

高频头中微带滤波器和振荡器的设计与实现

唐毅，童玲

(电子科技大学自动化学院,四川成都 610054)

摘要: 卫星接收机通过同轴电缆同卫星天线上的高频头相连,高频头将卫星天线反射过来的微波信号反馈到卫星接收机内进行处理或解码,解出图像和伴音。高频头质量越好,相应的接收天线口径要求越小,成本越低。根据高频接收系统电路的基本设计原理,如何设计与实现高频头中的微带滤波器和振荡器电路,对整个高频接收系统有至关重要的作用。

关键词: 高频头;混频器;微带线;发针式滤波器;谐振腔振荡器

中图分类号:TN752.5

文献标识码:A

文章编号:1672-4984(2007)05-0118-03

Design and application of micro-strip filter and oscillator in LNB

TANG Yi, TONG Ling

(School of Automation Engineering, University of Electronic Science and Technology, Chengdu 610054, China)

Abstract: Satellite television receiving system consists of satellite antenna, feedback, LNB (Low Noise Block), satellite receiver. The satellite receiver was connected with the LNB in antenna through coaxial cable, and the LNB sent the reflected micro-wave sign from the satellite antenna to the receiver to be proceeded or decoded in order to get image and audio. The more good quality of the LNB, the smaller caliber and the lower cost of receiving antenna were required. According to the basic design principle of high frequency receiving system. It is vital important for this system that how to design and produce the micro-strip filter and oscillation circuit in LNB.

Key words: LNB; Mixer; Micro-strip line; Hairpin-filter; Resonator oscillator

1 引言

高频接收系统,也叫高频头(LNB),不管是哪种高频头都是由低噪声放大器、第一变频器和第一中放等组成。由于卫星电视接收系统中天线接收到的卫星下行微波信号非常微弱,为了保证到达卫星接收机的信号载噪比有足够的强度,通常要求高频头有很低的等效噪声温度和很高的信号放大量及信号稳定度。第一中频信号经过 75Ω 电缆送入功分器。通过功分器把一路信号分为多路,每一路信号再送入一个卫星接收机。卫星接收机(室内单元)进行第二次变频,将第一中频信号下变频为510MHz的第二中频信号。卫星接收机由前置放大、第二本振、第二混频器、第二中放和解调器组成。卫星接收机与有线电视前端连接,它的输出信号送入CATV系统中前端的调制器。本文中的系统主要应用于Ku波段。主要功能是通过变频,将Ku波段信号下变频为(0.9~1.4)GHz的第一中频信号。

收稿日期:2007-02-06;收到修改稿日期:2007-04-18

作者简介:唐毅(1974-),男,四川成都市人,硕士研究生,主要从事测试计量技术及仪器研究。

2 电路的基本构成原理

2.1 Ku波段高频头各单元电路

(1)同轴线-波导转换器:①实现同轴传输线与矩形波导传输线的转接;②实现波型转换,即把同轴传输线中的TEM波转换成矩形波导中TE10波(即H10波),或逆变换。同轴线的内导体伸进波导里,其作用为小天线,为加强耦合,其端部可作成一定形状如圆球、圆柱或圆锥形。

(2)低噪声场效应放大器:在微波频段上,广泛采用微波集成电路(MIC),砷化镓场效应管(GaAs-FET),它们具有工作频率高、噪声低、增益高、动态范围大、频段宽等优点。

(3)镜象抑制滤波器:多采用平行耦合线微带通滤波器,微带线耦合长度 $\lambda/4$,滤波器通带为接收范围。

(4)下变频器:本振信号和微波信号混频。

本地振荡器为场效应管介质振荡器,它由场效应管BG、微带线、介质片组成,介质片置于连接栅极和漏极的微带线之间。

(5)第1中放电路:在第1中放输出端串入了 Π

型电阻衰减匹配网络,起隔离和匹配的作用,以进一步改善输出驻波比。

2.2 实际电路的整体设计

本电路是双极化双本振单输出低噪声放大下变频器,原理框图如图1。输入频率范围(10.7~12.75)GHz。其工作原理是:波导口接收到场信号经探针,转换成微带电路上的路信号,再进行低噪声高增益放大,提供(20~40)dB的功率增益,供给混频电路下变频处理。本机振荡器采用介质振荡器稳频的高频三极管,产生高稳定的固定振荡频率:9.75GHz和10.60GHz。以便为混频提供所需的本振信号。混频是由场效应管组成,利用场效应管的非线性特征,产生输入信号与的本振的差拍信号,并通过低通滤波器选出所需的中频信号(950~2150)MHz。中频放大电路提供(30~40)dB的功率增益,再通过射频电缆传送到室内解调。多数Ku高频头靠控制卫星接收机的13/18V电压开关或者0/22kHz脉冲切换开关来调整输入频段。

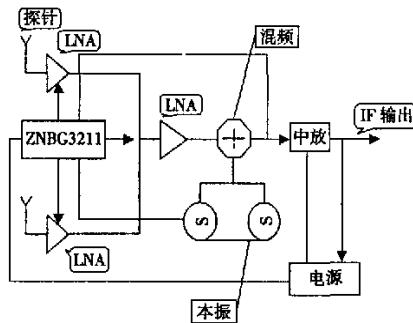


图1 高频电路原理框图

3 微带发针式带通滤波器的设计原理

3.1 微带发针式滤波器基本原理

微带发针式结构的滤波器,也叫U型滤波器,可以认为就是开路平行耦合线滤波器的弯折结果。它是由发针式谐振器并排排列耦合而成的。其结构更为紧凑,在电路尺寸要求比较严格的场合,发针式滤波器得到广泛的应用,其信号输入输出方式可以采用抽头式和平行耦合方式。而两个发针之间的耦合根据相对位置可分为电耦合、磁耦合和混合耦合三种情况。另外,耦合拓扑结构大体上可以分为级联耦合和交叉耦合两大类,级联耦合滤波器的N阶谐振器沿一个方向依次排开,只有一条偶合路径,并且只有相邻谐振器之间存在耦合。

3.2 设计方法

如图2,假设微带传输线谐振器两端开路,其特

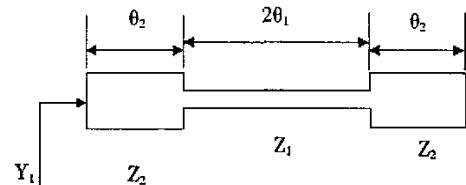


图2 阶跃阻抗谐振模型

性阻抗为 Z_1, Z_2 ,电长度为 $2\theta_1, \theta_2$,则阶跃阻抗比 $R_z = Z_2/Z_1$,从开路端看其输入导纳为 Y_i ,则:

$$Y_i - jY_2 = \frac{2(R_z \tan \theta_1 + \tan \theta_2)(R_z - \tan \theta_1)}{R_z(1 - \tan^2 \theta_1)(1 - \tan^2 \theta_2) - 2(1 - R_z^2)} \quad (1)$$

然后通过阻抗矩阵 Z 可以得到平行耦合线上奇偶模阻抗的传输线公式,再通过给出的相对带宽 W ,以及归一化的滤波器原型参数 g_1 ,得到导纳反相参数 J_i 和 J_{i+1} :

$$J_{i1} = \sqrt{\frac{Y_i b_1 w}{g_i g_1}} \quad (2)$$

$$J_{i,i+1} = w \sqrt{\frac{b_i b_{i+1}}{g_i g_{i+1}}} \quad (3)$$

电纳斜率参数 $b_i = \frac{w_i dB}{2dw}$,当 $\theta_1 = \theta_2 = \theta$ 时, $\theta = \arctan(\sqrt{R_z})$,这样可以得到奇、偶阻抗值。然后可以查表或通过保角变换或格林公司计算耦合线的参数,在确定了微带线厚度、相对介电常数 ϵ_r 的条件下,综合计算得到微带线的宽度 w 和耦合线间的间距 s 。

谐振器的间距 s 和相对位置偏移 d 决定了耦合系数的大小,而谐振器之间的耦合系数 K 可以按下列(1)式进行计算:

$$K = \frac{f_{p_2}^2 - f_{p_1}^2}{f_{p_2}^2 + f_{p_1}^2} \quad (4)$$

其中 f_{p_1} 和 f_{p_2} 是当两个谐振器之间的中心面分别被定义为电壁和磁壁时的谐振频率。

3.3 仿真与实验结果

本产品中的带通滤波器参考了日本SONY公司的实际电路,采用三阶级联的混合耦合方式。主要目的是滤除镜像频率的信号,让输入带通信号能不被



图3 三阶级联滤波器实物照片

干扰的通过。滤波器实物照片如图3所示。

从图3中可以看到它们的尺寸小于5mm×5mm，所用的印制板为相对介电常数2.6，板厚0.5mm的聚四氟乙烯介质基板。端口阻抗为75Ω。

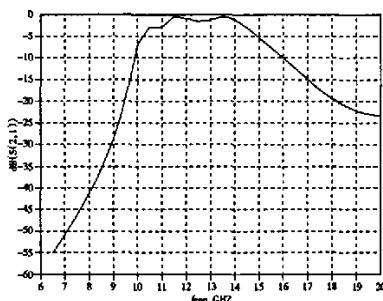


图4 ADS仿真结果

图4是实际仿真得到的结果，因为这种平行耦合式的滤波器，必然带来插入损耗比较大。所以我们应尽量选择低损耗的介质板。

4 介质谐振腔振荡器

4.1 基本原理

采用介质谐振器(DR)可以得到极高的品质因数(可达 10^3)以及优于 $\pm 10 \text{ ppm}/\text{C}$ 的良好温度稳定性。这种谐振器一般放在金属屏蔽盒内的微带线上方或旁边。在谐振频率旁边，微带线与圆柱谐振器之间的电场耦合可以等效为一个并联RLC电路。而调谐螺钉可以改变谐振腔的几何尺寸，从而引起谐振频率的变化。

本例中采用的是工作在TEM模状态下的DR。一般来说，DR的电路模型(如图5)可以在需要的谐振角频率 $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ 下，用固有的品质因数Q或 Q_u ：

$$Q_u = \omega_0 R C, \text{ 以及耦合系数 } \beta = \frac{\omega_0 Q_u L}{2Z_0}$$

由于要对 Z_0 形成对称的终端条件，外部电阻的阻值 R_{ext} 需要等于传输线阻抗的二倍。类似于变压器一样，耦合系数定量地描述了谐振器与微带线之间的电磁联系，其典型值为2~20之间。此外， β 也描述固有品质因数 Q_u ，有载品质因数 Q_L 以及外部品质因数 Q_E 之间的联系：

$$Q_E = \beta Q_u E = (1 + \beta) Q_L$$

4.2 设计原理

在每个谐振腔中，需要在供电线上设计 $\lambda/4$ 的微带开路线，其主要作用是保证振荡信号从高频通道上通过，而不会在供电线上泄漏。

通常我们能很容易地在生产厂家挑选和购买DR。只要我们给定谐振频率和电路板参数(厚度、介电常数)，厂家就会提供DR的直径、长度、调谐螺钉的调整范围、谐振器与微带线的距离d以及腔体材料的参数。

5 结束语

图6是实际硬件电路。各测试指标也符合LNB的信号要求。

专门用于接收数字压缩节目的数字式高频头，比常用高频头有更低的相位噪声、更高频率稳定度的本振频率。如PBI的Ku波段GOLD-1000数字式高频头，Eric的Ku波段JIPER-4数字式高频头。

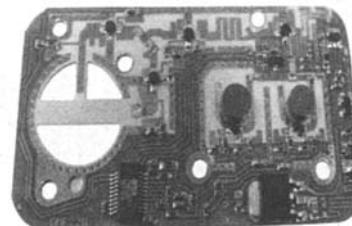


图6 实际硬件电路板

参考文献

- [1] 赵国南.微带滤波器[M].成都:成都电讯工程学院出版社, 1970.
- [2] 甘本波, 吴万春.现代微波滤波器的结构与设计[M].北京: 科学出版社, 1973.
- [3] G L Matthaei, L Young and E M T Jones. Microwave filter, impedance-matching network and coupling structures [M]. New York: McGraw-Hill, 1964.
- [4] Reinhold Ludwig, Pavel Bretschko. 射频电路设计-理论与应用[M].北京:电子工业出版社, 2004.
- [5] 兰尧, 喻志远.SIW窄带带阻滤波器的设计和仿真研究[J].中国测试技术, 2006, 32(9): 116-118.
- [6] Toledo N. Practical techniques for designing microstrip tapped hairpin resonator filters on FR4 laminates. In: 2nd national ECE conference[C]. Manila(Philippines), 2001.
- [7] 清华大学《微带电路》编写组.微带电路[M].北京:人民邮电出版社, 1976.
- [8] 易孝龙.一种单片数字卫星接收机高频头方案的原理及应用[J].电视技术, 2005, 2: 33-35.

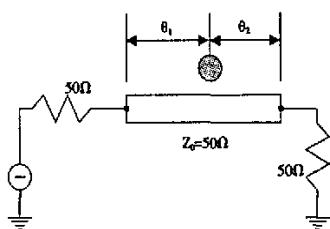


图5 DR电路模型

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>