. 碳纤维在水泥浆体中的分散性研究[J]. 混凝土与水泥制品, 2002, 124(2): 34-36.
- [24] 韩宝国, 关新春, 欧进萍. 碳纤维水泥石电阻测试方法研究[J]. 玻璃钢/复合材料, 2003, 6: 6-8.
- [25] 关新春. 磁流变液、碳纤维水泥石及其智能制品的理论与试验研究[D]. 哈尔滨工业大学博士后出站报告, 2002.

The state-of-the-art of fabrication technique of carbon fiber reinforced cement sensor

GUAN Xin-chun, HAN Bao-guo, OU Jin-ping

(Department of Civil Engineering, Harbin Inst. of Technology, Harbin 150090, China)

Abstract : Due to its low cost, high durability, simple embedding technology and good compatibility with concrete, carbon fiber reinforced cement (CFRC) sensor has become one kind of new sensing apparatus that potential to be used to health monitoring of concrete structures. In this paper, the key fabrication technologies of CFRC sensor such as raw material selecting and treating, cement paste mixing technology, electrode embedding method and specific resistance testing method are analyzed and reviewed. Based on comprehensive analysis above technologies, the key problems that block CFRC sensor using in practical engineering and should be resolved urgently are analyzed.

Key words : carbon fiber reinforced cement ; sensor ; fabrication technique ; state-of-the-art

(上接第 1563 页)

Design of SIR coaxial dielectric filter

HUANG Zhen-yu¹, XIAO Fen¹, CHEN Rui¹, XIONG Zhao-xian²

(1. Department of Physics Xiamen University, Xiamen 361005, China;

2. Department of Materials Science and Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: In this paper, a design of a novel SIR coaxial dielectric filter with high permittivity ceramics is presented. At the same time, the design of a example filter used in the PAS terminal is introduced. Compared with the traditional UIR filter, this novel filter can decrease its length obviously.

Key words: SIR filter; coupling coefficient; loaded Q

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/>

专注于微波、射频、天线设计人才的培养

易迪拓培训

官方网址: <http://www.edatop.com>

淘宝网店: <http://shop36920890.taobao.com>