

# 广播发射系统中滤波器的温度补偿

张欣,白向阳

(河南省广播电影电视局 河南郑州 450003)

**摘要:**频率稳定性是微波滤波器的重要技术指标之一。保证频率稳定,对滤波器谐振腔进行温度补偿是较为有效的方法。主要探讨温度补偿新技术,对目前比较常用的几种微波滤波器的温度补偿技术进行阐述,并给出改进法来提高微波滤波器频率稳定性。随着广播电视及其通信技术的飞速发展,温度补偿技术必将随着市场需求的增加而获得更快发展。

**关键词:**滤波器;温度补偿;滤波器谐振腔;频率稳定性

中图分类号:TN934

文献标识码:B

文章编号:1004-373X(2008)20-139-03

## Temperature Compensation of Filter in Radio and TV Delivery System

ZHANG Xin, BAI Xiangyang

(Henan Administration of Radio Film and Television, Zhengzhou, 450003, China)

**Abstract:** Temperature compensation technologies on microwave filters are very important in microwave filters design. Promising a frequency stability, flapping a chamber to carry on temperature repair to the filters is more valid method. This text mainly inquires into the temperature in expiation of new technique, and compensates a technical improvement to raise the frequency stability of the microwave filter currently to iner common use and a few temperatures of microwave filters. With the rapid development of radio and TV communication technique, the temperature compensation has fast development with increase in market demand.

**Keywords:** filter; temperature compensation; filter resonator; frequency stability

## 1 温度补偿概述

谐振腔是重要的微波器件,被广泛应用在滤波器、功率合成器等设备中。谐振频率是谐振腔最重要的参数之一。当大功率广播发射射频信号通过含有谐振腔的设备时,由于谐振腔的功率损耗,会有一部分能量转化为热能,设备的温度会升高,导致谐振腔的体积和形状发生微小的变化。这种变化虽然肉眼察觉不到,但会引起谐振频率的漂移,从而使设备的性能发生变化,影响其正常使用。所以,在实际应用中的微波谐振腔必须有好的频率稳定性,必须保证谐振腔的谐振频率在一定温度范围内保持恒定。

为了使微波谐振腔有良好的温度特性,目前比较常用的方法一般可分为2种。一种是采用热膨胀系数小的铟钢材料制作谐振腔。这种材料做成的谐振腔的频率稳定性是由普通的铜或铝做成的谐振腔的10倍左右,但铟钢材料的缺点也比较多,如成本高、不容易焊接、导电率差、材料密度大等。铟钢制成的腔体的内壁必须镀银才能使用。由于银和铟钢的温度膨胀系数相差很大,当腔体在使用中由于温度反复变化,附着在铟钢上的镀银层

会剥落。当有一小块先剥落时,该处因为铟钢和银导电率的差异会引起打火,从而加速腔体的损坏。

另一种增加谐振腔频率稳定性的方法就是对谐振腔进行温度补偿。温度补偿就是应用某种方法补偿温度变化对谐振腔谐振频率所造成的影响,将谐振腔的谐振频率稳定在一个可以接受的范围内。本文主要介绍应用在波导腔和同轴腔上的各种温度补偿方法。

## 2 温度对谐振腔谐振频率的影响

绝大多数的金属和合金都是受热体积膨胀,冷却体积收缩。大部分纯金属的膨胀系数与其熔点成反比,高熔点金属膨胀系数小,如W(钨)、Mo(钼)、Ta(钽)、Nb(铌)等;低熔点金属膨胀系数大,如Al(铝)、Zn(锌)、Pb(铅)等。金属的膨胀公式为 $a_1 = a_0(1 + \alpha \cdot \Delta t)$ ,式中, $a_0$ 和 $a_1$ 分别为受热前后金属的长度; $\alpha$ 为金属的膨胀系数。当由金属材料制成的谐振腔温度升高时,谐振腔的体积和形状会发生变化,从而引起谐振腔谐振频率的变化。设谐振腔的原始温度为 $t_0$ ,谐振频率为 $f_0$ ;温度变化后谐振腔的温度为 $t_1$ ,谐振频率为 $f_1$ 。温度变化 $\Delta t = t_1 - t_0$ ,谐振频率变化为 $\Delta f = f_1 - f_0$ 。下面,分别讨论矩形波导腔、圆柱波导腔和同轴腔的温度特性。

## 2.1 矩形波导谐振腔

当温度为  $t_0$  时,矩形波导谐振腔的三边长分别为  $a_0, b_0$  和  $l_0$ ,它的谐振频率为:

$$f_0 = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{m}{a_0}\right)^2 + \left(\frac{n}{b_0}\right)^2 + \left(\frac{p}{l_0}\right)^2}$$

$$f_1 = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{m}{a_0(1+\alpha \cdot \Delta t)}\right)^2 + \left(\frac{n}{b_0(1+\alpha \cdot \Delta t)}\right)^2 + \left(\frac{p}{l_0(1+\alpha \cdot \Delta t)}\right)^2} = \frac{f_0}{1+\alpha \cdot \Delta t}$$

谐振频率变化量为:

$$\Delta f = f_1 - f_0 = -\frac{\alpha \cdot \Delta t}{1+\alpha \cdot \Delta t} \cdot f_0$$

## 2.2 圆柱波导谐振腔

当温度为  $t_0$  时,圆柱波导谐振腔底面半径为  $a_0$ ,高度为  $l_0$ 。它的谐振频率为:

$$f_0 = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{\mu_{mn}}{\pi a_0}\right)^2 + \left(\frac{p}{l_0}\right)^2} \quad \text{TE 模式}$$

$$f_0 = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{\mu_{mn}}{\pi a_0}\right)^2 + \left(\frac{p}{l_0}\right)^2} \quad \text{TM 模式}$$

同样的,当温度变化为  $\Delta t$  时,频率变化为:

$$\Delta f = f_1 - f_0 = -\frac{\alpha \cdot \Delta t}{1+\alpha \cdot \Delta t} \cdot f_0$$

## 2.3 电容加载同轴谐振腔

电容加载同轴谐振腔的谐振频率满足超越方程:

$$\omega C = \frac{1}{Z_0} \cot\left(\frac{\omega l}{c}\right)$$

其中,  $C$  为谐振腔的加载电容;  $l$  为同轴谐振腔内导体的长度。当温度变化时,同轴腔的内外导体都变长为原长度的  $1 + \alpha \cdot \Delta t$  倍,谐振频率会相应降低。

## 3 常见的温度补偿技术

由于温度补偿技术在实际应用中的重要性,出现了多种温度补偿技术。

### 3.1 改变谐振腔外形技术

对于矩形和圆柱波导谐振腔,它们的谐振频率由谐振腔的外尺寸决定。因此,改变谐振腔的某些外形尺寸,可以达到温度补偿的效果。对于谐振腔不同的谐振模式,需要正确的选择外形改动的位置。下面以矩形波导谐振腔为例。

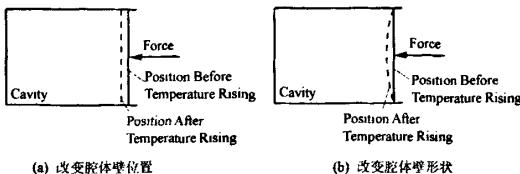


图 1 改变腔体壁位置和形状

在图 1 中,图(a)为腔体壁水平移动的情况,图(b)

当温度变化时,可以假定矩形谐振腔的各棱边等量变化,即谐振腔 3 条棱长分别变化为:

$$a_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta t), b_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta t) \text{ 和 } l_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta t)$$

此时,谐振腔的谐振频率为:

为腔体壁受力变形的情况。这种温度补偿方法直观有效,但缺点也很明显。对于图 1(a)的情况,腔体壁由于可以自由移动,需要很好地解决移动腔体壁与其他腔体壁的接触问题;对于图 1(b)的情况,由于腔体壁受力需要适当弯曲,因此在制作工艺上有较高要求。这种温度补偿方法需要的推动力比较大。

### 3.2 限制同轴腔内导体长度技术

对于电容加载的同轴谐振腔来说,温度对谐振频率的影响主要是内导体长度变化造成的。一种增加同轴谐振腔频率稳定性的方法,就是限定同轴腔内导体的长度。如图 2 所示。

在这种结构中,同轴腔的内导体由 2 部分组成,它们之间使用簧片接触,使得这 2 部分可以相对的自由移动。内导体 2 跟外导体通过 1 根钢管连接在一起。由于钢管的热膨胀系数很小,可以认为当温度升高时,内导体 2 固定不动。虽然内导体 1 受热膨胀,长度增加,但内导体的总长度并不发生改变,这样就起到了稳定谐振频率的作用。

这种做法有几点不足。首先是温度补偿不完全。虽然这种结构可以保证温度变化时内导体长度基本不变,但腔体外导体是有变化的,这对谐振腔的谐振频率同样是有影响的。其次就是簧片的接触问题。簧片反复移动和摩擦可能会使得簧片失效。

### 3.3 同轴腔电容补偿

对于电容加载同轴谐振腔来说,改变内外导体末端间的电容,可以有效地调节谐振腔的谐振频率。所以,适当地改变内外导体间的电容,可以起到温度补偿的效果。如图 3 所示。

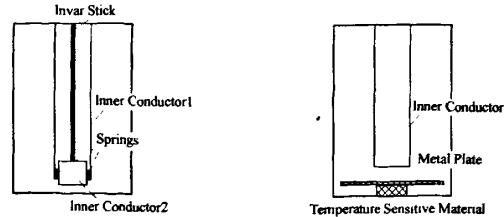


图 2 限制同轴腔内导体技术

在这种结构中使用热敏感材料,它们的热膨胀系数

比金属大(如聚四氟乙烯),但该装置等效的热膨胀系数为负。即,当温度升高时,热敏感材料装置的高度减小,金属片同内导体的距离增大,内外导体间的电容减小,腔体的谐振频率会相应的增加,从而补偿谐振腔因为温度升高而造成的频率下降,达到温度补偿的效果。

### 3.4 介质球微扰技术

将一个介质球置入波导谐振腔体中,改变介质球的位置,可以改变谐振腔的谐振频率。这样,随着温度的变化,精确控制介质球的位置,也可以起到温度补偿的效果。

### 3.5 金属导体微扰技术

目前有一类温度补偿方法,是基于微扰理论发展而来的,结构如4图所示。图4(a)显示为向内扰动装置,即随温度增加,金属圆柱插入谐振腔,起到缩小谐振腔体积的效果;图4(b)显示为向外扰动装置,即随温度增加,金属圆柱拔出谐振腔,起到增大谐振腔体积的效果。

这类温度补偿装置既可用于矩形和圆柱波导谐振腔,也可以应用在同轴腔中。将温度补偿装置安装在谐振腔合适的位置上,金属圆柱插入谐振腔中。当温度变化时,装置中的热敏动力源会推动金属圆柱改变位置,从而调节谐振腔的频率,起到温度补偿的效果。

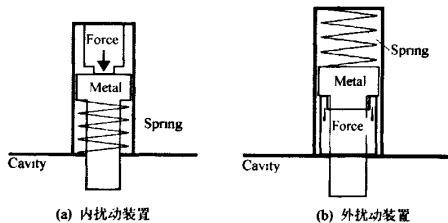


图4 内外扰动装置

微扰理论表明,当向内扰动如果发生在磁场强点,将提高谐振腔的谐振频率;当向内扰动发生在电场强点,将降低谐振腔的谐振频率。向外扰动则产生相反的效果。显然,当扰动是发生在最大的和零位置时,或者反过来当扰动是发生在最大的和零位置时,将发生谐振频率最大

的改变。谐振腔谐振频率的微扰理论公式如下所示:

$$\Delta f/f_0 = C(\Delta\tau/\tau)$$

式中,  $\Delta f$  为扰动后的谐振腔频率的变化量;  $f_0$  为未受扰动时谐振腔的谐振频率;  $\Delta\tau$  为微扰所产生的体积变化量;  $\tau$  为谐振腔受扰动前的体积;  $C$  为常数,仅决定于谐振腔的几何形状和微扰的位置。

这种结构目前有很多种实现的方案,重点在于动力源的选择上。动力源可以分为有源和无源2大类。有源动力可以由低压直流电源和电机组成;无源动力包括固体石蜡、记忆金属、热双金属片、特种酒精等。

## 4 结语

随着广播、电视及通信技术的飞速发展,系统对微波滤波器的性能要求越来越高,大功率微波器件的温度稳定性成为微波滤波器设计过程中需要重点考虑的指标,温度补偿技术必将随着市场需求的增加而获得快速发展。

## 参 考 文 献

- [1] 卢常勇,王小兵,郭延龙,等.基模运转的热稳定定向棱镜谐振腔设计[J].激光与红外,2005,35(4):237~240.
- [2] Wang C,Zaki K A. Temperature Compensation of Comline Resonators and Filters[C]. IEEE MTT-S International Microwave Symposium,1999,3.
- [3] 王剑辉,李宗伟,郭秀华.同轴电缆长度与产生重量的关系[J].中国有线电视,1999(10):82.
- [4] 宋铮,沈爱国,刑军. PML 吸收边界条件在微带天线计算中的应用[J].微波学报,2002(3):43~48.
- [5] 金威,刘金锦,周东方.同轴均衡器温稳特性的材料补偿方法的研究[J].信息工程大学学报,2004,5(5):60~63.
- [6] 李石智.电磁辐射与散射问题的矩量法[M].北京:电子工业出版社,1985.
- [7] 蔡南先.电波与天线[M].北京:中国广播电视台出版社,1992.
- [8] 尹雷,洪伟.一种基于印刷工艺的新型毫米波波导缝隙天线[J].微波学报,2000,16(1):85~88.

## 蓝光光盘加速进军欧洲市场

近日,蓝光光盘协会(BDA)欧洲推广委员会主席 Frank Simonis 表示:“在欧洲,蓝光光盘正在迅速走近广大用户,为将这一格式推向主流消费市场提供了必要的平台。今年第四季度,从 CE(消费电子)硬件到 PC(个人电脑)系统、影视、音乐和计算机游戏等,各类蓝光光盘产品的销量都将迅速增

长”。

欧洲各大媒介行业分析机构预测蓝光产品销量将强劲增长。从这一背景出发,蓝光光盘协会给出了乐观的评价。据英国 FutureSource 咨询公司预测,今年欧洲将销售 1 200 万张蓝光光盘,约占英、法等主要市场视频影音销量的 2%。

(摘自中国电子报)

## 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/>

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>