

同轴腔体滤波器的温度补偿设计

□ 王凯/合肥工业大学(安徽 合肥 230031)

摘要: 同轴腔体滤波器温度补偿设计的主旨思想就是通过改变谐振杆、调谐螺钉以及腔体之间的开路电容来补偿谐振杆长度变化带来的影响，使谐振频率近似为常量。设计出一种带宽为2496MHz~2602MHz的椭圆型带通滤波器，经过测试，温度补偿令人满意。

关键词: 同轴腔体滤波器，椭圆型滤波器，温度补偿，CST 软件

中图分类号: TN713 **文献标识码:** A

文章编号: 1673-1131(2009)03-014-03

一、引言

现代无线通信系统的迅速发展，使得频谱资源非常的紧张。这就要求尽量缩窄信道之间的保护频带，最大限度地利用频谱资源。这也对无线系统中滤波器的选择性提出了更高的要求，同时也要求滤波器拥有良好的温度稳定性。过去，一般采用实验的方法来设计滤波器的温度补偿问题，现在，随着电磁仿真软件技术的快速发展，可以通过其准确的建模和仿真，来提高设计的准确性、加快设计时间和降低研发成本。

在设计中，首先建立腔体滤波器的模型，分析出影响温度稳定性的各个因素，探讨出合适的补偿方法。再利用电磁仿真软件CST计算出单个谐振器的谐振频率，从而归纳出谐振杆等效温度系数与谐振频率、调谐螺钉深度的关系，分析

出最佳的设计方案。最后以实例说明此种方法的优越性。

二、腔体滤波器的温度补偿原理

同轴腔体滤波器由于结构紧凑，无载Q值高，在现代通信系统中被广泛采用。所谓同轴腔体滤波器的温度特性主要是由制造滤波器各个零件的材料温度特性决定的。采用低热膨胀系数的材料，滤波器可以获得良好的温度特性，但同时也会带来高额的制造成本。表1是一些常用金属的热膨胀系数。实际中，通常采用低成本的材料，正确地设计和制作出理想温度特性的滤波器。

材料名称	膨胀系数 (ppm/°C)
殷钢	0.9
钛	8.5
410# 不锈钢	10.2
10# 钢	12
黄铜	16
7075# 铝	24

表1

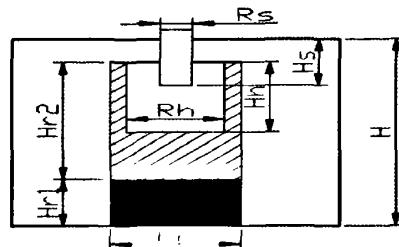


图1

Abstract: The basic idea of the temperature compensation for a coaxial-cavity filter is to provide a change of the open-end capacitance, formed between the rod and the tuning screw as well as the box, to compensate for the change of the resonator rod length so that the resonant frequency remains nearly constant. A elliptical band-pass filter from 2496MHz to 2602MHz is designed and tested satisfactory temperature compensation is obtained.

Keywords: coaxial-cavity filter, elliptical filter, temperature compensation, CST

单个谐振器单元结构如图1。随着温度的改变，谐振器单元中各个尺寸也会发生变化，从而导致谐振频率的变化。例如当温度上升时， H_{r1} 的增大使得谐振频率降低，而H的变化则使得频率升高。这就告诉我们通过改变谐振器与调谐螺钉间的开路电容，可以很好地补偿谐振器长度变化带来的影响。

首先我们设定 Θ_h 是腔体材料的热膨胀系数， Θ_r 是谐振杆材料的热膨胀系数， Θ_s 是调谐螺钉材料的热膨胀系数。谐振杆可以采用一种材料，也可以是两种不同材料的零件组合而成。当采用两种不同材料组合而成时，整个谐振器的等效膨胀 r 与两种材料的属性和长度有以下关系：

$$\Theta_{hr} = \Theta_1 H_{r1} + \Theta_2 H_{r2} \quad (式一)$$

Θ_1 、 Θ_2 分别对应两种不同材料的热膨胀系数； H_{r1} 、 H_{r2} 分别为两种不同材料制出的谐振杆零件高度，它们的直径是相同的； H_r 是谐振杆的总高度。通过不同的材料及不同的尺寸比例，根据式一，我们可以获得多种谐振杆等效热膨胀系数。

CST MicrowaveStudio是为快速、精确仿真电磁场高频问题而专门开发的EDA工具。利用它，我们能够准确地得到单个谐振器的谐振频率随调谐螺钉变化的曲线。根据温度变化量和材料的热膨胀系数我们可以算出谐振器单元内各主要尺寸的变化量，同时再根据这些尺寸利用CST计算出相应的频率变化量。然后可以将这些数据转化为谐振器等效温度系数随频率及调谐螺钉深度变化关系曲线，如图2。对应图2的谐振器腔体尺寸是40*40*30mm，谐振杆高度27mm，半径6.7mm，调谐螺钉规格是M5。谐振杆分别采用10#钢和殷钢制作，调谐螺钉和腔体分别采用黄铜，7075#铝。从中我们可以发现，当调谐螺钉落在谐振杆外时，如果增加调谐螺钉深度即增加 H_s ，整个谐振器的等效温度系数将开始下降，甚至是负值。当调谐螺钉伸入谐振杆内时，等效温度系数将会上升。这也就是说，对于给定尺寸的谐

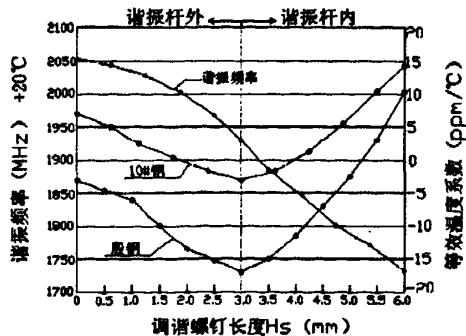


图2

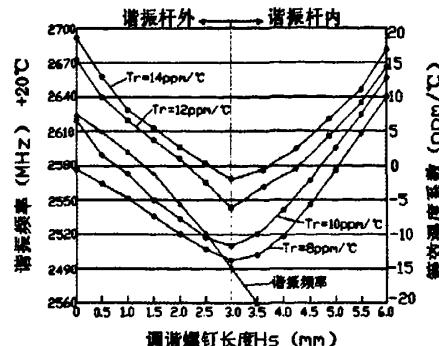


图3

振器，我们可以在两个谐振频率上获得极好的温度补偿效果。当选择螺钉处于谐振杆外时设计滤波器，可以获得较高的Q值；而选择螺钉进入谐振杆内时设计滤波器，它可以获得更多紧凑的结构。

三、设计实例

现在我们采用上述的方法设计一只8级椭圆型滤波器的温度补偿。这个滤波器的腔体采用7075#铝制作，调谐螺钉采用黄铜。内部的电耦合通过耦合棒来实现，而磁耦合通过耦合窗口，并用调谐螺钉实现微调。滤波器带宽是2496~2602MHz。为了提高谐振器的无载Q值最大限度地降低滤波器通带内差损，我们选择调谐螺钉在谐振杆外，进行温度补偿设计。单个谐振腔尺寸为22*21*19.5mm，谐振杆直径6mm，调谐螺钉规格是M4。图3是该单元谐振器的等效温度系数仿真图。从曲线中，我们可以发现：当谐振杆等效热膨胀系数在时，在中心频率2555MHz左右可以获得较好的温度特性。所以设计出谐振杆是由铝制成的2mm谐振杆和10#钢制成的14.5mm谐振杆组合而成，这样可以使谐振杆等效热膨胀系数在12ppm/°C左右。图4与图5是该滤波器分别在25°C和80°C状态下的S21及S11曲线。从边带的抑制点我们可以计算出该滤波器在25~80°C内的频率漂移大约是-500kHz（负号表示在温度升高时，频率向下偏移），对应温度系数是-3.55ppm/°C，这只滤波器的温度稳定性是非常理想的。

四、结论

利用先进的全波仿真软件对单个谐振器的谐振频率随温度变化量进行计算，得出准确的谐振器等效温度系数与频率的关系曲线，再选择好合适的谐振杆制作材料，可以迅速准确地设计出具有良好温度特性的同轴腔体滤波器。

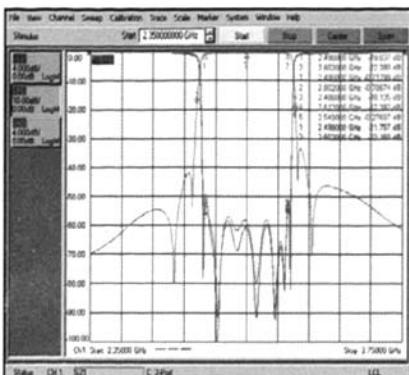


图4 (+25℃)

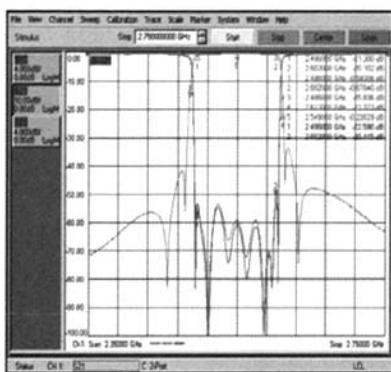


图5 (+80℃)

参考文献

- [1] 甘本波、吴万春：《现代微波滤波器的结构与设计》，科学出版社，1973
- [2] Daniel G.Swanson,Jr Wolfgang J.R.Hoefer :《Microwave Circuit Modeling Using Electromagnetic Field Simulation》
- [3] T.S.Saad. "Doubly Compensated Tunable Cavity." Mar.1953 [T-MTT]
- [4] Hui-Wen Yao and A.E. Atia. "Temperature characteristics of combline resonators and filters." 2001 MTT-S International Microwave Symposium Digest01.3
- [5] George L.Matthaei, Leo Young:《Microwave Filters, Impedance-matching Networks, and coupling structures》

作者简介

王凯 (1978-) ,男,汉族。合肥工业大学工程硕士,方向为无线通信系统。

(上接第13页)

[2] Wang Ping-Ying. Chaos in phase locked loop[C]. VLSI Design, Automation and Test, TAIWAN, 2006: Proceedings of the 2006 IEEE International Symposium on, 2006.1-2.

[3] Endo T, Yokota J. Generation of white noise by using chaos in practical phase-locked loop integrated circuit module[C]. Circuits and Systems, USA, 2007, Proceedings of the 2007 IEEE International Symposium on, 2007.201-204.

[4] 谭永明 邓立虎.三角形取样锁相数字合成器锁相环中的混沌[J].电子科技大学学报,2005,34(03):300-303.

[5] 张政伟 李宏.基于锁相环混沌同步[J].电子测量技术,2004,(05):56-56.

[6] 谭永明.取样锁相环中的奇异吸引子及混沌[J].东莞理工学院学报,2001,8(01):1-4.

[7] 张厥盛等.锁相环频率合成器[M].北京:电子工业出版社,1997.

作者介绍

王磊 (1984-) ,男,湖北恩施人,硕士,主要研究方向为控制理论与控制工程;

刘振兴 (1965-) ,男,湖南桃江人,教授,博士,主要研究方向为控制理论及应用、新型电力传动系统、故障诊断技术与应用以及信号与信息处理。

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/>