

# 单端甲类前级放大电路的分析与调试

李智  
2010电子信息科学与技术  
中国海洋大学

林柚、兰建伟  
2010电子信息科学与技术  
中国海洋大学

## Abstract

对高保真2.0音响电路进行仿真分析与调试。通过对基础的高保真音响电路图分析,理解音频放大的原理和过程,并提高电路仿真的能力。

## Future Distribution Permission

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

## Introduction

音频放大电路由稳压电源、前级放大电路和功率放大电路构成。

通过Proteus与Multisim两种电路仿真软件对电路仿真,藉由仿真的实时数据与结果对电路功能进行分析并调试。提高对音频放大的理解和电路仿真能力。

## Method

使用Proteus与Multisim两种电路仿真软件对电路仿真,分析电路各部分功能,并通过理论分析进行调试。

## Results and Discussion

### 1.1. 稳压电源电路——洼田式直流稳压电源

#### 1.1.1 电路特点与作用

- 稳定输出电压;
- 滤除直流电压的纹波;
- 减小输出电压波动随频率变化的影响;
- 避免多级放大器各级通过电源耦合。

#### 1.1.2 电路仿真与分析

V: -11.9 V	V: 11.9 V
V(p-p): 15.4 nV	V(p-p): 13.2 nV
V(rms): 11.9 V	V(rms): 11.9 V
V(dc): -11.9 V	V(dc): 11.9 V
I: 6.24 mA	I: -6.20 mA
I(p-p): 30.8 pA	I(p-p): 26.4 pA
I(rms): 6.24 mA	I(rms): 6.22 mA
I(dc): 6.24 mA	I(dc): -6.20 mA
频率: 18.8 kHz	频率: 17.0 kHz

- 稳压电路是改装版的洼田式稳压电源,是分立元器件稳压电源;
- 正负电压均采用了3只1000  $\mu$ F的电容进行并联,以减小电容的内阻、获得更高的滤波特性;
- 调整管T12、T13、T14、T15组成达林顿结构,增加反应速度,在其基极增设了一个332电容滤去高频杂波。VR2、VR3负电源相等,可获得最佳的稳压效果;
- Rv1、Rv2可以对稳压输出进行调节;
- 洼田式稳压源电压不能超过50V,功率不大于50W。

## 1.2.2 电路仿真与分析

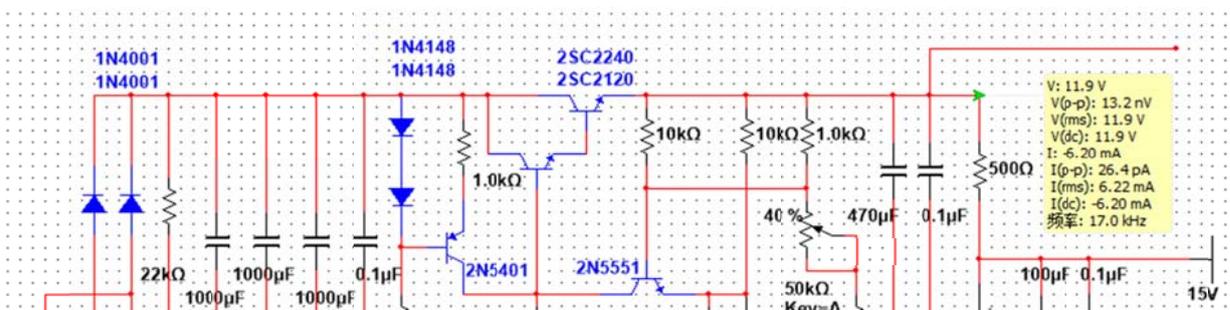
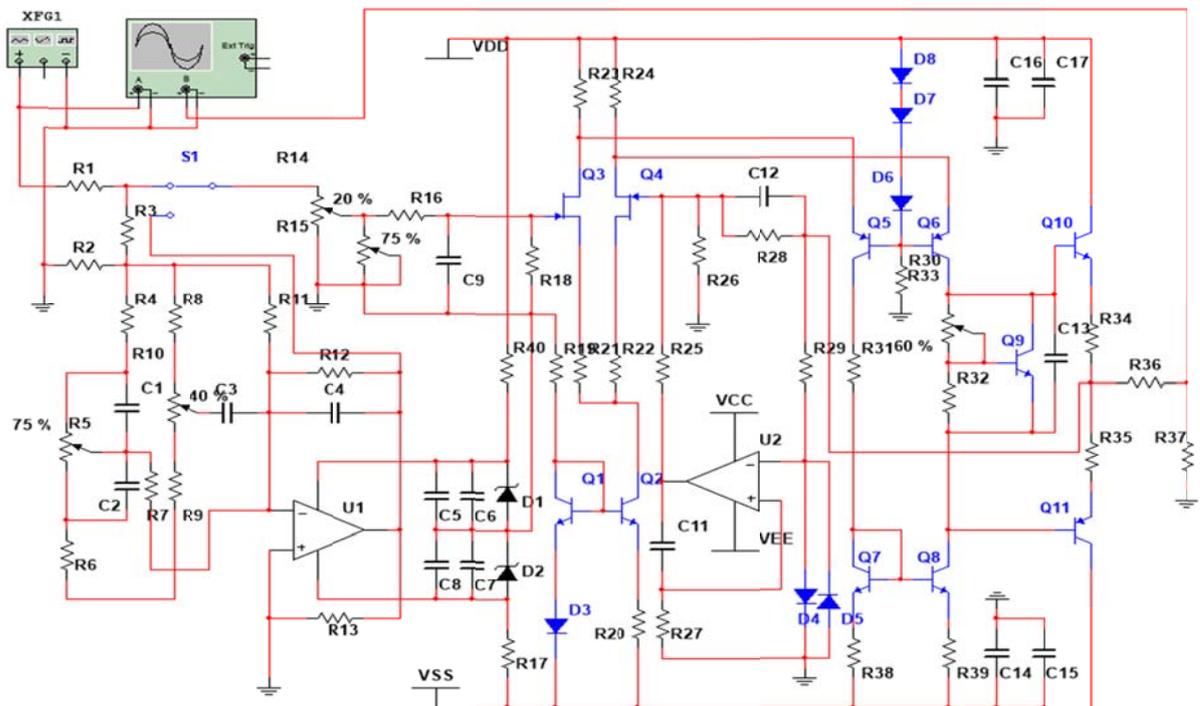
### 1.2. 前级放大电路

#### 1.2.1 电路特点与作用

- 信号初步放大（电压放大）；
- 音量调节；
- 音调控制；
- 音源与后级缓冲。



HiFi 状态

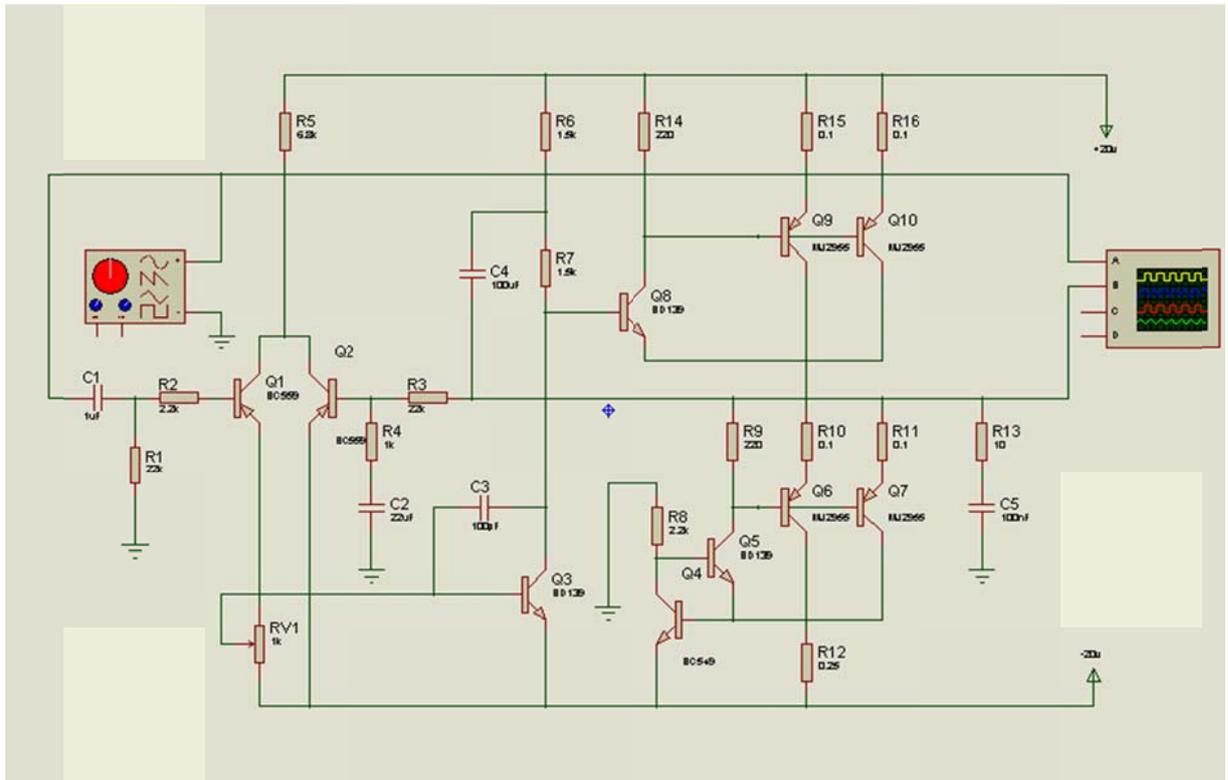




音调状态

- U1及其外围元器件是音调电路；
- S1是直通/4调开关；
- Q3、Q4是由场效应管组成的单端差分电路；
- Q1、Q2，Q7、Q8是恒流源；
- R23、R24是Q3、Q4的负载，该级设置静态电流均为3 mA，使该级工作在甲类状态，因而没有开关失真和交越失真，并提高了动态范围。
- Q3、Q4将输入信号转变为电流变化，再由Q5、Q6将电流变化转变为电压输出，Q7、Q8是Q5、Q6的镜像恒流源，可确保该级的稳定性。
- 电压放大级采用共基极电路，具有极高的高频特性。Q10、Q11是输出级，Q9及R32、R33是其静态偏置电路，通过调节VR4使输出级静态电流在10-20 mA。使Q10、Q11工作在甲类状态。
- 采用发烧管K246、A970\C2240、A1145、C2705等，信号从输入级到输出级均设计为纯甲类状态，从而避免了交越失真，音色及听感好，动态好，解析力强；

- 输入级采用场效应管做单端差分电路，以得到悦耳的音色，输入级采用场效应管对信噪比有好处，输入阻抗高，有利于微弱信号的拾取，其传输特性和电子管相似，可以表现出类似胆机的音色；
- 为了适应不同的音源及发烧角度，需要电路由NE5532等组成的音调电路，并且设置有直通开关，当聆听音乐时，按一下自锁开关K即可跳过音调进入纯Hi-Fi状态；
- 电源部分采用分立元器件稳压电源，具有极低的输出内阻，稳压精度高，反应速度快。对电源纹波有良好的吸收特性，从而保证了本前级音色的纯净度。

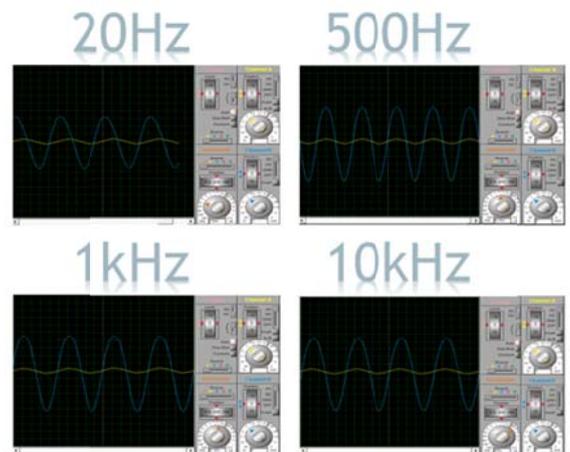
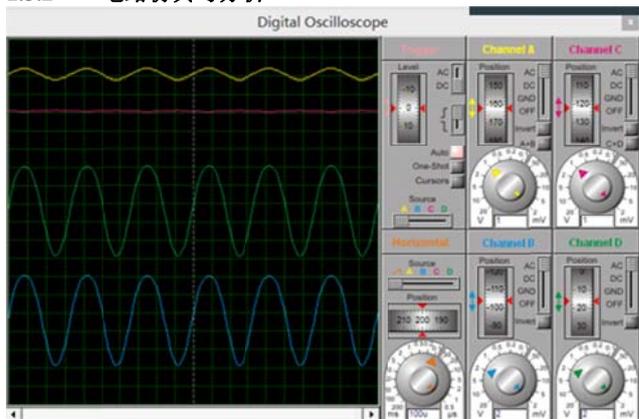


### 1.3. 功率放大电路

#### 1.3.1 电路的特点与作用

- 功率放大（电流放大）；
- 推动扬声器。

#### 1.3.2 电路仿真与分析



- 输入级：由Q1、Q2两只BC559组成差分放大电路；R1 对地电阻为三极管的偏置电阻，其大小同时决定了整个功放的输入电阻；R5电阻是差分对管的公共发射极电阻，可决定差分电路的共模抑制和本级的静态工作电流，经过输入级放大的电流在流经RV1可调电阻时产生的电压信号，直接输送到下一级。C1 是整机的输入电容。1  $\mu$ F 的电容与输入电阻22k  $\Omega$  组成高通滤波电路。

R1决定了输入级的晶体管静态工作电流。由于输入级的晶体管静态工作电流对音质有较大的影响,故可以调整该电阻的大小来满足自己的要求;

- 电压放大级:使用一只三极管Q3,采用共射极放大电路及自举电路。为了保证大信号输出时的幅度特性和线性,同时又增加其他的元件,采用了自举电路,由C4和R6、R7两个电阻的分压电路组成;
- 输出级:电路中的上半部由Q9、Q10,两只E2955和周边的元器件组成单端纯甲类放大电路,下半部分由Q6和Q7两只E2955为核心组成大电流恒流源电路。通过改变0.25电阻阻值的大小可以调整输出级的功放管静态工作电流;
- 扬声器阻抗补偿电路:因为采用的扬声器是感性负载,所以为了使放大器的负载接近纯电阻,在功放的输出端对地一般都有电阻和电容串联的补偿电路。其电阻的电阻值和扬声器的标称阻抗相当,电容的取值为0.1-0.22  $\mu$ F

#### 1.4. Discussion

- 本次仿真只是对整体电路功能的初步分析过程。由于时间、能力有限,对一些细节方面分析还有很多不足。
- 仿真采用元件代替来进行,虽然成功分析了理论电路,但如果针对成品制作,仍有很大差距。
- 电路仅限于分析,要对各部分进行优化改装,需要更坚实的知识基础和仿真分析经验。
- 在对电路进一步分析的计划中,元件库起着重要的作用。
- 在音源选取中单纯使用正弦波得到的仿真结果有较大的局限性,应使用更具代表性的输入音源。
- 需要再对三部分电路整体进行仿真,减小、排除干扰因素。

#### Conclusion

小组成员通过对该DIY成品电路图的分析,并利用Proteus、Multisim对各分支电路进行仿真调试,使小组成员对音响电子领域有了一个简单初步的了解,并产生了浓厚的兴趣。

由于电路在电子领域专业性较强,以至于部分关键元件不在元件库中,小组首先决定在Proteus下对元器件逻辑功能进行编辑,结果失败了。后选用Multisim对电

路整体仿真分析,并利用了参数相似的元件进行了替代,最终成功得到了仿真结果。

在本次仿真过程中,我们通过仿真方法来电路各部分功能分析,我们初步掌握了这种方法,它将在对我们分析复杂电路中有着很重要的指导作用。

同时,在对电路进行仿真的过程中,提高了小组成员的电路仿真能力,巩固了模拟电子电路知识,提高了电路分析与设计的能力,并初步接触了PCB封装软件和元件逻辑功能的编程设计。也让小组成员熟悉了Proteus和Multisim仿真软件。

在对整体电路的把握中,小组间的交流和协同合作对整个项目的进行事半功倍,在讨论中,我们发现了各自想法上的不足,也进行了专业知识的互补。这让我们真正理解了合作交流的重要性。

在对电路分析的过程中,我们发现:在电子学科中的各领域,不仅仅需要掌握基本的理论知识,而且需要对一些专业术语和专业元器件有一定的了解,并对一些相关学科知识有一定的涉猎,否则在实际分析中会遇到相当大的困难。

在仿真分析中,我们意识到,实践对于牢固理论知识并将其升华有着十分重要的作用。总之,本次项目实践过程对以后的方向选择有重要的指导意义。

#### Acknowledgement



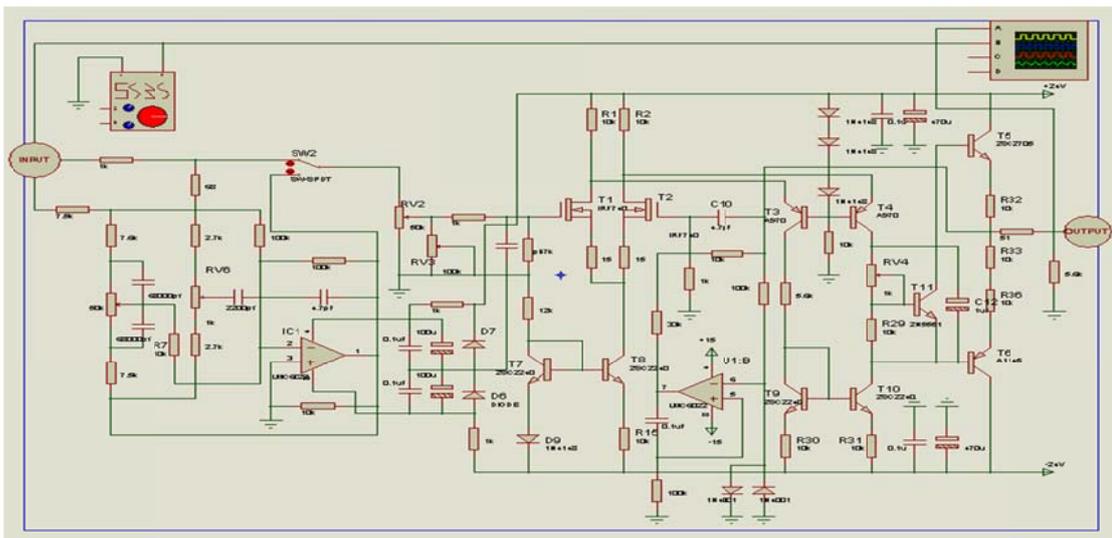
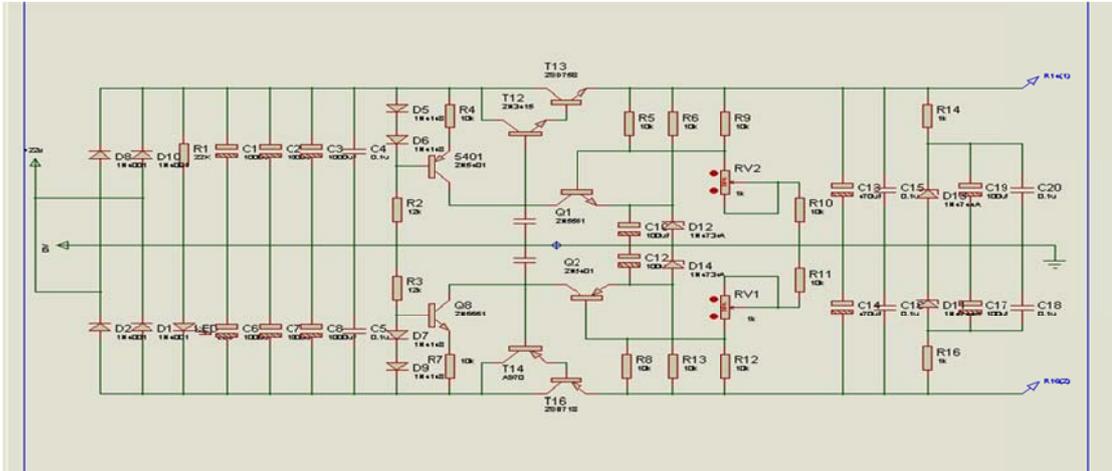
#### Reference

- [1]《高保真单端纯直流甲类前级放大电路的制作》,佚名
- [2]《模拟电子技术基础》,高等教育出版社
- [3]《通信电子电路》,清华大学出版社
- [4]《家庭电子》,家庭电子杂志社
- [5]《晶体管参数大全》,桂林福龙科技

## Appendix

- PROTEUS 仿真失败案例

失败原因：元件库不全



- 部分名词解释：

- 纯甲类工作状态：常见的Hi-Fi功放分为甲类功放、纯甲类功放、乙类功放、甲乙类功放四大类。区别在于晶体管的工作状态。
- 石机：用晶体管（运放）的放大器
- 胆机：用电子管的放大器
- 单端与推挽：在胆机末级(功率放大电路)中采用的工作方式。
- 前级放大：音量放大与音调电路在音响电路前级完成。