

一种程控增益宽带射频放大器的设计与实现

张宝玲, 李晓波

(装备指挥技术学院, 北京 101416)

摘要: 程控宽带射频放大器是基于同步脉冲转移原理的有线电视顶盒的最重要的电路之一。介绍了一种程控射频宽带射频电路的设计与实现方法。该电路设计巧妙, 原理简单, 生产、调试与维修都非常方便。实践证明该电路工作良好, 性能优良。

关键词: 射频; 宽带; 放大器; 程控增益

中图分类号: TN948

文献标识码: A

Design and implement of a program controlled gain broad band radio frequency amplifier

ZHANG Bao Ling, LI Xiao Bo

(The Academy of Equipment and Technology, Beijing 101416, China)

Abstract: The program controlled gain broad band radio frequency circuit is one of the most important parts of a TV topbox based on the method of synchronization pulse transfer. A method used to designing and implement a broad band RF amplifier is presented in this paper. The design method is skillful, the work principle is simple. It is convenience of producing, debugging and repairing. It is proved that the whole circuit is work well and has excellent performance.

Key words: radio frequency; broad band; amplifier; program controlled gain

有线电视加解扰系统是用来解决电视台经营过程中偷拉私接、不交费、多台电视1台收费等收费问题及开办增值节目收费问题的一种技术手段。它由加扰设备、解扰设备和管理系统三部分组成。

目前国内外采用的电视加密系统有若干种, 其中最常用的方法是脉冲同步转移法, 其解扰器的主要任务是按照加扰密码恢复被加扰器压缩的同步脉冲信号。解扰器的核心部件是射频电路的设计, 设计的关键点有:

(1) 输入、输出反射系数满足有线电视网接入指标要求。

(2) 对各频道射频信号的放大倍数一致, 即带内平坦度好。

(3) 衰减量尽可能恒定(难点)。

(4) 产品一致性好, 成本低, 调整方便。

本文介绍一种用于解扰器的程控宽带射频放大器的设计方法。

1 基本原理

本程控宽带放大器实际上就是一种全频道宽带放大器, 频带范围为 47 MHz~900 MHz。在程控电路的控制下, 增益可在 N dB 和 $(N+\Delta)$ dB 2 种状态下变化。当控制信号为低电平时, 增益为 $(N+\Delta)$ dB; 当控制信号为高电平时, 增益为 N dB。设计的难点是带内平坦度和衰减量指标。放大器的原理框图如图 1 所示。

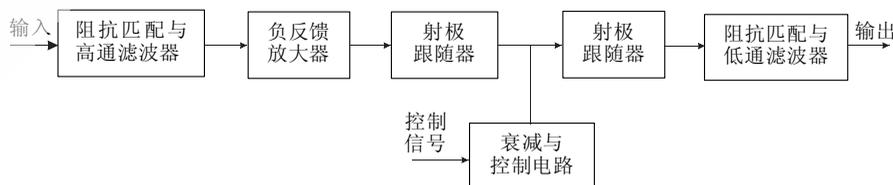


图 1 电路原理框图

阻抗匹配与高通滤波器的作用是使放大器的输入阻抗与前端电路的输出阻抗相匹配, 减小信号的反射, 同时阻止 47 MHz 以下频率的信号通过。负反馈放大器

的功能是在确保带内平坦度的前提下获得一定带内增益。共集放大器的主要功能是隔离,并获得一定的功率增益。衰减与控制电路的功能是提供指定衰减并确保衰减后放大器的带内平坦度。输出与阻抗匹配网络的作用是阻抗匹配,减小信号的反射。

2 关键电路设计

2.1 全频道宽带放大器的设计

当基于脉冲同步转移法的解扰器接收到被衰减的同步信号时,全频道宽带放大器处于高增益状态。为了提高带内平坦度,在电路结构上采取措施的理论依据是负反馈^[1]。根据三极管放大电路的基础理论可知,引入负反馈对放大电路具有扩展频带的作用,付出的代价是降低增益。但在本设计中,简单的负反馈电路已无法满足性能指标要求,而必须进行改进。设计电路的基本思想^[2]是:当输入信号的频率较低时,负反馈较强;随着输入信号频率的提高,负反馈逐渐减弱。从而保证在整个电视频段内的平坦度。

图2为利用电压串联负反馈原理改善放大器带内平坦度的部分电路图。其中放大管选择低噪声管Q3356; R_{o1} 、 C_{o1} 为去耦电路; R_{11b} 、 R_{12b} 、 R_{11e} 为直流偏置电路; L_c 为高频扼流圈; R_{11e} 、 R_{12e} 、 C_{11e} 、 C_{12e} 为负反馈电路,主要用于扩展频带、改善带内平坦度。

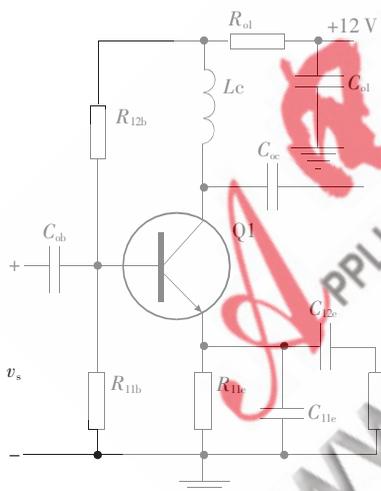


图2 负反馈电路设计

由放大电路的基本理论^[3]可知,加到三极管b、e结之间的信号净输入电压为:

$$v_{be} = \frac{r_{be}}{r_{be} + r_e} v_s$$

式中, r_e 为等效交流负反馈电阻, r_{be} 为基极到发射极之间的等效电阻, v_s 为放大器的输入信号。

当输入信号频率较低时, C_{e1} 、 C_{e2} 的容抗较大,起交流负反馈作用的发射极等效阻抗较大,使得加到三极管b、e结之间信号的净输入电压较小,放大器的放大倍数也较小;随着输入信号频率的提高,等效电阻变小,负反

馈减弱,净输入电压变大,放大器的增益提高。设计本电路的关键是 R_{11e} 、 R_{12e} 、 C_{11e} 、 C_{12e} 的取值,只要选值适当,就可以得到比较理想的直通带内平坦度和较大增益。

为了减小控制电路介入与否和负载电路对高频板指标的影响,在控制电路接入点前后需各增加一级射随器。

2.2 衰减控制电路设计

高频电路带内衰减量恒定是一个非常关键而难以实现的指标。作者根据多年从事高频电子线路教学与科研工作的经验,经过反复试验,设计出了一种比较理想的电路,其原理电路如图3所示。该电路虽然简单,却非常巧妙。由图可见,和其他常见电路相比,本电路的关键点就是增加了 R_{T1} 、 C_{T1} 电路。

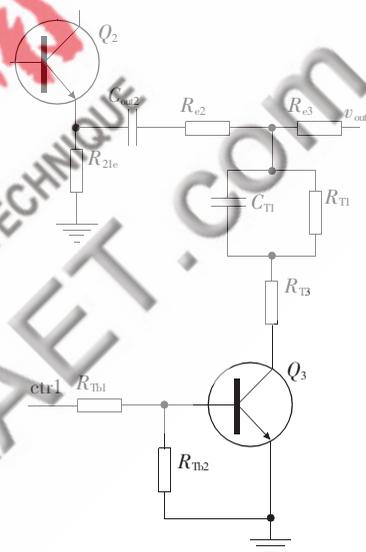


图3 程控衰减控制电路设计

高频板上的控制电路仍然采用是三极管开关电路,其中, Q_2 为共集电极放大器的放大管, Q_3 为控制电路的开关管,控制信号加在 Q_3 的基极。根据高频小信号晶体管放大器的基本理论,共集电极放大器的增益为:

$$A_{v_o} = \frac{|y_{fc}|}{g_{oc} + g_L}$$

式中, $|y_{fc}|$ 为管子的正向传输导纳, g_{oc} 为管子输入交流短路时的输出导纳, g_L 为放大器的总等效电导。当控制端加TTL高电平时,晶体管 Q_2 饱和导通, g_L 为合适值,放大器工作于低增益状态;当控制端加TTL低电平时,晶体管 Q_2 截止,衰减控制电路不工作, g_L 减小,放大器工作于高增益状态。

由于控制管输出电容 C_{oe} 的存在,当频率升高时, ωC_{oe} 增加,等效电导 g_L 增加,使得放大器的增益在高频段迅速下降。

在衰减控制电路中增加 R_{T1} 、 C_{T1} 电路后,随着频率

的提高, 并联电路的等效导纳减小, 补偿 C_{ce} 的不利影响, 从而保证了低增益条件下的带内平坦度。

除上述关键电路设计外, 为保证反射指标, 还要设计良好的输入输出匹配电路, 此处不再赘述。

2.3 印制电路板设计

印刷电路板设计是高频电路设计的关键环节, 设计得好坏将直接影响最终产品的关键性能指标。在设计本印刷电路板时, 除遵循引述电路板设计的一般规则外, 还要特别注意各元器件的放置位置、接地、顶层大面积接地与底层大面积接地的互通等问题。作者设计的最终印制电路板顶层图如图 4 所示, 板上的过孔即是为了良好接地, 避免因使用大面积接地引起的分布电容对放大电路性能的影响。

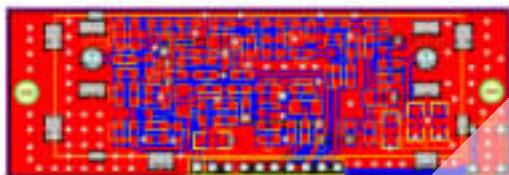


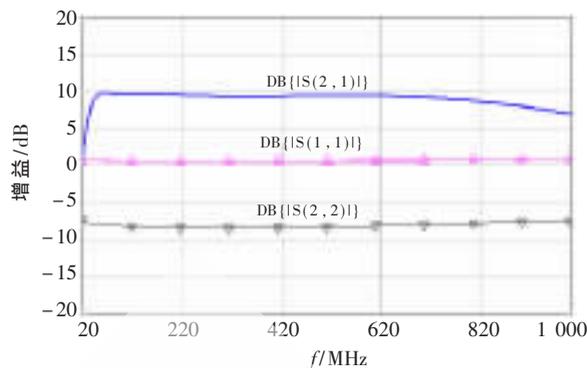
图 4 最终印制电路板

3 电路的仿真、调试与测试

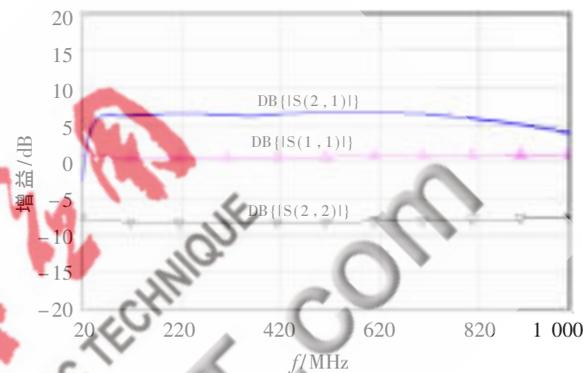
为了降低产品成本, 电路全部采取分立元件。调试过程中, 主要是调整关键元器件的数值。这些元件包括 R_{11e} 、 R_{12e} 、 C_{11e} 、 C_{12e} 、 R_{e2} 、 R_{e3} 、 C_{T1} 和 R_{T1} 。为了提高产品的一致性, 并缩短产品调试时间, 最终产品全部采用固定元件。

电路的 Microwave 仿真结果如图 5 所示, 其中图 5(a) 为高增益状态, 图 5(b) 为低增益状态。产品实际测试结果和仿真结果近似, 增益略低。

本电路已经大量应用于实际产品中, 经过几年的实践表明, 该产品的生产、调试、安装、维修都非常方便,



(a) 高增益状态仿真结果



(b) 低增益状态仿真结果

图 5 电路的 Microwave 仿真结果

可靠性高, 而且成本非常低, 电路的各项性能指标完全能满足实际需要。

参考文献

- [1] 张肃文. 高频电子线路(第四版). 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [2] 彭明全. 有线电视技术教程. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- [3] 杨清学. 有线电视技术. 北京: 机械工业出版社, 2005.

(收稿日期: 2009-04-03)