

浙江大学实验报告

专业： 电子信息工程

姓名： 邢毅诚

学号： 3190105197

日期： 2021-4-21

地点： 东三-406

课程名称： 电路与电子技术 实验

指导老师： 张伟

成绩：

实验名称： 扩音机电路的设计制作与测试

实验类型： 验证实验

同组学生姓名： 无

一、 实验目的

- (1) 了解复杂电子电路的设计方法
- (2) 了解集成功率放大器的基本特点
- (3) 了解放大电路的频率特性及音调控制原理
- (4) 了解放大电路的频率特性及音调控制原理
- (5) 学习复杂电子电路的分模块调试方法
- (6) 学习扩音机电路的特性参数的测试方法

二、 实验基本内容

1. 焊接

分别焊接前置放大电路、音调控制电路及集成功放电路等三级运放组成的扩音机电路功能块。

2. 检查电路的正确性

- 对照电路原理图仔细检查三级电路的元器件参数、连接线及焊点质量；
- 使用万用表的通断档逐步检查电路的完整性。避免漏焊、错焊、虚焊等现象。

3. 前置级

- 测量静态工作点；
- 输入正弦波，示波器监视输入与输出波形；
- 用示波器测量输入与输出电压，计算其放大倍数

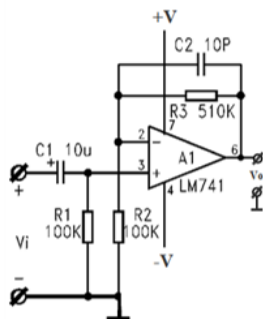


图 1: 前置放大电路

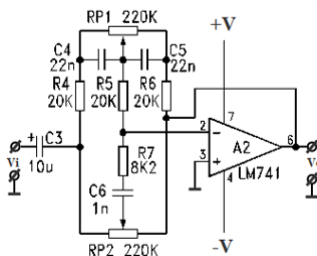


图 2: 音调控制电路

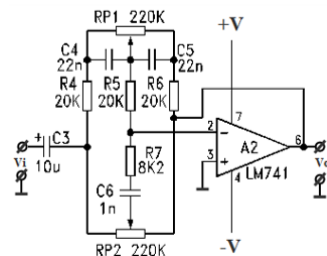


图 3: 集成功放电路

4. 音调控制电路

(1) 测量音调控制电路的静态空做点

(2) 在下列条件下测试音调控制电路的电压增益

- 音调控制电位器置中心位置
- 输入信号频率为 1kHz 的正弦波
- 用示波器观察输入与输出波形
- 用示波器测量输入与输出电压

(3) 高低音控制特性的测试，计算音调控制范围

- 低频段 $f = 100\text{Hz}$ 时的音调控制特性
 - 音调 RP1 调节至最左, 用示波器测量输入与输出电压
 - 音调 RP1 至调节最右, 用示波器测量输入与输出电压
- 高频段 $f = 10\text{KHz}$ 时的音调控制特性
 - 音调 RP1 调节至最左, 用示波器测量输入与输出电压
 - 音调 RP1 至调节最右, 用示波器测量输入与输出电压

5. 功率放大电路

- 测量功放电路的静态工作点;
- 测量功放电路的电压增益;
 - 输入 1kHz 正弦波, 用示波器监视输入与输出波形。
 - 用示波器测量输入与输出电压, 计算其放大倍数。
- 测量功放级最大不失真输出和最大功率 (带载) 调节输入幅度, 测出带 8 欧负载最大不失真输出及放大倍数
 - 测量并计算输出功率: $P_o = \frac{U_o^2}{R_L}$
 - 计算最大输出功率和此时的功率: $\eta = \frac{P_o}{P_E} \times 100\%$

6. 扩音机整机电路

(1) 在下列条件下测试前置级、音调控制级、功率放大级的电压增益和整机增益，并将结果记入表中。

- 音量电位器 RP3 置于最大位置。
- 音调控制电位器置中心位置。
- 扩音机的输出在额定输出功率以内，并保证输出波形不产生失真。
- 输入信号频率为 1KHz 的正弦波。

(2) 测量各项指标

- 最大不失真输出电压 Vomax(或 Vopp)
- 输入灵敏度 Vimax
- 最大输出功率 Po
- 噪声电压 V_N
- 整机电路的频率响应
- 整机高低音控制特性
- $f = 100\text{Hz}$ 时的音调控制特性

三、 实验原理

1. 前置级

前置级电路如下图所示：

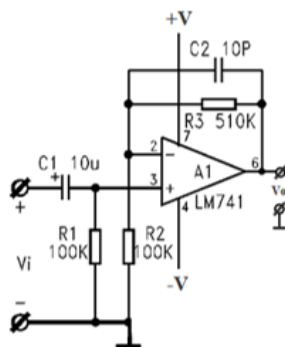


图 4: 前置级电路

前置放大级的性能对整个音频功放电路的影响很大，为了减小噪声，前置级通常要选用低噪声的运放。由 A1 组成的前置放大电路是一个同相输入比例放大器，具有较大的输入电阻。

其放大倍数为：

$$A_{vf} = 1 + \frac{R_3}{R_2} = 6.1 \quad (1)$$

其输入电阻为 $R_{if} = R_1$ ，输出电阻 $R_{of} = 0$ ，而 C_2 电容则用于消除自激振荡。

另外，需要注意的是，测量集成运放各引脚的电压时，一般将万用表测试表棒搭接在与运放引脚直接相连的其它连接点上，以免万用表测试表棒引起运放引脚间互相短路，造成运放损坏。

2. 音调控制电路

音调控制级电路如下图所示：

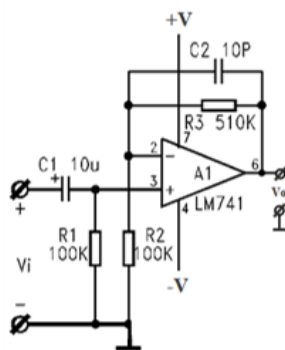


图 5: 音调控制级电路

其作用是实现对低音和高音的提升和衰减，以弥补扬声器等因素造成的频率响应的不足。通常，音调控制电路有以下三种形式：

- 衰减式 RC 音调控制电路，其调节范围宽，但容易失真
- 反馈型音调控制电路，其调节范围小一些，失真小，应用较广；
- 混合式音调控制电路，其电路复杂，多用于高级收录机。

本实验音调控制电路采用由阻容网络组成的 RC 型负反馈音调控制电路。通过不同的负反馈网络和输入网络造成放大器闭环放大倍数随信号频率不同而改变，从而达到对音调的控制。通过此电路，我们可以实现对音频的四种控制方式：

- 低音提升

其电路图如下图所示：

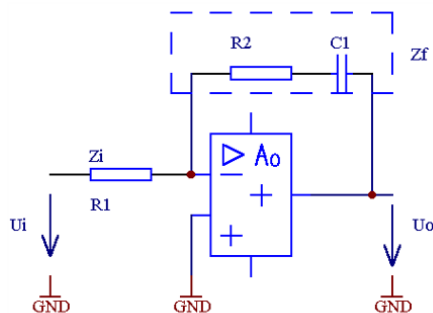


图 6: 低音提升电路图

若 $C1$ 取值较大，只有在频率很低时才起作用，则当信号频率在低频区，随频率降低， Z_f 增大，所以 $A_{uf} \frac{Z_f}{R_1}$ 提高，从而得到低音提升。

- 高音提升

其电路图如下图所示：

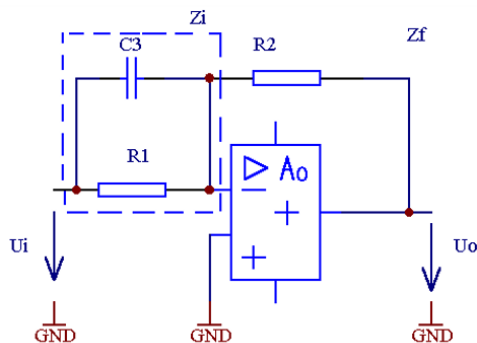


图 7: 高音提升电路图

若 $C3$ 取值较小只有高频区起作用，则当信号在高频区且随频率升高 Z_i 减小，所以 $A_{uf} = R_2/Z_i$ 提高，从而可得到高音提升。

- 高音衰减其电路图如下图所示：

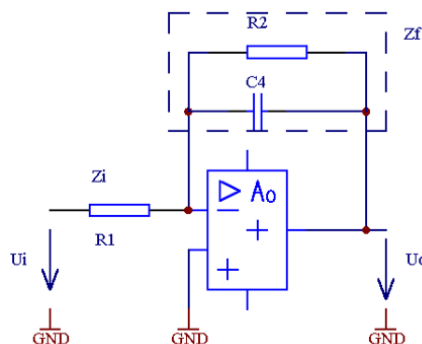


图 8: 高音衰减电路图

图中，若 $C4$ 取值较小只有高频区起作用，则当信号在高频区且随频率升高 Z_f 减小，所以 $A_{uf} = \frac{Z_f}{Z_i}$ 减小，从而可得到高音衰减。

- 低音衰减其电路图如下图所示：

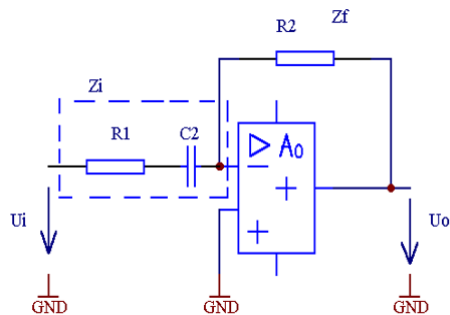


图 9: 低音衰减电路图

图中若 $C2$ 取值较大，只有在频率很低时才起作用，则当信号频率在低频区，随频率降低， Z_i 增大，所以 $A_{uf} = \frac{Z_f}{Z_i}$ 降低，从而得到低音衰减。

通过上述的四种功能，我们可以实现如下图所示的幅频特性曲线：

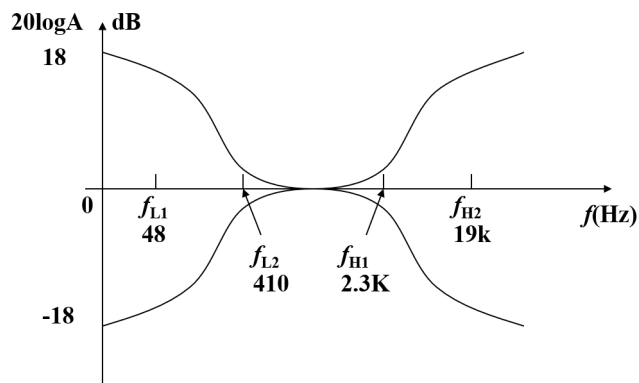


图 10: 音调控制电路伏安特性曲线

3. 功率放大级

功率放大级电路图如下图所示：

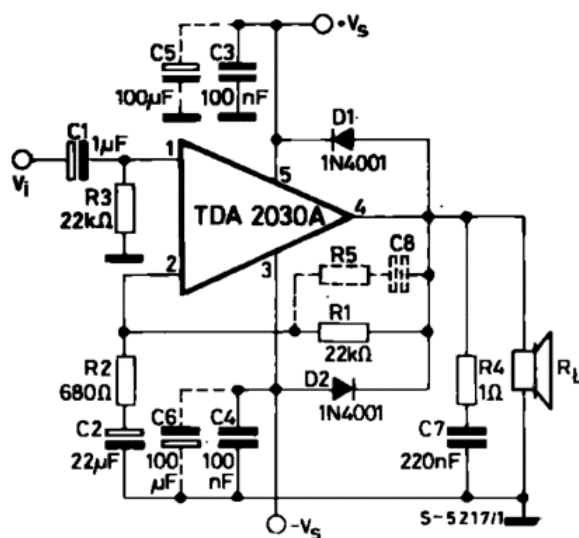


图 11: 功率放大级电路

其中使用的 TDA 2030A 芯片引脚接图如下图所示：

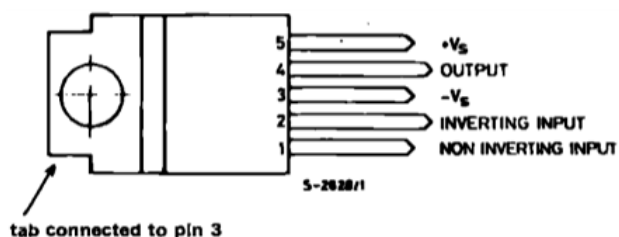


图 12: TDA2030A 外形与引脚

1 脚与同向输入端相连，2 脚与反相输入端相连，3 脚与负电源相连，4 脚与输出端相连，5 脚与正电源相连，需要注意的是：引脚 3 与散热接触面是连通的，散热器不要碰到地线或电源线，否则有可能导致芯片损坏。

四、 主要器材

- (1) 扩音机电路实验板; 扩音机电路实验所需的电子元器件
- (2) 数字多用表
- (3) 双踪示波器
- (4) 数字函数信号发生器
- (5) 可调式直流稳压稳流电源

五、 实验数据

1. 前置级

(1) 仿真分析

按照下图所示连接电路：

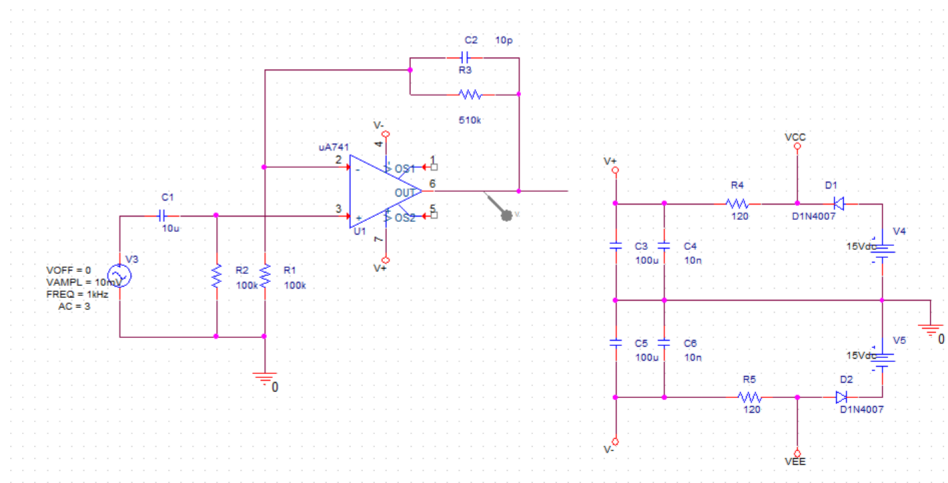


图 13: 前置级仿真电路图

• 测量静态工作点

测量静态工作点，具体数据如下图所示：

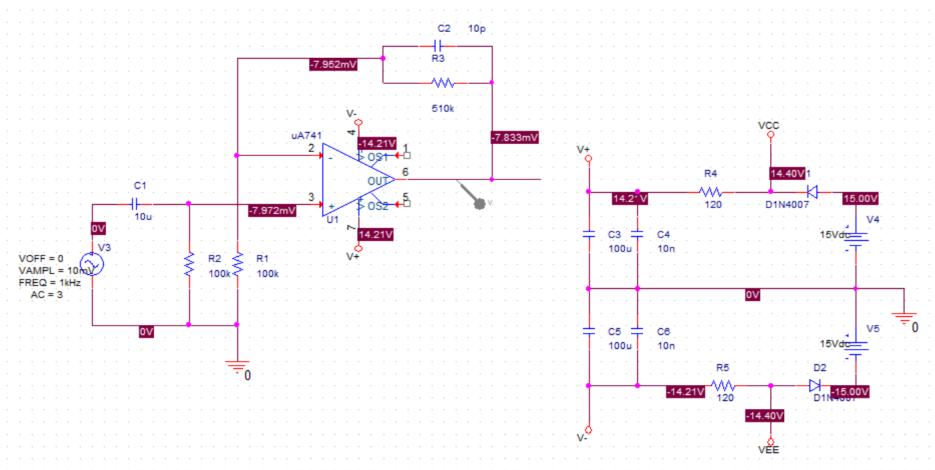


图 14: 前置级静态工作点

读取得数据如下表所示：

工作点	电压/mV
输出端	7.833
同向输入端	-7.972
反向输入端	-7.972

表 1: 前置级静态工作点数据

- 输入与输出波形

观察输入与输出波形，测得波形如下图所示：

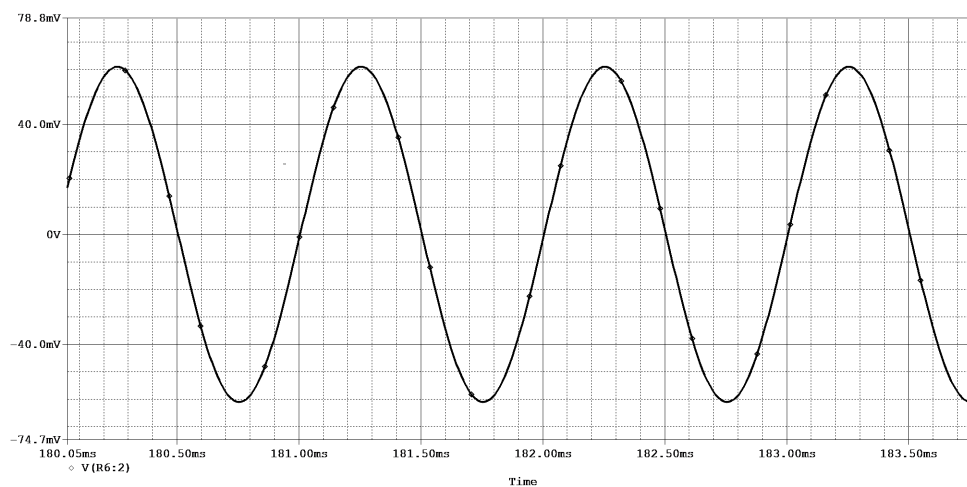


图 15: 前置级输入与输出曲线

使用频域扫描，测量得到幅频曲线如下图：

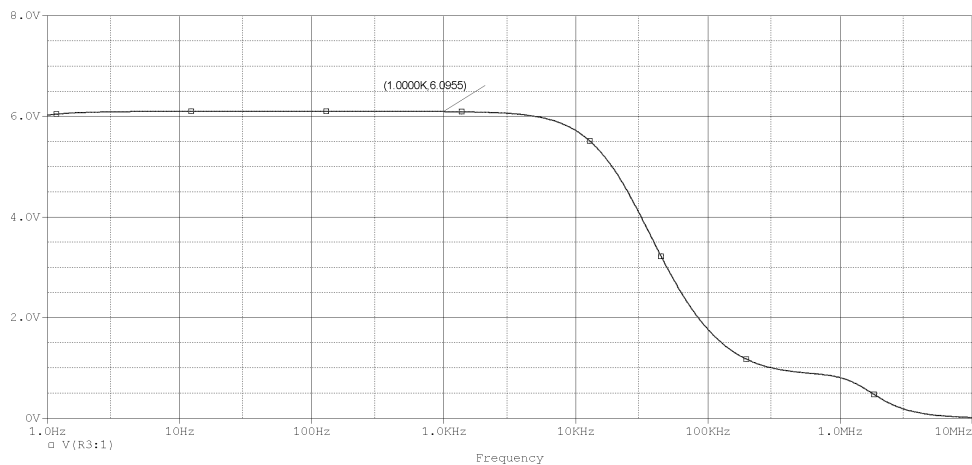


图 16: 前置级幅频曲线

- 放大倍数

记录输入与输出电压，并计算放大倍数，数据如下图所示：

输入峰峰值/mV	20.000
输出峰峰值/mV	121.865
放大倍数	6.09

表 2: 前置级相关数据

由理论计算得到放大倍数为 6.1，可以认为仿真结果正确。

(2) 实验部分

按照要求测量静态工作点

- 测量静态工作点

测量静态工作点，具体数据如下表所示：

工作点	电压/V
输出端	0
同向输入端	0
反向输入端	0

表 3: 前置级静态工作点数据

- 输入与输出波形

观察输入与输出波形，测得波形如下图所示：

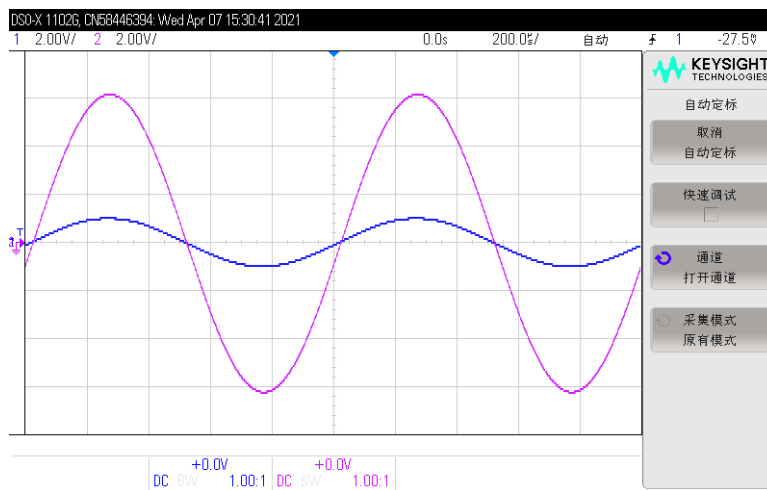


图 17: 前置级输入与输出曲线

使用频域扫描，测量得到幅频曲线如下图：

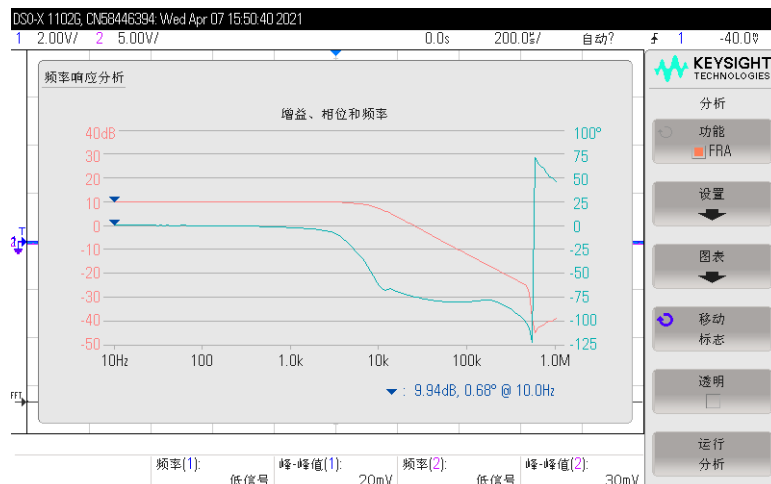


图 18: 前置级幅频曲线

- 放大倍数

记录输入与输出电压，并计算放大倍数，数据如下图所示：

输入峰峰值/V	2.02
输出峰峰值/V	12.44
放大倍数	6.158

表 4: 前置级相关数据

由理论计算得到放大倍数为 6.1，可以认为实验结果正确。

2. 音调控制电路

(1) 仿真分析

按照下图所示连接电路：

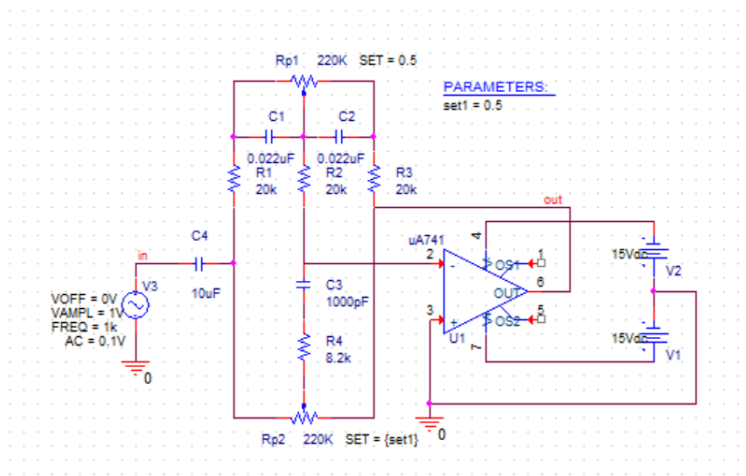


图 19: 音调控制级仿真电路图

- 静态工作点
测量得到静态工作点如下图所示：

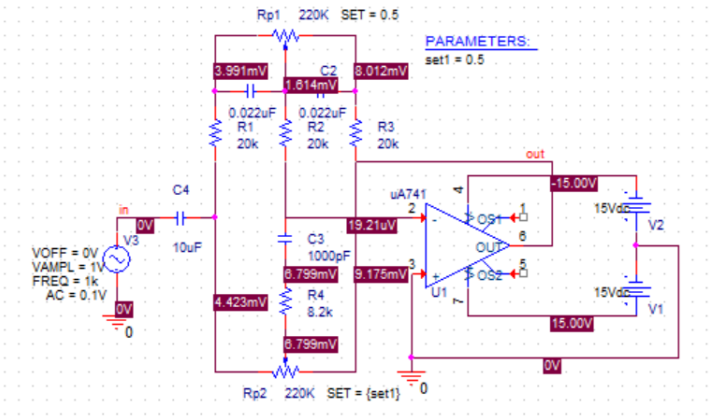


图 20: 音调控制级静态工作点

读取数据如下表所示：

工作点	电压
输出端/mV	9.175mV
同向输入端/ μV	19.21
反向输入端/ μV	19.21

表 5: 音调控制级静态工作点

- 电压增益
仿真测量输入与输出波形

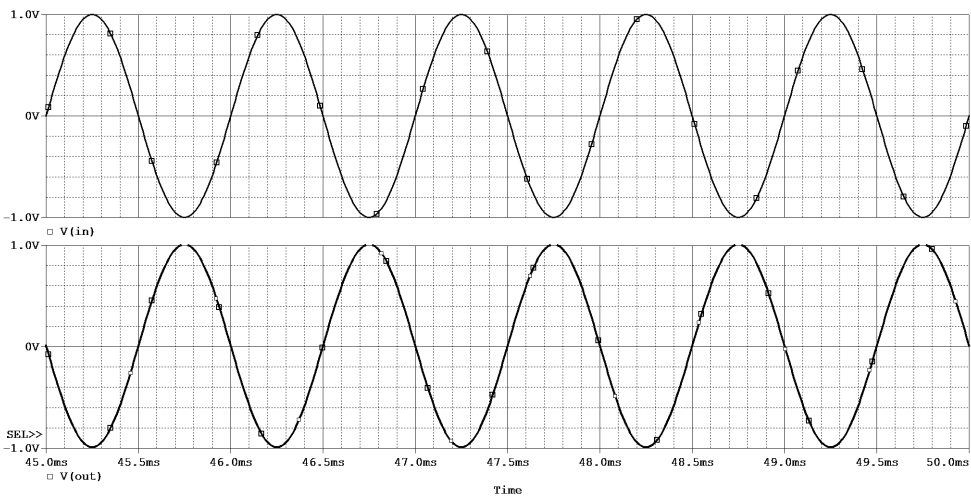


图 21: 音调控制级输入与输出波形

并进行 AC 扫描，测量得到其幅频特性曲线

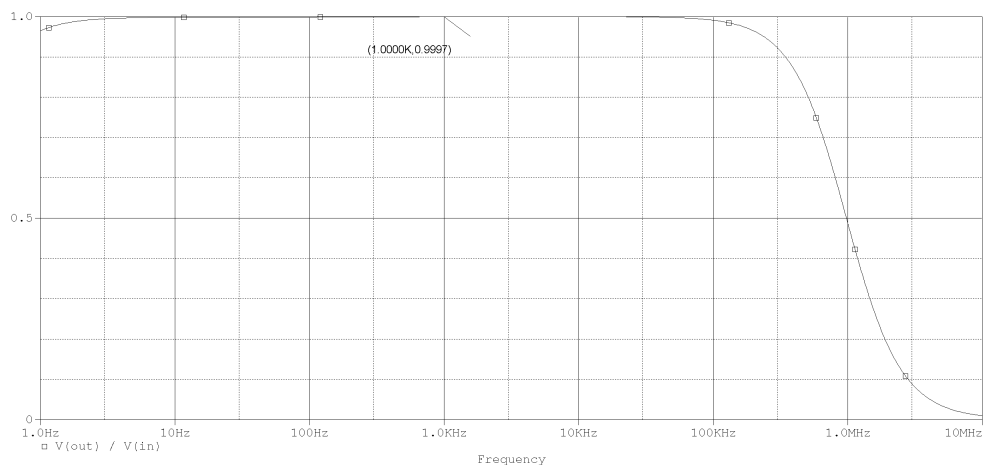


图 22: 音调控制级幅频特性曲线

- 高低音控制

- 低频特性

分别使 PR1 为 set = 0; set = 0.5; set = 1; 分别测量得到其幅频特性如下图:

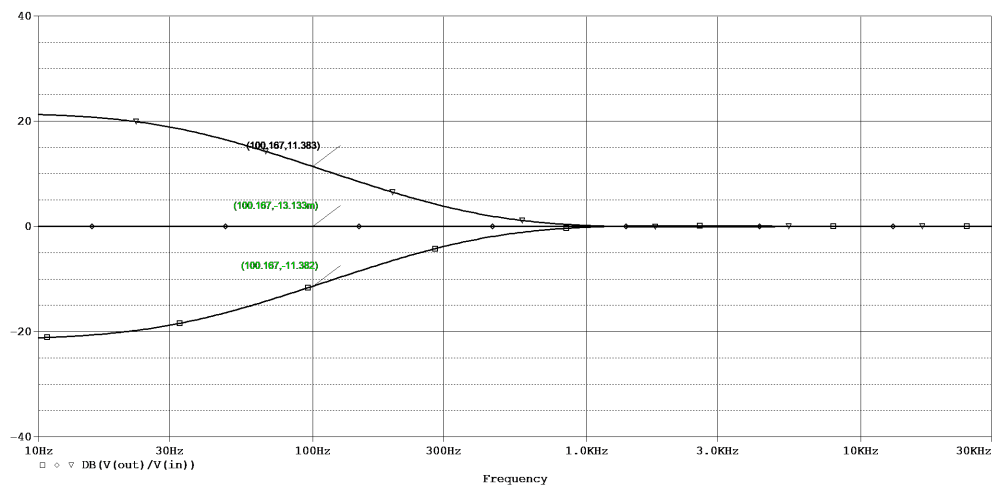


图 23: 低频幅频特性曲线

- 高频特性

分别使 PR2 为 set = 0; set = 0.5; set = 1; 分别测量得到其幅频特性如下图:

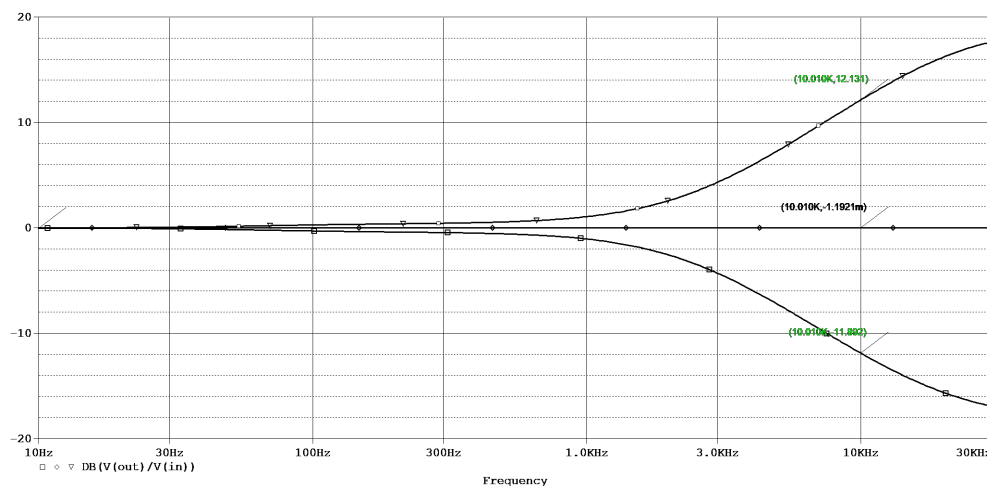


图 24: 高频幅频特性曲线

(2) 实验部分

按照实验原理图连接电路

- 静态工作点

测量静态工作点数据，读取得数据如下表所示：

工作点	电压/V
输出端	0.001
同向输入端	0.000
反向输入端	0.000

表 6: 音调控制级静态工作点

- 电压增益

测量输入与输出波形

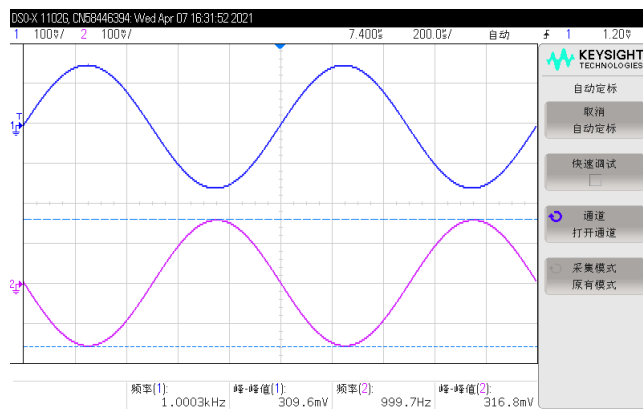


图 25: 音调控制级输入与输出波形

- 高低音控制

- 低频特性

将 RP1 调至最小端，测量输入与输出电压波形：

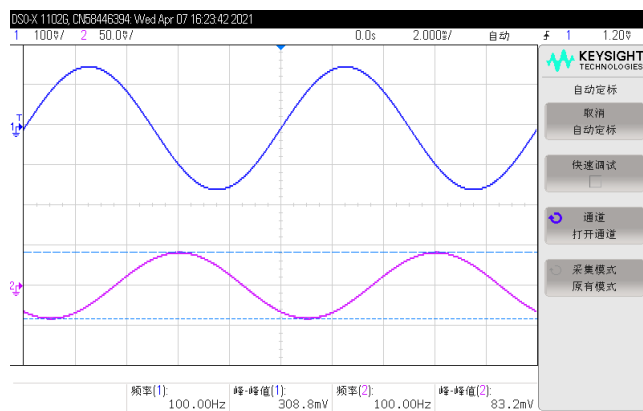


图 26: 低频抑制波形

将 RP1 调至最大端，测量输入与输出电压波形：

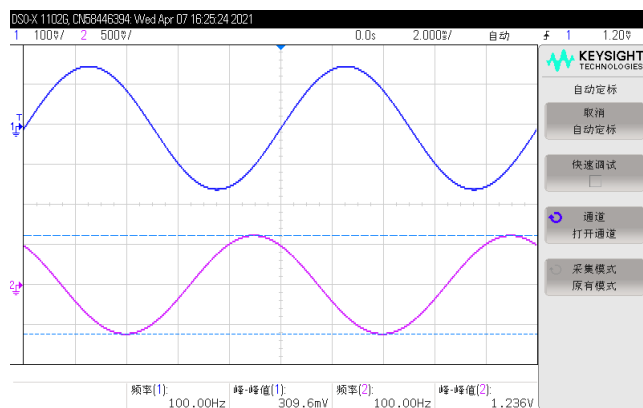


图 27: 低频增益波形

- 高频特性

将 RP2 调至最小端，测量输入与输出电压波形：

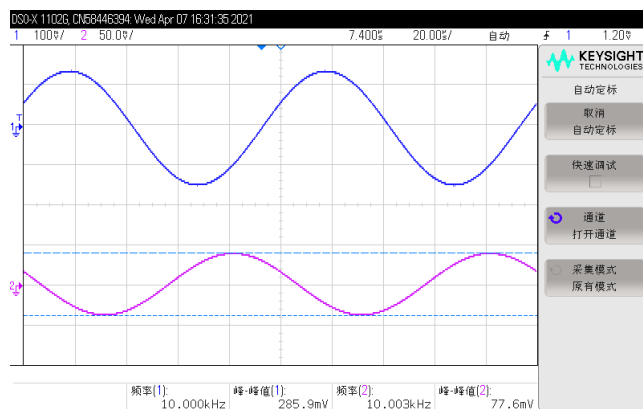


图 28: 高频抑制波形

将 RP2 调至最大端，测量输入与输出电压波形：

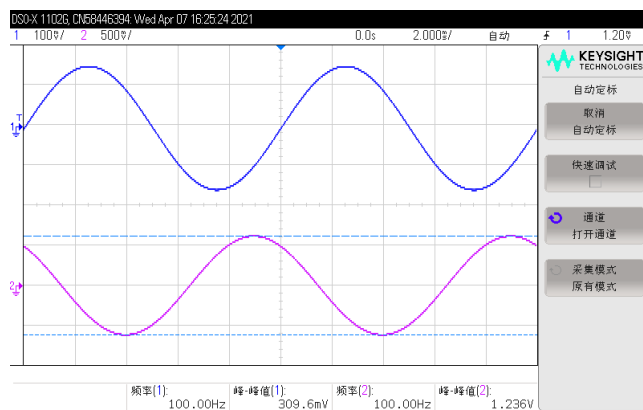


图 29: 高频增益波形

读取各个频段的输入与输出的数据：

中频特性	V_i / mV	309.6
	V_o / mV	318.6
	A_v	1.029
低频特性	V_{OA} / mV	83.2
	V_{OB} / V	1.235
	A_{VA}	0.269
	A_{VB}	3.99
	$20lg \frac{A_{VA}}{A_v} / \text{dB}$	-11.65
	$20lg \frac{A_{VB}}{A_v} / \text{dB}$	11.77
高频特性	V_{OC} / mV	77.6
	V_{OD} / V	1.096
	A_{VC}	0.251
	A_{VD}	3.54
	$20lg \frac{A_{VC}}{A_v} / \text{dB}$	-12.25
	$20lg \frac{A_{VD}}{A_v} / \text{dB}$	10.73

表 7: 音调控制级实验数据

3. 功率放大电路

(1) 仿真分析

按照下图所示连接电路：

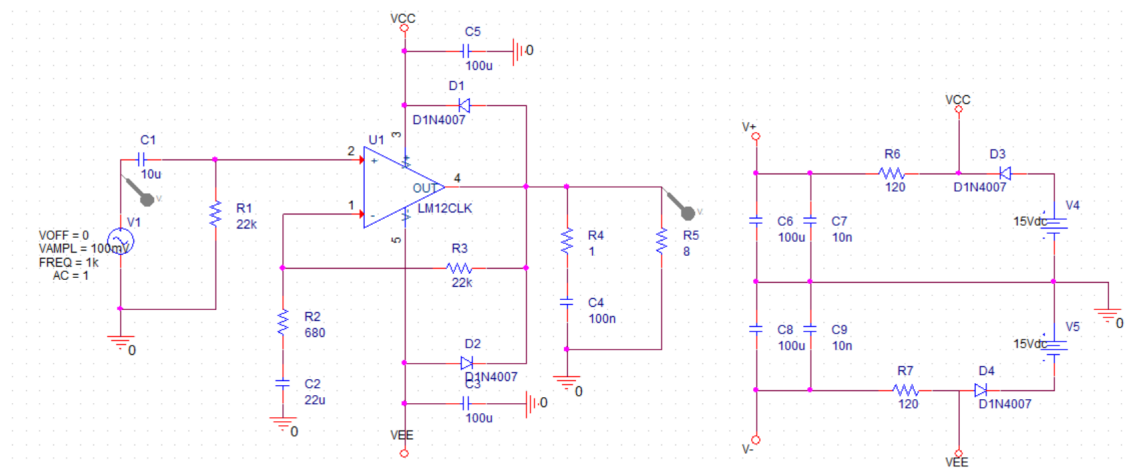


图 30: 功率放大级仿真电路图

- 静态工作点

测得静态工作点如下图所示：

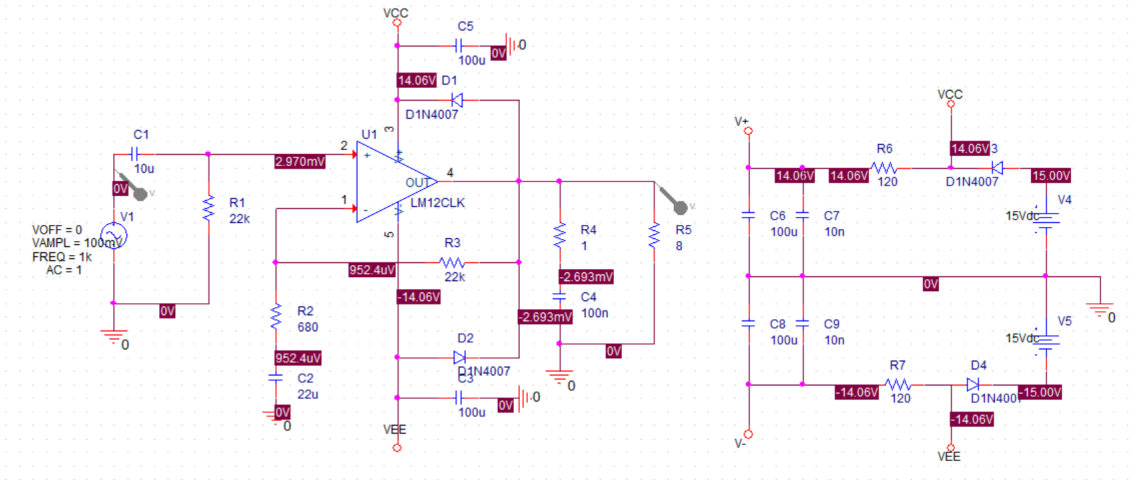


图 31: 功率放大级静态工作点

读取芯片正向输入端，反向输入端，输出端数据，如下表所示：

工作点	电压/mV
输出端	-2.693
同向输入端	2.970
反向输入端	0.952

表 8: 功率放大电路静态工作点

- 电压增益
- 输入 1kHz 正弦波，用示波器监视输入与输出波形，测量得到波形如下图所示：

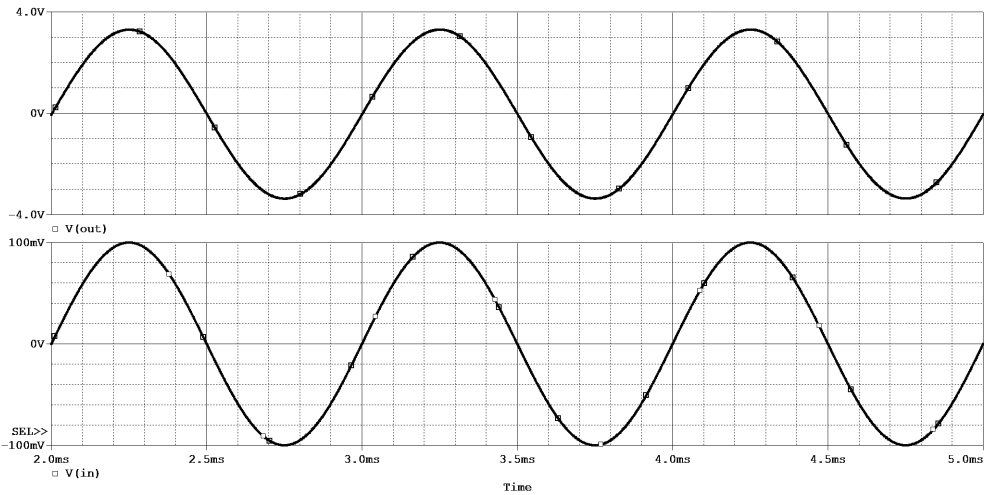


图 32: 功率放大级电压增益

读取得到实验数据如下图所示：

输入峰峰值/mV	200.000
输出峰峰值/V	6.667
放大倍数	33.34

表 9: 功率放大级电压增益

计算理论放大倍数为 $A = 1 + \frac{R_{10}}{R_9}$ ，可以认为仿真结果正确。

对功放级进行 AC 扫描分析，幅频曲线如下图所示：

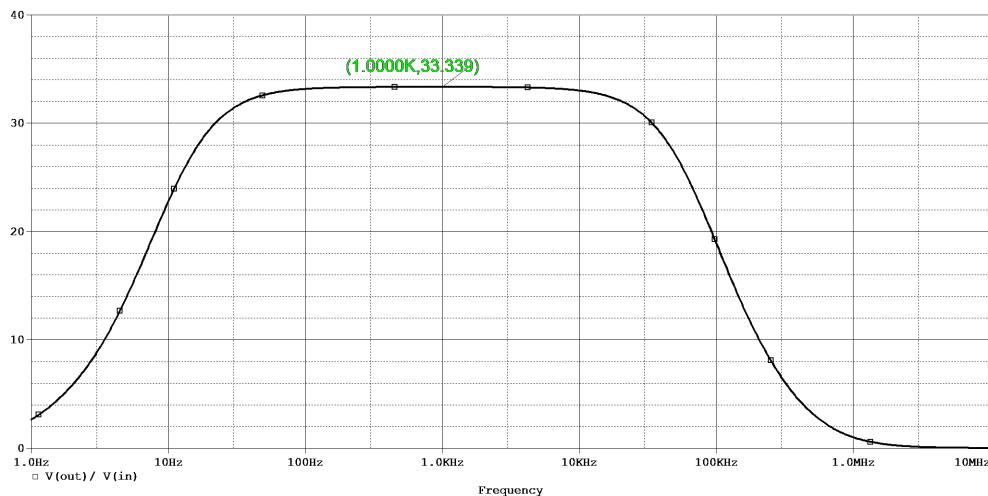


图 33: 功率放大级电压增益

- 最大不失真输出和最大功率 (带载 8Ω)

调节输入幅度，测出带 8Ω 负载最大不失真输出及放大倍数，当输入峰峰值为 $1.3V$ 时，临近失真，此时波形为：

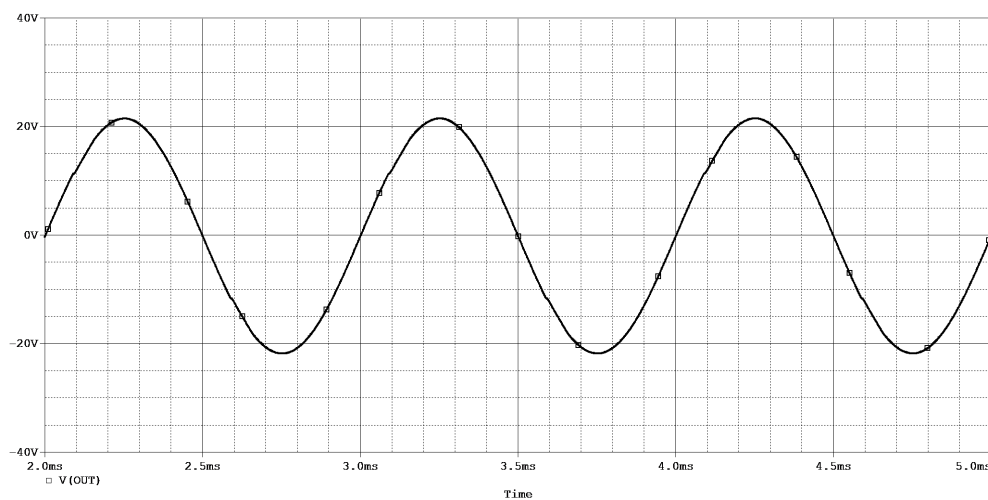


图 34: 功率放大级最大不失真输出

测量功率时，由于仿真软件或许存在着一定问题，不能正确仿真 (具体内容详见讨论与心

得)

测量得到实验数据如下表所示：

最大不失真输出/V	43.293
输入灵敏度/V	1.3
最大功率/w	29.28

表 10: 功率放大级最大不失真输出

(2) 实验部分

按照实验原理图连接电路图

• 静态工作点

使用万用表测量芯片各管脚的电压，测得数据如下表所示：

端口	1	2	3	4	5
电压/V	0	0	-14.34	0	14.33

表 11: 功率放大级静态工作点

• 电压增益

输入 1kHz 正弦波，用示波器监视输入与输出波形，读取得到实验数据如下图所示：

输入峰峰值/mV	0.315
输出峰峰值/V	10.3
放大倍数	32.6984

表 12: 功率放大级电压增益

计算理论放大倍数为 $A = 1 + \frac{R_{10}}{R_9}$ ，可以认为实验结果正确。

• 最大不失真输出和最大功率 (带载 8Ω)

调节输入幅度，测出带 8 欧负载最大不失真输出及放大倍数，当输入峰峰值为 109mV 时，临近失真

测量得到实验数据如下表所示：

最大不失真输出/V	22.2
输入灵敏度/V	0.109
最大功率/w	7.7
电源电流/A	0.489
电源功率/W	14.662
η	52.51%

表 13: 功率放大级最大不失真输出

4. 整机电路

(1) 仿真分析

按照下图连接仿真电路图：

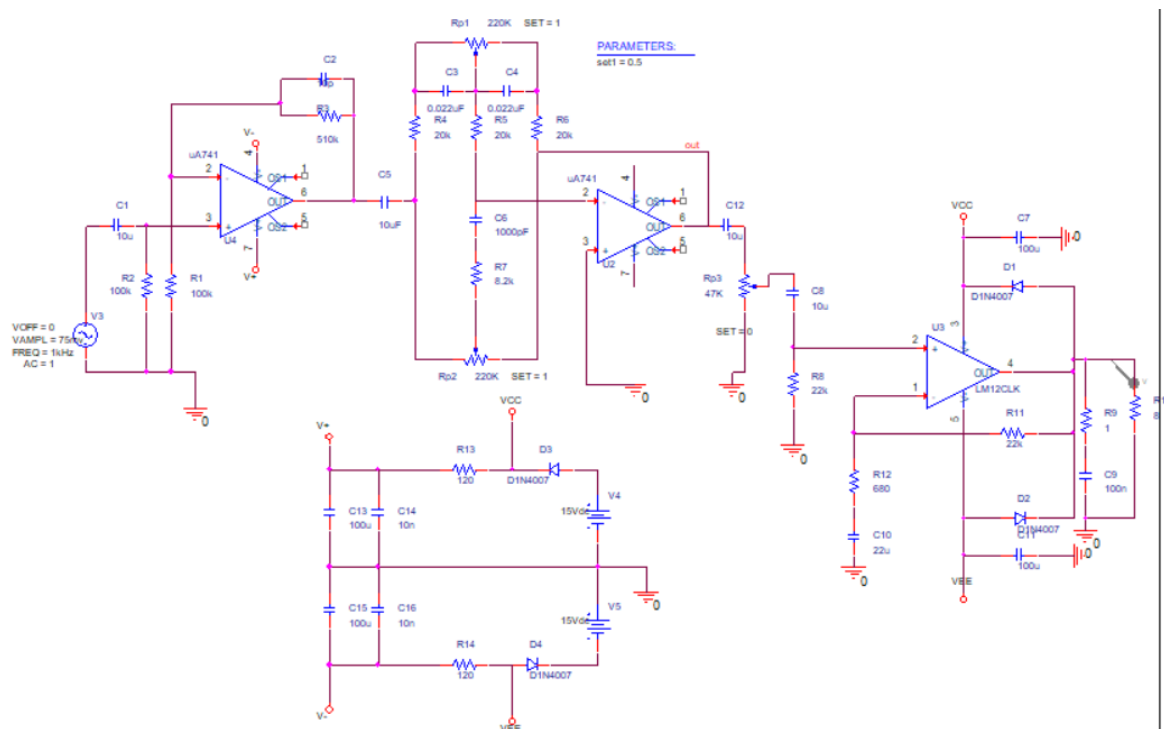


图 35: 整机仿真电路图

测量得到静态工作点，如下图所示：

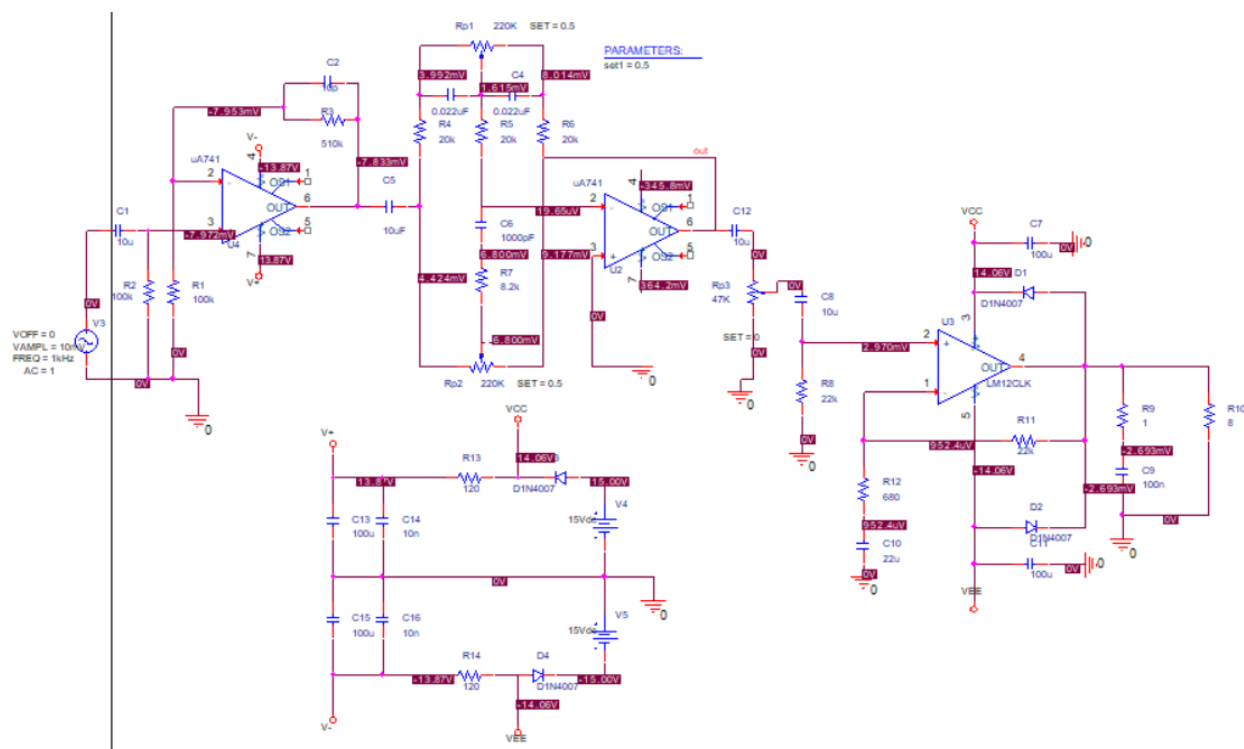


图 36: 整机电路静态工作点

- 测试前置级、音调控制级、功率放大级的电压增益和整机增益。

将音量电位器 RP3 置于最大位置，并将音调控制电位器置于中心位置，并保证扩音机的输出在额定功率输出以内，且保证输出波形不产生失真。

输入信号频率为 1KHz，峰峰值为 50mV 的正弦波，分别测量各级电路的输入与输出；测得前置级输入与输出波形如下图所示：

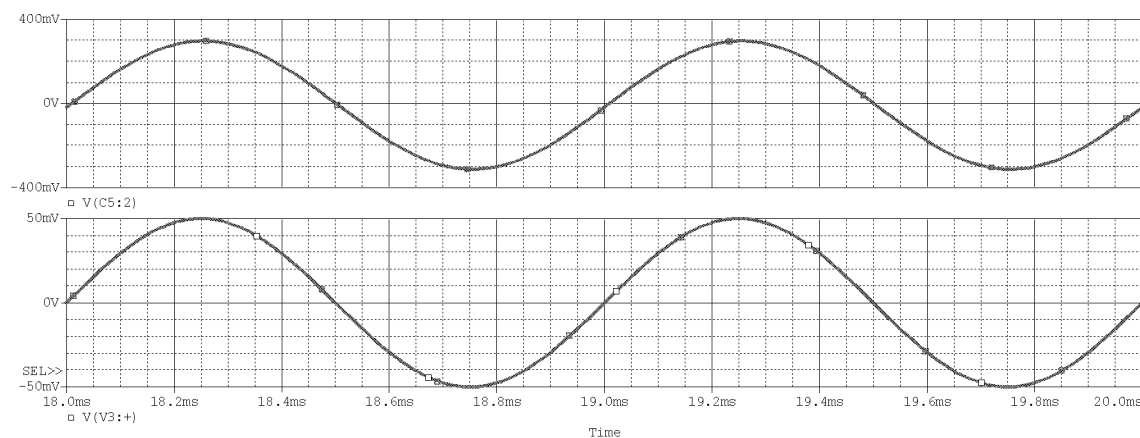


图 37: 前置级输入与输出波形

测得音调控制级输入与输出波形如下图所示：

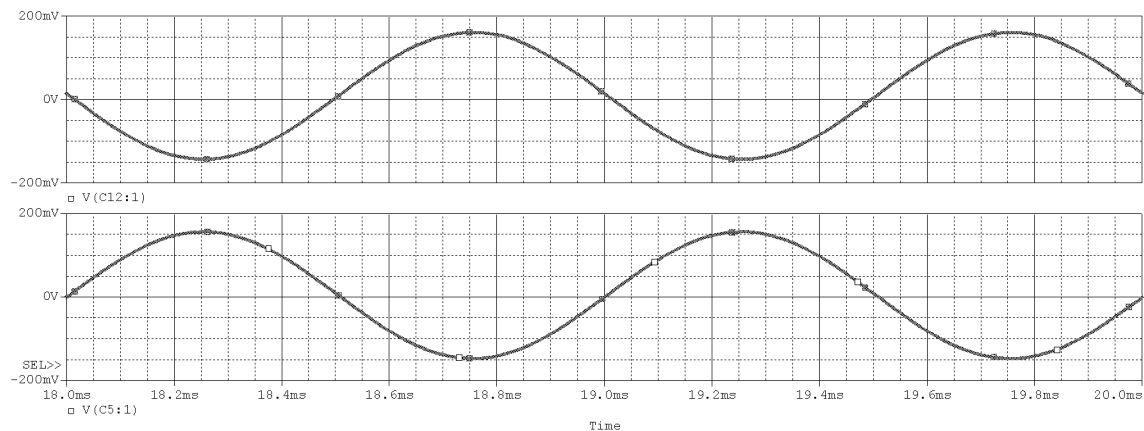


图 38: 音调控制级输入与输出波形

测得功率放大级输入与输出波形如下图所示：

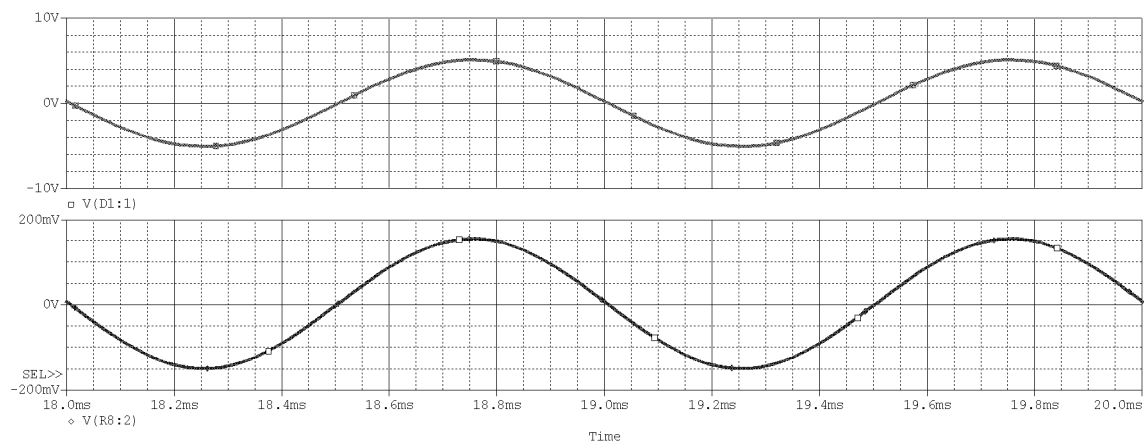


图 39: 功率放大级输入与输出波形

测得整机电路输入与输出波形如下图所示：

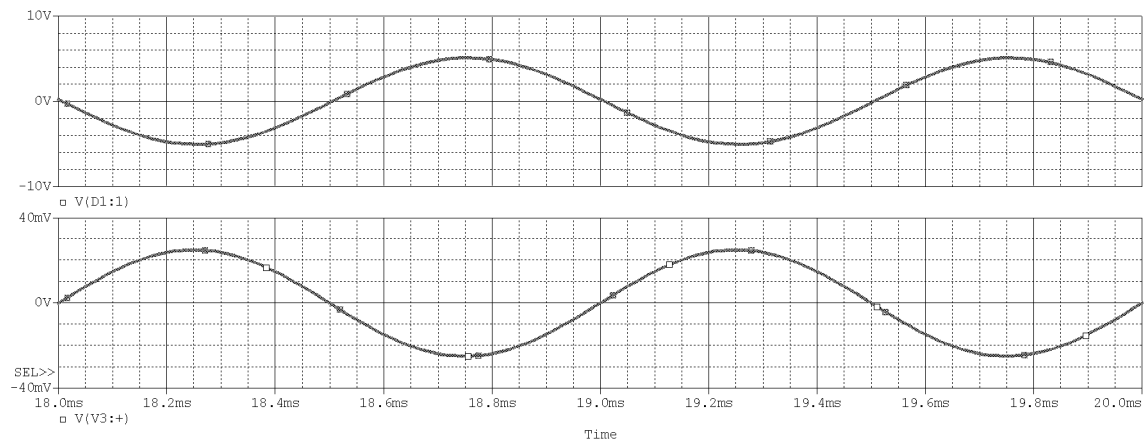


图 40: 整机电路输入与输出波形

测得各级输入与输出电压峰峰值及放大倍数如下表所示：

电路	输入	输出	放大倍数
前置级	50mV	304.361mV	6.08722
音调控制级	304.281mV	304.274mV	0.999977
功率放大级	0.3039V	10.135V	33.34979
整机电路	0.05V	10.135V	202.7

表 14: 整机电路实验数据

- 测量最大不失真输出电压 V_{omax} ，输入灵敏度 V_{imax} ，最大输出功率 P_o 。
调节输入信号的峰峰值，观察输出波形是否产生失真，观察到当输入电压峰峰值为 160mV 时，输出波形即将失真，其波形如下图所示：

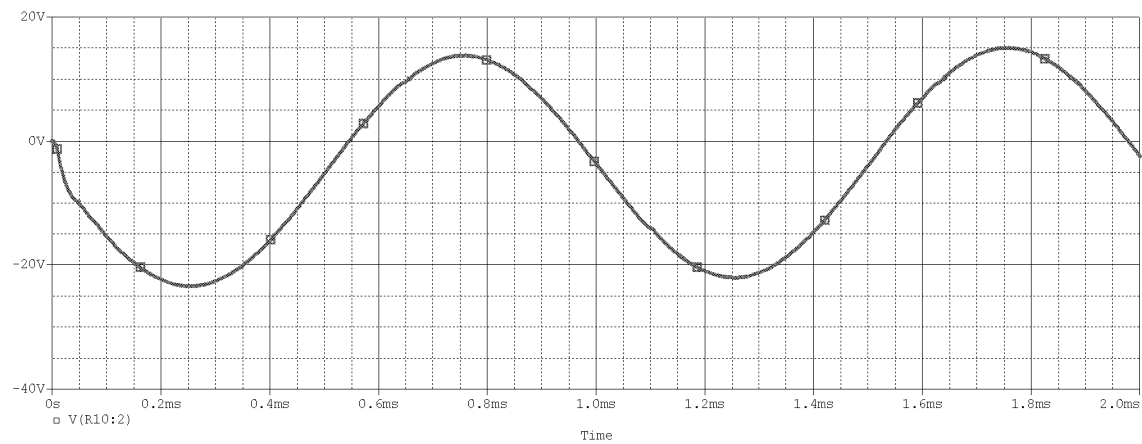


图 41: 整机电路最大不失真电压

测得此时数据如下图所示：

最大不失真输出电压 V_{omax} /V	35.336
输入灵敏度/mV	160
最大功率/W	19.50989

表 15: 整机电路实验数据

- 测量噪声电压 V_N
除去输入信号并将扩音机电路输入端对地断路，测量此时的输出电压的有效值以及其波形，测量得到波形如下图所示：

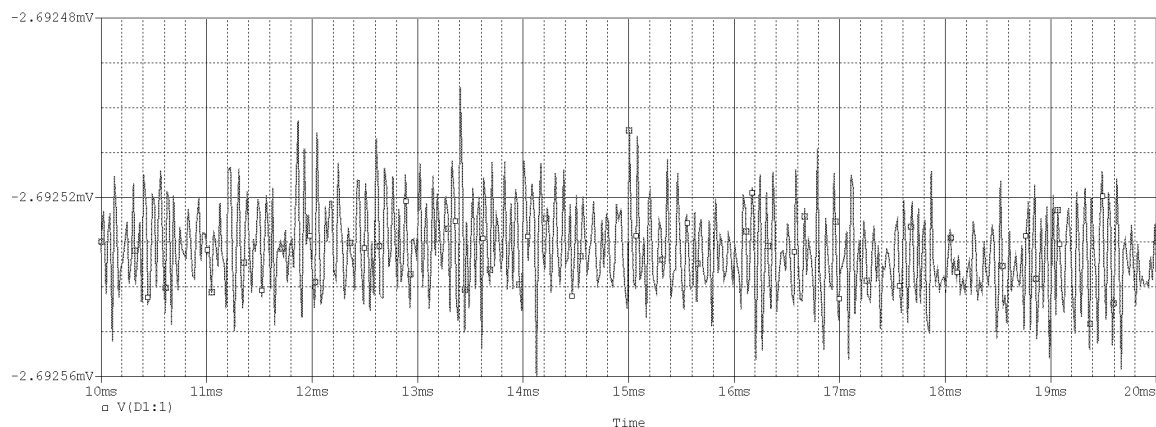


图 42: 整机电路噪声电压

测得噪声电压大小为: $V_N = -2.962mV$

- 测量整机电路的频率响应:

将 RP1 与 RP2 两个滑动变阻器旋头置于中间，测得输入与输出的幅频特性曲线如下图所示:

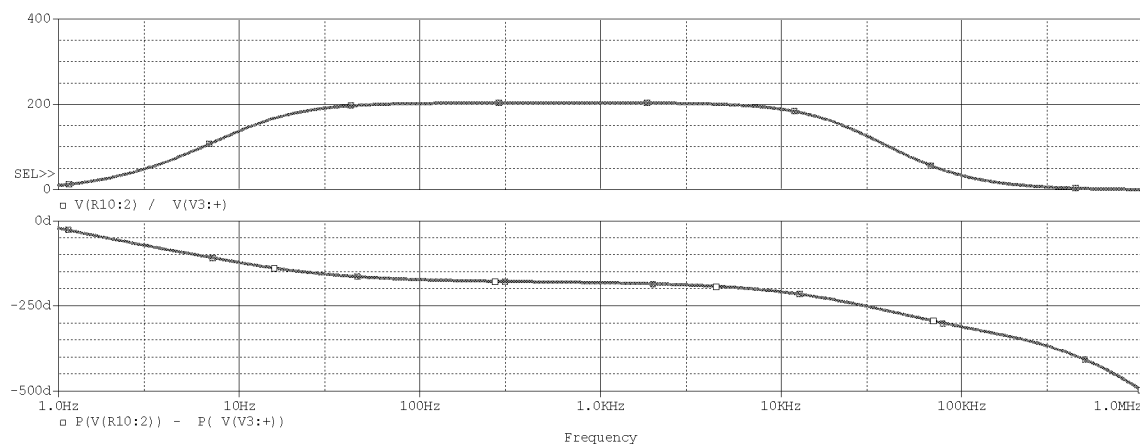


图 43: SET = 0.5 幅频曲线

根据最大电压的 0.707 倍读出其上限频率 f_H 与下限频率 f_L ，具体数据见下表。

下限频率/Hz	12.267
上限频率/Hz	21.432K

表 16: 上限频率与下限频率

将 RP1 与 RP2 旋头旋转至最小处，测量得到幅频特性曲线如下图所示:

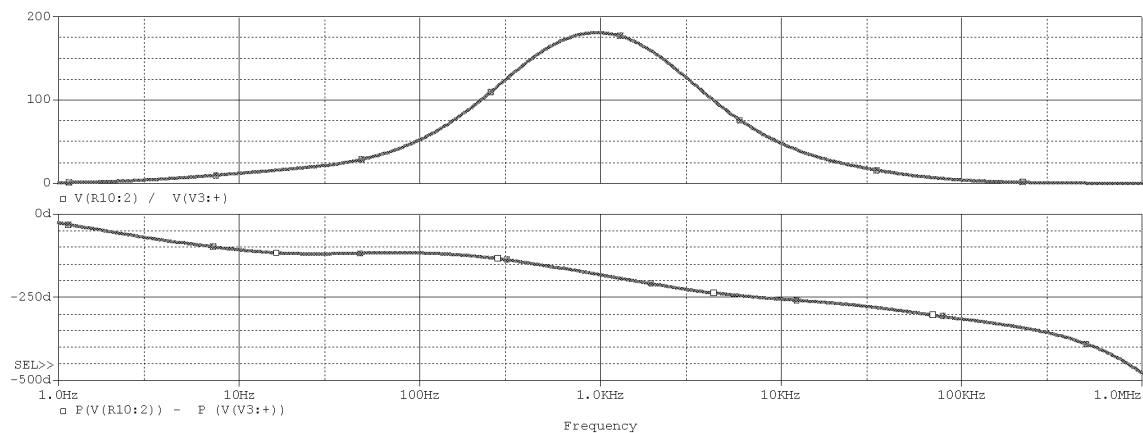


图 44: SET = 0 幅频曲线

将 RP1 与 RP2 旋头旋转至最大处，测量得到幅频特性曲线如下图所示：

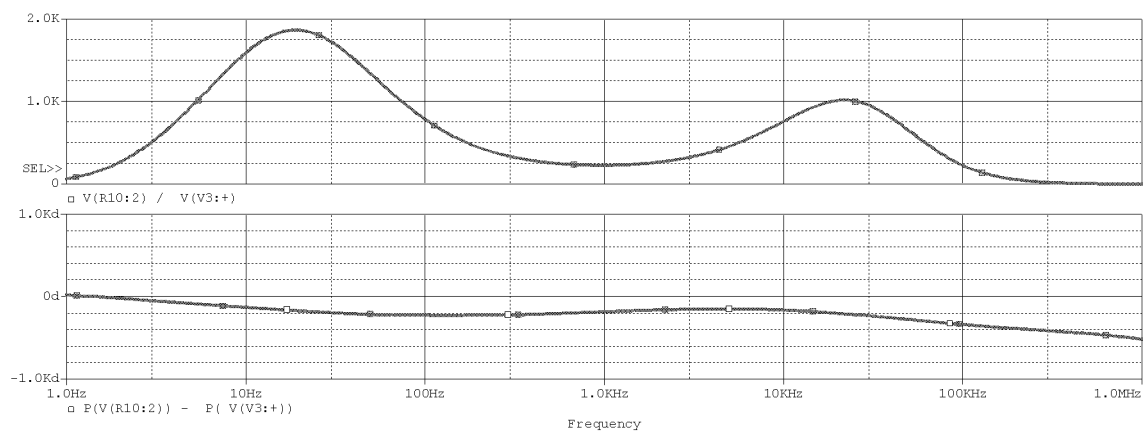


图 45: SET = 1 幅频曲线

- 整机高低音控制特性

将 RP1 与 RP2 电位器旋转至中间位置，减小输入信号幅度，保持 V_i 不变，测出 V_0 ，计算中频的 A_v

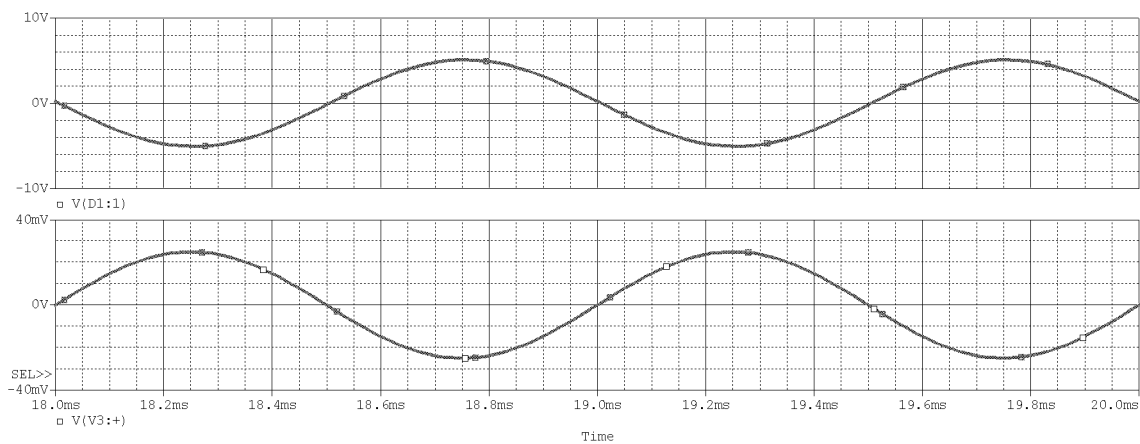


图 46: 输入与输出波形

读出输入信号幅度与输出信号幅度，进而计算得相关数据：

输入电压/V	0.05
输出电压/V	10.135
放大倍数	202.7

表 17: 输入与输出电压

- $f = 100\text{Hz}$ 时的音调控制特性

使电位器分别位于 A, B 两个极端位置，依次测出 A_{vA}, A_{vB}

当电位器位于中间级时，测量波形如下图所示：

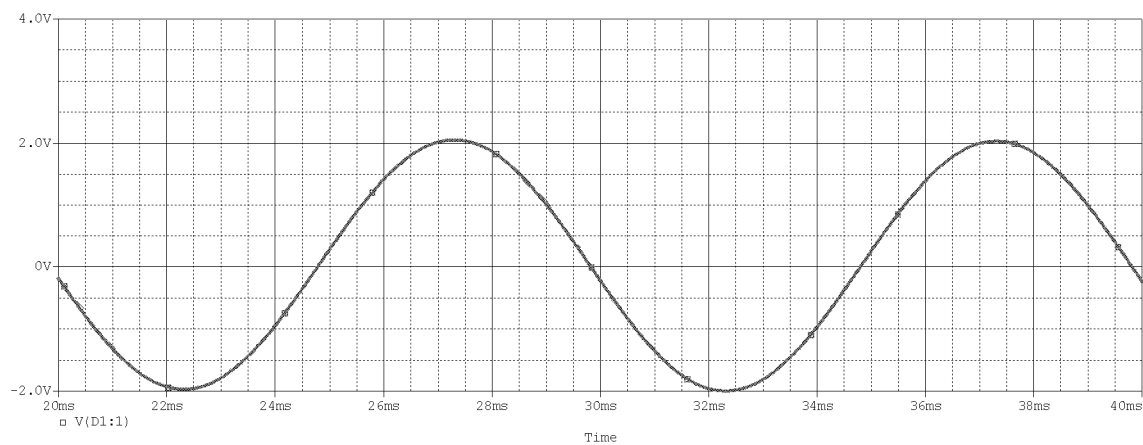


图 47: SET = 0.5

当电位器位于最大值时，测量波形如下图所示：

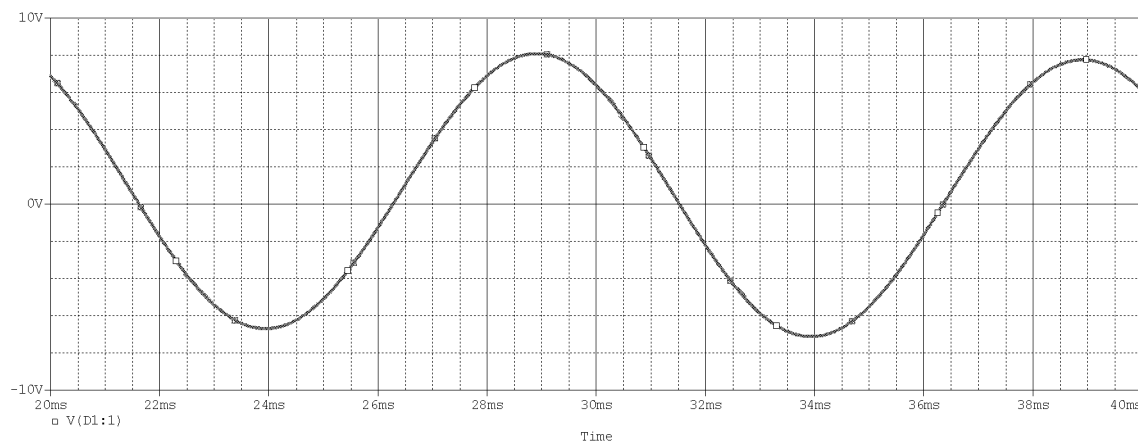


图 48: SET = 1

当电位器位于最小值时，测量波形如下图所示：

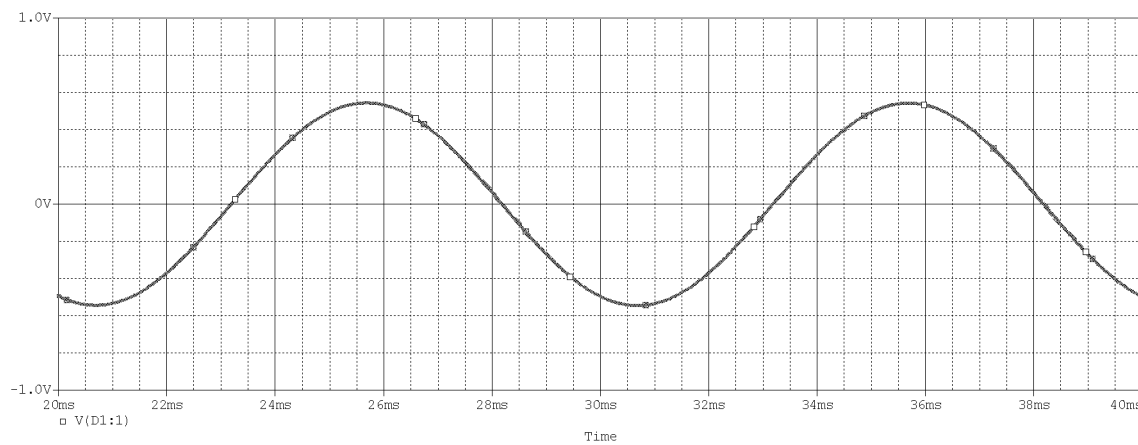


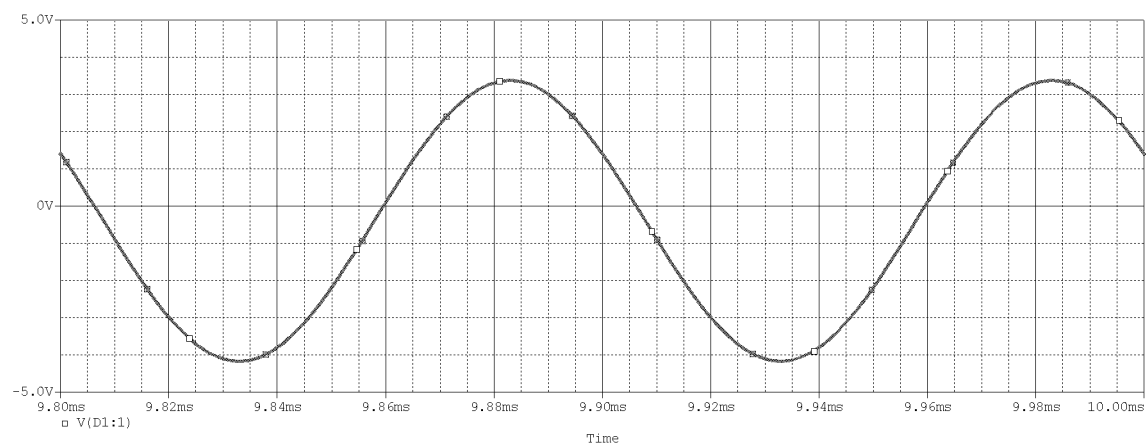
图 49: SET = 0

记录每张图片的峰峰值，并计算增益与衰减指数，具体数据见下表。

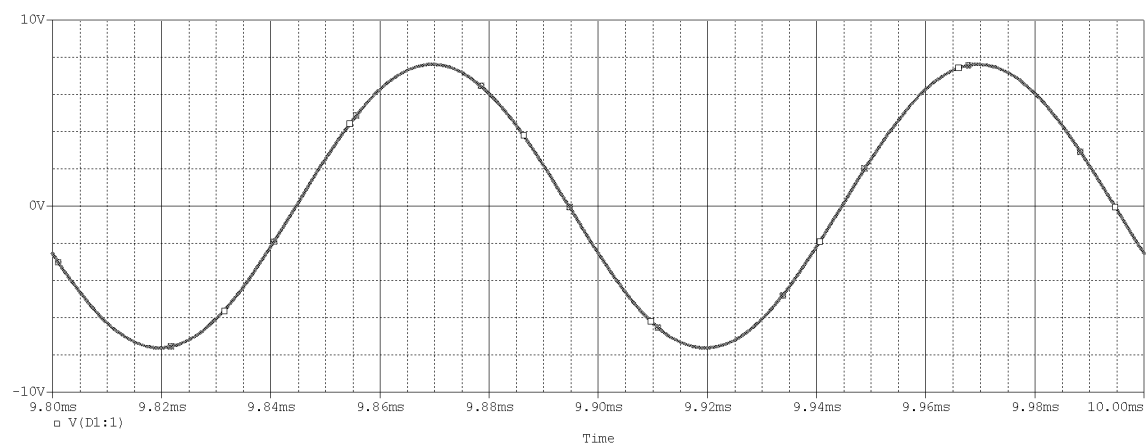
- $f = 10\text{KHz}$ 时的音调控制特性

使电位器分别位于 A, B 两个极端位置，依次测出 A_{vA}, A_{vB}

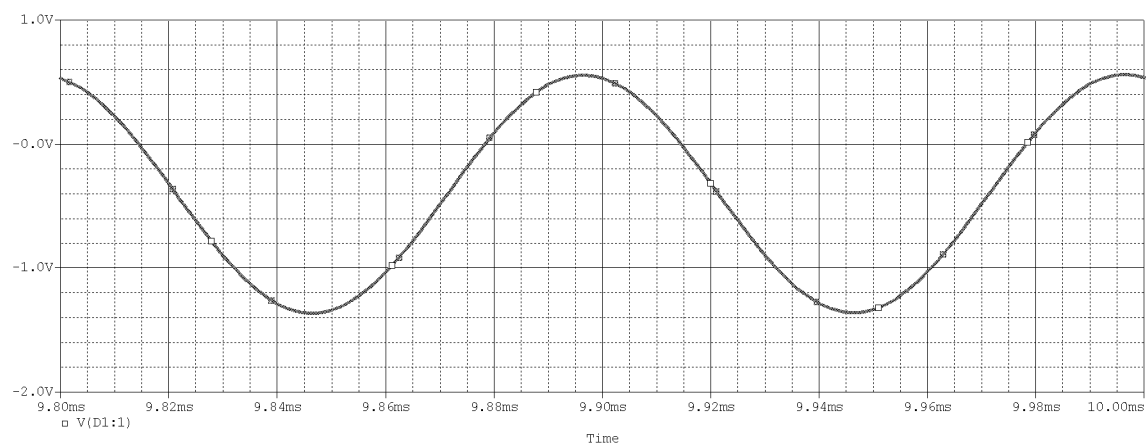
当电位器位于中间级时，测量波形如下图所示：

图 50: $SET = 0.5$

当电位器位于最大值时，测量波形如下图所示：

图 51: $SET = 1$

当电位器位于最小值时，测量波形如下图所示：

图 52: $SET = 0$

记录每张图片的峰峰值，并计算增益与衰减指数，具体数据见下表。

需要注意的是，在仿真的过程中，我们发现如果我们依旧选取 10mV 为输出，set = 0.5 以及 set = 0 仿真器会报错，而使用 20mV 时，set = 1 的图像已经失真，因此，我们只能做出取 20mV 的 set = 1 的图像测量峰峰值，再对数据除以 2 的无奈之举。

最后，计算相关数据，得到数据如下图所示：

输出频率 f	set = 0.5	set = 0	set = 1	增益/db	衰减/db
f = 100Hz	4.04	1.0892	15.208	11.51381	-11.3855
f = 10KHz	3.765	0.9558	15.239	12.14383	-11.908

表 18: 增益与衰减数据

(2) 实验部分

按照实验原理连接电路图

- 测试前置级、音调控制级、功率放大级的电压增益和整机增益。

将音量电位器 RP3 置于最大位置，并将音调控制电位器置于中心位置，并保证扩音机的输出在额定功率输出以内，且保证输出波形不产生失真。

输入信号频率为 1KHz，峰峰值为 50mV 的正弦波，分别测量各级电路的输入与输出；

测得前置级输入与输出波形如下图所示：

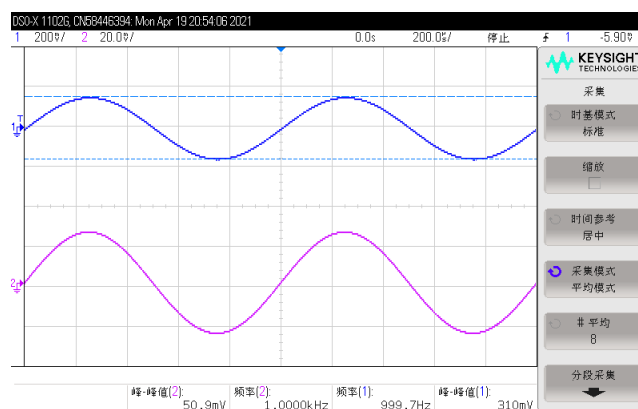


图 53: 前置级输入与输出波形

测得音调控制级输入与输出波形如下图所示：

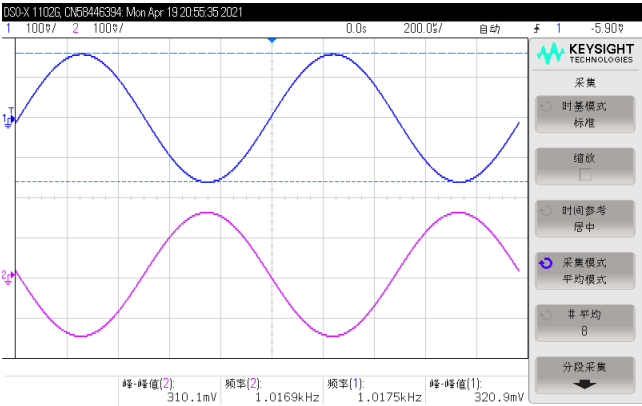


图 54: 音调控制级输入与输出波形

测得功率放大级输入与输出波形如下图所示：

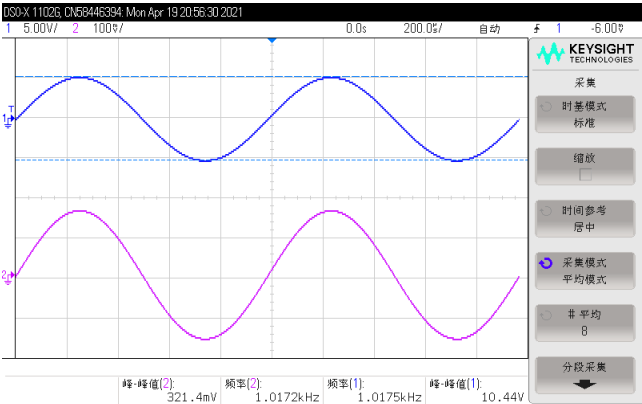


图 55: 功率放大级输入与输出波形

测得整机电路输入与输出波形如下图所示：

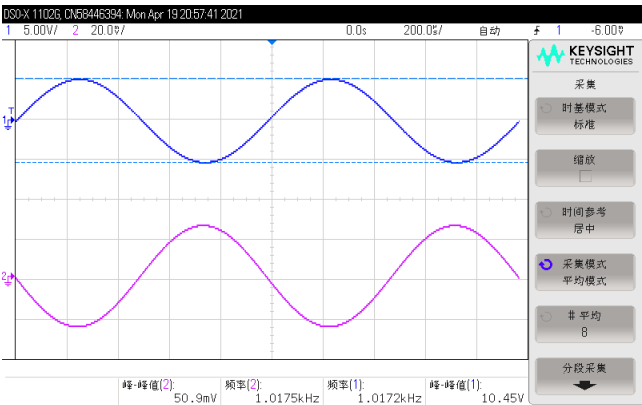


图 56: 整机电路输入与输出波形

测得各级输入与输出电压峰值及放大倍数如下表所示：

电路	输入	输出	放大倍数
前置级	50.9mV	310mV	6.090373
音调控制级	320.9mV	310.3mV	0.966968
功率放大级	0.3216V	10.44V	32.46269
整机电路	0.0509V	10.44V	205.1081

表 19: 整机电路实验数据

- 测量最大不失真输出电压 V_{omax} ，输入灵敏度 V_{imax} ，最大输出功率 P_o 。
调节输入信号的峰峰值，观察输出波形是否产生失真，观察到当输入电压峰峰值为 156mV 时，输出波形即将失真, 测得此时数据如下图所示：

最大不失真输出电压 V_{omax} /V	22.85
输入灵敏度/mV	156.5
最大功率/W	8.079

表 20: 整机电路实验数据

- 测量噪声电压 V_N
除去输入信号并将扩音机电路输入端对地断路，测量此时的输出电压的有效值以及其波形, 测得噪声电压大小为： $V_N = -50.6mV$
- 测量整机电路的频率响应：
将 RP1 与 RP2 两个滑动变阻器旋头置于中间，测得输入与输出的幅频特性曲线如下图所示：

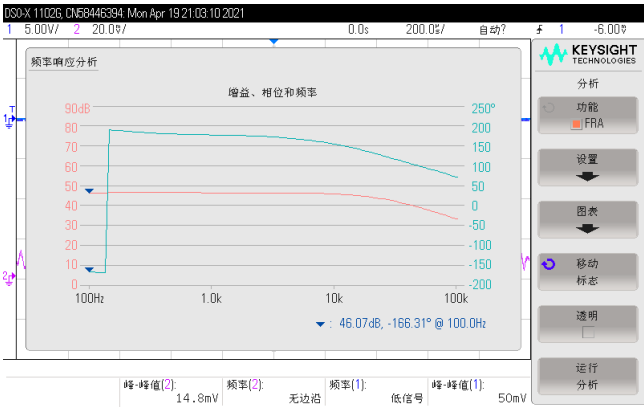


图 57: SET = 0.5 幅频曲线

根据最大电压的 0.707 倍读出其上限频率 f_H 与下限频率 f_L ，具体数据见下表。

下限频率/Hz	11.3
上限频率/Hz	26.1K

表 21: 上限频率与下限频率

将 RP1 与 RP2 旋头旋转至最小处，测量得到幅频特性曲线如下图所示：

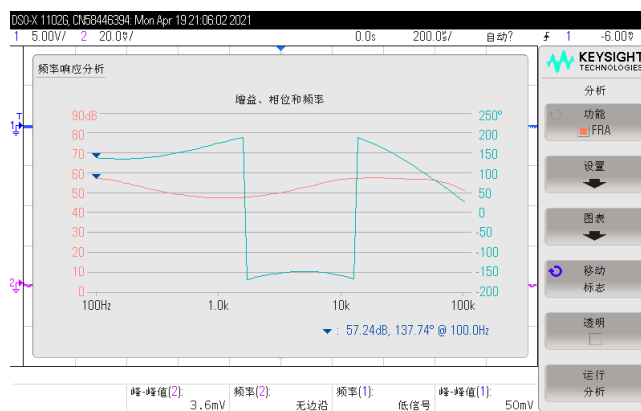


图 58: SET = 0 幅频曲线

将 RP1 与 RP2 旋头旋转至最大处，测量得到幅频特性曲线如下图所示：

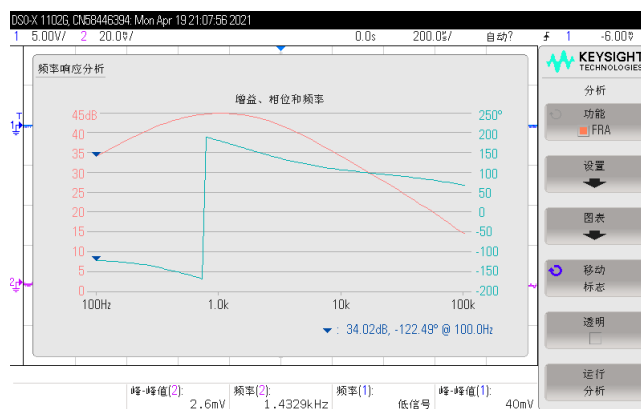


图 59: SET = 1 幅频曲线

- 整机高低音控制特性

将 RP1 与 RP2 电位器旋转至中间位置，减小输入信号幅度，保持 V_i 不变，测出 V_0 ，计算中频的 A_v ，读出输入信号幅度与输出信号幅度，进而计算得相关数据：

输入电压/V	0.0509
输出电压/V	10.44
放大倍数	205.108

表 22: 输入与输出电压

分别将信号发生器的输入频率调节至 100Hz 与 10KHz，调节电位器 RP1, RP2 至中间，分别测量此时的电压，再使电位器 RP1 与 RP2 旋至二个极端位置 A 和 B，依次测出输出电压，并由此计算出净提升量和净衰减量，用分贝表示，计算得到数据如下图所示：

输出频率 f	set = 0.5	set = 0	set = 1	增益/db	衰减/db
f = 100Hz	5.59	1.559	18.14	10.22451	-11.0913
f = 10KHz	5.49	1.489	15.75	9.154164	-11.3336

表 23: 增益与衰减数据

六、心得与体会

1. 对于仿真软件存在的问题的探讨

在我们使用 OrCAD 测试功率放大级发电效率时，曾经发现了仿真软件 OrCAD 几个与实际实验不同且明显不对的现象。本次所使用的电路图为：

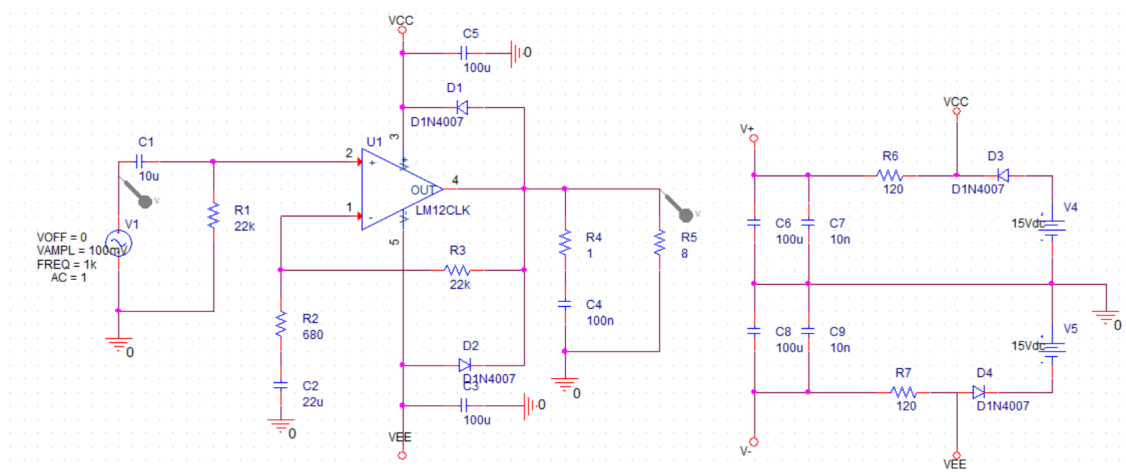


图 60: 功率放大级仿真电路图

将信号发生器的输出电压设置为 650mV 时，输出波形如下图所示：

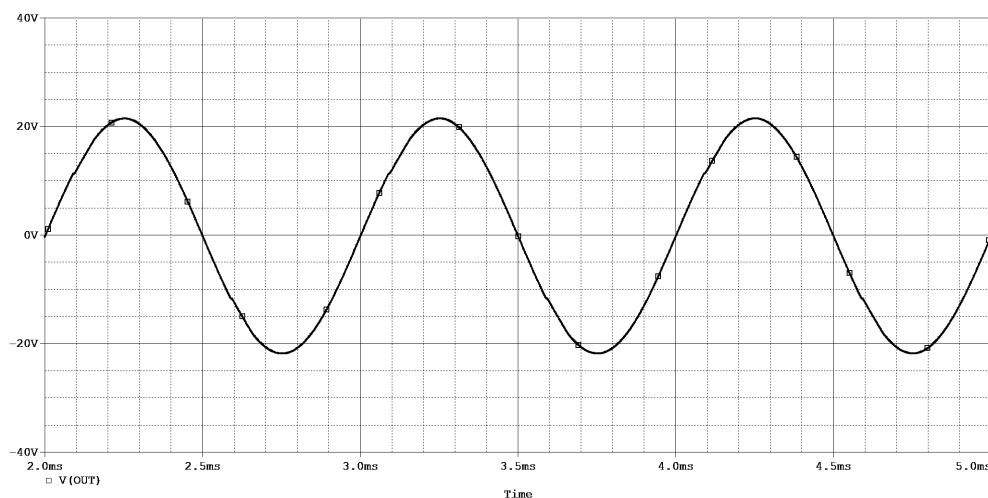


图 61: 功率放大级最大不失真输出

可以看出，信号并没有发生失真，而使用功率表进行测量时，却发现 8Ω 电阻的功率仅仅为 0.9nW 左右，与实际情况完全不符，之后测量了通过电阻的电流，发现并没有问题，推测是因为功率表仅仅计算了直流分量的功率。

为了测量输出功率，于是我测量了 15V 电源的输出波形，如下图所示：

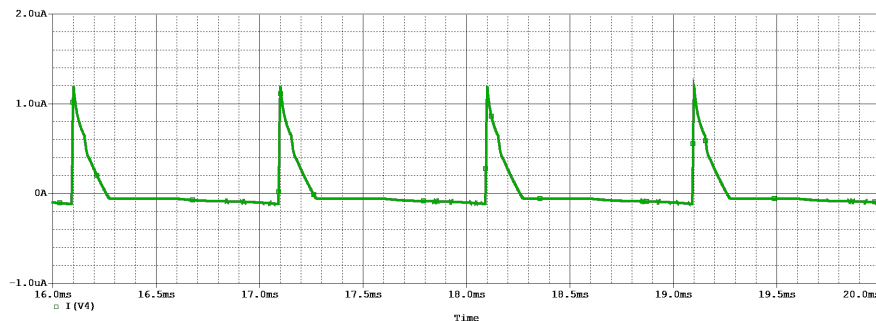


图 62: 直流电源输出电流

仅仅为微安级别的电流，显然不足以为运放和功率电阻提供所需要的功率，于是我又测量了各个地的电流，以及运放的电流，发现有些通过地的电流数值较大，最大时甚至由 10A 左右：

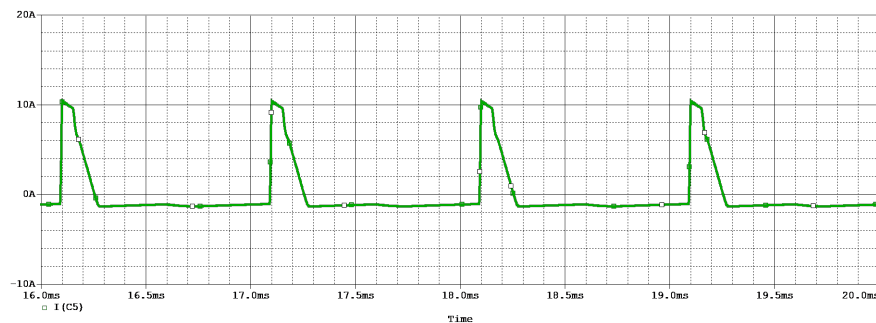


图 63: 直流电源输出电流

这显然是不正确的，而同时运放的输入电流与输出电流甚至并不相等：

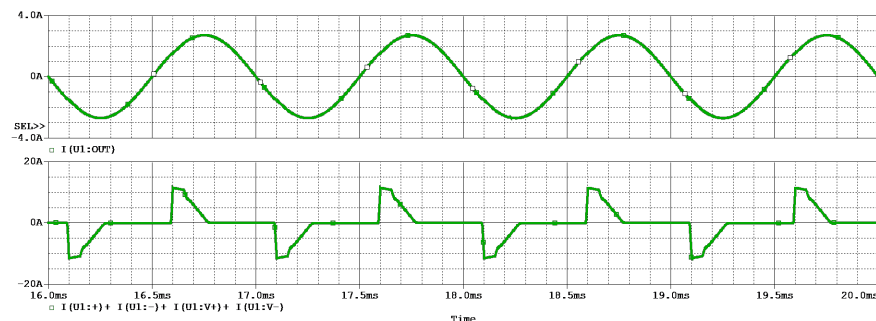


图 64: 运放输入与输出电流

推测可能是 OrCAD 中此运放的模型数据建立错误，当我们将信号发生器的输出电压调回至 10mV 时，我们发现 15V 电源的电流波形恢复正常：

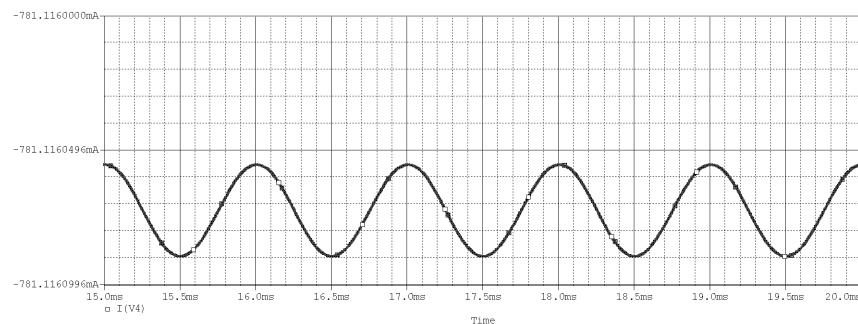


图 65: 直流电源输出电流

但此时的效率极低，甚至只有百分之零点几左右，而运放的输入与输出电流仍然不相等，因此推测是运放的模型建立不对，因此无法测量。

另外，在进行整机电路的测量过程中，我们发现若信号过大或过小，便会出现模型无法计算，程序报错的情况：

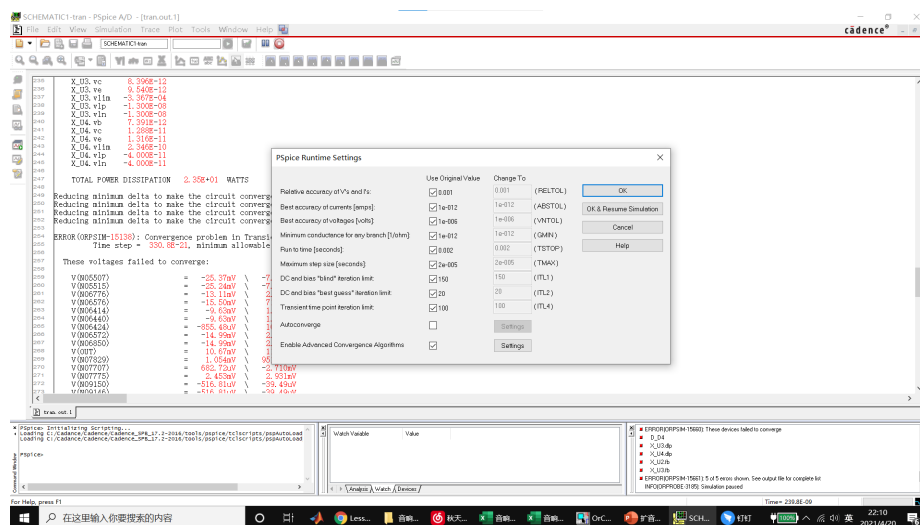


图 66: 无法计算，模型报错

推测可能是电路图中某一个元件存在问题，而出现特定数值时，便会因为此元件的问题无法计算，在我进行的仿真实验中，测量整机电路的高频特性响应的时候便出现了这种情况， $set = 0$ / $set = 0.5$ 时，由于我们输入大小设定为 10mV，输出可能过小导致模型出现了问题无法计算，而如果将输入大小调大， $set = 1$ 对应的输出电压便会因为失真的原因无法准确的得出结论，因此，在无奈之下，我们只能采取对于 $set = 1$ 设置输入信号峰峰值为 10mV，而对于 $set = 0.5$ 或 $set = 0$ ，设置输入信号峰峰值为 20mV，再直接将结果除以 2，作为 10mV 的输出大小进行计算

2. 对实验的感想以及建议

就我而言，这个实验还是较为有趣的，也较为使用的，一是教会了我们怎么使用电烙铁，怎么焊接电路板，二则是将我们理论上学习的知识带入到实际应用之中，可以让我们确实的看到我们学习电路的成果，同时也教会了我们如何实际分析一个电路的构成，可以说是较为实用的。

但是，我认为本次实验也存在着一定的问题，比如说：实验需要测量的数据过多，且实验任务比较重，既需要焊接电路板，也需要进行仿真测试，还需要实际连接电路以及写实验报告，每一个任务都是不小的负担，希望以后可以稍微调整一下任务量，并增加一些有趣的实验！

3. 实验感想

在本次实验中，我们进行了扩音器电路的设计与调试这一实验，不同于其他较为偏重理论方向的时候，本次的实验更加偏向于应用，让我了解到了多级电路的调试方法以及扩音器电路的构成，总体而言，这次实验教会了我很多实用的知识，收获颇多。