

# 小功率调幅发射机设计与仿真

侯桐桐

10级电子信息科学与技术  
中国海洋大学  
woshihoutong@126.com

高婧

10级电子信息科学与技术  
中国海洋大学  
841371152@qq.com

丁慧

10级电子信息科学与技术  
中国海洋大学  
120754321@qq.com

## 摘要

本设计采用低电平调制方式，工作原理是：本机震荡产生一个固定频率的中频信号，它的输出送至调制器；话音放大电路放大来自话筒的信号，其输出也送至调制器；调制器输出是已调幅了的中频信号，功放机将调制信号的功率放大到所需的发射功率。主要模块有本机震荡，低电平调幅，话音放大级，前置放大级以及末级功放。

## 关键词

低电平调制 功率放大 LC振荡器

## Future Distribution Permission

The author(s) of this report give permission for this document to be distributed to Stanford-affiliated students taking future courses.

## 1. Introduction

当今时代，信息技术发展十分迅猛，产品更新换代步幅更是明显加快，尤其是无线技术创新非常活跃，各类技术加快发展和融合，新技术新应用层出不穷，向社会各部门各领域的渗透日益广泛深入。目前，移动通信、卫星通信、雷达导航、遥控遥测、射电天文等40多种无线电业务已在我国的通信、广播、电视、

国防、安全、铁路、交通、航空、航天、气象、渔业、科研等多个行业和领域广泛应用[7]。调幅技术目前正广泛应用于通信与广播技术中，远距离世界性的信息传播使得调幅技术展现了更大的应用空间，如何更效率的传播有用信息，而且使信号的失真度达到最小，是下一代调幅技术需要研究的主要方向。调幅技术也是其他通信技术研究的基础，通过研究调幅相关技术，能够对未来通信技术的发展产生更深远的认识。调幅发射机常用于通信系统与其他无线电系统中，在中短波领域应用极为广泛，由于调幅简便，占用频带窄，设备简单等优点，因此在发射机系统中应用非常广泛。在实际的广播发射系统中，中波调幅的频率范围为535 ~ 1605 千赫，音频信号中的高音频率应该被限制在 4.5 千赫以下，发射功率需要达到300W以上才能使空间覆盖面达到比较好的状态，此次设计需要在实验室环境中研究发射机的工作原理与原件选择，因此，根据实验室条件适当降低技术指标，载波频率采用实验室较为常用的6MHz，单音频调制信号选择1KHz，发射机功率初步定为1W。

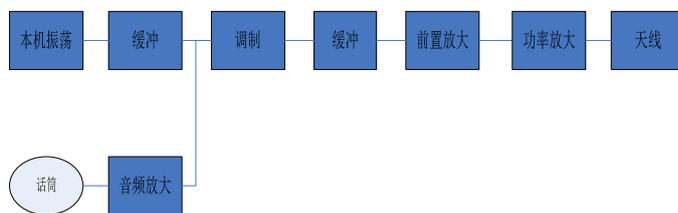
## 2. Methods

### 2.1 方案的选择

#### 2.1.1 拟定调幅发射机的工作原理框图

其中心频率为6MHz,输出载波最大功率为0.2W。

由于输出功率小,可选用最基本的发射机结构,低电平调制方式。该结构由主振、放大和被调级构成,如下图所示1。所示



#### 2.1.2 功率分配及电源电压确定

由调制级输出信号幅度几十毫伏,末级功率放大器管最大输出功率为  $P_{o_{max}} \geq 0.2W$ ,所以前置放大增益为  $A_p=3dB$  (2倍),取功率放大器管功率增益为  $A_p=13dB$  (20倍),则末级的最大激励功率才能符合要求,而振荡器输出功率较小,一般为几十毫瓦即可。

小型发射机电源电压一般为9~15V,取标准电源12V。

#### 2.1.3 各级晶体管的选择

一般选取晶体管的原则是  $BV_{ceo}$ 、 $P_{cm}$ 、 $I_{cm}$  必须满足要求。

晶体管采用2N2221,是电路的核心,起电流控制和放大作用。

## 2.2 电路形式及工作原理

### 2.2.1 高频振荡器电路和缓冲级

主振级是调幅发射机的核心部件,主要用来产生一个频率稳定、幅度较大、波形失真小的高频正弦波信号作为载波信号。该电路通常采用晶体管LC正弦波

振荡器,本级用来产生6MHz左右的高频振荡载波信号,这里采用西勒振荡电路,具有输出波形稳定,方便调节的特点。

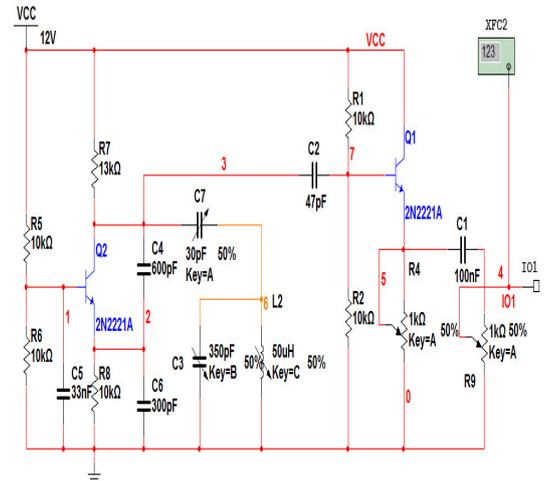


图2高频振荡和缓冲电路

### 2.2.2 音频放大电路

如下图3所示:音频放大器采用集成电路UA741CD。电源由7脚接入,4脚接地。信号由3脚输入,经放大后由6脚经输出电容C15送到受调放大级。2脚到地之间接入C14和R25组成的负反馈电路,决定放大倍数的大小。

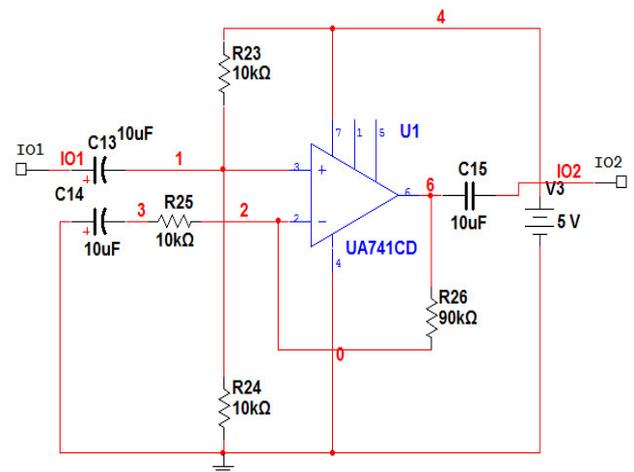


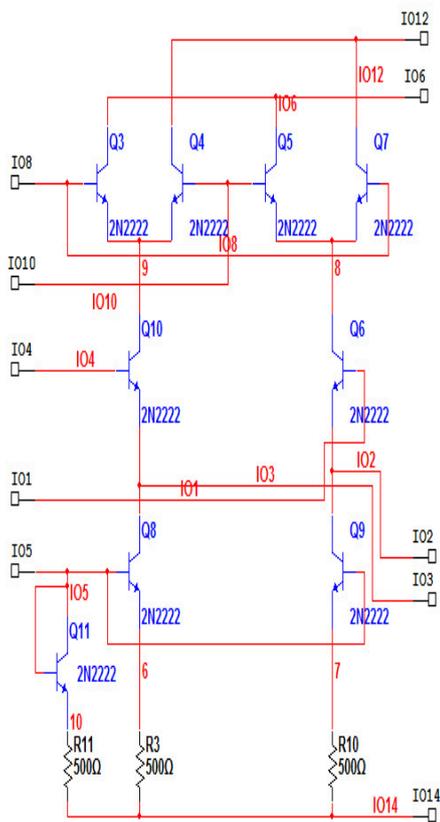
图3音频放大电路

### 2.2.3 调制电路

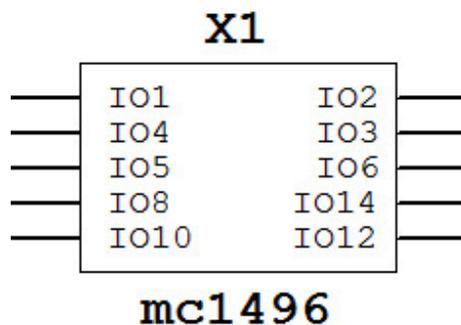
振幅调制器通常采用低电平调制和高电平调制两种方式。这里采用模拟乘法器实现调制的方法是属于低电平调制，输出功率小，但经过放大，能满足设计要求，且设计及调试简单。

#### 1. 创建模拟乘法器MC1496 电路模块

MC1496 是乘法器芯片，用来实现调幅电路具有电路简单，调试方便的优点，但在multisim10 的仿真元件库中没有这个元器件，我们通过网络了解到可以自己创建一些简单芯片，然后根据MC1496 内部结构图(3.2.3 (a)) 创建子电路



(a)



(b)

图4. MC1496电路模块

#### 2. 选定调幅电路图

根据所需功能，选定模拟乘法器MC1496构成的调幅电路如图5所示。

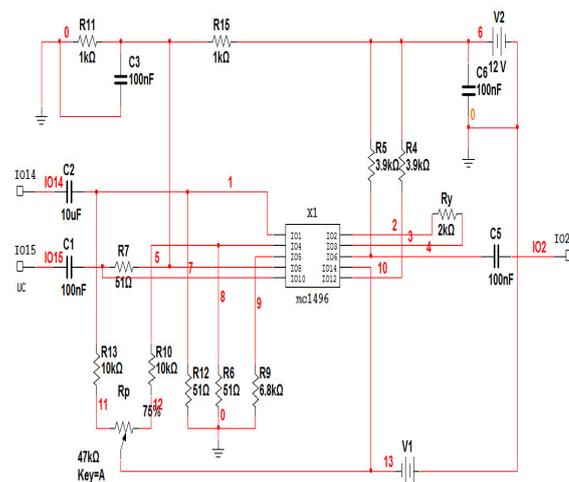


图5 调幅电路

仿真中，主要关注的是载漏电阻 $R_p$ ，引脚5 连接的的对地电阻 $R_9$ 及2、3 引脚间的电阻 $R_y$ 。 $R_9$  决定了模拟乘法器的静态工作电流 $I_o$ ，为了保证MC1496 工作于小信号放大状态， $R_9$  必须选择合适的值。调节 $R_p$  可以实现AM调幅和DSB调幅， $R_y$  来调正调制信号的输入线性动态范围，同时控制乘法器的增益。

## 2.2. 4 前置放大电路

通过前面的电路以后，进入功率放大级的是已调信号。采用模拟乘法器实现调制的方法是属于低电平调制，由于信号的功率太小，发射出去存在很大衰减，影响信号的传送，所以要进行功率放大。

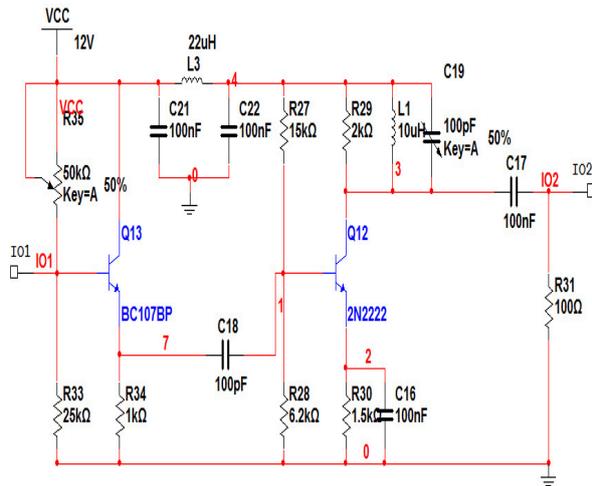


图6 前置放大电路

电路图如上图所示，Q13是射极跟随器，此电路输入电阻大输出电阻小，第一具有隔离上下级的作用，第二可以通过放大电流实现功率放大。Q12功率放大，通过C4调谐使得输出已调信号幅度最大，R35、R33、R15、R28、R27、R34分别给Q12、Q13提供合适的静态工作点，C18、C17是耦合电容，C16、C18是旁路电容。L3，C21，C22将直流电压源与交流电压隔离。

## 2.2. 5 功率放大电路

高功率放大器是调幅发射机的末级，它的任务是要给出发射机所需要的输出功率。本设计采集成运放UA741CD，合理设置反馈电阻阻值R56，R57，可以改变增益，如图7所示：

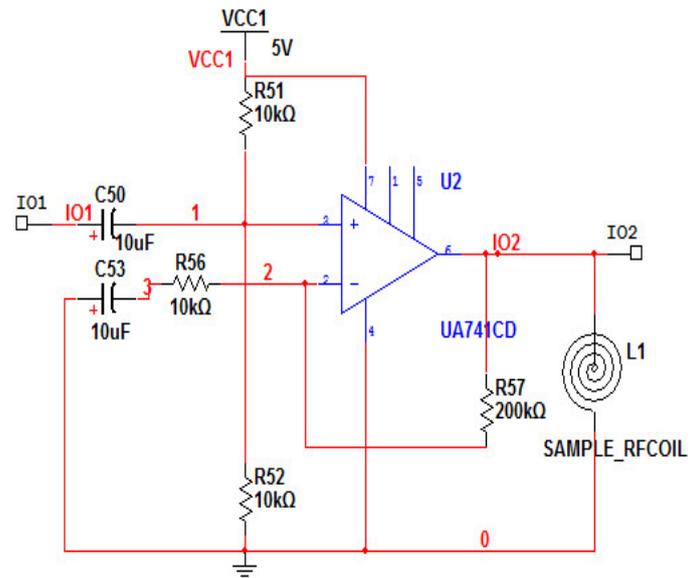


图7功率放大电路

## 3. Results and Discussion

### 3. 1 载波缓冲电路调试

按设计电路安装后，将后级断开，调整晶体管的工作点，适当调整C3，C7，L2。使得输出频率为6MHz左右，幅度为20mV的正弦波。本震级输出波形如下。图8 是输出频率。

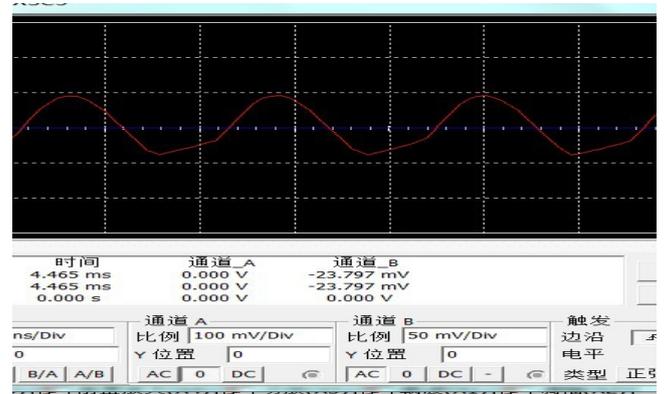


图8 本振输出波形图

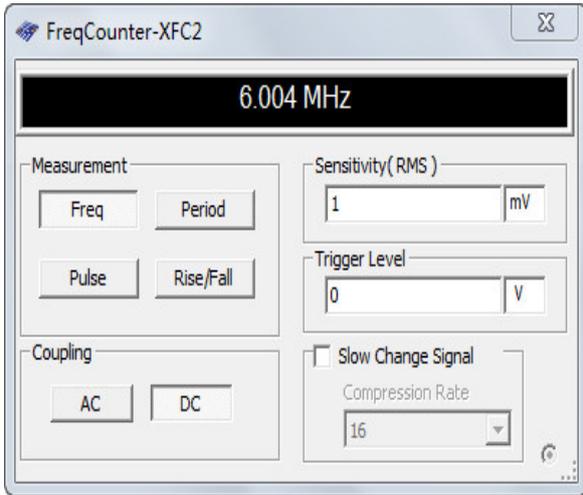


图8 振荡频率

### 3.2 音频放大电路调试

加入毫伏级频率为1kHz的音频信号，输出如图9所示，可以知道放大大约10倍，与设计增益相吻合。

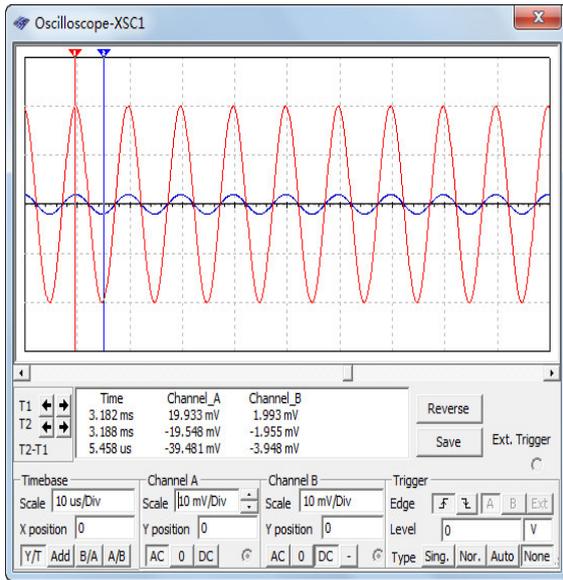


图9 音频放大输出波形

### 3.2 调幅电路调试

1、测试调制电路mc1496各引脚的静态偏置电压，满足mc1496各引脚的直流点位要求，如图10所示：

DC Operating Point	
1 V(x1.13)	5.99035
2 V(x1.8)	-12.50147 m
3 V(x1.2)	5.98987
4 V(x1.12)	8.08588
5 V(x1.11)	8.08588
6 V(x1.10)	-635.41631 m
7 V(x1.9)	-635.41631 m
8 V(x1.1)	-12.50147 m
9 V(x1.3)	-6.86535

图10 直流工作点测试结果

调节Rp，使它输出如图所示普通调幅波波形。

(a)

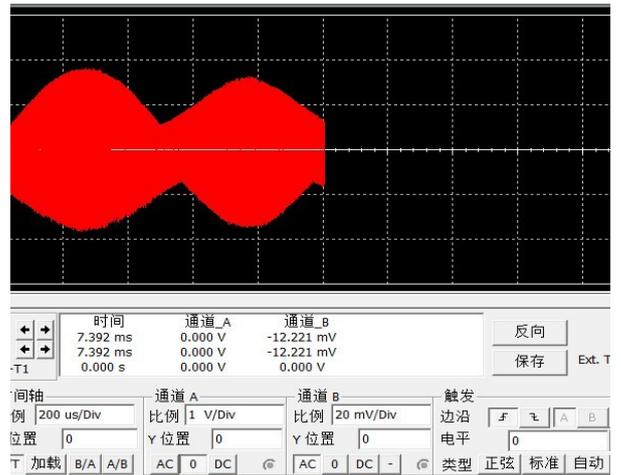


图11 调制波形图

### 3.3 前置放大电路调试

经过前置放大电路，输出幅度放大了，即功率放大了，如图所示。

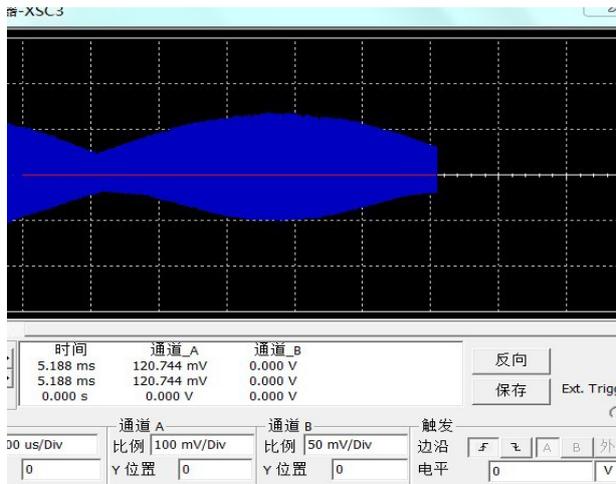


图12 前置放大

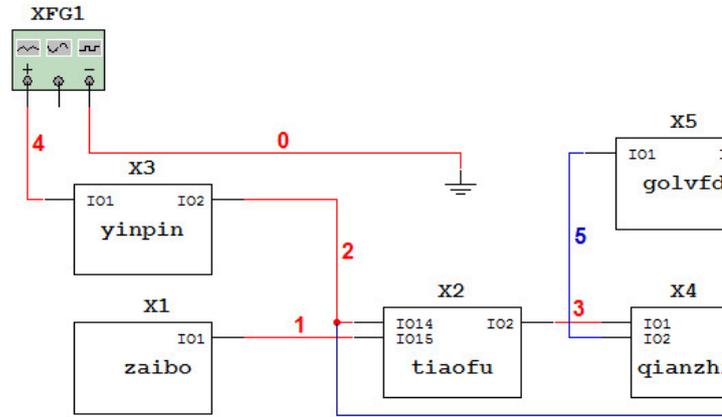


图14 整体电路

### 3.4 功率放大调试

前两级调试通过后，通过耦合电容接入末级输入。

输出如图：

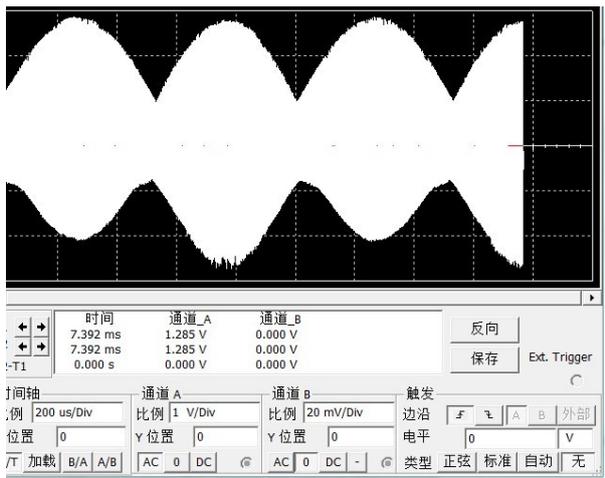


图13 功率放大级输出波形

### 3.5 整机调试

将以上各级单元电路一次连接就构成了小功率调幅发射机整体电路原理图。调好后，接入1KHz的调制信号，观察调幅波形，输出波形不纯，有谐波分量的问题。下图为发射机整体电路图。

整机输出波形：

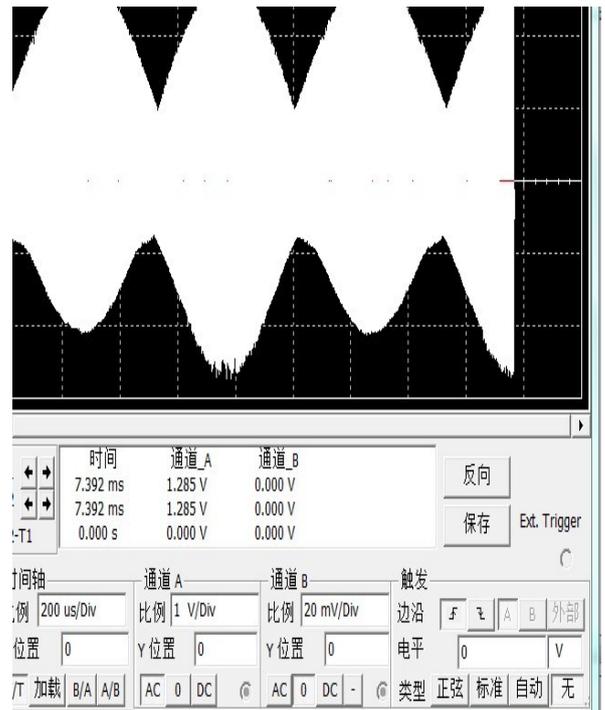


图15

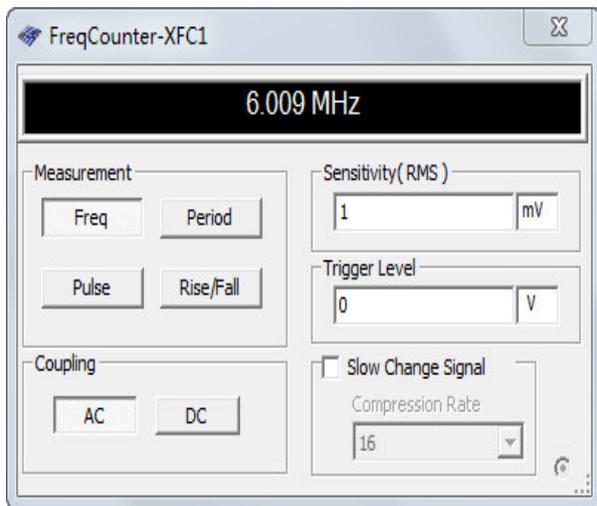


图15 输出频率

由图15可以看出有调制系数： $m_a \geq 60\%$ ，

$U_{cm} \geq 2V$ ，最大输出功率：

$$P_{\max} = (1 + m_a)^2 \times \frac{U_{cm}^2}{R_L} = 1.6^2 \times \frac{2^2}{50} \approx 205mW。$$

#### 4.conclusion

经过两周的设计，终于完成了这次作业。坦白讲，这几层电路没有一个完全是我们自己设计的，刚开始我们信心满满，结果发现真动手时实在手足无措，任何以前不假思索忽略的一个小元件都可能会造成重大影响。尝试两天无果之后，我们选择参考网络及书本上的各种功能的电路，但仅仅只是调试过程中的困难也是我们之前完全想象不到的。原本的设想是根据所学知识采用集电极高电平调幅，功放部分也采用分季元件，进行诸多尝试之后没有成功，于是采用了较简单的模拟乘法器。我们对结果也不是很满意，没能将输出波形调成理想状

态。尽管如此，这次作业还是增强了我们动手、思考和解决问题的能力，虽然这次设计电路时磕磕碰碰，也没有按照预期的构思完成，但至少也让我们认识到了自身能力的不足，有了改进的方向。

在设计电路时，我们首先将总体电路分成若干个子模块，使每个模块有各自的不同的任务；再对各相对简单的子模块进行单独设计；最后将各个子电路组合在一起完成整个电路。这样做法分工明确，层次清晰。而且设计单独的子电路降低了工作难度，使设计工作更有条理性。在检查电路时，也可根据各种情况分析是哪个子系统出了问题，再单独检查该出问题系统，可以提高检查的效率。

在调制环节中我们遇到的最大问题是MULTISIM中没有乘法器，于是我们到网络上寻求帮助，有高手建议自己做一个乘法器，我们对照MC1496电路图通过几次试验最终得到了想要的乘法器，但不知为何，它虽然可以达到我们的目的，却并不能像Data sheet中所说的通过调节接地电阻实现抑制载波的双边带调幅功能，这问题有待解决。

回顾这一次设计过程，真是受益匪浅。以前对知识的了解仅限于理论知识，但这一周之后，我们对电子技术的应用有了更深的理解，也更加明了自己的不足。

#### 5.Acknowledge

首先感谢我们的郑海永老师，他在我们受到打击想要放弃的时候鼓励我们，给我们继续的勇气。同时在课堂上向我们传授了许多自己多年积累的宝贵经验，更重要的是引导了我们做人做事踏实的态度，这将是我们一生中弥足珍贵的财富。

其次，还要感谢网友的热情帮助，他们不但提供了大量非常有价值的参考资料，还一一解答了我们在设计

过程中的种种难题。

再次感谢每一个在成长道路上曾经关心过我们的人。

## **References**

- [1] 童诗白、华成英，《模拟电子技术基础》.北京：高等教育出版社.2001
- [2] 阎石《数字电子技术基础》北京高等出版社，2006
- [3] 于洪珍《通信电子电路》科学出版社，2007