

大连交通大学

设计实践报告

题 目_____OCL音频功率放大器设计_____

学生姓名_____贾屿泽 专业班级 _____电气 224_____

所在院系_____电气工程学院_____

指导教师_____陈宝君_____

报告成绩：_____

完成日期 2024 年 9 月 5 日

摘 要

本课程设计旨在设计并实现一个OCL功率放大器，以满足音频放大的需求。OCL功率放大器因其对称性好、频响宽阔、结构简单且失真度较低等特点，广泛应用于家用高保真功放电路中。本次设计通过理论分析与实际操作，详细记录了OCL功率放大器的设计过程、实现方法及实验结果，旨在提升学生的理论应用能力和实践能力。功率放大器能将微弱信号放大，在系统终端呈现信号原信息。本次试验主要对OCL放大器进行设计与仿真，低频功率放大器，根据工作状态的不同，可分为甲类，乙类和甲乙类三种。放大器的工作状态由三极管的静态工作点的设置决定。甲类功率放大器的最高效率只有50%，而乙类功率放大器的效率可达79%。OCL放大器的基本原理就是利用两只处于乙类工作状态的异型晶体管的互补对称特性，使其轮番工作。OCL功率放大器种类繁多，本次实验对传统放大器做了两点修改：一是采用横流长尾式差动电路；二是改用了 V_{be} 扩大电路来对Q4、Q5提供偏置，使温度补偿特性更好。

关键词：功率放大 设计 仿真 OCL 原理 系统分析

目 录

第一章 设计任务书.....	4
1.1 设计目的.....	4
1.2 设计指标.....	5
1.3 总体设计步骤.....	5
第二章 整体方案设计.....	6
2.1 设计说明.....	7
2.2 整体设计及工作原理.....	7
第三章 设计电路具体过程.....	8
3.1 电路原理图.....	8
3.2 电路参数计算及元器件的选择.....	9
3.3 计数指标校验.....	13
第四章 结束语.....	17
4.1 设计任务完成情况.....	17
4.2 问题及改进.....	17
4.3 心得体会.....	18
参考文献.....	19
附 录.....	19

第一章 设计任务书

1.1 设计目的

- ①学习音频功率放大器的设计方法
- ②了解集成功率放大器内部电路工作原理
- ③根据设计要求, 完成对音频功率放大器的设计, 进一步加强对模拟电子技术的了解
- ④采用集成运放与晶体管原件设计OCL功率放大器
- ⑤培养实践技能, 提高分析和解决实际问题的能力

1.2 设计指标

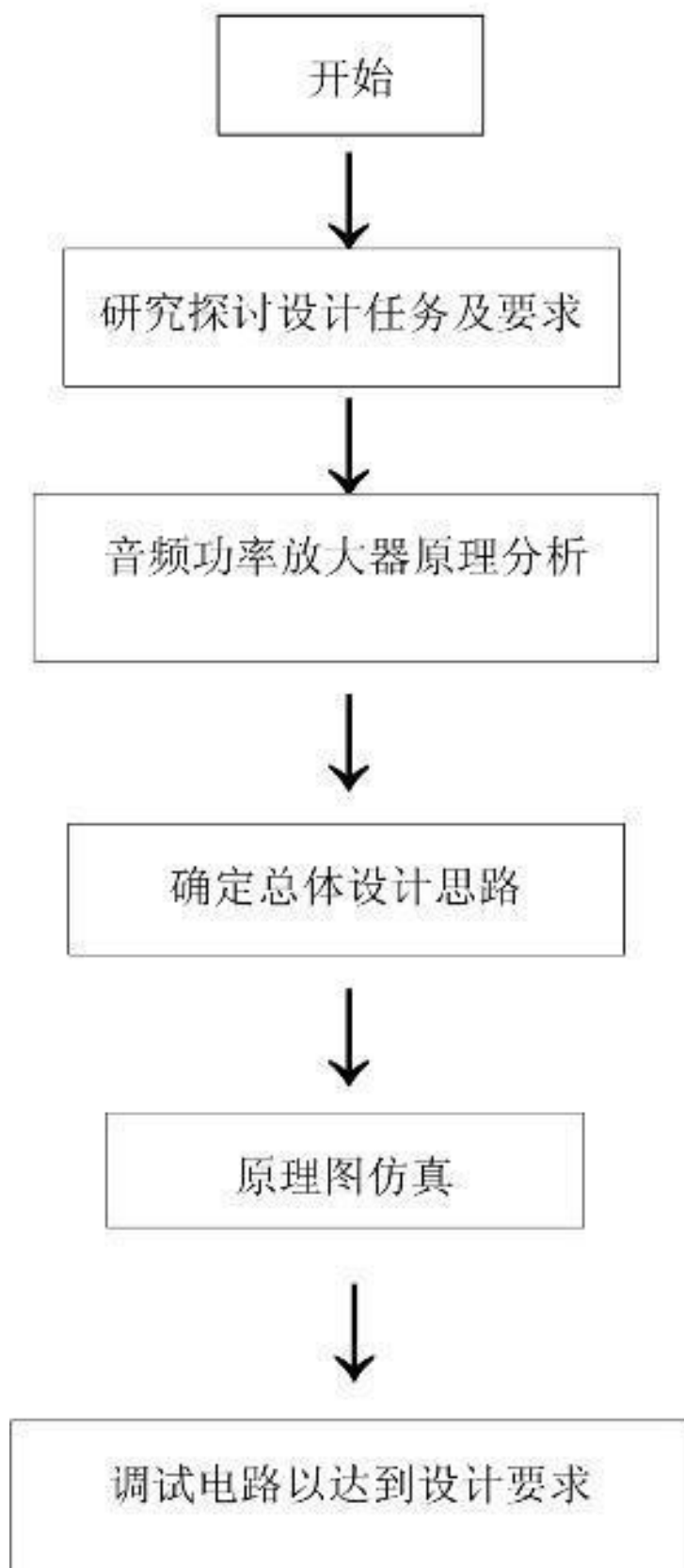
表1-1 设计参数

$P_{om}(W)$	6.1	$f_H(KHz)$	25
$R_L(\Omega)$	8	$R_i(K\Omega)$	270
$f_L(Hz)$	26	$V_i(mV)$	40

1.3 总体设计步骤

表1-2

总体设计步骤

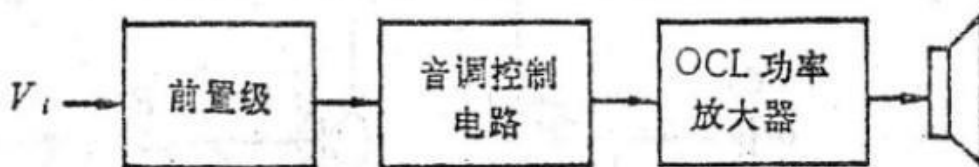


第二章 整体方案设计

2.1 设计说明

(1) 原理说明:

音频功率放大器实际上就是对比较小的音频信号进行放大,使其功率增加,然后输出。其原理如图(一)所示,前置放大主要完成对小信号的放大,使用一个同相放大电路对输入的音频小信号的电压进行放大,得到后级所需要的输入。音调控制电路主要对高低音进行随意提升或衰减OCL功率放大器主要对音频进行功率放大,使其能够驱动负载电阻而得到需要的音频。设计时首先根据技术指标要求,对整体电路做出适当安排,确定各级的增益分配,然后对各级电路进行具体的设计。



图(一): OCL音频放大器的组成图

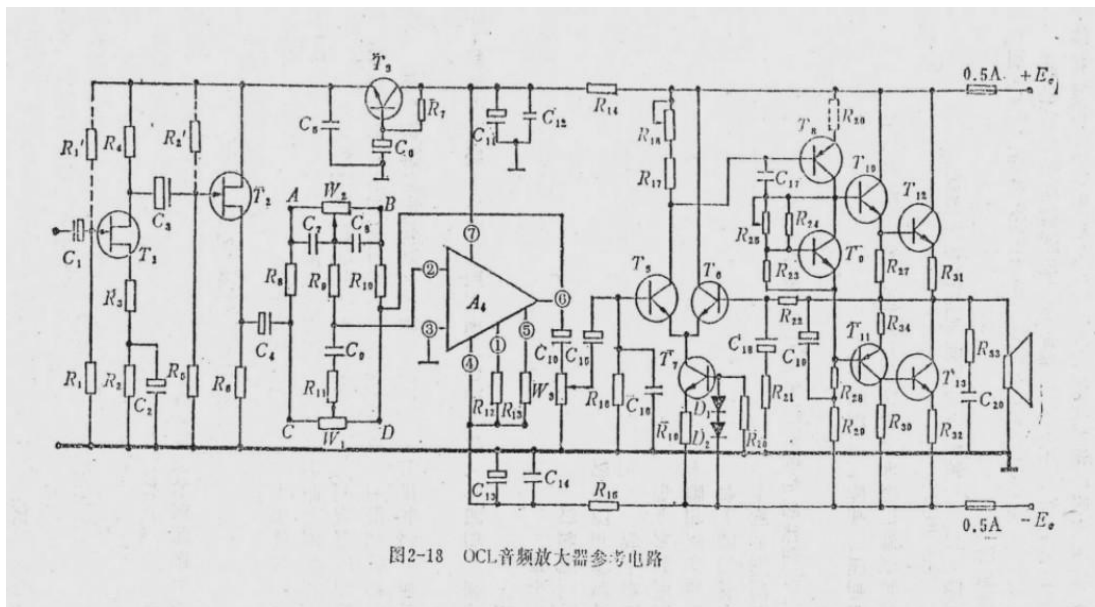


图2-13 OCL音频放大器参考电路

2.2 整体设计及工作原理

(1) 输入级的功能与选择:

主要作用是抑制零点漂移, 保证电路工作稳定, 同时 对前级送来的信号作用低失真, 低噪声放大。为此, 采用带恒流源的, 由复合管组成的差动放大电路, 且设置的静态偏置电流较小。

(2) 音调控制电路的说明与选择:

所谓音调控制就是人为地改变信号里高、低频成分的比重, 以满足听者的爱好、渲染某种气氛、达到某种效果、或补偿扬声器系统及放音场所的音响不足。这个控制过程其实并没有改变节目里各种声音的音调(频率), 所谓“音调控制”只是个习惯叫法, 实际上是“高、低音控制”或“音色调节”。

一个好的音调控制电路, 要有足够的高、低音调节范围, 但又同时要求高、低音从最强到最弱的整个调节过程里, 中音信号(通常指1000赫)不发生明显的幅度变化, 以保证音量大致不变。

所谓提升或衰减高、低音, 都是相对于中音而言的。先把中音作一个固定衰减(或加深负反馈)然后让高音或低音衰减小一些(或负反馈轻一些), 就算是得到提升。因此, 为了弥补音调控制电路的增益损失, 常需增加一到两级放大电路。

音调控制电路大致可分为两大类: 衰减式和负反馈式。衰减式音调控制电路的调节范围可以做得较宽, 但因中音电平要作很大衰减, 并且在调节过程中整个电路的阻抗也在变。所以噪声和失真大一些。负反馈式音调控制电路的噪声和失真较小, 但调节范围受最大负反馈量的限制, 这里选用衰减负反馈混合式。

(3) 功放级的原理:

①OCL(Output CapacitorLess)是OTL电路的升级, 指省去输出端大电容的功率放大电路, 省去了输出电容, 使系统的低频响应更加平滑。缺点是必须用双电源供电, 增加了电源的复杂性。

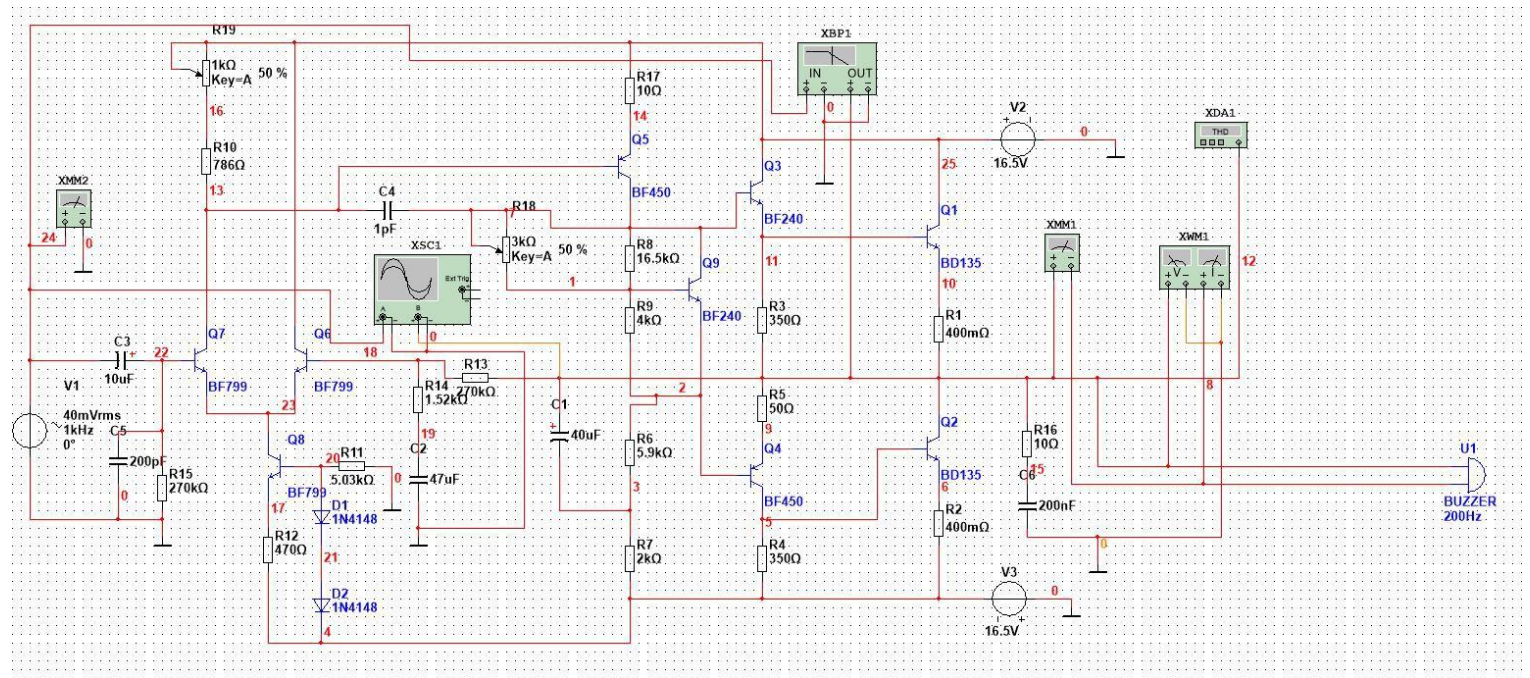
②工作原理

当输入信号为正半周期时, V1导通, V2截止, 电流方向为+VCC、V1的集电极、V1的发射极、负载、地。

当输入信号为负半周期时, V1截止, V2导通, 电流方向为地、负载、V2的发射极、V2的集电极。

第三章 设计电路具体过程

3. 1 电路原理图



3.2 电路参数计算及元器件选择

电气224
贾山5号

$P_{om}=6.1W$; $R_L=8\Omega$; $f_L=264Hz$, $f_H=25kHz$
 $R_i=270k\Omega$, $V_i=40mV$

① 电源电压计算:
 $V_{om}=\sqrt{2P_{om}R_L}=\sqrt{2\times 6.1\times 8}\approx 9.88V$
 η 为电源电压利用率, 取 $0.6\sim 0.8$, $\eta=\frac{V_{om}}{E_c}$; 令 $\eta=0.6$, 则 $E_c\approx 16.47V$
 令 $\eta=0.8$, 则 $E_c\approx 12.35V$, $A_v=\frac{V_{om}}{\sqrt{2}V_i}\approx 174.66\approx 44.84dB$
 取 $V_{cc}\approx 16.5V$

② 输出功率管的选择: $I_o=\frac{1}{\sqrt{2}}I_{om}$, $I_{om}=\frac{P_{om}}{V_{om}}\approx 0.62$, 令 $I_o=20mA$
 T_{2B} 的管压降: $V_{CE0}>2V_{cc}=33V$
 $I_{cm}>\frac{V_{cc}}{R_L}\approx 2.06A$
 $P_{cm}>0.2P_{om}+I_oV_{cc}=1.22+0.33=1.55W$
 \therefore 综上, T_1, T_2 可用 BD135, 其 $V_{CE0}=45V>33V$, $I_{cm}=3A>2.06A$,
 $P_{cm}=12.5W>1.55W$, 且 $\beta_1=\beta_2\approx 120$
 综上 T_1, T_2 射极电阻 R_1, R_2 一般选择为 $500m\Omega\sim 1\Omega$

③ 互补管 T_3, T_4 的选择
 由于 T_3 和 T_4 分别与 T_1 和 T_2 复合, 则其承受最大反相电压均为 $2V_{cc}$,
 最大集电极电流比 T_1, T_2 最大集电极电流小 β_1 倍 ($\beta_1=\beta_2$), 则:

$$\begin{cases} V_{CE0}>2V_{cc}=33V \\ I_{cm}>(1.1\sim 1.5)\frac{V_{cc}}{R_L\beta_1}\approx 1.2\times 0.017=0.02A=20mA \\ P_{cm}>\frac{0.2P_{om}+I_oV_{cc}}{\beta_1}=\frac{1.22+0.33}{120}\approx 0.013 \end{cases}$$

 T_3, T_4 可用 BF240 或 BF450, 其 $\beta_3=\beta_4\approx 110$

$$Y_{T1} = Y_{be1} + (1 + \beta_1) R_1, Y_{T2} = Y_{be2} + (1 + \beta_2) R_2$$

$$\text{又 } r_{be1}, r_{be2} \text{ 约为 } 1\Omega, R_3 = (5 \sim 10) r_{i1} = R_4$$

$$\text{取 } R_1 = R_2 = 0.1 R_L = 0.5\Omega, R_1 \parallel r_{i1} = r_{i2} = r_{be1} + (1 + \beta_1) R_1 \approx 106.8\Omega$$

$$\therefore R_3 = R_4 = 5 r_{i1} \approx 350\Omega \text{ 取又 } R_3, R_4 \text{ 为 } 400\Omega$$

$$\text{平衡电阻 } R_5 = R_3 \parallel r_{i1} \approx 60\Omega$$

④ 偏置电路计算

$$\therefore V_{B3} - V_{B4} = V_{BE3} + V_{BE1} + |V_{BE4}| \approx 2.1V \quad (\text{设 } V_{BE3} = V_{BE1} = |V_{BE4}| = 0.7V)$$

$$\text{又 } V_{CEQ} = V_{B3} - V_{B4} \approx V_{BEQ} \cdot \frac{R_8 + R_9}{R_9} \quad (\text{设 } V_{BEQ} = 0.7V)$$

$$\therefore \frac{R_8 + R_9}{R_9} = 3, R_8 = 2R_9$$

$$\text{为使 } T_9 \text{ 基极电压稳定, 取 } I_{R8} = (5 \sim 10) \frac{I_{CQ9}}{\beta_9}$$

$$I_{CQ9} \approx I_{CQ5}, R_9 \approx \frac{V_{BEQ}}{I_{R8}}, R_8 = 2 \frac{V_{BEQ}}{I_{R8}}$$

综上, T_9 选用 BF240

⑤ 推动级设计

$$(1) I_{CQ5} \text{ 的确定: } I_{CQ5} > (3 \sim 5) I_{B3max} \approx (3 \sim 5) \frac{I_{C3max}}{\beta_3}$$

$$\therefore I_{C3max} \approx 1.5 \frac{I_{C1max}}{\beta_1} = 1.5 \frac{V_{CC}}{R_L \beta_1} = 1.5 \times \frac{16.5}{8 \times 120} \approx 26mA$$

一般 $I_{CQ5} \approx 2 \sim 10mA$, 取 $I_{CQ5} = 2mA$

$$I_{CQ9} \approx I_{CQ5} = 2mA \quad \therefore I_{R8} = 10 \frac{I_{CQ9}}{\beta_9} = 0.18mA$$

$$R_9 \approx \frac{V_{BEQ}}{I_{R8}} \approx 3.9k\Omega, \text{ 取 } R_9 \text{ 为 } 4k\Omega, \text{ 则 } R_8 \parallel W_2 \approx 2R_9 \approx 8k\Omega$$

取 R_8 为 $16.5k\Omega$ 的电阻, W_2 为 $16.5k\Omega$ 的电位器。

(2) 计算 R_6 和 R_7

$\because T_9$ 偏置电路输出电阻很小, T_5 直流负载主要为 $(R_6 + R_7)$

$$\text{又 } V_{B4} \approx -0.7V$$

$$\therefore R_6 + R_7 = \frac{V_{CC} - |V_{B4}|}{I_{CQ5}} \approx 7.9 k\Omega$$

一般取 $(R_6 + R_7) > R_7 > 20R_L = 160\Omega$, 则取 $R_7 = 2k\Omega$, $R_6 = 5.9k\Omega$

(3) 自举电容 C_1 的确定

$$C_1 = 10 \cdot \frac{1}{2\pi f_L R_7} = \frac{10}{2\pi \times 25 \times 2000} = 30.51 \mu F$$

(4) T_5 管的选择

$$T_5 \text{ 管要求满足 } \begin{cases} V_{CEQ} > V_{CE5max} = 2V_{CC} = 3.3V \\ P_{CM} > V_{CC} \cdot I_{CQ5} \end{cases}$$

$$\text{令 } P_{CM} > 5V_{CC} I_{CQ5} = 165mW, \text{ 选择 BF450}$$

(6) 前入级电路的设计

(1) 差分管工作电流的确定

$$I_{C6} = I_{C7} \approx (0.5 \sim 2)mA, I_{C8} = I_{C6} + I_{C7} = 1.6mA, I_{C6} = I_{C7} = 0.8mA$$

(2) T_6, T_7, T_2 选择

$$T_6, T_7 \text{ 的选择需满足: } \begin{cases} V_{CEQ} > 1.2V_{CC} = 16.8V \\ P_{CM} > 5P_C = 5(I_{C6} \cdot V_{CC}) = 66mW \\ \beta_6 = \beta_7 \end{cases}$$

$\therefore T_6, T_7, T_8$ 均可选用 BF799

(3) R_{10}, W_1, R_{11} 和 R_{12} 的计算

$$V_{BE5} \approx 0.7V$$

$$R_{10} + W_1 = \frac{V_{BE5}}{I_{C7}} \approx 900\Omega$$

若 R_{10} 为 470Ω 电阻, W_1 可用 $1k\Omega$ 可调电位器

$$R_{W1} = \frac{|V_{BE5}| + I_{E5} \cdot R_{17}}{I_{C7}}$$

若令 T_8 工作点稳定, 应使流过 D_1, D_2 电流 $I_D \gg I_{B8}$

$$I_{B8} = \frac{I_{C8}}{\beta_8}, \text{一般取 } I_D \gg 3 \text{ mA}, \text{ 则 } R_{11} = \frac{V_{CC} - (V_{D1} + V_{D2})}{I_D} \approx 5 \text{ k}\Omega$$

$$\text{其中 } V_{D1} = V_{D2} = 0.7 \text{ V}$$

$$R_{12} \approx \frac{V_{D1} + V_{D2} - V_{BE8}}{I_{C8}} = 437.5 \Omega, \text{ 取 } R_{12} = 470 \Omega$$

① 反馈支路的计算

取 $R_{15} = R_{17} = 270 \text{ k}\Omega$, 电路对称, 则 $R_{13} = R_{15} = 270 \text{ k}\Omega$.

$$\therefore \text{闭环增益 } A_{vf} = 1 + \frac{R_{13}}{R_{14}} = \frac{V_{om}}{\sqrt{2} V_i} = \frac{9.88}{\sqrt{2} \cdot 0.04} \approx 174.66$$

$$\therefore R_{14} \approx \frac{R_{13}}{A_{vf} - 1} \approx 1.56 \text{ k}\Omega$$

$$C_2 \gg \frac{10}{2\pi f_L R_{14}} \approx 39 \text{ }\mu\text{F}, \quad C_3 \gg \frac{10}{2\pi f_L R_{15}} \approx 227 \text{ nF}$$

$$R_{16} = R_L = 8 \Omega$$

② 补偿元件选择

$$\text{一般取 } R_{16} \approx R_L = 8 \Omega, \quad C_6 = \frac{1}{2\pi f_H R_{16}} = \frac{1}{2\pi \times 25 \times 10^3 \times 8} \approx 0.8 \text{ }\mu\text{F}$$

T_5 极之间, R_{15} 两端并联失谐电容由实验确定,

$$C_4 = C_5 = 100 \text{ pF}$$

综上: $R_L = 8 \Omega$, $R_1 = R_2 = 0.5 \Omega$, $R_3 = R_4 = 400 \Omega$, $R_5 = 60 \Omega$

$R_6 = 5.9 \text{ k}\Omega$, $R_7 = 2 \text{ k}\Omega$, $R_8 = 16.5 \text{ k}\Omega$, $R_9 = 4 \text{ k}\Omega$, W_2 为 $16.5 \text{ k}\Omega$ 的电位器

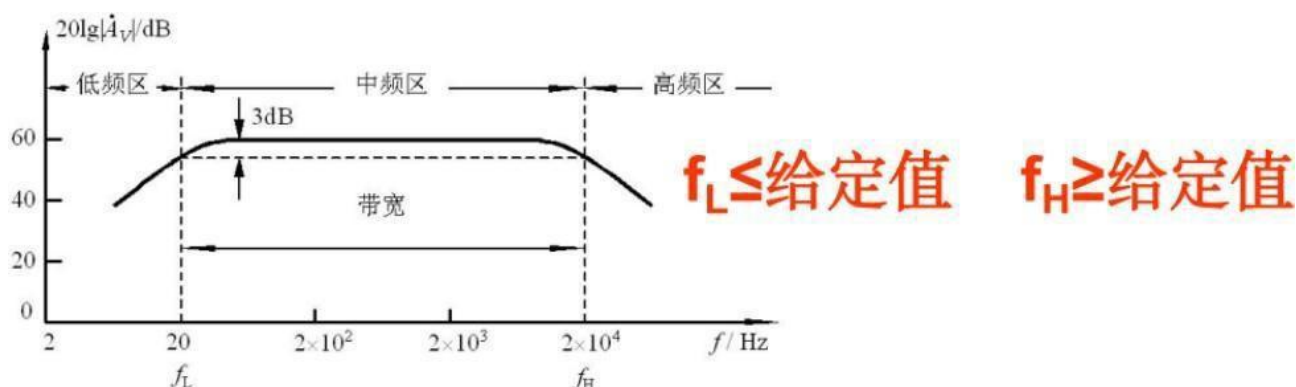
$R_{10} = 470 \Omega$, W_1 用 $1 \text{ k}\Omega$ 的电位器, $R_{11} = 7.7 \text{ k}\Omega$, $R_{12} = 470 \Omega$

$R_{13} = 270 \Omega$, $R_{14} = 1.56 \text{ k}\Omega$, $R_{15} = 270 \text{ k}\Omega$, $R_{16} = 8 \Omega$, $R_{17} = 1 \Omega$

$C_1 = 30.5 \text{ }\mu\text{F}$, $C_2 = 227 \text{ }\mu\text{F}$, $C_6 = 0.8 \text{ }\mu\text{F}$, $C_3 = 227 \text{ nF}$, $C_4 = C_5 = 100 \text{ pF}$

3.3 计数指标校验

①频率响应验收标准:



② V_{om} 验收标准:

- (1) $V_{om} \leq \text{计算值} \pm 0.1\text{V}$
- (2) 零点漂移 $\leq 0.1\text{V}$ (理论值为0)
- (3) 正负半周幅度差 $\leq 0.1\text{V}$

③ P_{om} 验收标准:

- (1) 给定值正负0.1W以内尽量接近

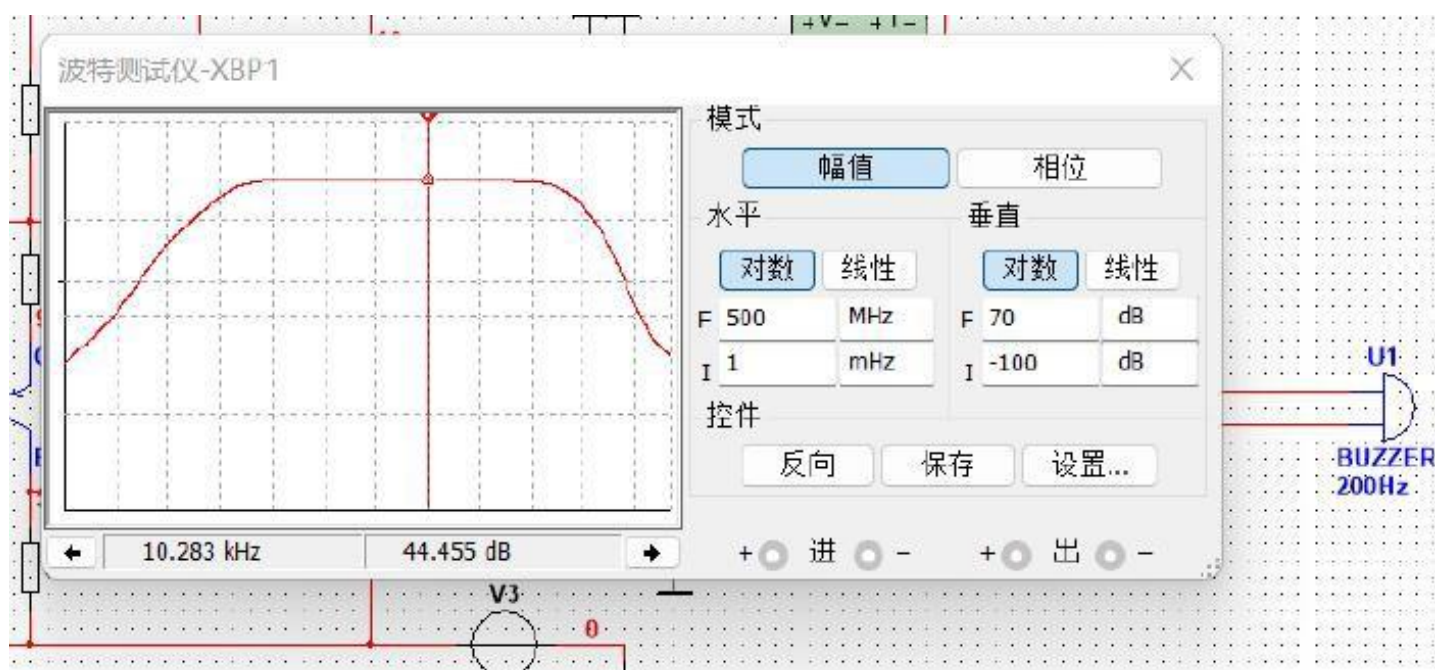
④晶体管工作状态检查:

- (1) 发射结正偏, 集电结反偏。| V_{BE} |为0.7V左右

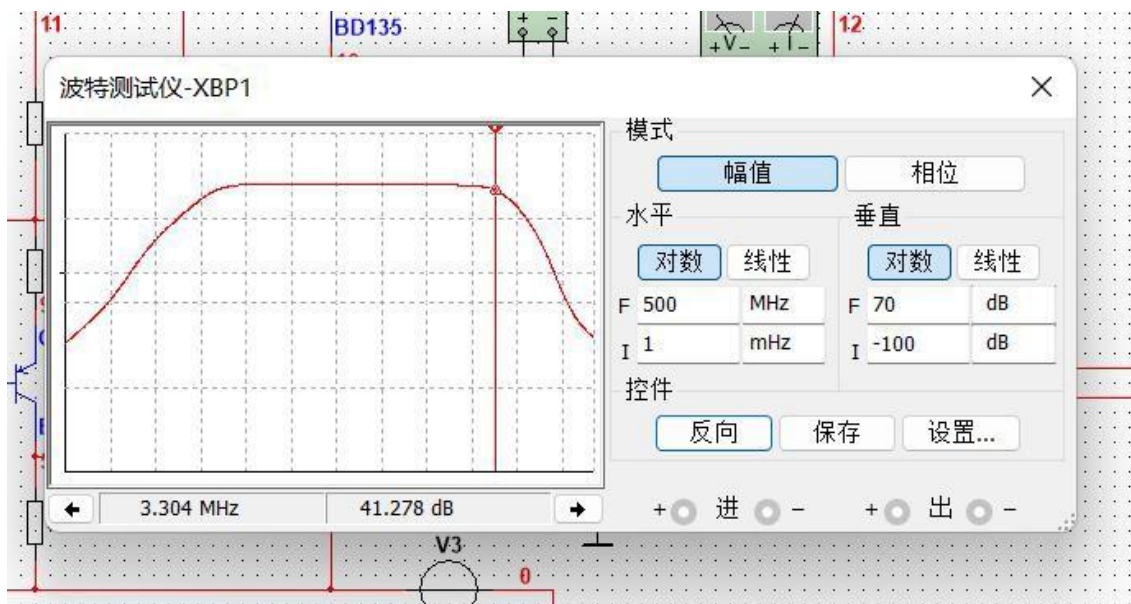
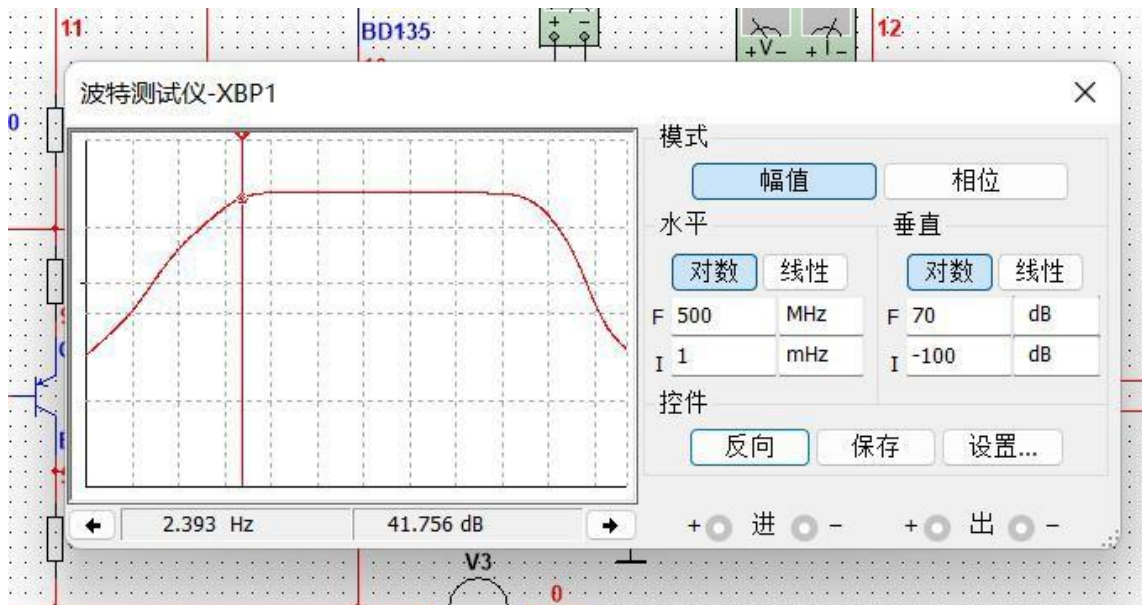
⑤失真度验收标准:

- (1) 失真度 $\leq 0.1\%$

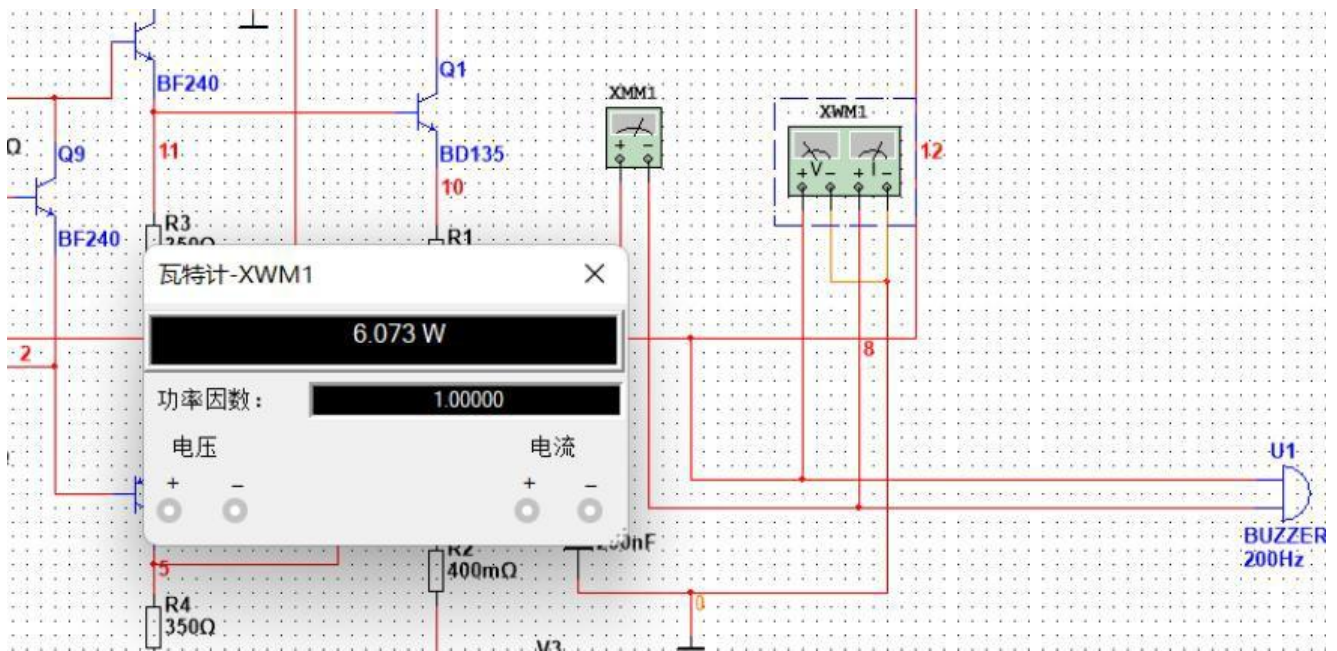
实验结果:



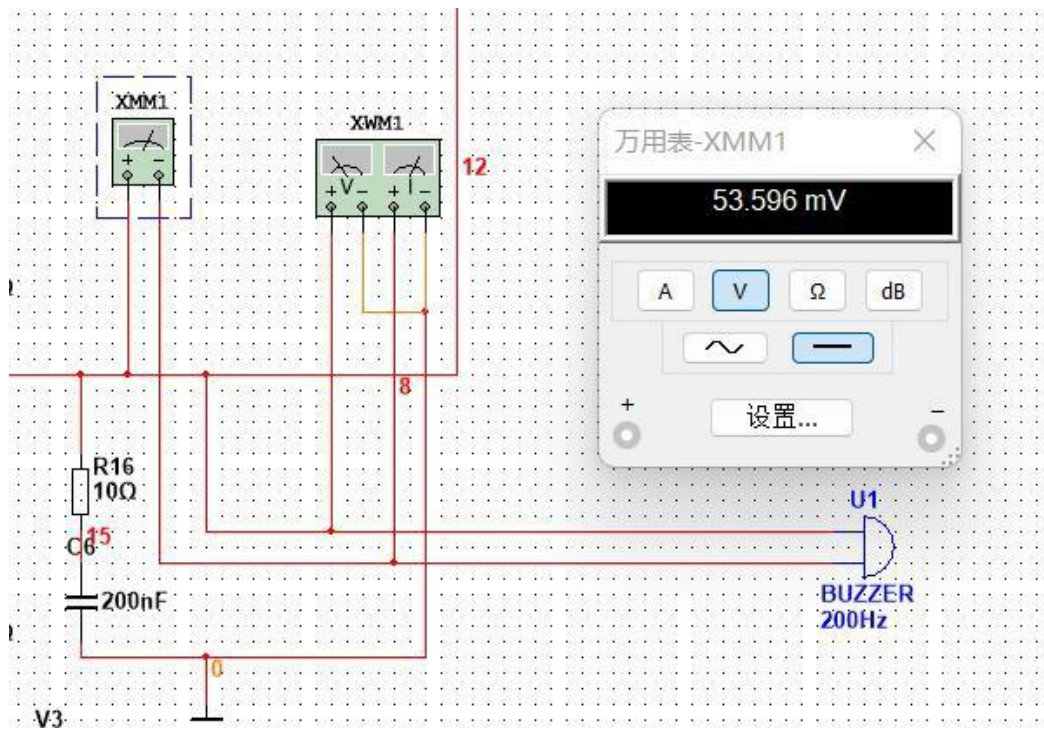
中频增益为44.45dB左右, 与计算结果基本吻合



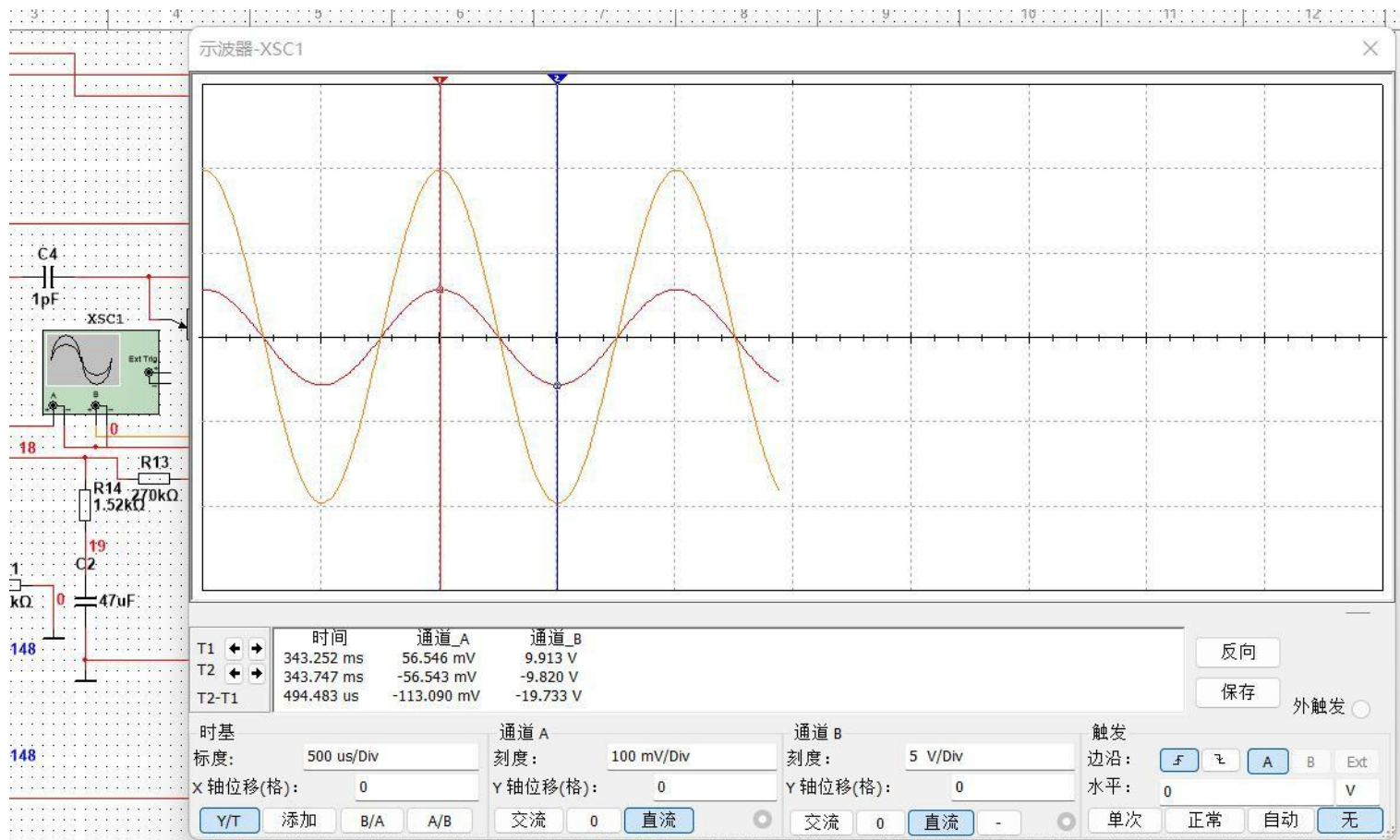
f_L 约为 2.4 Hz, 小于给定的 26 Hz;
 f_H 约为 3.3 MHz, 大于给定的 25 KHz, 完成设计指标



P_{om} 约为6.073w左右，与给定值6.1w的误差在0.1w内，完成设计指标



零点漂移现象在10mV以内，完成设计指标



V_{om} 最大值为9.913V，最小值为-9.820V，两者相差在0.1V以内，且与计算值9.89V的误差也在0.1V以内完成设计指标



失真度为0.095%，在0.1%以下，满足设计指标

Circuit1(3) 直流工作点分析

	Variable	Operating point value
1	@qq1[vbe]	557.55693 m
2	@qq2[vbe]	488.29286 m
3	@qq3[vbe]	728.06796 m
4	@qq4[vbe]	710.93864 m
5	@qq5[vbe]	745.59291 m
6	@qq6[vbe]	688.31760 m
7	@qq7[vbe]	688.24447 m
8	@qq8[vbe]	707.28517 m
9	@qq9[vbe]	766.04030 m

各三极管Vbe都处于0.7V左右，三级管均正常工作

第四章 结束语

4.1 设计任务完成情况

在该次模拟电路设计实验中，我完成了OCL音频功率放大器的设计和功放级的调试，其中功放级仿真得到的数据在经过调式后与给定值之间的误差都小于实验要求，较好的完成了设计实践任务。

4.2 问题及改进

本次对OCL音频放大器的设计让我意识到并解决了许多问题，例如在计算过程中一定要细心认真，对于各个公式都要观察仔细，以免用了错误的参数来进行后续计算，导致推倒重来；还有要注意善用参数扫描和静态工作点分析功能，这些能很好的解决波形问题和零漂问题。通过本次实验，我发现了自己对理论知识的掌握尚不熟练，许多问题出现后并不能直接了解哪方面出了问题，而是碰运气似的调整可能与之有联系的参数，并且在调试过程中我对失真度和Pom的调试较为头疼，经过了许多次的试验才找到原因，在今后的学习道路上我还需要更加认真和努力，提高分析问题解决问题的能力。

4.3 心得体会

本次实习让我体味到设计电路过程中的酸甜苦辣，并且对OCL音频放大器的功放级的工作原理有了进一步的了解，还意识到了解决问题有时候需要广开思路。设计是我们将来必需的技能，这次实习恰恰给我提供了一个应用自己所学知识的机会，从到网上查找资料到对电路的设计对电路的调试再到最后电路的成型，都对我所学的知识进行了检验。对电路的调试要一步一步来，不能急躁，因为是在电脑上调试，这就要求我们有一个比较正确的调试方法，像把导线接对，注意接地等等。最重要的是要灵活运用课本上的知识，这样才能对试验中出现的问题进行分析解决。

谢 辞

本次课程设计及进行过程中得到老师的支持和建议。实验过程中，老师多次指出我的问题，提供了许多建议。老师严谨求实的治学态度，踏实坚韧的工作精神，使我受益良多。再在此，谨向实验指导老师致以诚挚的谢意和崇高的敬意。

参考文献

[1]周润景 托亚 王亮 Multisim和LabVIEW电路与虚拟仪器设计技术. 北京航空航天大学出版社 (第 2 版)2014.9

附 录

元件清单

元件	数量	元件	数量
BF799	3个	350 Ω	2个
二极管1N148	2个	50 Ω	1个
BF450	2个	5K Ω	1个
BF240	2个	16.5K Ω	1个
BD135	2个	4k Ω	1个
16.5V 电源	2个	电容 200pF	1个
400m Ω	2个	电容 47nF	1个
10 Ω	2个	电容 40uF	1个
信号发生器	1个	电容 200nF	1个
失真分析仪	1个	2K Ω	1个
功率表	1个	波特测试仪	1个
电压表	2个	电容1pF	1个
1.5K Ω	1个	16.5K Ω 滑动变阻器	1个