

华中科技大学
人工智能与自动化学院

音响放大器

彭杨哲

U201914634

2021 年 6 月 16 日

1 实验目的

- 了解集成功率放大器内部电路工作原理
- 掌握其他外围电路的设计与主要性能参数的测试方法
- 掌握音响放大器的设计方法与电子线路系统的装调技术

2 实验元器件

集成功放 741	一片
集成运放 LM386	一个
10Ω/2W 负载电阻	一个
8Ω/4W 扬声器	一个

Table 1: 实验元器件

3 实验原理

3.1 音响放大器原理框图

如图1所示 根据技术指标要求, 音响放大器的输入为 5mV 时, 输出功

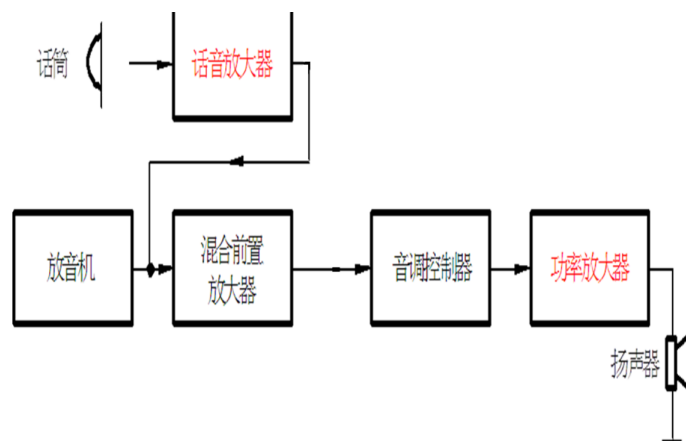


Figure 1: 原理框图

率大于 0.5W, 则输出电压 $V_o \geq 2.5V$, 总电压增益 $A_{v\Sigma} = V_o/V_i > 500$ 倍 (54dB)

各级放大倍率框图如下图2

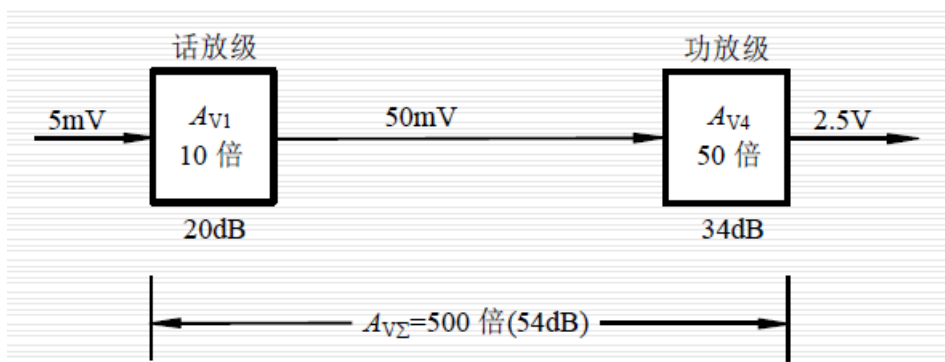


Figure 2: 放大级数

3.2 话放部分

前置放大电路的作用是不失真地放大语音信号。可以由两部分组成：一部分是语音输入级电路，另一部分就是电压放大电路。下面主要介绍语音输入级电路的设计。话筒是一种常用的语音输入设备，它能将人说话的声音转换成微小的电压信号输出，其峰-峰值最大为几十毫伏。它的输出阻抗因内部传感器不同而有较大的差异，有的输出阻抗较高（达 $20k\Omega$ ），有的较低（如 20Ω ， 200Ω ， 600Ω 等）。在设计前置电压放大电路时，要使电路的输入阻抗远大于（通常为 10 倍）话筒的输出阻抗。由于话筒的输出信号一般只有 5mV，为了使放大器能够不失真的放大话筒输出信号，其输入阻抗应远大于话筒的输出阻抗。且因为共模噪声可能高达几伏，放大器本身的共模抑制特性也是同等重要的问题。因此放大电路应该是一个高输入阻抗、高共模抑制比、低漂移的小信号放大电路。故选择自举放大电路，因为其具有输入阻抗非常高，输出阻抗很低的特点。

因此，可以采用如下电路3

图中，运放 $uA741$ 用双电源供电，该运放的增益带宽积虽然不高（增益为 1 时，带宽为 1.4 MHz），但这里电压增益不高，故能达到语音放大电路频响要求。R1 两端的电压相等，且相位相同，故称 R1 为自举电阻。流经 R1 的电流可视为零，从而大大提高了交流放大器的输入电阻。图中电路的输入电阻为 $R_i = (R_1 // r_{id})(1 + A_{vo}F) + R_2 // R_F$ ，式中，F 为反馈系数， $F = \frac{R_2}{(R_2 + R_F)}$ ， A_{vo} 是运放的开环增益

3.3 功率放大器

功率放大器（简称功放）的作用是给音响放大器的负载 R_L （扬声器）提供一定的输出功率。当负载一定时，希望：输出的功率尽可能大，输出信号

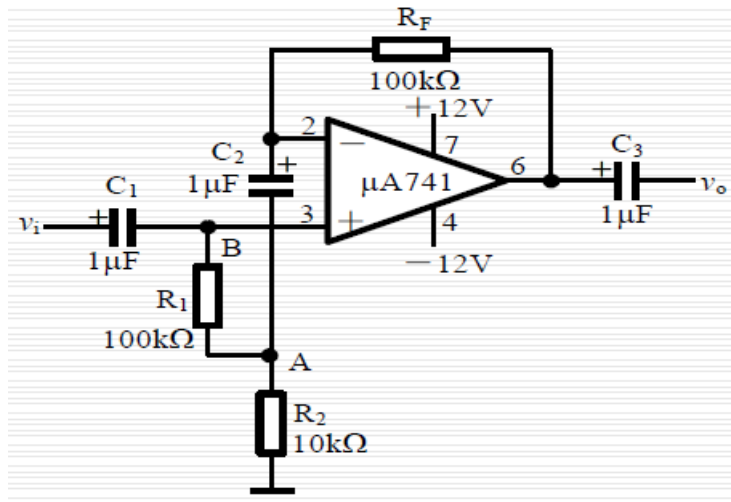


Figure 3: 自举式交流电压放大器

的非线性失真尽可能的小, 效率尽可能的高此处我们使用 LM386 集成功率放大器, LM386 是广泛用于收录音机、对讲机、电视伴音等系统中的低电压通用型低频集成功放。通过改变引脚 1 和 8 之间的外部连接电阻 R 和电容 C , 就可以改变放大器的增益。在深度负反馈条件下, 整个电路的电压增益为: $A_{vf} = \frac{30k\Omega}{150\Omega + 1.35k\Omega // R}$ 1,8 开路时, $A_v = 20$ (负反馈最强), 1,8 交流短路 (使用电容连接) 时, $A_v = 200$ (负反馈最弱) 利用 LM386 获得 50 倍电压增益的电路如图4所示

3.4 音调控制器

音调控制器只对低音区域与高音区域的增益进行提高或衰减, 中音区域的增益保持 0dB 不变, 因此, 音调控制器的电路可以由低通滤波器和高通滤波器构成. 如图5所示, 设电容 $C_1 = C_2 \gg C_3$, 在中、低音频区, C_3 可视为开路, 作为低通滤波器; 在中、高音频区, C_1 、 C_2 可视为短路, 作为高通滤波器。

3.5 音响放大器的主要技术指标

3.5.1 额定功率

音响放大器输出失真度小于某一数值 (如 $<5\%$) 时的最大功率称为额定功率。其表达式为

$$P_o = \frac{V_o^2}{R_L}$$

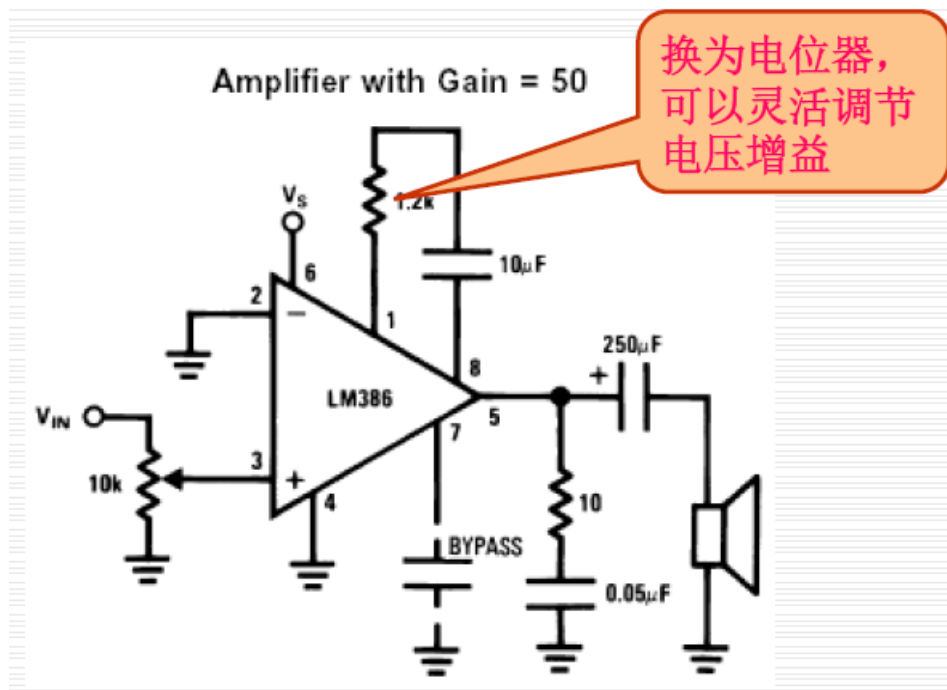


Figure 4: 50 倍增益 LM324 放大电路

式中, R_L 为额定负载阻抗; V_o (有效值) 为 R_L 两端的最大不失真电压, V_o 常用来选定电源电压 V_{cc}

$$V_{cc} = 2\sqrt{2}V_o$$

3.5.2 输入阻抗

将从音响放大器输入端话音放大器输入端看进去的阻抗称为输入阻抗 R_i 。如果接高阻话筒, 则 R_i 应远大于 $20k\Omega$ 。接电唱机, R_i 应远大于 $500k\Omega$ 。 R_i 的测量方法与放大器的输入阻抗测量方法相同。

3.5.3 整机效率

$$\eta = \frac{P_o}{P_v} \times 100\%$$

式中, P_o 为输出的额定功率, P_v 为输出额定功率时所消耗的电源功率

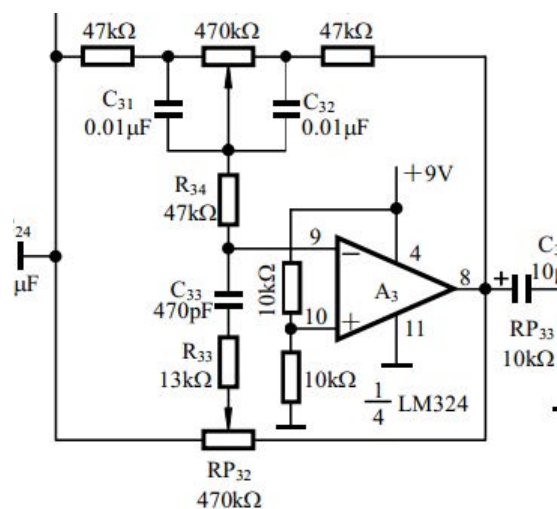


Figure 5: 音调控制电路

4 实验内容

4.1 合理布局，分级装调

完成音响放大器电路的整机设计，合理布局以及电路逐级布线，完成电路的组装。注意以下几点：

- 一般按照电路的顺序一级一级地布线
- 功放级应远离输入级
- 连线尽可能短，否则很容易产生自激。

整体电路图如图6所示

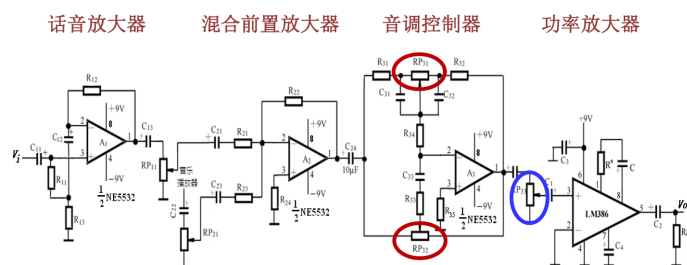


Figure 6: 整体电路图

4.2 电路调试

电路调试采取先分级调试再级联调试，最后进行整机调试以及性能指标测试，分级调试分为静态调试与动态调试两个部分：静态调试时，将输入端对地短路，用万用表测该级输出端对地的直流电压。话放级、混放级、音调级都是由运算放大器组成的，其静态输出直流电压均为 $V_{cc}/2$ ，功放级的输出 OTL 电路也为 $V_{cc}/2$ ，且输出电容 C_c 两端充电电压也应为 $V_{cc}/2$

动态调试是指输入端接入规定的信号，用示波器观测该级输出波形，并测量各项性能指标是否满足题目要求，如果相差很大，应检查电路是否接错，元器件数值是否合乎要求，否则是会出现很大偏差的。

单级电路调试时的技术指标较容易达到，但进行级联时，由于级间相互影响，可能使单级的技术指标发生很大变化，甚至两级不能进行级联。产生的主要原因：

1. 布线不太合理，形成级间交叉耦合，应考虑重新布线；
2. 级联后各级电流都要流经电源内阻，内阻压降对某一级可能形成正反馈，应接 RC 去耦滤波电路。
3. 电源部分一般要在 VCC 与地之间加电容。以消除电源部分的干扰。一般用几百微法大电容去除低频干扰，用 $0.1\mu F$ 小电容相并联去除高频干扰。
4. 由于功放级输出信号较大，对前级容易产生影响，引起自激。集成块内部电路多极点引起的正反馈易产生高频自激，可以加强外部电路的负反馈予以抵消，如功放级 5 脚与 7 接入电容，可消除叠加的高频毛刺。

4.3 参数测量

测量频率为 1kHz 时的最大输出功率 P_o 、电源提供的功率、各单元电路电压增益 A_v 、整机电压增益 A_v ，输入阻抗、频率响应。

4.3.1 测量额定输出功率 P_o

测量 P_o 的条件如下：

- 音响放大器的输入信号为频率 $f_i=1\text{kHz}$ ，电压 $V_i=5\text{mV}$ 的正弦波。
- 音调控制器的两个电位器 RP31、RP32 置于中间位置，音量控制电位器 RP33 置于最大值

- 用双踪示波器观测 V_i 及 V_o 的波形，用示波器监测 V_o 的波形失真。

测量 P_o 的步骤是

1. 功率放大器的输出端接额定负载电阻 R_L (代替扬声器)。
2. 逐渐增大输入电压 V_i ，直到 V_o 的波形刚好不出现削波失真，此时对应的输出电压为最大输出电压。
3. 由式即可算出额定功率 P_o 。

注意：在最大输出电压测量完成后应迅速减小 V_i ，否则容易损坏功率放大器。

4.3.2 测量整机频率响应

整机放大电路的电压增益相对于中音频 f_0 (1kHz) 的电压增益下降 3dB 时对应低音频截止频率 f_L 和高音频截止频率 f_H ，称 $f_L \sim f_H$ 为整机电路的频带。测量条件同额定功率，调节 RP33 使输出电压约为最大输出电压的 50%。

测量步骤如下：

1. 音响放大器的输入端接 V_i (等于 5mV)，RP31 和 RP32 置于中间。
2. 使信号发生器的输出频率 f_i 从 20Hz 至 50kHz 变化 (保持 $V_i=5\text{mV}$ 不变)。
3. 测出负载电阻 R_L 上对应的输出电压 V_o ，可得到 f_L 与 f_H 的值。

4.3.3 测量输入阻抗

测量电路如图7所示 图中 R 取值尽量与 R_i 接近，用示波器的一个通道

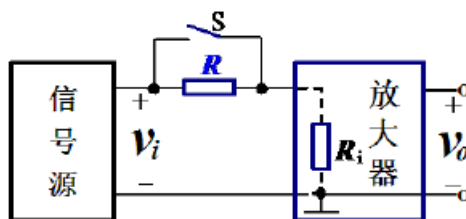


Figure 7: 输入阻抗测量电路

始终监视 v_i 波形，另一个通道先后测量开关 S 闭合和断开时对应的输出电

压 v_{o1} 和 v_{o2} , 则输入电阻为:

$$R_i = \frac{v_{o2}}{v_{o1} - v_{o2}} R$$

4.3.4 系统试听

使用 $8\Omega/4W$ 的扬声器代替负载电阻 R_L , 进行以下功能试听:

音乐欣赏: 将录音机输出的音乐信号, 接入前置放大器, 扬声器的输出音调不失真。并且没有杂音, 扬声器传出的声音应清晰, 改变音量电位器, 可控制声音大小。

5 实验结果及分析

5.1 电路设计与连线

电路设计为第一级话放级 A_v 为 20 倍, 第二级功放级 A_v 为 60 倍, 整体放大倍数为 1200 倍电路设计如图6所示, 为使得电路满足幅频特性要求, 将 C_2 变为 $220\mu F$, 其他基本与3中电路参数相同

按照电路图进行连线后, 将信号源所示峰峰值作为信号源实际输出信号的峰峰值, 可以测得话放级 $A_v = \frac{100mV}{5mV} = 20$, 功放级 $A_v = \frac{1.32V}{22mV} = 60$, 整机 $A_v = \frac{7V}{5mV} = 1400$, 可见测量结果与设计预期存在一定误差, 考虑为信号源所指示的电压与实际存在一定的误差, 以及示波器在测量幅值较小的信号时的误差较大所致

5.2 测量额定输出功率

实验结果

经测量, 当输出波形当好不失真时的输出电压峰峰值为 $7V$, 所以计算可得

$$P_o = \frac{3.5^2}{10 \times 2} = 0.6W$$

此时读出稳压源上的读数, 可以得到

$$P_v = 9V \times 0.09A = 0.81W$$

可见整机效率为

$$\eta = \frac{0.6}{0.81} \times 100\% = 74\%$$

实验结果分析结论

由此可见,实验结果满足了额定功率 $P_o \geq 0.3W$ 的技术指标要求,电路设计合理,实验结果有效

5.3 测量整机频率响应

实验结果

调节音量放大控制的滑动变阻器,使电路最终输出电压为 3.44V,约为最大输出电压的一半,调整信号源的频率,使电压增益下降 3dB 时的 $f_L = 50Hz, f_H = 40kHz$.

实验结果分析结论

由此可见,实验结果满足了频率响应 $f_L \leq 50Hz, f_H \geq 20kHz$ 的技术指标要求,电路设计合理,实验结果有效

5.4 测量输入阻抗

实验结果

由于并不具有 $M\Omega$ 级的电阻,只能使用 $190k\Omega$ 的电阻作为 R 进行输入阻抗的测量.经过测量 $v_{o2} = 3.6V, v_{o1} = 3.8V$, 计算可得

$$R_i = \frac{3.6}{3.8 - 3.6} 190k\Omega = 3.42M\Omega$$

实验结果分析结论

由此可见,实验结果满足了输入阻抗 $R_i \gg 20k\Omega$ 的技术指标要求,电路设计合理,实验结果有效

5.5 系统试听

测量完相关参数后,利用音频线将手机耳机接口接入电路,播放音乐,可见音乐声音清晰,几乎无杂音,音调未失真,可见实验结果有效,满足设计功能要求.

5.6 音调调节试听

调节 RP1 滑臂在最右端,RP2 滑臂在最左端时,可以感受到音乐的低音部分提升,高音部分衰减;调节 RP1 滑臂在最左端,RP2 滑臂在最右端时,可以感受到音乐的高音部分提升,低音部分衰减

6 小结

通过此次实验, 我们充分认识到了实际应用电路的”魔性”, 有时真的就是稍微碰了一下电路, 输出波形就有可能出现极大的变化. 同时, 也深刻认识到了现实世界中的信号的杂乱, 小小的直流电源中就可能存在着与小信号可以比拟的干扰, 而各种现实世界的噪声也容易产生相当大的干扰, 可见, 向电路中加入滤波电容的必要性, 不过也要注意在加入不同大小的电容后又会对电路的频率响应特性造成不同的影响, 要注意与工程设计的需求相结合.

7 实验中出现的問題, 分析及解决方案

在本次实验过程中, 我收集了一些常見的問題, 小结如下:

- 电路连线时, 应尽可能短, 否则很容易引入较大的干扰
- 当 RIGOL 示波器显示小于 10mV 的电压时, 测量结果并不准, 且信号发生器显示的输出电压值也并不准, 有时会存在较大的误差, 要注意, 可以先利用信号发生器输出相对较大的峰峰值电压 (如 20mV) 使其能够在示波器上显示出来, 然后记下信号发生器所指示的输出电压值与示波器测出的峰峰值之间的误差, 然后再将信号源的输出电压调小, 根据示波器示数与误差得到相对准确的测量结果
- 在测量信号的参数时, 要注意统一测量仪器, 要么就全部利用示波器进行测量, 要么就全部利用万用表进行测量, 切不可混用
- 注意电路要分级进行调试, 而在将两级电路连接在一起进行调试时, 注意要先将音量控制变阻器的电阻值调小, 以防 LM324 输出电压过大, 在示波器上无法显示及可能的烧坏芯片的问题