

# 浙江大学实验报告

课程名称： 电路与模拟电子技术实验 指导老师： 周晶 成绩：

实验名称： 音频功率放大电路研究 实验类型： 模拟电子技术实验 同组学生姓名：

## 一、实验目的和要求

- 1、理解音频功率放大电路的工作原理。
- 2、学习手工焊接和电路布局组装方法。
- 3、提高电子电路的综合调试能力。

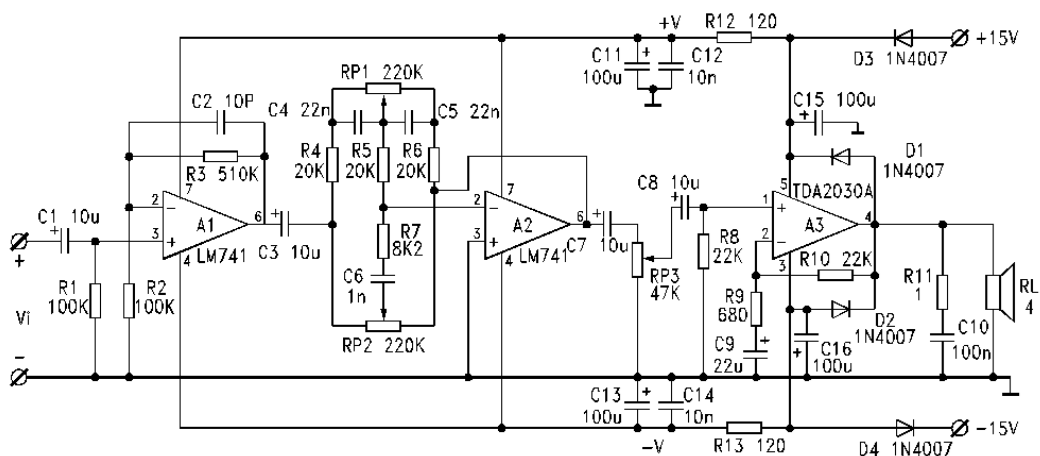
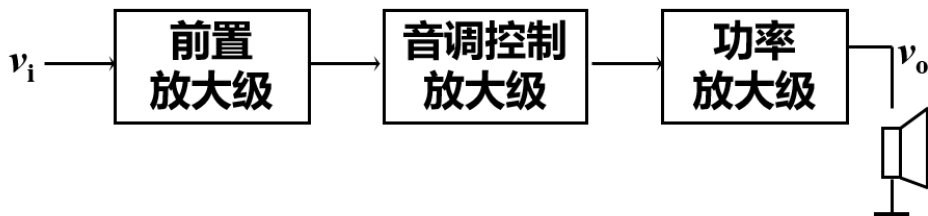
## 二、实验内容和原理

### 1. 实验原理：

音频功率放大电路，也即音响系统放大器，用于对音频信号的处理和放大。

- 作为音响系统中的放大设备，它接受的信号源有多种形式，通常有话筒输出、唱机输出、录音输出和调谐器输出。它们的输出信号差异很大，因此，音频功放电路中设置前置放大级以适应不同信号源的输入。
- 为了满足听众对频响的要求和弥补扬声器系统的频率响应不足，设置了音调控制放大器，希望能对高音、低音部分的频率特性进行调节。
- 为了充分地推动扬声器，通常音响系统中的功率放大器能输出数十瓦以上功率，而高级音响系统的功放最大输出功率可达几百瓦以上。

按其构成可分为前置放大级、音调控制级和功率放大级三部分。

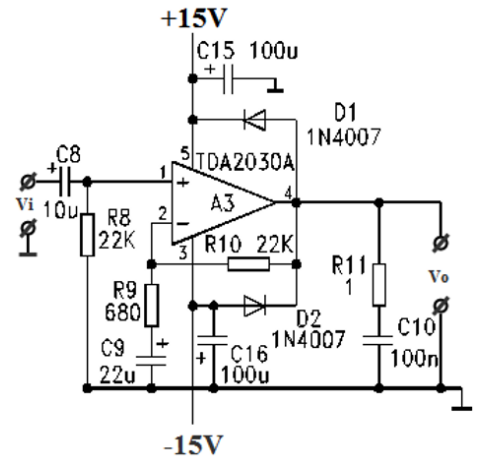


由图可见，音调控制级的中频电压放大倍数  $A_{um}=1$ ；当  $f < f_{L1}$  (48Hz) 时低音控制范围为  $\pm 18\text{dB}$ ，当  $f > f_{H2}$  (19KHz) 时高音控制范围也为  $\pm 18\text{dB}$ 。

### 1.3 功率放大级

- 功放级电路中，电容  $C_{15}$ 、 $C_{16}$  用作电源滤波。 $D_1$  和  $D_2$  为防止输出端的瞬时过电压损坏芯片的保护二极管。 $R_{11}$ 、 $C_{10}$  为输出端校正网络以补偿感性负载，其作用是把扬声器的电感性负载补偿接近纯电阻性，避免自激和过电压。
- 图中通过  $R_{10}$ 、 $R_9$ 、 $C_9$  引入了深度交直流电压串联负反馈。由于接入  $C_9$ ，直流反馈系数  $F' = 1$ 。对于交流信号而言，因为  $C_9$  足够大，在通频带内可视为短路，所以交流反馈系数由  $R_{10}$ 、 $R_9$  确定。因而该电路的电压增益为

$$A_{v3} = 1 + \frac{R_{10}}{R_9}$$



### B. 实验内容：

1. 静态调试
2. 动态调试
3. 空载测量整机指标
4. 加载测量整机指标（不做）
5. 听音试验

### 三、主要仪器设备

- 1、示波器、信号发生器、稳压电源。
- 2、空电路板，电烙铁等工具。
- 3、 $\mu A741$ 、电阻电容等元件。

### 四、操作方法和实验步骤

#### 1. 静态调试：

- 1) 对照原理图，检查电路的正确性。
- 2) 加电源，注意观察（电源电流大小，有无冒烟）。
- 3) 静态测试：将输入接地，测试各级电路的静态工作点。要求零输入时零输出。

#### 2. 动态调试：

- 1) 输入信号频率为 1kHz 的正弦波（幅值多大？）。
- 2) 用示波器检查各级电路的输出，验证电路功能。
- 3) 分别调节音调控制电位器  $RP1$  和  $RP2$ ，检查输出幅度如何变化。
- 4) 调节音量电位器  $RP3$ ，检查输出幅度是否变化。
- 5) 电路功能正常后，将音量电位器  $RP3$  置于最大位置、音调控制电位器置于中心位置，用示波器测量主要节点的电压幅度，记录到表格中。

### 3. 空载测量整机指标

#### 1) 整机电压增益 $A_v$

在音量电位器  $RP_3$  置于最大位置、音调控制电位器置于中心位置时的整机电压放大倍数。

#### 2) 最大不失真输出电压 $V_{omax}$

刚好不出现失真时的输出电压。

#### 3) 最大输出功率 $P_{omax}$

当接负载时，由  $V_{omax}$  计算出  $P_{omax}$ （空载不测）

#### 4) 输入灵敏度 $V_{imax}$

最大不失真输出电压时所对应的输入电压，称为输入灵敏度  $V_{imax}$ 。要求  $V_{imax} < 100mV$ 。

#### 5) 噪声电压 $V_N$

没有输入信号（即将输入端对地短路）时，测得的输出电压有效值称为噪声电压。

#### 6) 频率响应特性 $f_L$ 和 $f_H$

电压放大倍数下降到中频段时的 0.707 倍时，所对应的频率。上下限频率的测量类似于共射放大电路。先在中频段（如：1kHz）使输出电压达到合适的幅度，然后保持输入信号幅度不变时，调节频率，使输出电压幅度达到中频段的 0.707 倍。

#### 7) 高低音控制特性

分别测量  $f=100Hz$  时的低音净提升量、低音净衰减量， $f=10kHz$  时的高音净提升量、高音净衰减量。先将  $RP_1$ 、 $RP_2$  电位器调至中间位置，调节输入信号（ $f=1kHz$ ），使输出电压为最大输出电压的 10% 左右（0.5V 左右），测出  $V_o$ 。

保持输入不变，调节信号频率至  $f=100Hz$ 。使低音电位器  $RP_1$  分别至两端位置 A、B，测出  $V_{oA}$  和  $V_{oB}$ 。并由此计算出低音净提升量和低音净衰减量，用分贝表示，即：

$$20\lg \frac{A_{vA}}{A_v} = 20\lg \frac{V_{oA}}{V_o} \qquad 20\lg \frac{A_{vB}}{A_v} = 20\lg \frac{V_{oB}}{V_o}$$

将低音电位器  $RP_1$  调回到中间位置，使高音电位器  $RP_2$  分别调至两端位置 C、D，测出  $V_{oC}$  和  $V_{oD}$ 。则高音净提升量和高音净衰减量为（单位为分贝）即：

$$20\lg \frac{A_{vC}}{A_v} = 20\lg \frac{V_{oC}}{V_o} \qquad 20\lg \frac{A_{vD}}{A_v} = 20\lg \frac{V_{oD}}{V_o}$$

## 五、实验数据记录和处理

### 1. 静态调试:

静态电压	$V_{O1}$	$V_{O2}$	$V_{O3}$
实测值	-2.6mV	3.68mV	2.97mV

2. 动态调试：

节点电压	实测值	放大倍数	实测值
$V_i = V_{i1}$	40.0mV	前置放大级 $A_{v1}$	5.72
$V_{o1} = V_{i2}$	228.9mV	音调控制级 $A_{v2}$	-1.07
$V_{o2} = V_{i3}$	245.3mV	功率放大级 $A_{v3}$	36.00
$V_{o3} = V_o$	8.83V	整 机 $A_v$	-220.31

3. 空载测量整机指标

整机增益 $A_v$	-220.3
最大不失真输出电压 $V_{omax}$	13.3V
输入灵敏度 $V_{imax}$	60.8mV
噪声电压 $V_N$	12.5mV

频率响应特性

$f_L$	21kHz
$f_H$	12Hz

高低音控制特性：

$V_O/mV$	506
$V_{OA}/mV$	137
$V_{OB}/mV$	2530
$V_{OC}/mV$	123
$V_{OD}/mV$	1863

六、实验数据记录和处理

1. 静态测试：

对于  $V_{o1}$ ,  $V_{o2}$ ,  $V_{o3}$ , 静态时, 由于  $v_i=0$ , 故理论值均为 0。而使用万用表进行测量时发现, 均有一不稳定的小于 5mV 的噪声电压。可能的原因在思考题中给出。

2. 动态测试：

2.1 前置放大级增益

由深度负反馈条件可以计算得到:  $A_{v1}=1+510k\Omega/100k\Omega=6.1$ ,  
而实测值为 5.7, 相对误差  $E=6.6\%$ , 在可接受范围内。

2.2 音调控制级：

动态测试时输入信号为中频段 (1kHz) 且将 RP1 和 RP2 均置于中间位置, 由理论的波特图知  $A_{v2}=-1$   
实际测量值为 -1.07, 相对误差  $E=7.0\%$

2.3 功率放大级：

由深度负反馈条件可以计算得到:  $A_{v3}=1+22k\Omega/0.68k\Omega=33.4$ ,  
实际测量值为 36.0, 相对误差  $E=7.8\%$

#### 2.4 误差分析：

- a. 深度负反馈条件下的虚短和虚断是理想条件，实际如此计算时会产生一定误差。
- b. 焊接质量会影响支路的阻值，造成和理论值的偏差

#### 3. 空载测量整机指标：

3.1 整机增益及其误差已在动态调试中体现  $A_v = -220.31$

3.2 最大不失真输出电压：

$$V_{omax} = 13.3V$$

3.3 输入灵敏度：

$$V_{imax} = 60.8mV < 100mV$$

符合要求

3.4 噪声电压：

$$V_N = 12.5mV,$$

这不是一个稳定的测量值。实验时，我读取了示波器上的有效值，它始终在变化，并不是一个稳定的值，大概在 10-20mV 波动，读取一个较稳定的  $V_N$  仅作参考。噪声的产生原因记录在思考题中。

3.5 频率响应特性（取 1kHz 对应的  $A_v$  为中频段的增益）

改变  $v_i$  的频率得到：

$$f_L = 12Hz, f_H = 21kHz。$$

通频带要求包含理论估计值 50Hz ~ 20kHz，符合要求。

#### 3.6 高低音控制特性

a. 低音控制特性 (100Hz)

低音净提升量： $20lg(V_{OA}/V_O) = 13.98dB$

净衰减量： $20lg(V_{OB}/V_O) = -11.34dB$

b. 高音控制特性 (10kHz)

高音净提升量： $20lg(V_{OC}/V_O) = 11.32dB$

净衰减量： $20lg(V_{OD}/V_O) = -12.28dB$

高低音提升衰减量的理论估计值为 10dB，与实测值接近。

#### 七、思考题及实验心得

##### A. 思考题：

1. 分析实验中出现的异常现象。

第一周静态调试时，从第二级开始就仅能观测到一个 12V 左右的直流信号，原因在思考题 6 中解释。

2. 引起噪声、自激、失真现象的原因是什么？

a. 噪声：恒流电压源的波动可以经傅里叶变换后以高次谐波的形式作为噪声信号耦合进入电路

电子元件在正常工作时会产生元件自身特有的噪声，即热噪声。

外界也会产生干扰，如示波器和信号源的干扰。

b. 自激：自激是的产生是因为发生了正反馈，可以通过减小反馈，并联电容等方式进行相位偏移。

c. 失真：输出电压超过或远低于运放的额定输出电压时会产生失真。在设计电路时应该保证输出电压在运放的工作区

3. 音频功放电路中各个电位器的作用分别是什么？

$R_{P1}$  控制低音提升和衰减倍率，

$R_{P2}$  控制高音提升和衰减倍率，

$R_{P3}$  调整整机放大倍率，可以理解为音频信号的响度

4. (中频段) 各级电路放大倍数的理论值分别是多少(分析过程在原理及六-2-动态调试中)?

$A_{v1}=6.1$

$A_{v2}=-1$ (反向)

$A_{v3}=33$

5.  $C_1$ 、 $C_2$  作用? 分别是什么电容? 使用时注意事项。

$C_1$  是耦合电容, 隔离直流电源, 防止损伤电源。

$C_2$  是反馈网络的一部分, 进行相位偏移, 从而消除自激振荡,

$C_1$  是电解电容, 不能反接, 否则可能会使电容损坏。

6. 静态时输出端有电压什么原因, 怎样处理?

a. 如果是不规则的噪声, 那么很难除去, 但是大小不会很大, 对放大器的工作影响不大。

b. 如果输出端出现直流电压, 那么很可能是电路焊接有误, 应按照原理图和实物图比对检查是否错焊、虚焊, 极性接反等等问题。我在第一周测试时第一级放大电路工作正常, 第二级得到一个稳定的 12V 左右的直流信号。经检查发现  $A_2$  的四号引脚对地的接线焊接不牢, 导致静态工作点设置出错。重新焊接后问题解决。

7. 放大倍数出现异常, 应该怎样检查? 如何改正?

a. 如果放大倍数与参考值偏差不大可以检查电位器是否置于中间位置。

b. 一、三级是同相比例放大电路, 放大倍数主要取决于电阻的阻值, 对于第一级是  $R_2$ 、 $R_3$ 。对于第三级是  $R_9$ 、 $R_{10}$  应确保电阻焊接正确, 位置也正确, 可以查阅相关规则对照原理图进行检查。

c. 一个比较好的调试方法是, 将各级电路的连接暂时断开, 逐级进行检查。这样可以避免前级造成的干扰。

8. 如何测量音频功放电路的输入灵敏度和噪声电压? (测量方法? 什么仪器测? 电位器位置?)

将  $R_1$   $R_2$  置于中间位置,  $R_3$  最大。测输入灵敏度时, 先将信号发生器的幅值调整到一个合适的大小, 逐渐提高  $v_i$  幅值, 用示波器测量  $v_o$ , 观察到波形刚开始失真时停止, 记录此时  $v_i$  的幅值  $v_{imax}$ , 即为输入灵敏度。

测量噪声电压时, 只需将  $v_i$  对地短接, 用示波器观察  $v_o$  波形, 读取自动计算的有效值即可。

9. 如何测量音频功放电路的高音的净提升量? (测量方法? 计算表达式)

将低音电位器  $RP_1$  调到中间位置, 使高音电位器  $RP_2$  调至一端位置 C, 测出  $V_{oc}$ 。则高音净提升量为 (单位为分贝) 即:

$$20\lg \frac{A_{vc}}{A_v} = 20\lg \frac{V_{oc}}{V_o}$$

10. 电子电路调试应遵循哪些基本原则?

a. 不论简单系统还是复杂系统, 调试都是从电源开始入手的(通电后有无异味, 冒烟, 电源是否工作正常等);

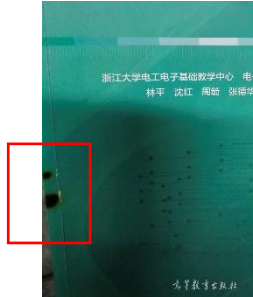
b. 调试方法一般是先局部(单元电路)后整体, 先静态后动态;

c. 测试过程中不能仅凭感觉或印象, 要始终借助仪器观察。使用示波器时, 最好把示波器的信号输入方式置于 “dc” 挡, 通过直流耦合方式, 可同时观察被测信号的交、直流成分。

B. 实验心得:

这次实验任务量和难度都很大. 前期焊接就花了整整两个下午的时间, 呆着充满着异味的实验室对着复杂的原理图和模糊的实物图, 一点点地把元件焊上去. 操作必须精细,

1. 电阻和薄膜电容要准确读出大小,放到正确的位置.
2. 导线的长度要尽量估计准, 不然就会翘起来, 不便于检查, 还可能出现短接.
3. 焊锡时左右手要配合好, 锡条要慢慢往前送(这是我焊了很久才发现的), 量要合适, 不多不少
4. 焊枪不用时先用海绵擦干净(不然会冒烟), 然后放在架子上. (我差点把模电书烧了)



调试时也是提心吊胆, 生怕和参考值不符合要回去返工(主要难在找到问题, 这比写程序 debug 难太多). 虽然还是发生了, 不过好在及时发现并解决了问题.

我不能说这次实验对我的模电知识有多大的提升(毕竟难度在于设计电路而老师已经帮我们设计好了), 说白了只是在照葫芦画瓢. 顶多算是积累了一点实践经验.

最后悄悄放一个板子的照片.

