

# 电子科技大学

## 《Multisim 与电路仿真设计》实验报告

实验 2: 功率放大器分析设计

学生姓名: 李聪 学号: 2019010398114

教师姓名: 张彪 日期: 2021-9-23

### 一、实验目的与任务

#### 1、实验目的

理解功率放大器结构及原理，掌握功率放大器设计和分析方法；仿真分析用分立元件构成的 OCL 电路特性；用集成功放器件设计一个音频功率放大器。

#### 2、实验内容

##### \* 1、OCL 电路波形失真测量

电路如图 1 和图 2， $f=1\text{kHz}$ ，三极管选用 2N3904 和 2N3906，直流电源为正负 12V， $R_L=200\Omega$ 。

- 令  $v_1=3\text{V}$ （峰值），用示波器测试图 1 和图 2 输出电压波形，观察波形是否产生了失真。

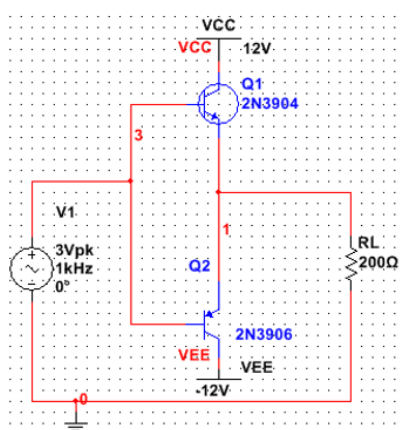


图1

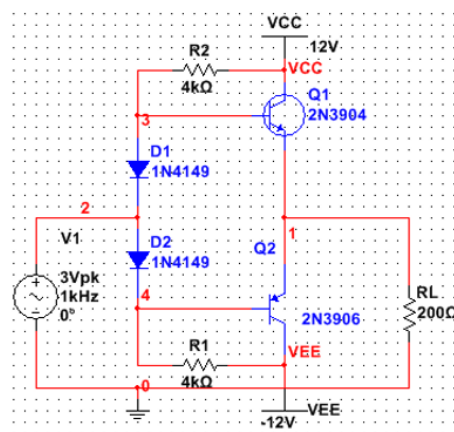


图2

#### 2、OCL 甲乙类放大电路测量

电路如图 2。

令  $v_1=0\text{V}$ ，测试电路静态工作点，完成表 1。

扫描参数  $v_1$  ( $-20\sim 20\text{V}$ )，用直流扫描分析电路的最大不失真输出电压，用光标测试最大不失真输出电压峰峰值  $U_{opp}$ 。

$$U_{opp} = U_{o\max} + -U_{o\max}$$

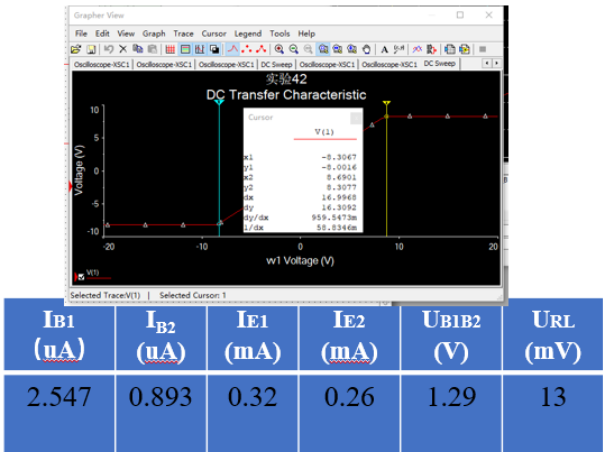


表1 静态工作点实验数据

2、OCL 甲乙类放大电路测量

电路如图 2。

$v_1=3V$ ，用瓦特表测试负载输出的交流功率  $P_o$ ，用万用表测试直流源的直流电流，计算直流电源的平均功率  $P_v$ ，并计算电路效率 。

逐渐增大  $v_1$ ，使负载电压刚好出现失真(此时输出电压峰峰值为最大不失真电压  $U_{opp}$ )，记录此时  $V_1$  的电压  $v_{1\max}$  和输出电压波形，测试此时的效率，完成表 2。

$v_1$ (V)	$I_{-V_{cc}}$ (mA)	$I_{-V_{ee}}$ (mA)	$P_v$ (mW)	$P_o$ (mW)	效率 (%)
3	7.4	7.3	176	20.4	11.5
$v_{1\max}$	18.3	18.2	438	235.5	53.7

表2 输出功率和效率实验数据

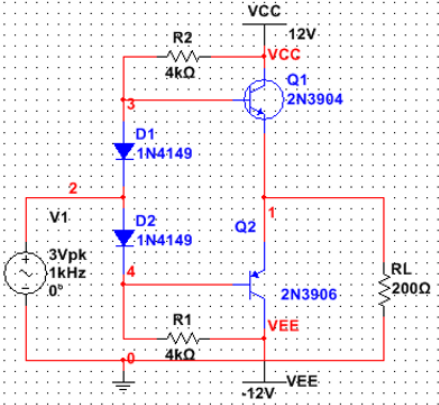


图2

图2

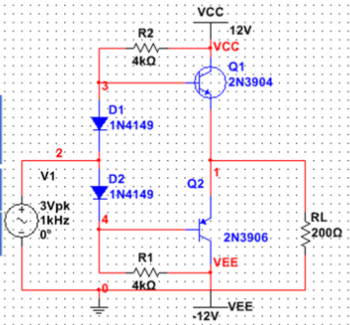


图2

3、音频功率放大器仿真分析

电路如图 3，采用 TDA2030 设计一个音频功放。正负 14V 电源，输入电压有效值 250mV， $f=1kHz$ ， $R_L=4\Omega$  。

调整反馈电阻  $R_1$  的值，测试输出功率不同时的输出波形，失真度和电压放大倍数，完成表 3。

P <sub>o</sub> (W)	10	15	18
R <sub>1</sub> (kΩ)	15.6	20.5	22.5
THD (%)	0.014	0.027	0.036
电压放大倍数	25.2	31.1	34.1

表3 音频功放测试数据

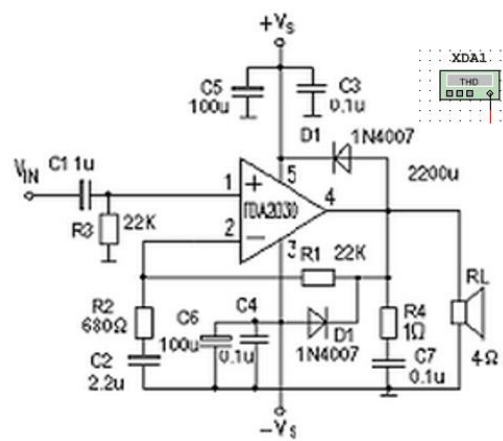


图3

二、实验原理

1. 功放电路性能指标

- 最大不失真输出电压有效值  $U_{om}$
- 输出功率

即在电源电压一定的情况下，最大不失真输出电压最大。

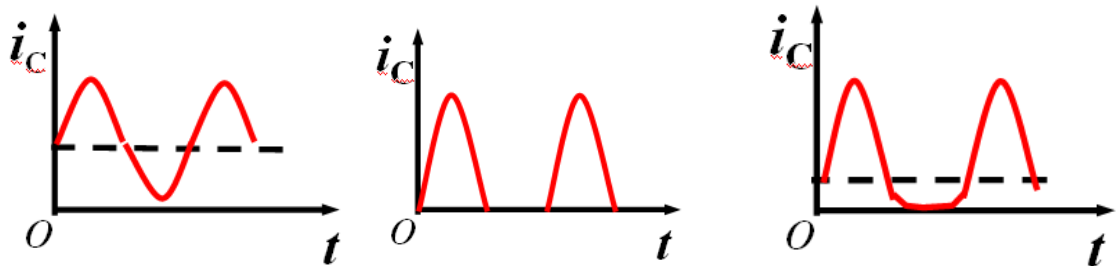
- 效率

即电路损耗的直流功率尽可能小，静态时功放管的集电极电流近似为0。

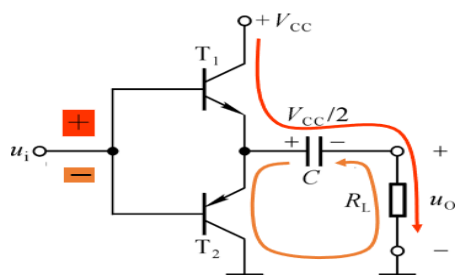
- 要求带负载能力强

2、功率放大电路基本原理

- 甲类方式：晶体管在信号的整个周期内均处于导通状态
- 乙类方式：晶体管仅在信号的半个周期处于导通状态
- 甲乙类方式：晶体管在信号的多半个周期处于导通状态



## □ OTL功放电路

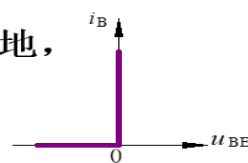


输入电压的**正半周**:

$+V_{CC} \rightarrow T_1 \rightarrow C \rightarrow R_L \rightarrow \text{地}$ ,  
输出为正。  $C$  充电。

输入电压的**负半周**:

$C \rightarrow T_2 \rightarrow \text{地} \rightarrow R_L \rightarrow C$ , 输出为负。  $C$  放电。



静态时, 要求  $U_{BQ} = U_{EQ} = \frac{V_{CC}}{2}$ 。

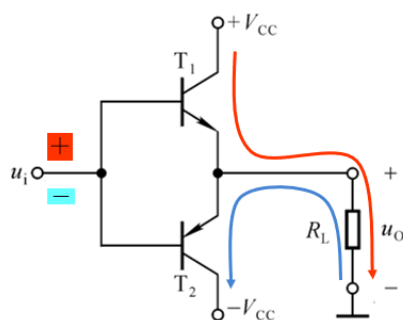
静态电流为零, 工作在乙类。

最大输出电压有效值

$$U_{om} = \frac{(V_{CC}/2) - U_{CES}}{\sqrt{2}}$$

$U_{CES}$  - BJT的饱和压降

## □ OCL功放电路



静态时,  $U_{EQ} = U_{BQ} = 0$ 。工作在乙类

输入电压的**正半周**:

$+V_{CC} \rightarrow T_1 \rightarrow R_L \rightarrow \text{地}$

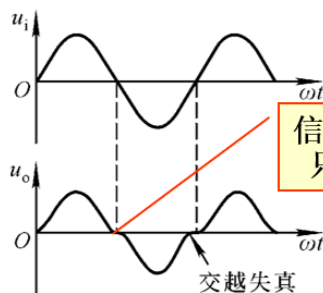
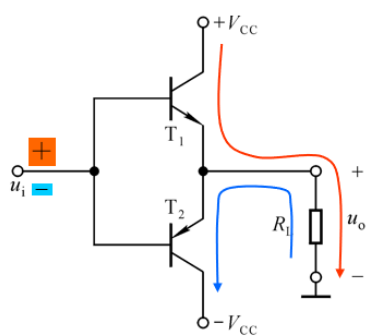
输入电压的**负半周**:

$T_2 \rightarrow -V_{CC} \rightarrow \text{地} \rightarrow R_L$

$$U_{om} = \frac{V_{CC} - U_{CES}}{\sqrt{2}}$$

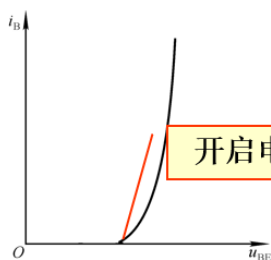
两只不同类型管子交替工作, 两路电源交替供电, 双向跟随, 称为“**互补**”工作方式。计算增益可**仅考虑一个放大管!**

### 3. 交越失真



信号在零附近两管子均截止

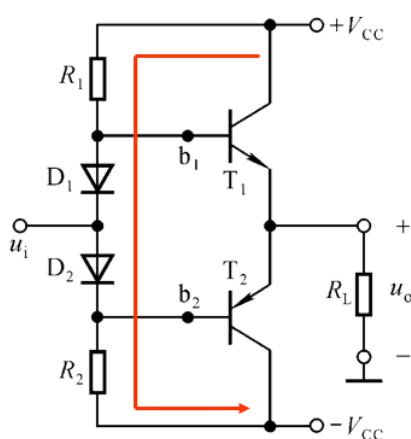
消除失真的方法：  
设置合适的静态工作点。



开启电压

- ① 静态时  $T_1$ 、 $T_2$  处于临界导通状态，有信号时至少有一只导通；
- ② 偏置电路对动态性能影响要小。

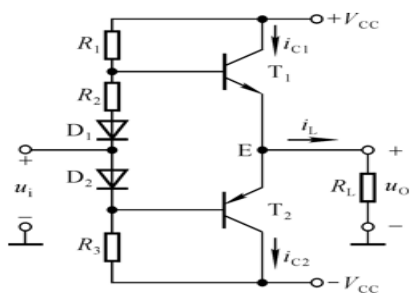
消除交越失真的互补输出级



静态：  $U_{b1b2} = U_{D1} + U_{D2}$   
可以让两只BJT处于临界导通状态  
动态：  $u_{b1} \approx u_{b2} \approx u_i$   
因为二极管动态电阻很小

功放管工作在甲乙类，可以消除交越失真。

最大输出功率计算（OCL）



$$U_{om} = \frac{V_{CC} - U_{CES}}{\sqrt{2}}$$

$$P_{om} = \frac{(V_{CC} - U_{CES})^2}{2R_L}$$

效率计算

$$P_{om} = \frac{(U_{om})^2}{2R_L} = \frac{(V_{CC} - U_{CES})^2}{2R_L}$$

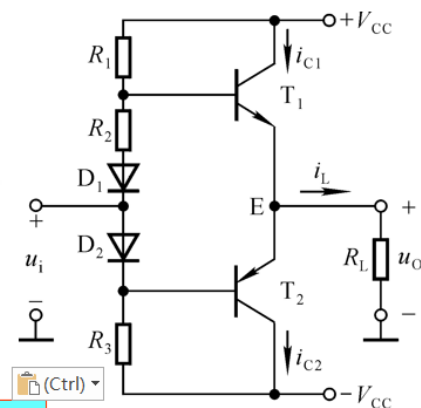
$$P_V = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \frac{V_{CC} - U_{CES}}{R_L} \cdot \sin \omega t \cdot V_{CC} d(\omega t)$$

$$= \frac{2}{\pi} \cdot \frac{V_{CC} (V_{CC} - U_{CES})}{R_L}$$

电源平均电流

$$\eta = \frac{P_{om}}{P_V} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{U_{om}}{V_{CC}} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{V_{CC} - U_{CES}}{V_{CC}}$$

最大效率为78.5%（忽略饱和压降）



晶体管的极限参数

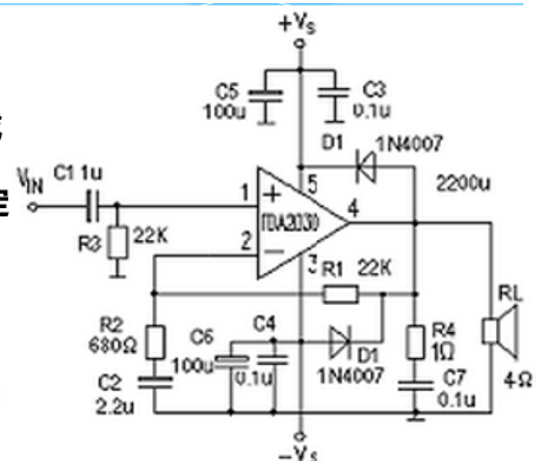
$$\begin{cases} I_{CM} > i_{Cmax} \approx \frac{V_{CC}}{R_L} \\ U_{CEO(BR)} > u_{CEmax} \approx 2V_{CC} \\ P_{CM} > P_{Tmax} \approx 0.2 \times \frac{V_{CC}^2}{2R_L} \end{cases}$$

TDA2030 典型电路

各元件作用：

- R3是直流平衡电阻，同时与C1构成高通响应，用以滤除低频信号。
- R1、R2和C2构成负反馈电路，决定电路的电压增益及低端截止频率。  
 $A_u \approx R_1/R_2$

- R4和C7可以稳定频率，防止电路自激。
- D1、D2用以保护集成块。



双电源供电

三、实验步骤

- 1、首先搭建简易的 OCL 互补放大电路，测试失真波形。
- 2、在简易的 OCL 放大电路的基础上添加二极管补偿，再根据实验内容测试各点电流电压。
- 3、根据 TDA2030 集成功放芯片典型外围电路，搭建电路并进行仿真测量。

#### 四、实验数据和数据分析

静态工作点测量结果如图 1 所示

电压交越失真测试结果如图 2 所示

二极管补偿交越失真测试结果如图 3 所示

参数扫描测试结果如图 4 所示

功率为 10w 测试结果如图 5 所示

功率为 15w 测试结果图片如图 6 所示

功率为 15w 测试结果响如图 7 所示

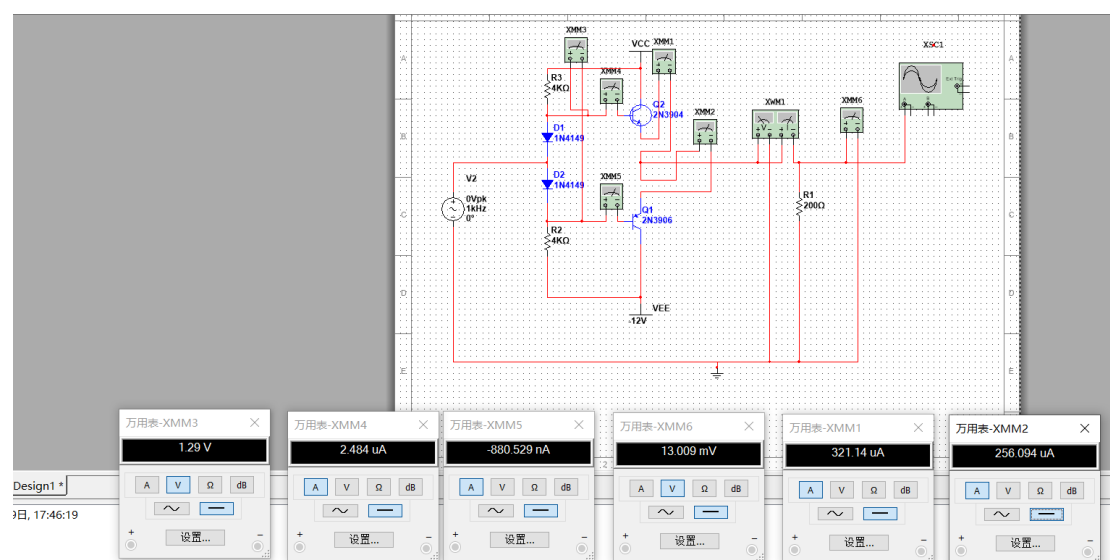


图 1

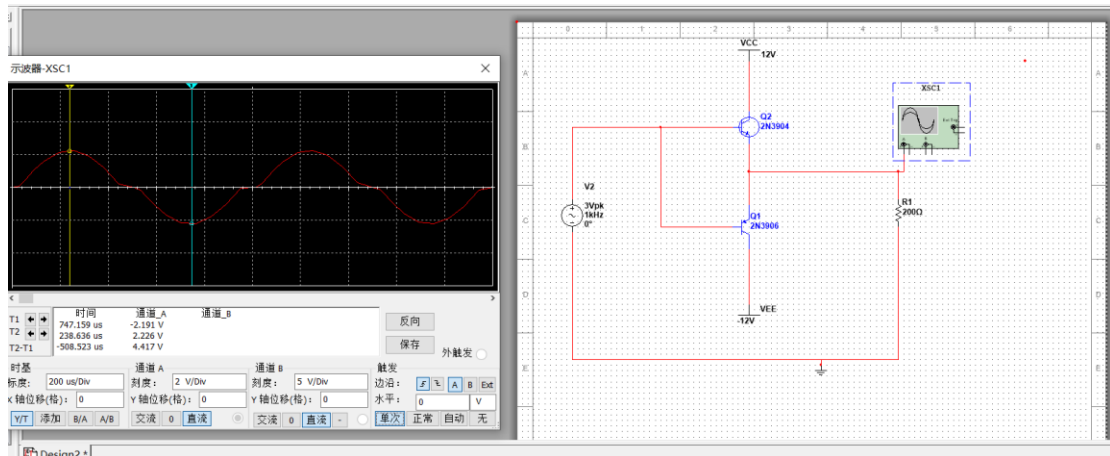


图 2

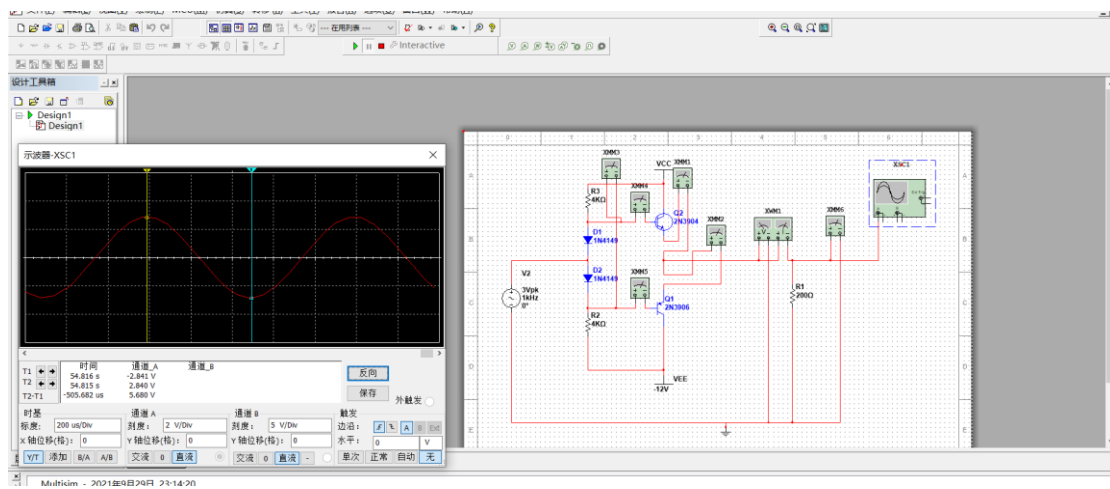


图 3

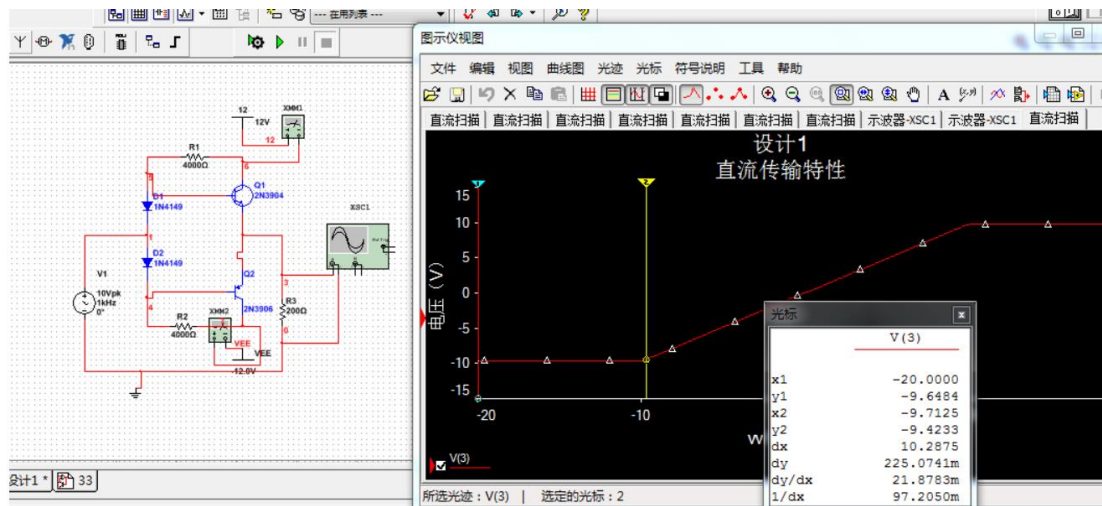


图 4



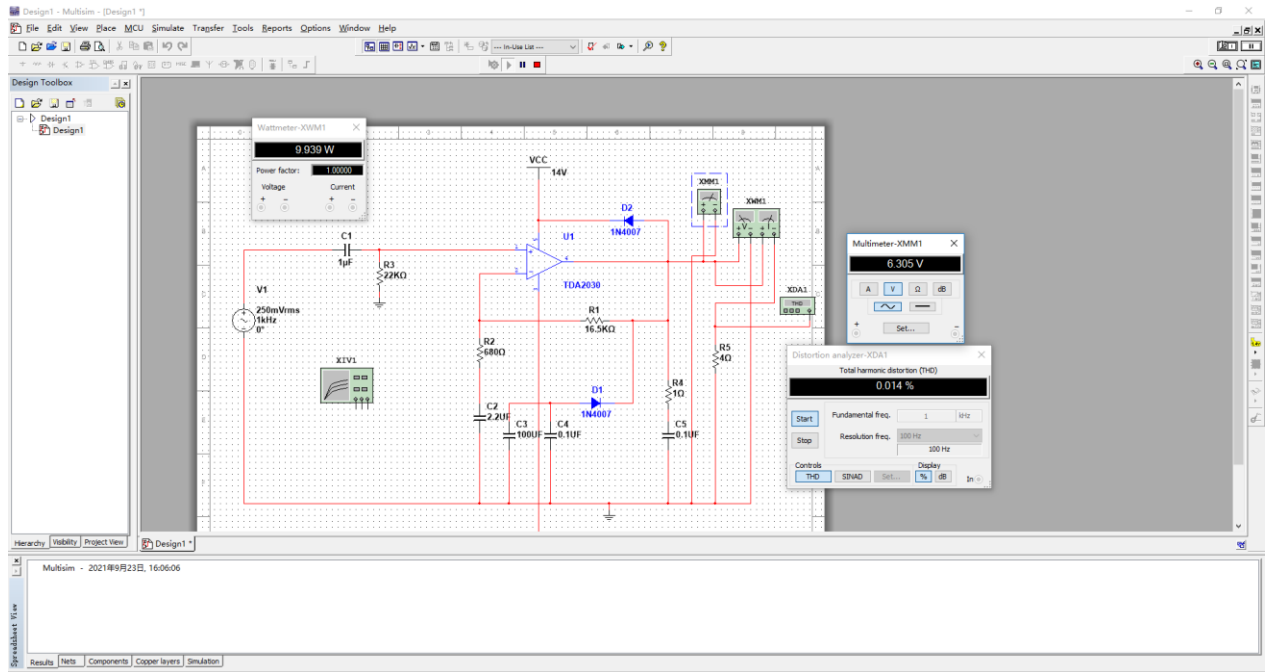


图 5

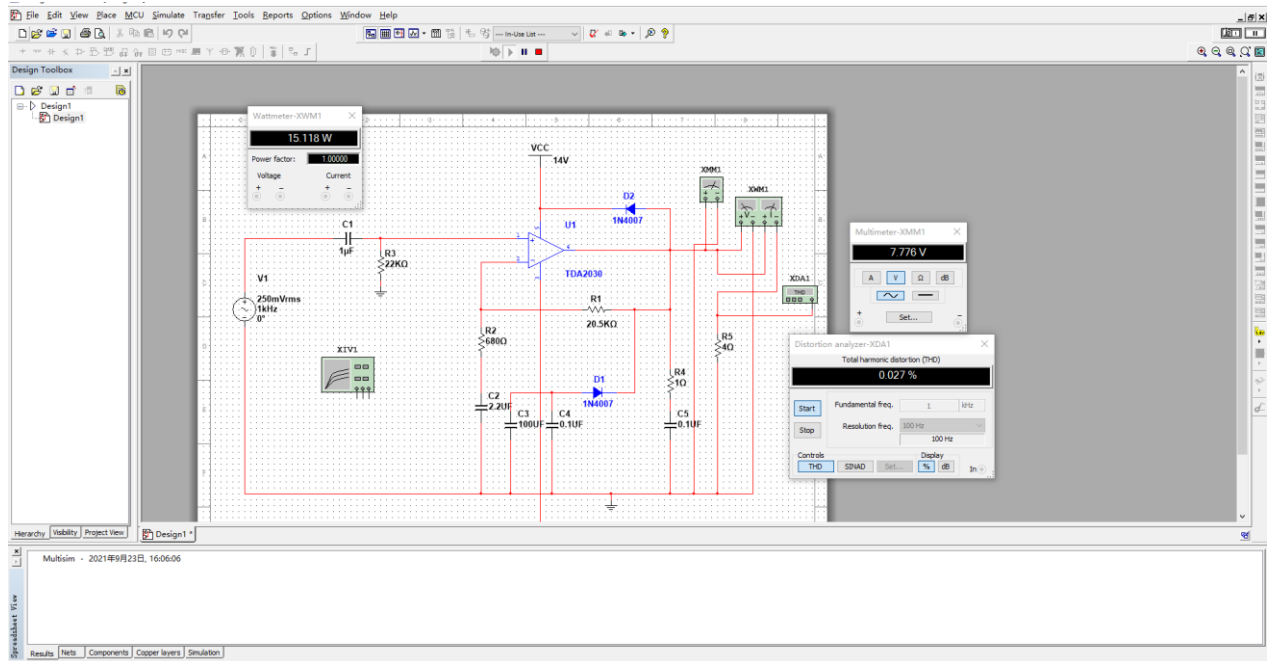


图 6

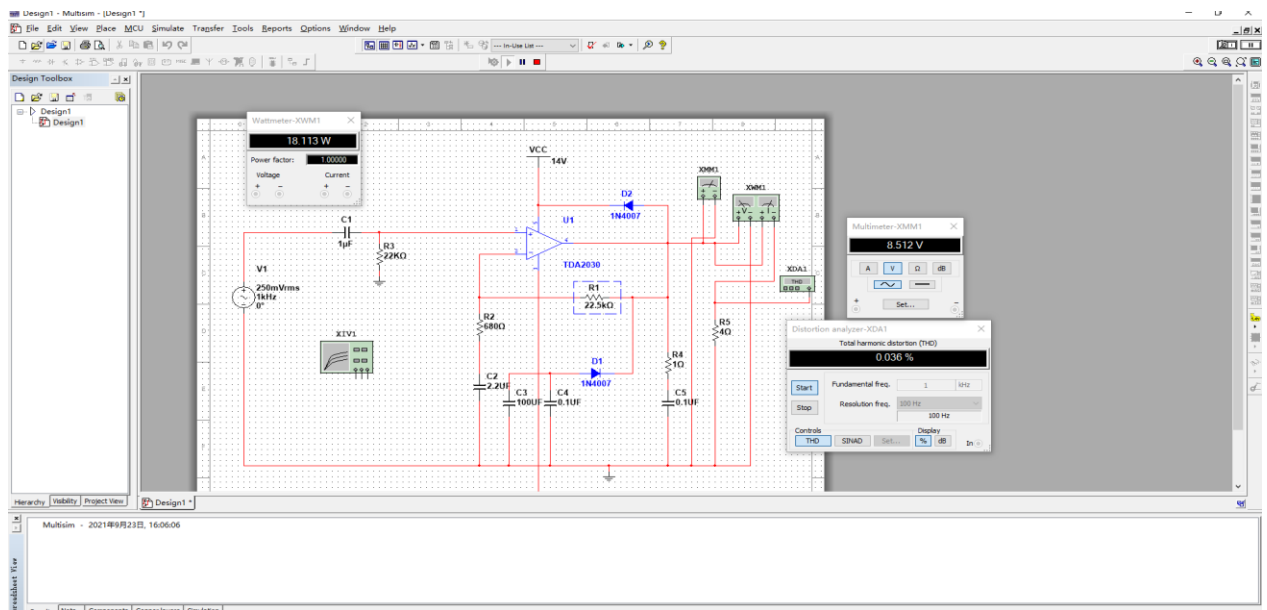


图 7

1. OCL 电路的波形有一个交越失真。
2. 在一定限度内，功放电路的效率随负载功率的增加而增加。
3. 放大倍数的提高会导致 THD 增加。

## 五、回答问题

问题 1：分析图 1 波形失真的原因

三极管再 PN 节导通前有一个截止区域导致电压波形失真。

问题 2：分析表 2 中效率不一样的原因。

表二中效率不同的原因源于输入电压的不同，导致计算结果的不同。

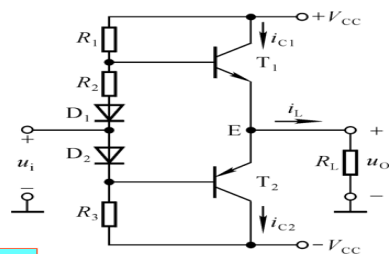
$$P_{om} = \frac{(U_{om})^2}{2R_L} = \frac{(V_{CC} - U_{CES})^2}{2R_L}$$

$$P_V = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \frac{V_{CC} - U_{CES}}{R_L} \cdot \sin \omega t \cdot V_{CC} d(\omega t)$$

$$= \frac{2}{\pi} \cdot \frac{V_{CC} (V_{CC} - U_{CES})}{R_L}$$

$$\eta = \frac{P_{om}}{P_V} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{U_{om}}{V_{CC}} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{V_{CC} - U_{CES}}{V_{CC}}$$

最大效率为78.5%（忽略饱和压降）



## 六、总结

通过本次实验，我理解功率放大器结构及原理，掌握功率放大器设计和分析方法；仿真分析用分立元件构成的 OCL 电路特性；用集成功放器件设计一个音频功率放大器，但是在试验的过程中，我把 PNP 管子的方向链接错了导致我的实验验收结果并不理想，但我回去以后继续仿真测试，完成了实验，顺利的测试出了数据。在今后的学习过程中，我应该注意细节的处理，避免再犯低级的错误。