

浙江大学实验报告

专业： 电子信息工程

姓名： _____

学号： _____

课程名称： 电路与电子技术实验 II

指导老师： 张伟

地点： 紫金港东三 406

实验名称： 扩音机电路的设计制作与测试

同组学生： _____

日期： 2024 年 7 月 2 日

Lab7 扩音机电路的设计制作与测试

2024 年 7 月 2 日

1 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. 学习复杂电子电路的分模块调试方法；
5. 学习扩音机电路的特性参数的测试方法

2 实验器材

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。

3 实验准备

1. 设计扩音机电路的前置，音调和功率放大级电路；
2. 仿真分析扩音机电路的各级与整机指标；
3. 按模块划分完成相关电路的焊接；

4. 估算前置级 (A1) 的电压增益、音调控制级 (A2) 的电压增益、音调控制范围；功率放大级 (A3) 的电压增益；
5. 了解扩音机电路的各项指标，拟订各项指标的测试方法。

4 实验原理及实验内容

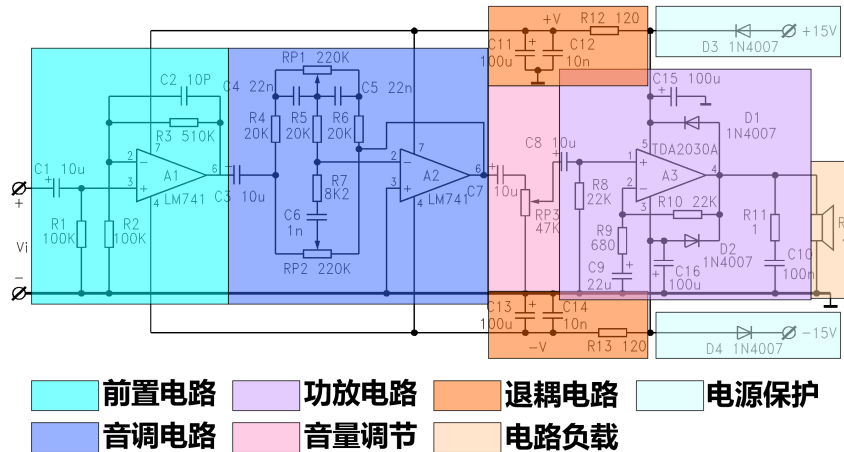


图 1: 扩音机电路原理图

4.1 前置电路

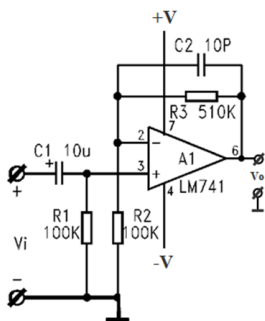


图 2: 前置电路原理图

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。

理想闭环电压放大倍数为： $\dot{A}_v = 1 + \frac{R_3}{R_2}$

输入电阻 $R_{if} = R_1$ ；输出电阻 $R_{of} = 0$ ； C_2 用于消自激振荡。

实验内容

- 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。

4.2 音调控制电路

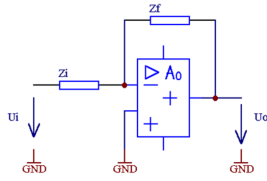


图 3: 音调控制电路原理图

它的基本原理是通过改变各个电阻的值，改变 RC 滤波器的幅频特性曲线，从而改变音频信号的频率特性。

音调控制电路是电压并联型负反馈电路，图中 Z_f 代表反馈回路总阻抗； Z_i 代表输入回路的总阻抗。电路的电压增益：

$$\dot{A}_{uf} = \frac{U_o}{U_i} = -\frac{Z_f}{Z_i}$$

只要合适选择并调节输入回路和反馈回路的阻容网络，就能使放大器的闭环增益随信号频率改变，从而达到音调控制的目的。组成 Z_i 和 Z_p 的 RC 网络通常有下所示四种形式。

(a) 低音提升

低音提升电路仅仅在反馈电路中串联电容

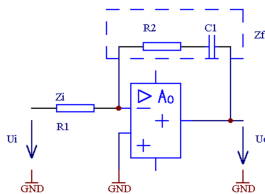


图 4: 低音提升电路原理图

若 C_1 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， $|\dot{A}_{uf}|$ 所以提高，从而得到低音提升。

(b) 高音提升

高音提升电路则将电容并联在输入回路

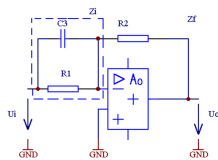


图 5: 高音提升电路原理图

若 C_3 取值较小，只有在高频区起作用，则当信号在高频区且随频率升高 Z_i 减小，所以 $|\dot{A}_{uf}|$ 提高，从而可得到高音提升。

(c) 低音衰减，(d) 高音提升

同理可知（下图为原理电路）

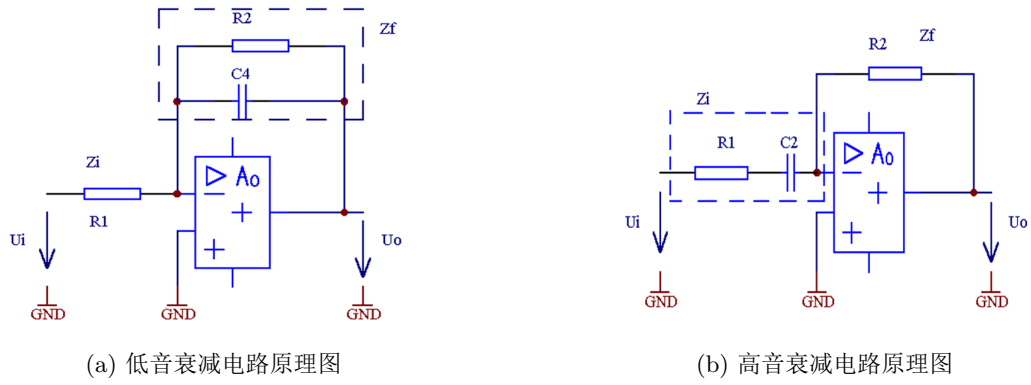


图 6: 低音衰减和高音衰减电路原理图

实验中使用的电路如下，具体分析该电路：

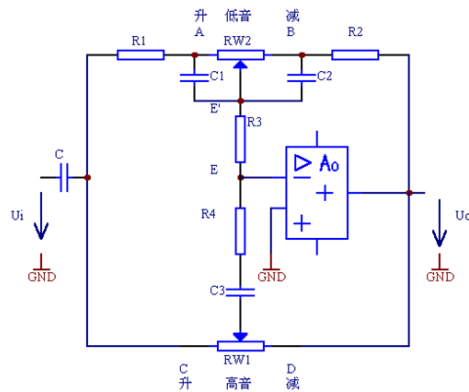


图 7: 低音衰减和高音衰减电路原理图

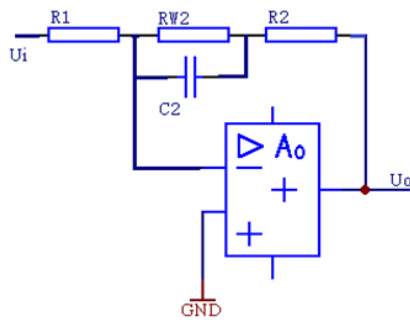


图 8: 信号在低频区的等效工作电路

(a) 信号在低频区 等效电路如上图，低音最大提升量（当输入频率为 0 时），且当 $R_1 = R_2 = R_3 = 20k$, $RW_1 = RW_2 = 220k$, $C_1 = C_2 = 0.022\mu F$ ，可得

$$\dot{A}_{uA} = \frac{R_2 + RW_2}{R_1} \approx 8.5 \quad (\text{约}18.6\text{dB})$$

$$f_{pL} = 48\text{Hz}$$

$$f_{sL} = 410\text{Hz}$$

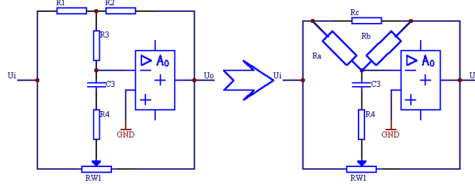


图 9: 信号在高频区的等效工作电路

(b) 信号在高频区 在高频区，因为 C_1 和 C_2 较大，对高频可视为短路，而 C_3 较小，故 C_3 、 R_4 支路已起作用，其等效电路可画成如上图所示形式。

该电路对高频的最大提升量：

$$\dot{A}_{UC} = \frac{R_b}{R_a // R_4} = \frac{R_4 + 3R}{R_4} \approx 8.3\text{dB}$$

$$f_{Hs} = 2.3\text{KHz}$$

$$f_{Hp} = 19\text{KHz}$$

高低音提升和衰减曲线画在一起，可得到如下图所示幅频特性曲线。

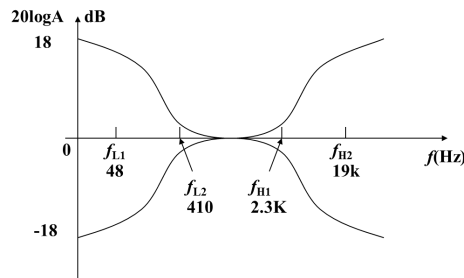


图 10: 信号在高频区的等效工作电路

实验内容

1. 测量音调控制电路的静态工作点；
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 $20\lg \frac{\dot{V}_{O1}}{\dot{V}_O}$ 。

- 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 RP2 调节至最左, 用示波器测量输入与输出电压
 - 音调 RP2 至调节最右, 用示波器测量输入与输出电压

4.3 功率放大电路

对于功率放大器, 除了要求输出功率满足指标外, 还要求效率高, 非线性失真小、输入与音调控制放大器与输出与音箱负载匹配等, 否则将会影响放音效果。

通用的集成功率放大器有 **OTL** 和 **OCL** 两种电路结构形式。为提高效率, 一般工作于接近乙类。由于 OTL 电路可用单电源供电, 缺点是输出要通过大电容与负载耦合, 因此低频响应较差; OCL 功放的优点是输出与负载可直接耦合, 频响特性较好, 但需要用双电源供电。本次实验采用 **TDA2030A** 集成功放连成 **OCL** 电路输出形式。

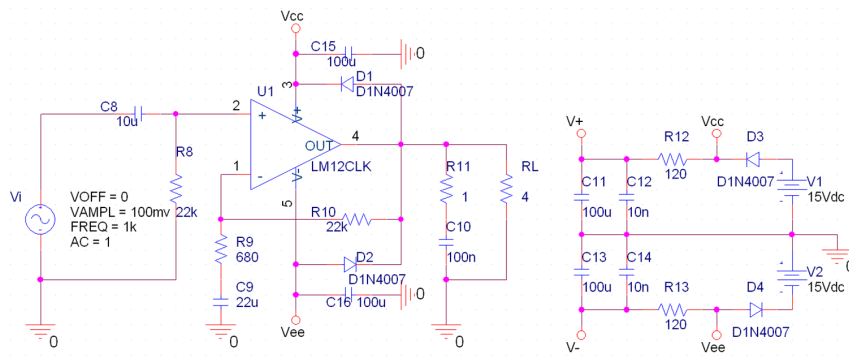


图 11: 功率放大电路原理图

理论上的放大倍数为:

$$\dot{A}_{uA} = 1 + \frac{R_{10}}{R_9} = 32.35$$

实验内容

1. 测量功放电路的静态工作点;
2. 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。
3. 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 (负载为 8 欧姆), 计算最大输出功率和此时的效率。

4.4 整机电路

实验内容

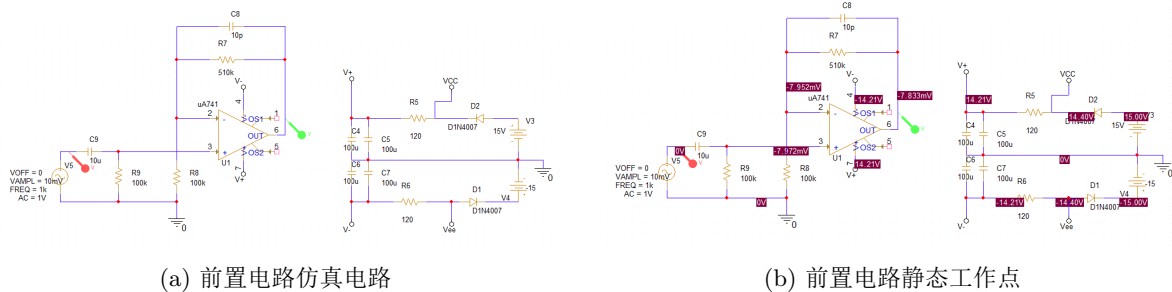
1. 测试前置级、音调控制级、功率放大级的电压增益和整机增益；
2. 测量各项指标。
 - 最大不失真输出电压 V_{omax} (或 V_{opp})
 - 输入灵敏度 V_{imax}
 - 最大输出功率 P_o
3. 测量功放级最大不失真输出和最大功率 (带载)
 - 调节输入幅度, 测出带 8 欧负载最大不失真输出及放大倍数
 - 测量并计算输出功率 (负载为 8 欧姆), 计算最大输出功率和此时的效率。

5 实验过程

5.1 前置电路

5.1.1 静态工作点测量

仿真电路 搭建仿真电路如下图, 并使用 OrCAD PSpice 仿真软件进行仿真。



(a) 前置电路仿真电路

(b) 前置电路静态工作点

实验电路 使用万用表测量各个静态工作点, 仿照仿真电路的搭法。

实验结果 记录实验数据如下表所示:

表 1: 静态工作点结果记录

	Pin 7 (V+)	Pin 4 (V-)	Pin 2 (-)	Pin 3 (+)	Pin 6 (out)
仿真电路	14.21V	-14.21V	-7.952mV	-7.972mV	-7.833mV
实际电路	14.27V	-14.29V	-4.3mV	-5.1mV	7.7mV

- 理论上输出电压为 0, 但此时有一些电压偏置, 导致输出有一定的电压偏置, 在 7mV 左右。
- V_+, V_- 电压为 15V 减去二极管的压降 (电阻压降可以忽略), 大致在 14.3V 左右。

5.1.2 前置电路输入输出波形

仿真电路 输入 1kHz 在 V_p 为 10mV 的电压，使用 Time Domain 方式观察仿真结果，如下图??所示；

实验电路 搭建实际电路，信号源输入 1kHz 正弦波，使用示波器观察输入与输出波形，测量输入与输出电压，计算其放大倍数。

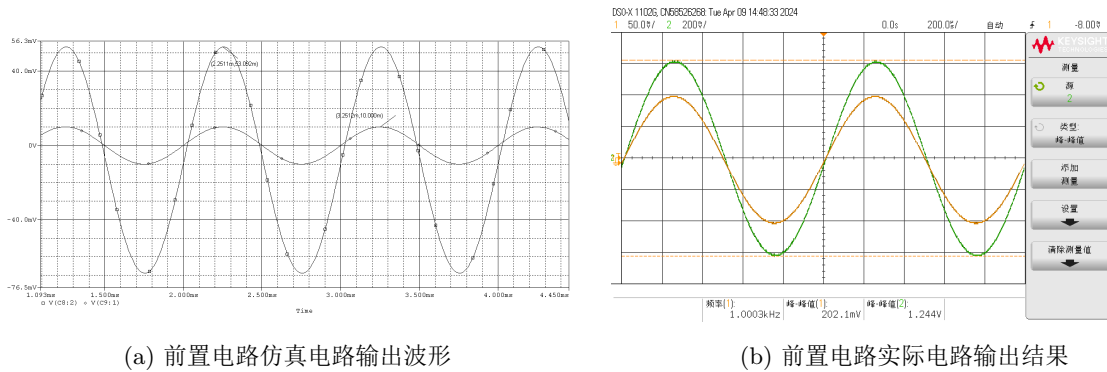


图 13: 输入输出波形

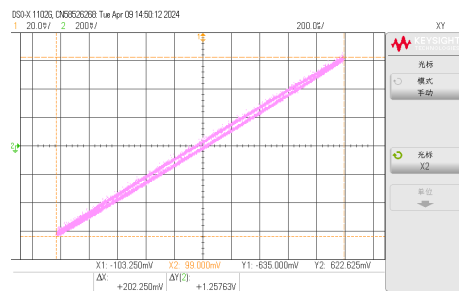


图 14: 前置电路李萨如图形

实验结果 可见放大倍数在 6 左右，与理论值相差较大，可能是由于电阻的误差导致的。

表 2: 前置电路放大倍数结果记录

	输入幅值	输出幅值	\dot{A}_{vf}
仿真电路	20.000mV	121.866mV	6.093
实际电路	0.202V	1.244V	6.158

5.1.3 前置电路幅频响应特性

仿真电路 输入信号频率从 10Hz 到 100kHz，观察输出波形，如下图所示。

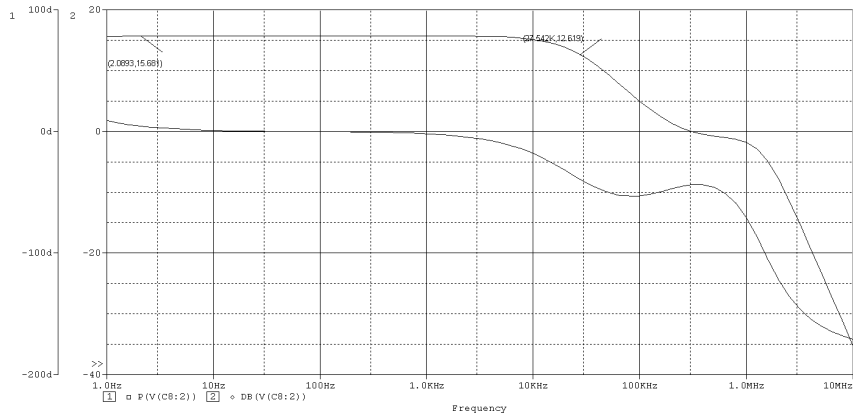


图 15: 前置电路仿真电路幅频响应

实验电路 搭建实际电路，输入信号频率从 10Hz 到 100kHz，观察输出波形，测量输出电压，计算其放大倍数。

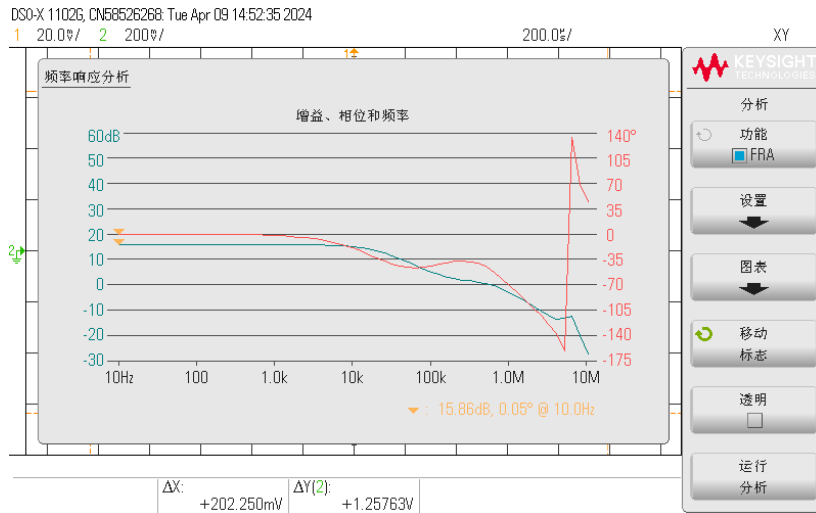


图 16: 前置电路实际电路幅频响应

实验结果 仿真与实际结果基本一致，如下表所示。

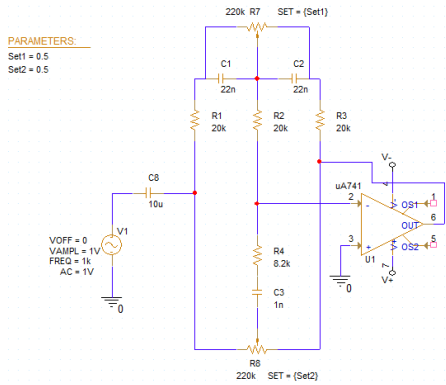
表 3: 幅频特性结果记录

	初始放大倍数 \dot{A}_v /dB	低通频率 f_L /Hz
仿真电路	15.681	27.542k
实验电路	15.86	25.12k

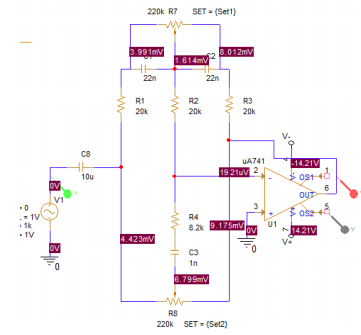
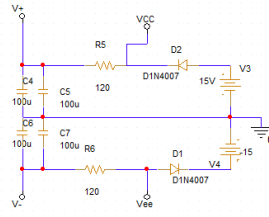
5.2 音调控制电路

5.2.1 静态工作点测量

搭建仿真电路如下图所示，使用 OrCAD PSpice 仿真软件进行仿真。



(a) 音调控制电路仿真电路



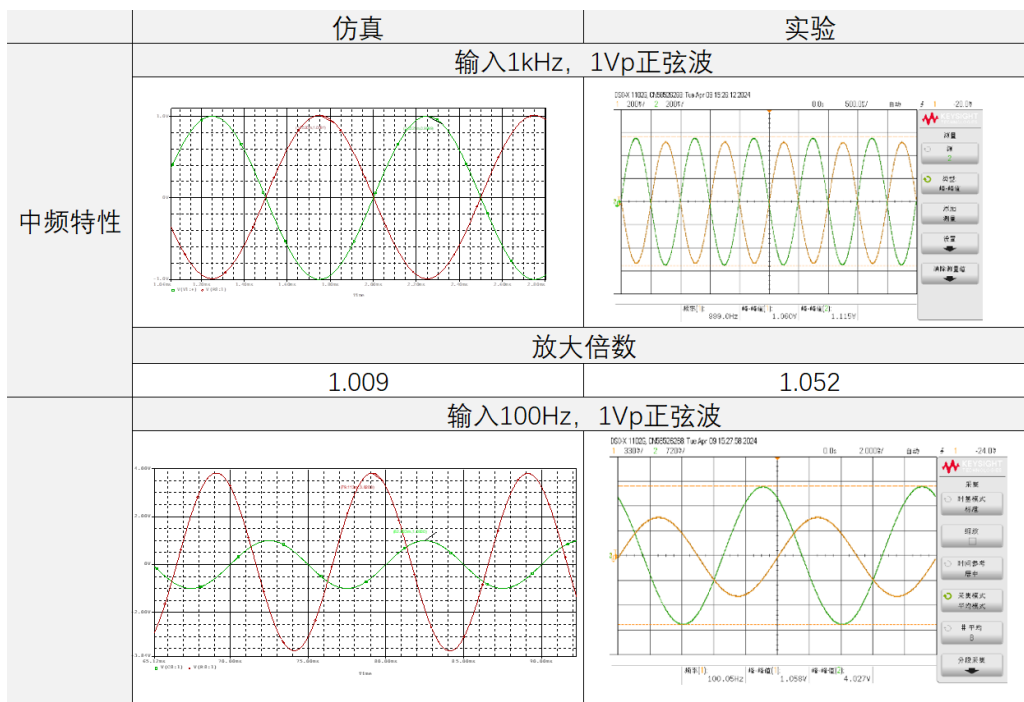
(b) 音调控制电路静态工作点

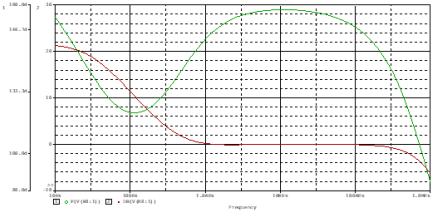
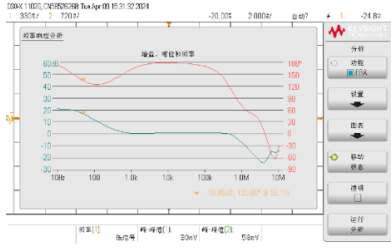
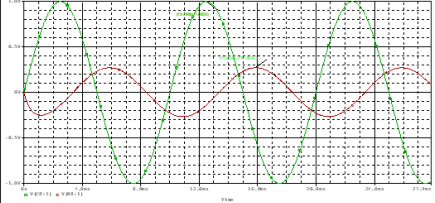
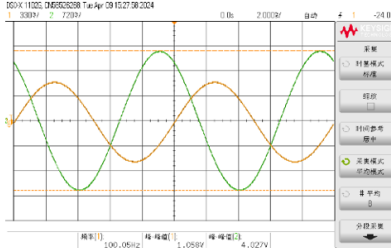
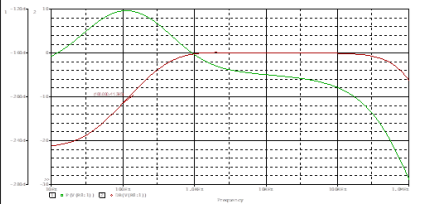
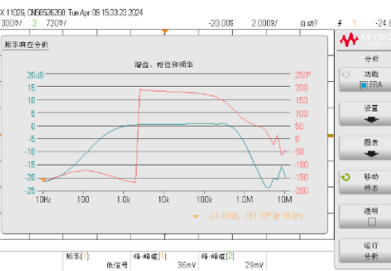
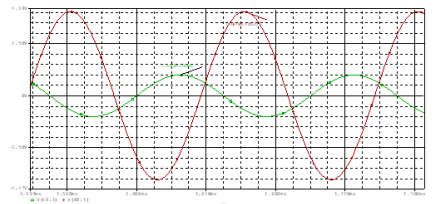
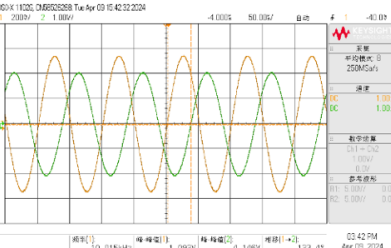
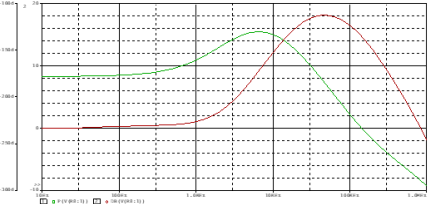
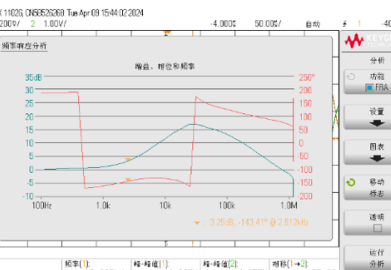
静态工作点结果记录

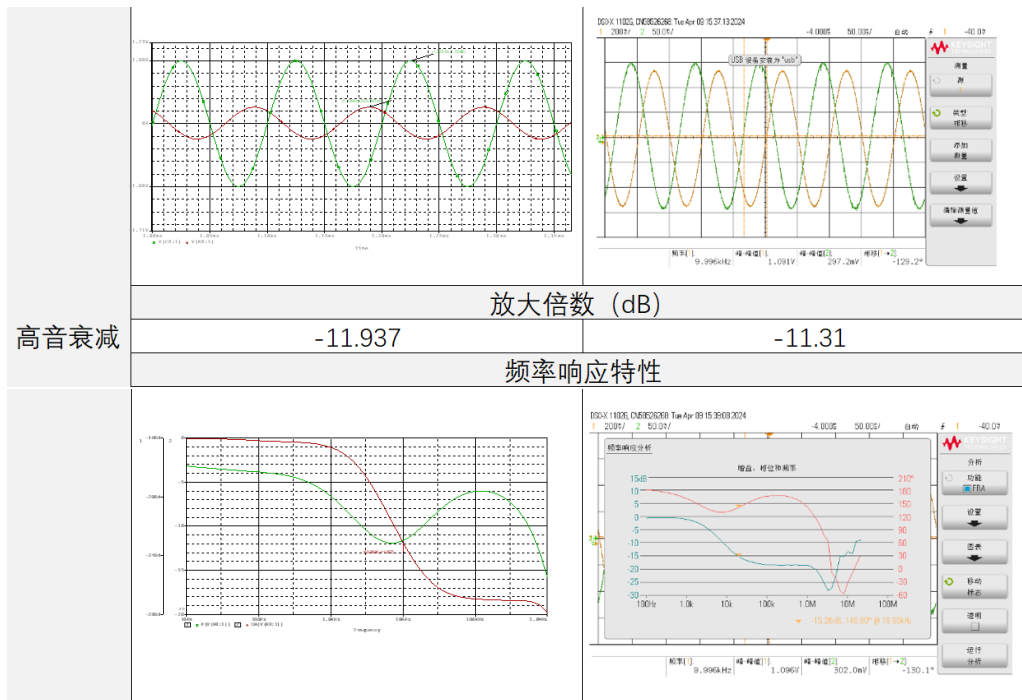
	V7	V4	V2	V3	V6
仿真	14.21	-14.21	19.21u	0	9.175m
实验	14.18	-14.20	-0.6m	0	6.2m

5.2.2 音调控制电路电压增益

测试数据结果如下：



低频增强	放大倍数 (dB)	
	11.64	11.61
频率响应特性		
		
输入100Hz, 1Vp正弦波		
		
低音衰减	放大倍数 (dB)	
	-11.395	-11.673
频率响应特性		
		
输入10kHz, 1Vp正弦波		
		
高音增强	放大倍数 (dB)	
	12.125	11.58
频率响应特性		
		
输入10kHz, 1Vp正弦波		



交流 + 参数扫描 除了设置交流扫描以外，设置参数扫描（电位器的中心抽头位置），如下图所示。

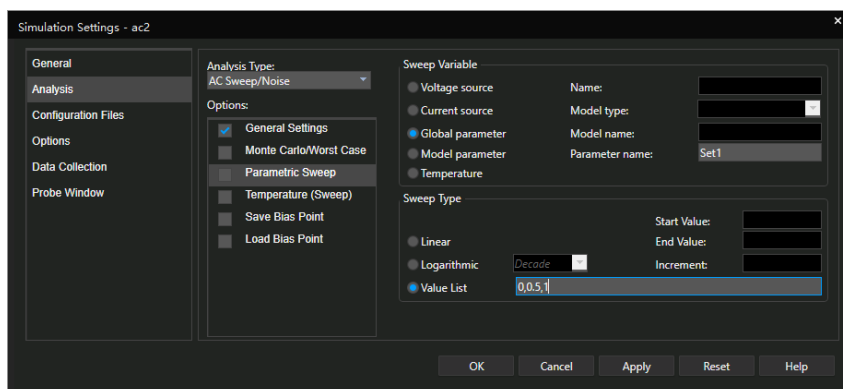


图 18: 参数扫描设置

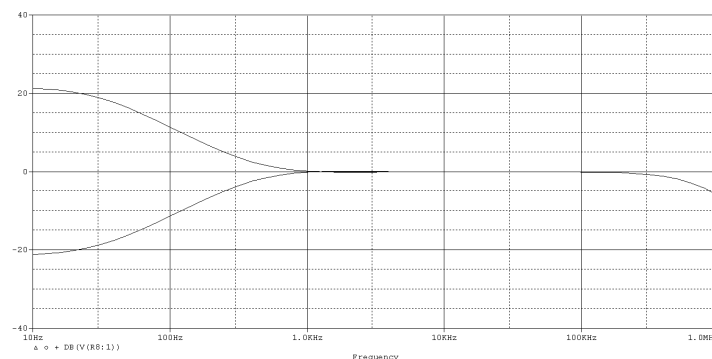


图 19: 操控低频控制阻值旋钮参数扫描结果

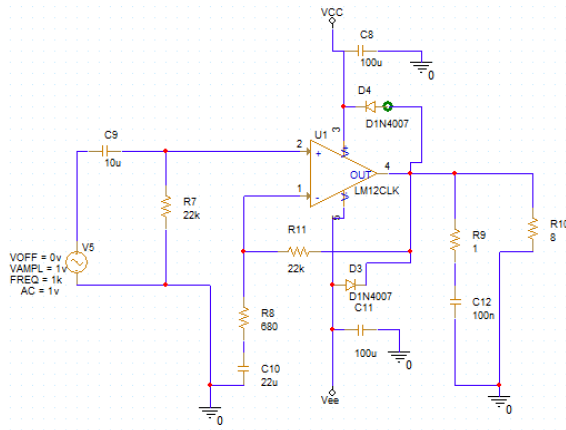
- 观察各类音调调节电路可知，实验电路与仿真结果，包括理论计算基本一致，如有一定的误差应该在于实验电路各项的电阻阻值以及电容的容值与理论值有所偏差。

- 中频电路的放大倍数基本保持在一倍的状态；

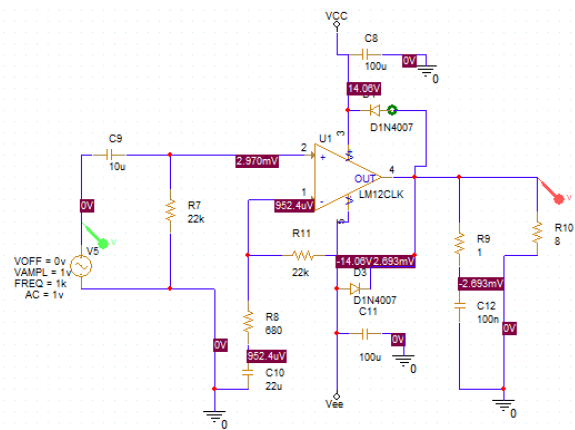
5.3 功率放大电路

5.3.1 静态工作点测量

搭建仿真电路如下图所示，使用 OrCAD PSpice 仿真软件进行仿真。



(a) 功率放大电路仿真电路



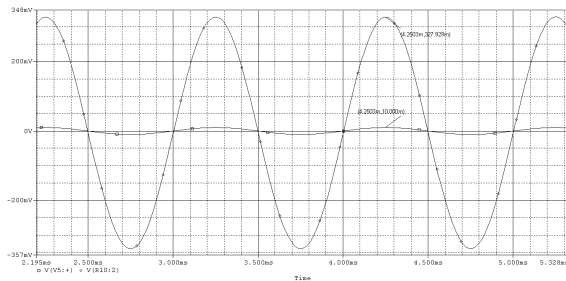
(b) 功率放大电路静态工作点

表 4: 静态工作点结果记录

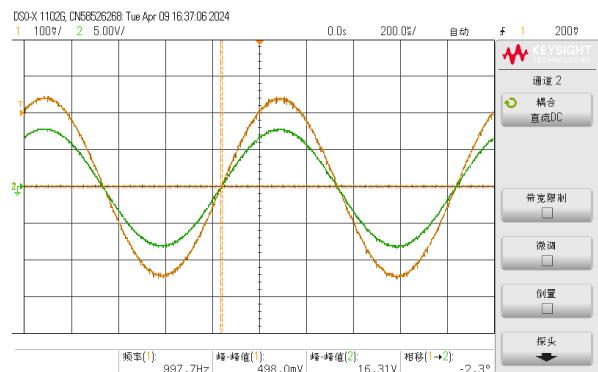
	V1	V2	V3	V4	V5
仿真	0.952m	2.97m	14.06	2.693m	-14.06
实验	-5.1m	-2.2m	-14.45	-2.6m	14.44

5.3.2 观察输入输出波形

输入 1kHz 正弦波，观察输出电压结果



(a) 仿真电路 1kHz, 10mVp 下输出波形



(b) 实际实验电路

表 5: 功放结果记录

	V_{in}	V_{out}	\dot{A}_{va}
仿真	0.01	0.329	32.9
实际	0.498	16.31	32.751

5.3.3 功率放大电路最大不失真电压

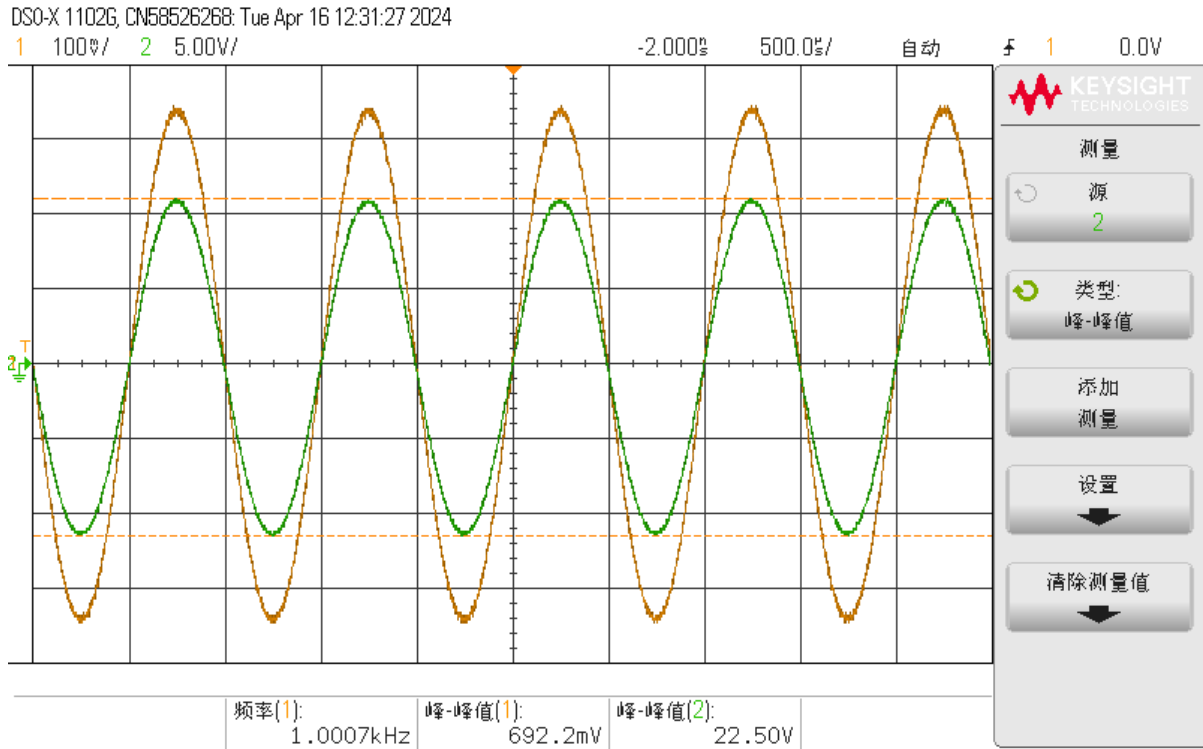


图 22: 实际实验电路最大不失真电压

可见最大不失真电压为 $22.50V_{pp}$ ，此时

$$P_o = (V_{pp}/2\sqrt{2})^2/8 = 7.91W$$

输入电流大小为 0.51A 左右，则效率为

$$\eta = 7.91/[14.974 \cdot (0.426 + 0.526)] = 55.49\%$$

5.4 整机电路

在满足音量电位器 RP3 置于最大位置，音调控制电位器置中心位置情况下，输入 1kHz 正弦波，得到各级参数为：

5.4.1 中频特性

表 6: 整机电路参数记录

	前置级		音调控制级		功率放大级		整机	
仿真 实验	A_{v1}	6.093	A_{v2}	1.009	A_{v3}	32.9	A_{v4}	48.12dB
		6.158		1.052		32.751		41.214dB

实际实验电路输出如下图所示:

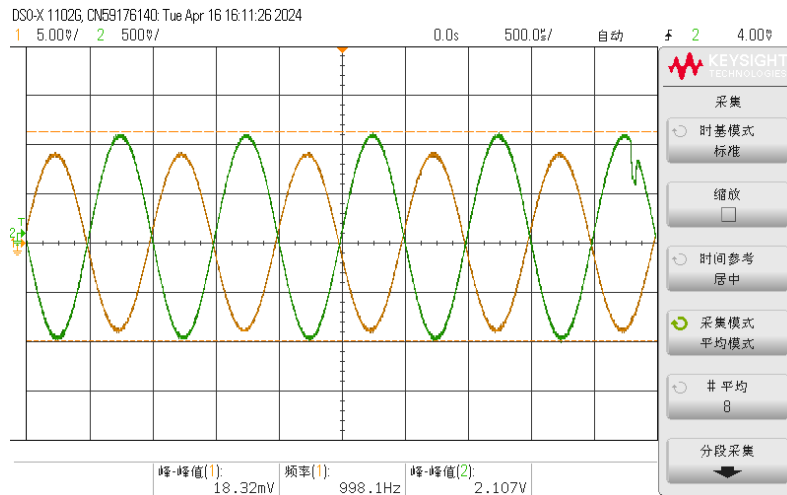
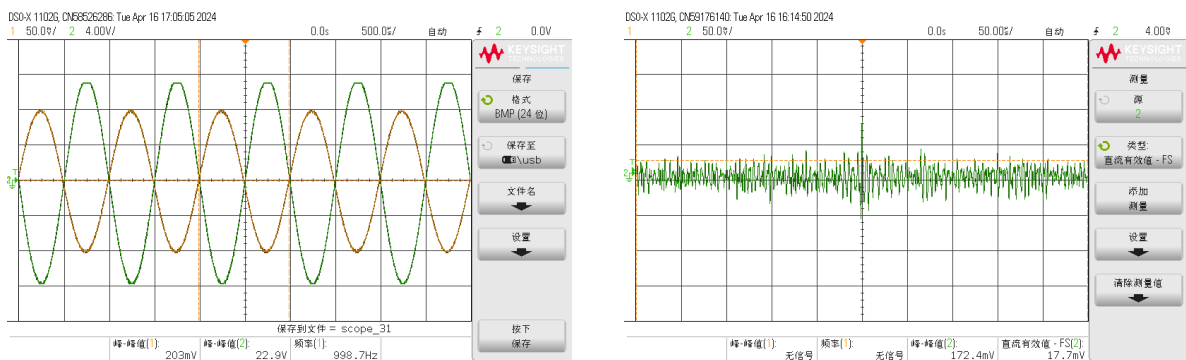


图 23: 整机电路 1kHz 输入时的电压

5.4.2 整机电路各项参数



(a) 整机电路最大不失真输出电压

(b) 噪声电压

图 24: 整机电路各项参数

表 7: 整机电路各项指标

V_{omax}	V_{imax}	P_{omax}	噪声电压
22.7V	0.187V	8.05W	17.7mV

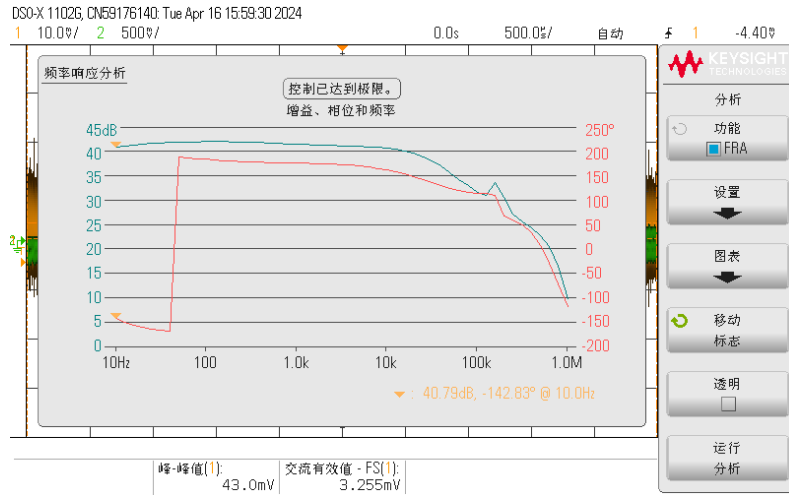


图 25: 整机电路频率响应

- 整机电路的各项指标与理论基本一致，功率有一定的偏差，效率有一定的偏低，可能由于在焊接电路板时增加了各个接触点的接触电阻，使得无用功耗增加。
- 整体噪声电压较小，因此在听音实验中，最终的噪声声响并不大

5.4.3 整机电路高低音响应性质

中频响应 输入 10% 的 V_{omax} ，测量输出电压，如下图所示。

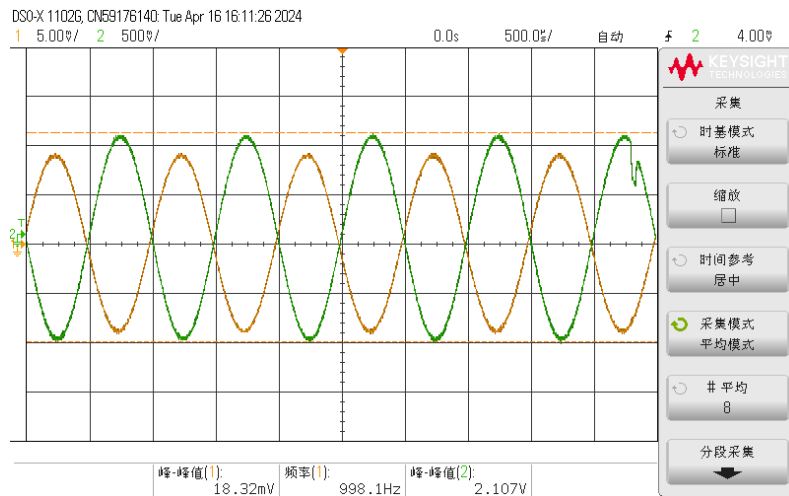


图 26: 整机电路 1kHz 输入时的电压

$$\dot{A}_{vf} = 20 \log \frac{\dot{V}_{01}}{\dot{V}_O} = 20 \log \frac{2.107}{0.01832} = 41.214dB$$

低频响应 输入 100Hz 正弦波，测量输出电压，如下图所示。

- 低音增强

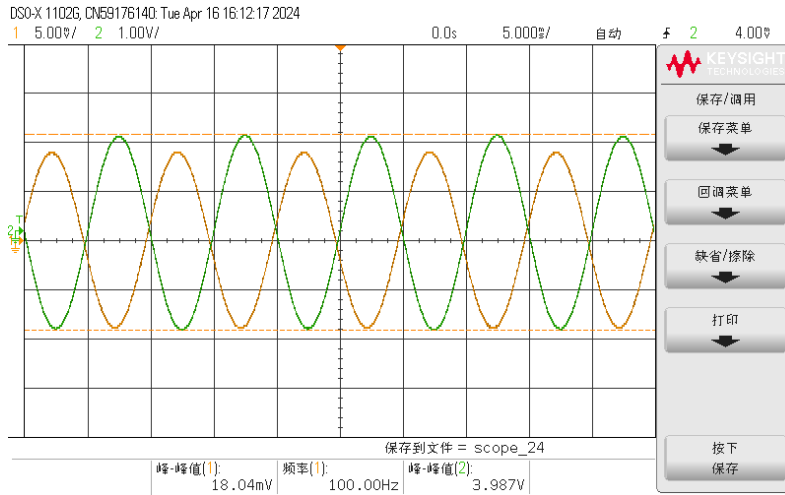


图 27: 整机电路 100Hz 输入时的电压

$$\dot{A}_{vf} = 20 \log \frac{\dot{V}_{01}}{\dot{V}_O} = 20 \log \frac{3.987}{2.107} = 5.539dB$$

- 低音衰减

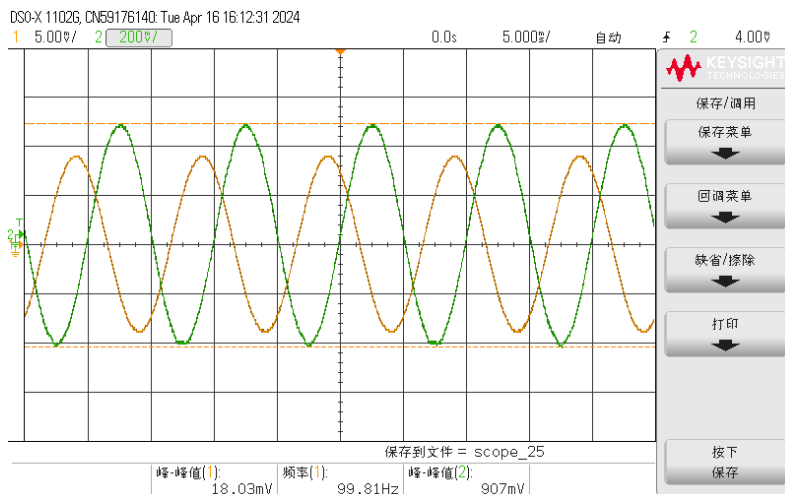


图 28: 整机电路 100Hz 输入时的电压

$$\dot{A}_{vf} = 20 \log \frac{\dot{V}_{01}}{\dot{V}_O} = 20 \log \frac{0.907}{2.107} = -7.321dB$$

高频响应 输入 10kHz 正弦波，测量输出电压，如下图所示。

- 高频增强

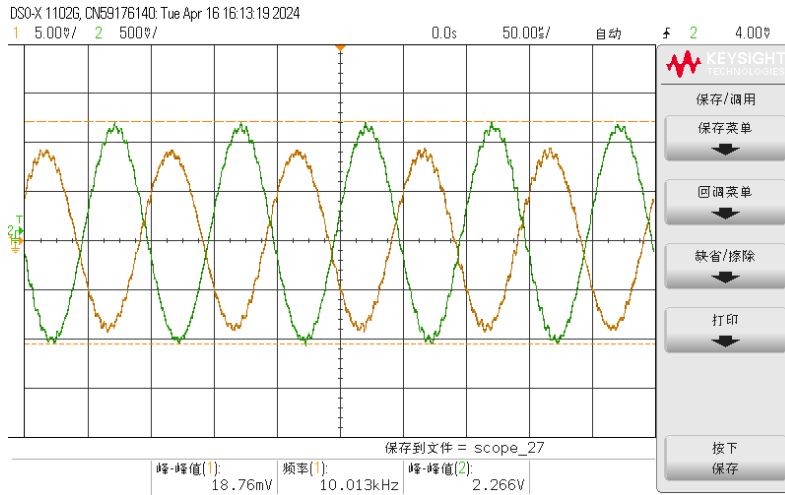


图 29: 整机电路 100Hz 输入时的电压

$$\dot{A}_{vf} = 20 \log \frac{\dot{V}_{01}}{\dot{V}_O} = 20 \log \frac{2.266}{2.107} = 0.631dB$$

- 高音衰减

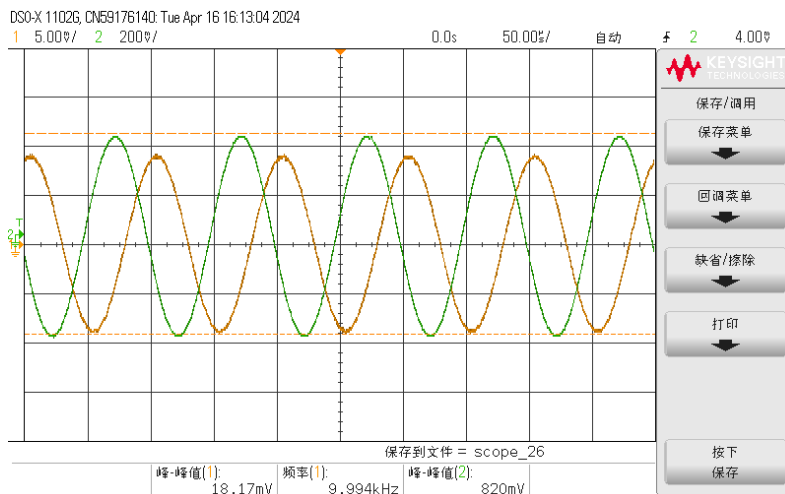


图 30: 整机电路 100Hz 输入时的电压

$$\dot{A}_{vf} = 20 \log \frac{\dot{V}_{01}}{\dot{V}_O} = 20 \log \frac{0.820}{2.107} = -8.197dB$$

6 实验感想

本次实验主要是对音响电路的仿真与实际电路的搭建，通过对前置级、音调控制级、功率放大级的电路的逐步深入了解，以及对整机电路的搭建与仿真，对音响电路的各项参数有了更加深刻地认识，对于复杂电路的搭建也有了一定的经验，相信能够在未来的学习过程中，使用上今天学习的内容。

本次实验也是我初次对焊接相关实验的接触，从完全不了解，到最后能够熟练地拆、装元件，让我在东 3 教室收获了一次非常难得的经历。

最后，很感谢张伟老师在我电路出现未知错误的过程中，对我耐心的指导与等待，没有张伟老师的等待，我将对我自己焊接的电路毫无信心。所幸最终结果非常不错，证明自己在焊接过程中的细心、耐心是有回报的，也加深了我对动手搭建电路的热爱。