

YIG 滤波器的补偿电路设计

邹丹

中国电子科技集团公司第四十一研究所 邮编:266555 e-mail:bladedz@163.com

摘要:本文介绍 YIG 滤波器主要性能及其在应用中所需的驱动电路设计方法,重点介绍了 YIG 滤波器的磁滞、非线性和温度漂移等非理想特性及其补偿与校正方法。

关键词:YIG、滤波、补偿

1. 引言

YIG 调谐滤波器(简称 YTF)是以 YIG 小球作为谐振子,通过耦合产生的谐振频率选择输入信号,以起到滤波的作用。它可在频率 3~40GHz 范围内工作,3 分贝带宽可在 5 到 70 兆赫之间调整。因 YTF 具有极宽的频率调谐范围(可达到多个倍频程),广泛应用于宽带微波毫米波接收机中对射频信号进行跟踪预选。但 YTF 还具有磁滞、温度漂移和磁路饱和引起的调谐非线性等不利于使用的特性,给应用带来困难。因此,其驱动电路设计是有效应用 YIG 调谐滤波器的关键。本文重点介绍了 YIG 滤波器驱动电路的非线性、磁滞和温度漂移补偿方法。

2. YIG 调谐原理及其非理想特性介绍

2.1 YIG 调谐原理

YIG 是一种强磁性材料,原材料主要是钇铁柘榴石,即 Yttrium Iron Garnet(故简写为 YIG),它在微波频率具有极有用的性质,即柘榴石(Garnet)的分子具有磁矩,正常是磁矩呈随机排列的。加上静磁场后,磁矩会朝某一方面排列。当所加的是交替的磁场时,磁矩就会来回摆动。摆动的频率是 YIG 材料、形状及大小,和所加静磁场强度的函数。摆动的最大振幅,出现在所加的交替磁场恰等于 YIG 晶体的摆动频率时。因此,可以利用此谐振现象来制造滤波器。

2.2 YIG 滤波器的调谐非线性、磁滞和温度漂移现象

从 YIG 滤波器的原理可知,YIG 是由磁场激励而工作的。而磁场发生磁滞损耗、涡流损耗时,调谐频率与驱动电流不存在线性关系,称之为 YIG 滤波器的调谐非线性。

由于 YIG 滤波器的材料有磁铁,而磁铁都有磁滞现象。磁滞指铁磁材料的磁性状态变化时,磁化强度滞后于磁场强度,它的磁感应强度 B 与磁场强度 H 之间呈现磁滞回线关系。经一次循环,每单位体积铁心中的磁滞损耗等于磁滞回线的面积。

当温度变化时,会引起 YIG 滤波器的谐振器的谐振频率变化,称为温漂现象。其原因概括起来不外乎内、外两个方面。所谓内部原因,指谐振器本身的原因,主要是产品的材料,形状,饱和磁化强度以及各向异性场等因素随温度变化所引起。而所谓外部原因,是指谐振器以外的电路(例如耦合结构、磁铁、和励磁电路)的温度响应。

2.3 基本驱动电路

理想的 YIG 滤波器其通带的中心频率与外加磁场强度存在线性关系，而频率 (ν) 又与安匝数 (nI) 成正比，因此，通带中心频率与驱动电流成正比。

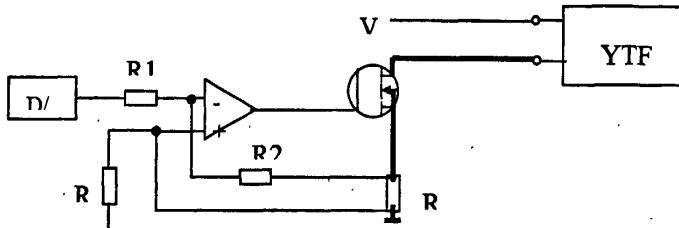


图 1 基本驱动电路框图

YTF(YIG 调谐滤波器)具体采用的驱动电路如图 1 所示, 从图中可以看出, 调谐灵敏度与取样电阻 R_s 成正比, 与电阻 R_1 成正比, 与电阻 R_2 成反比。因此只要改变 R_s 、 R_1 和 R_2 之间的任何一项就能改变电路的调谐灵敏度, 以适应不同的调谐器件。

3. YTF 补偿技术

由于上述 YTF 的非理想特性，对其使用产生不利影响。在驱动电路中设计适当的补偿与校正电路，可有效改善其应用效果。

3. 1 调谐非线性补偿

实际上，由于磁滞损耗、涡流损耗，等多种原因，在调谐频率的高端通带的中心频率偏离关系式(1)，但这种偏离是有一定规律，一般向下呈“C”形(如图2)，不同点偏移大小可测量，这正是非线性补偿的依据。

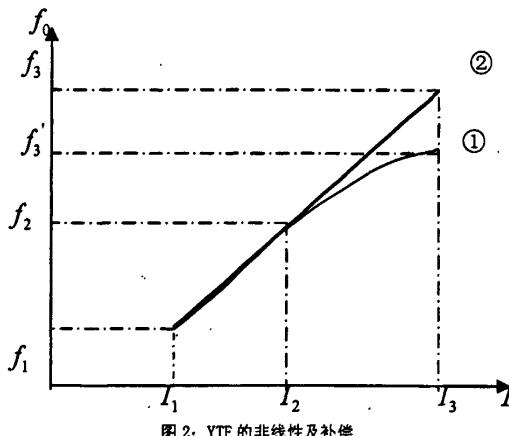


图 2: YTF 的非线性及补偿

在图2中②为理想的YTF调谐关系，调谐频率与驱动电流成线性关系，①为YTF实际的调谐曲线。可以认为频率在 f_1 和 f_2 之间与电流成比例，当电流增大到 I_3 时理论频率应该是 f_3 。

而实际只到了 f_3' (与 f_3 之间的差称 Δf)。如果认为①在 I_2 和 I_3 间为直线，则 Δf 与 ΔI 成比例。只要通过试验测出 Δf ，就能计算出在 I_3 基础上增加的 ΔI ，以使 YTF 的中心频率即可到达 f_3 。

$$\Delta I = \Delta f \times \frac{I_3 - I_1}{f_3 - f_1} \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

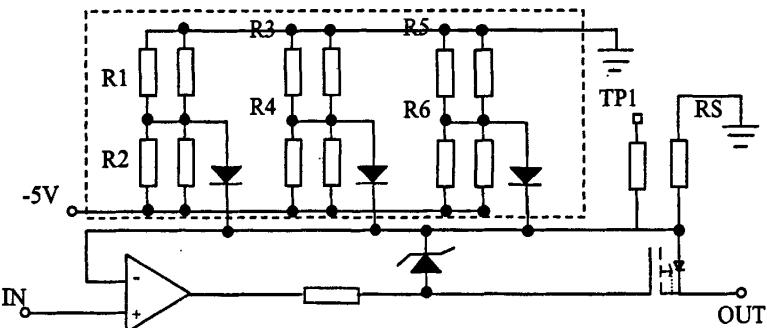


图 3: 非线性补偿电路原理图

在不同波段，我们可以改变 R1—R6 的值，以此改变驱动电压，进而改变 YTF 的驱动电流，使其在不同的波段保持线性。通过关系式(2) $\Delta I = \Delta f \times \frac{I_3 - I_1}{f_3 - f_1}$ ，就可以根据需要改变的驱动电流大小来推导出 R1—R6 的具体阻值。

3. 2 磁滞补偿

YTF 实际使用时，是在锯齿波调谐电压作用下反复扫描（如图 4-1），由于磁性材料都有磁滞特性，调谐宽度不同磁滞的大小也不同（如图 4-2）。如果对回扫电压进行微分，并与图 4-1 中的调谐电压迭加在一起，形成图 4-3 的调谐电压，即可消除（减小）磁滞影响。

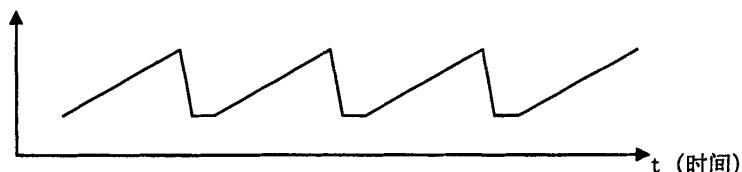


图 4-1: 调谐电压

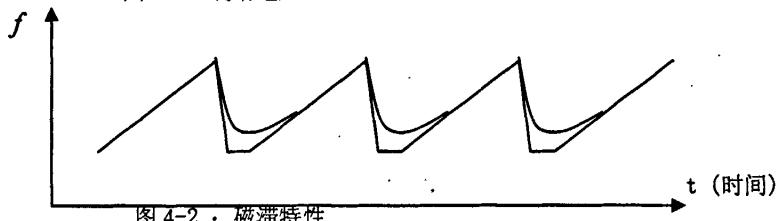
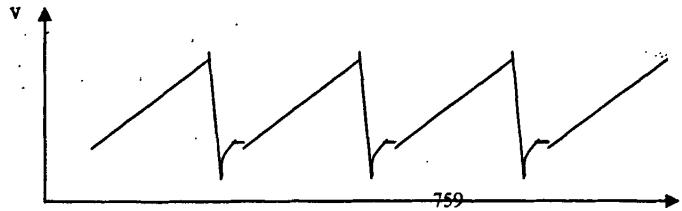


图 4-2：磁滞特性



t (时间)

图 4-3: 磁带补偿后的调谐电压

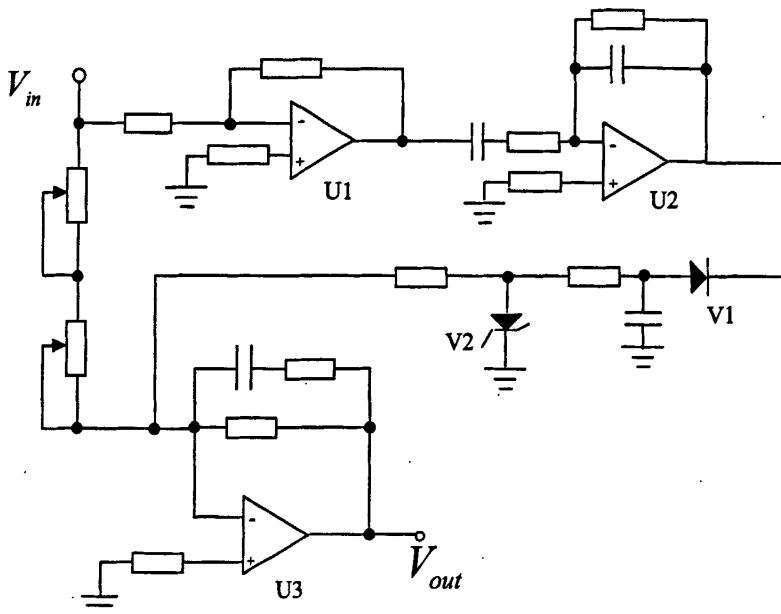


图 5: 磁滞补偿电路原理图

根据前面所述，需要将调谐电压的磁滞部分进行微分。输入的锯齿波电压 V_{in} 通过反向器 U1 后成为如图 5—1 所示的波形，U2 作用是将前面的波形进行微分，然后通过二极管 V1 的取向作用后，将得到一个负的信号。V2 是限幅器，不同的调谐宽度会导致微分后的信号会很低，而 V2 就是给出一个底限，使叠加后的调谐电压维持在正值。最后在加法器 U3 的作用下原调协电压与微分后得到的补偿电压相加得到了理想的调谐锯齿波电压。

3. 3 温漂补偿

另外，实际 YTF 通带中心频率存在温度漂移，并且不同的 YTF 漂移大小不同，因此，只能根据每个 YTF 的温度特性进行温度补偿。补偿的办法是采用热敏电阻进行电流补偿。一般情况下，YTF “温度—频率—漂移值”三者之间的关系为：漂移值和温度变化量近似呈线性关系，在变化量相同的温度下漂移值和频率也近似呈线性关系。为此，我们设计了 YTF 的温度补偿电路。通过检测 YTF 的温度，根据其温漂特性，调用预先设置的不同温度段驱动值加入补偿。

一种温度补偿的方法为：在 YTF 的工作温度范围内，设置可任意编辑的多个温度段，具体的温度段可根据每台仪器实际情况划分。在常温补偿整机平坦度时记录 YTF 的温度，把 YTF 的偏置和斜率值置入相应的软菜单内并存储。在高低温实验箱中，根据需要划分 YTF 的温度段，并在每个温度段重新调整 YTF 的偏置和斜率，将调整结果置入软件菜单并存储。

仪器在实际使用过程中，回扫期间 CPU 读取 YTF 的温度值，然后根据 YTF 的温度值调用对应温度段的 YTF 偏置值和斜率值。这样就使 YTF 在不同的温度段内用相应的偏置值和斜率值，因此较好地对 YTF 的温漂进行了补偿。

4. 结束语

YIG 调谐滤波器在宽带接收机中用作预选器时，其动态调谐控制电路的设计是个难点，特别是 YIG 滤波器的动态非线性，磁滞，温漂等特性，使得应用起来很困难。通过以上的补偿方法，有效的降低或消除了这些影响。除了用软硬件补偿外，还要从根本上提高 YIG 滤波器的性能，需要进一步增大带宽，减小温漂和磁滞，同时还要提高 YIG 滤波器的一致性。

参考文献

- 1 Gan Benbo, Wu Wanchun. microwave single crystal ferrite magnetic tunded filter. science publishing company. 1972 [甘本祓 吴万春. 微波单晶体铁氧体磁调滤波器. 科学出版社. 1972]
- 2 Zhao Jiye, Nian Fushun. The modern correspondence measures instrument. Military science publishing company [赵继业, 年夫顺等. 现代通信测量仪器. 军事科学出版社. 1999]
- 3 Liao Chengen. Microwave technique foundation. Xian electronics science and technology university publishing company [廖承恩. 微波技术基础. 西安电子科技大学出版社. 1994]

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/>