

## 实验 03 共射极晶体三极管单管放大电路设计

### 实验学生个人信息栏

课序号： 04 班级： 2307 学号： 20232241110 姓名： 刘晨旭

### 实验 03 得分：

实验教师（签字）： \_\_\_\_\_

### 一、实验目的

- 使用软件 Altium Designer 对于共射极单管放大电路图进行绘制，通过改变电位器的参数进行多组静态工作点的仿真模拟。
- 通过实验数据求出负载电阻分别为 2.3K 和正无穷大时的放大倍数。
- 使用最小二乘法对上文中所求出的数据进行拟合，使用 matlab 对比理论直流负载曲线与仿真模拟得到的直流负载曲线。

### 二、实验设备与器件

器件名称	标识符
正弦交流电源	Vin
直流稳压电源	Vcc
电位器	Rw
电阻	R
电解电容	C
NPN 型三极管	Q
接地	GND

### 二、实验操作过程及结果分析

首先使用 AD 按照实验原理图绘制实验所需要的仿真电路图。

#### （1）静态工作点的仿真求解

仿真实验得到仿真数据，将数据放入 matlab 的 cftool 中进行拟合，得到直流负载曲线。通过对比附件 3.2 的数据与图像和实验教程中的图像与数据，我们证实了实验的有效性

#### （2）电压放大倍数的求解

通过仿真实验中将负载电阻分别设置为正无穷大和 2.4k，接着使用软件内的 cursor 功能分别求出输出电压和输入电压的峰值之差，代入公式分别求出两种情况的电压放大倍数，如附件 3.3.

#### （3）饱和失真与截止失真的研究

首先将电位器的参数调大，可以使得电压发生饱和失真如图 Figure 1

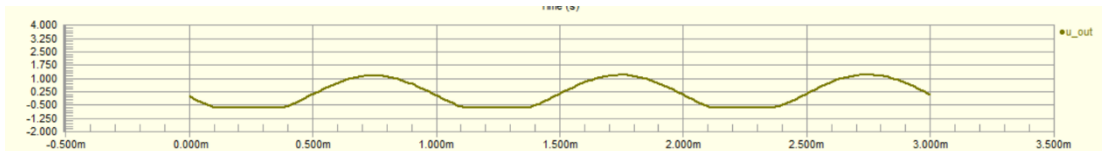


Figure 1

接着将电位器的参数调小，理论上可以使得电压发生截止失真，但是实验结果表明发生的截止失真并不明显，笔者接着通过调大输入电压使得截止失真现象更加明显。

（4）最后使用 `matlab` 通过最小二乘法根据仿真数据拟合出了直流负载曲线，再根据实验教材上的理论知识求出直流负载曲线的理论表达式，将两个曲线分别使用 `matlab` 绘制，比较证明仿真实验比较符合理论预期。

#### 四、实验总结、建议和质疑

相比于之前的两次实验，本次实验使用 AD 种的 `cursor` 功能，使我学会了如何追踪交流曲线的时刻电流与电压的值。同时通过编辑论文中的公式也加强了我撰写专业性文章的能力，通过使用 `matlab` 里的 `cftool` 等工具也增强了我对于 `matlab` 的熟练程度。

同时，通过真正地实验也使得我对于三极管的放大特性有了进一步的了解，这对于我的模拟电路理论学习有很大的帮助。

#### 五、附录

附录 3.1 晶体管共射极单管放大电路原理图的设计

附录 3.2 静态工作点的仿真求解

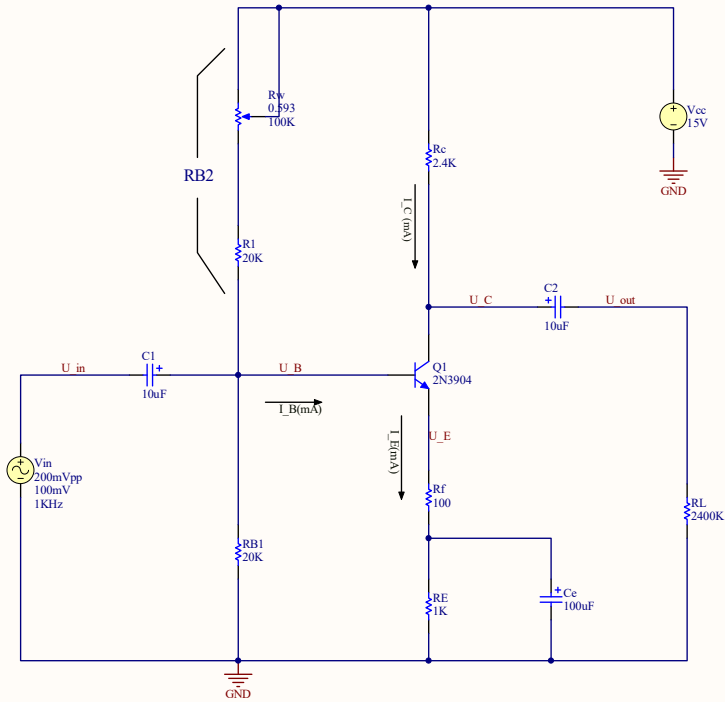
附录 3.3 电压放大倍数  $A_u$  的求解

附录 3.4 饱和截止失真的研究

附录 3.5 拟合直流负载曲线

附录3.1 晶体管共射极单管放大电路原理图的设计

课序号：04    班级：2307    学号：20232241110    姓名：刘晨旭



Title 晶体管共射极单管放大电路		
Size A4	Number	Revision
Date: 2024/5/14	Sheet of	
File: C:\Users\EXP03 2307 20232241110.Sch	Drawn By:	

### 附录 3.2 静态工作点的仿真求解

如图 Figure 1 所示,当 $i_c$ 为 2.5000mA 时, $U_C=9.001V$ 、 $U_E=2.700V$ 、 $U_B=3.411V$ 、 $U_{CE}=6.231V$ ,此时  $R_{B2}=67.18K\Omega$

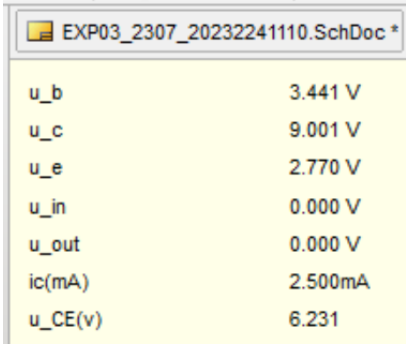


Figure 1

仿真得到下面 7 组数据,导入 matlab 进行最小二乘法拟合曲线,得到图 Figure 2,拟合性能如图 Figure 3 所示

Table 1		
Rw	ic (mA)	u_CE(V)
0.1000	1.3350	10.3200
0.3000	1.6820	9.1090
0.5000	2.1810	7.3540
0.5930	2.5000	6.2310
0.7000	2.9760	4.5610
0.8000	3.5790	2.4450
0.9000	4.2360	0.1060

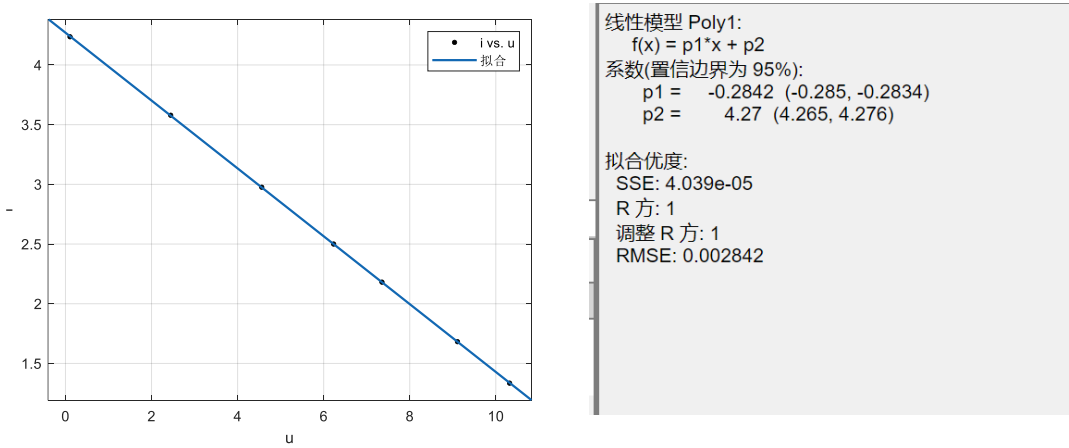


Figure 2

Figure 3

### 附录 3.3 电压放大倍数 $A_u$ 的仿真求解

一. 负载电阻  $R_L$  为  $2.4K$  时交流电压输入输出关系曲线图：

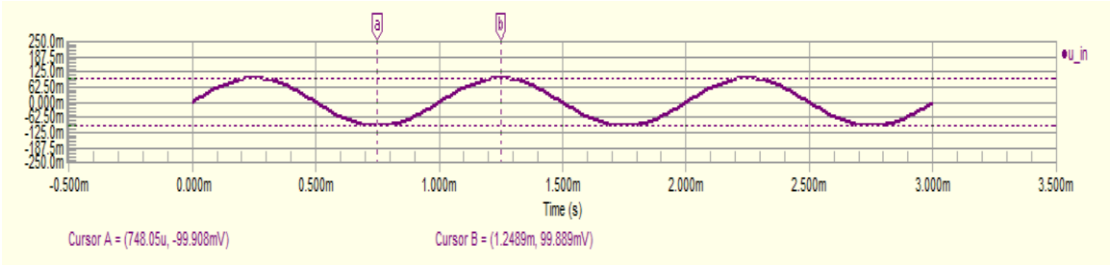


Figure 1  $u_{in}$

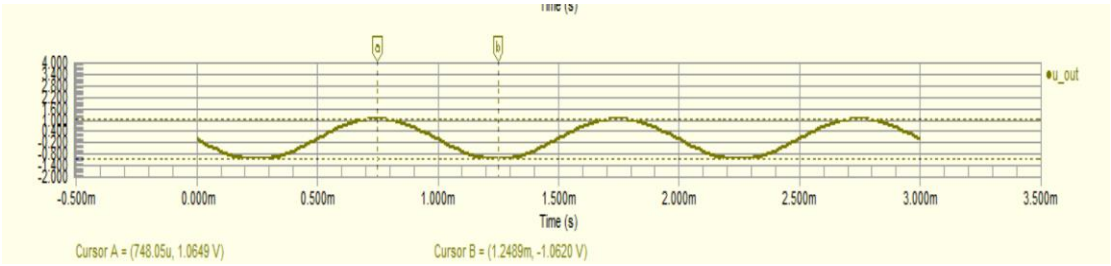


Figure 2  $u_{out}$

通过仿真,可以观察得到频率、周期等数值,使用 CursorA/B 功能可以更为准确的得到  $u_{out}$  的最大值和最小值,观测数据如下表所示

Table 1 2.4k 下的数据				
	频率 (Hz)	周期 (s)	最大值 (V)	最小值 (V)
输入信号 $u_{in}$	1K	0.001	0.099889	-0.09908
输出信号 $u_{out}$	1K	0.001	1.0694	-1.0620

参照表 Table 1 的数据可以求得负载电阻为  $2.4K \Omega$  时交流电压的放大倍数为:

$$A_u = -\frac{u_{opp}}{u_{ipp}} = -\frac{u_{omax} - u_{omin}}{u_{imax} - u_{imin}} = -\frac{1.0694 - (-1.0620)}{0.099889 - (-0.09908)} = -10.712$$

二. 负载电阻  $R_L$  为  $2400K$  (无穷大) 时交流电压输入输出关系曲线图：

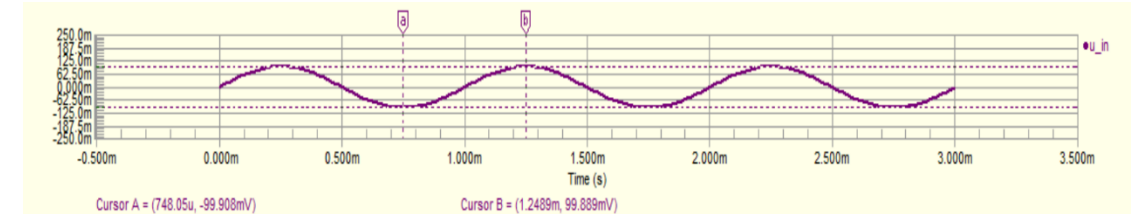


Figure 3  $u_{in}$

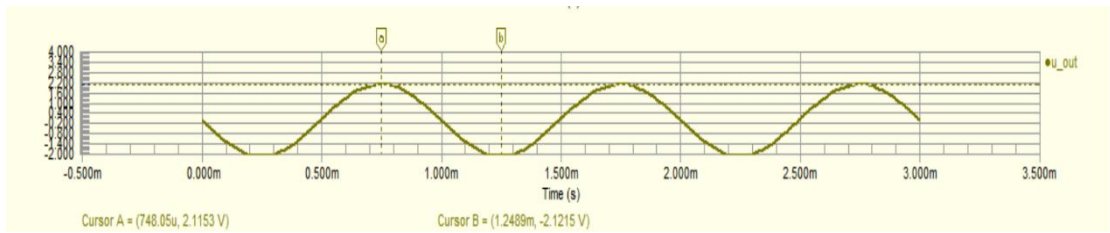


Figure 4 u\_out

通过仿真,可以观察得到频率、周期等数值,使用 CursorA/B 功能可以更为准确的得到 u\_out 的最大值和最小值,观测数据如下表所示

Table 2 2400k 下的数据

	频率 (Hz)	周期 (s)	最大值 (V)	最小值 (V)
输入信号 u_in	1K	0.001	0.099889	-0.09908
输出信号 u_out	1K	0.001	2.1153	-2.1215

参照表 Table 2 的数据可以求得负载电阻为无穷大时交流电压的放大倍数为:

$$A_u = -\frac{u_{opp}}{u_{ipp}} = -\frac{u_{omax} - u_{omin}}{u_{imax} - u_{imin}} = -\frac{2.1153 - (-2.1215)}{0.099889 - (-0.09908)} = -21.294$$

### 附录 3.4 饱和截止失真的研究

#### 饱和失真：

当  $R_w$  为 0.86 时，饱和失真，静态工作点的位置如图 Figure 1 所示

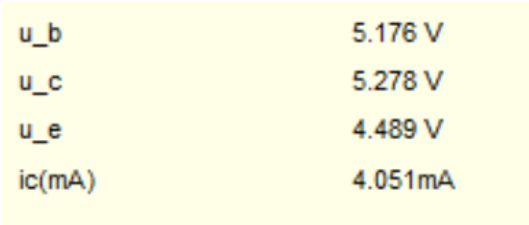


Figure 1 饱和失真静态工作点

其输入输出关系曲线图如图 Figure 2 所示

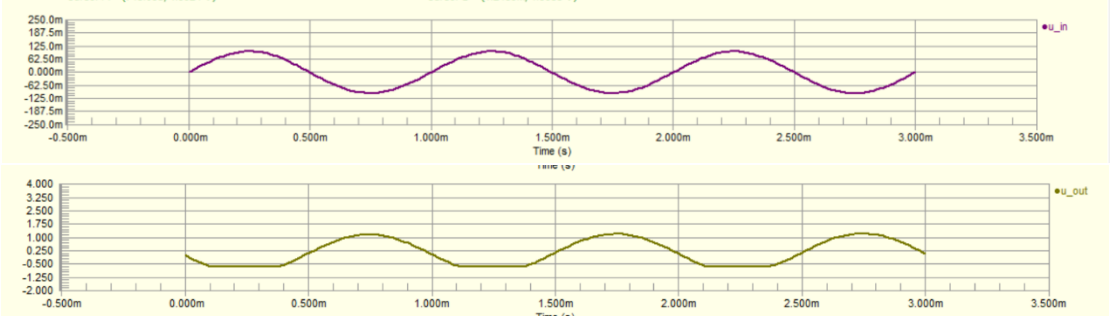


Figure 2 饱和失真输入输出图像

如图 Figure 2，输出正弦波的底部为平直的图像。通过实验发现：负载电阻越大，此平直效果越明显。因此可得结论：失真波形的改变和负载电阻有关。

#### 截止失真：

将电位器设置改为 0.001，得到图 Figure 3，可以看到即使把电位器调到 0.001，能观测到的截止失真现象依然不明显。

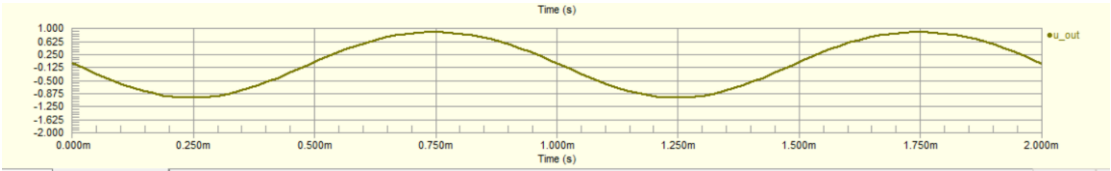
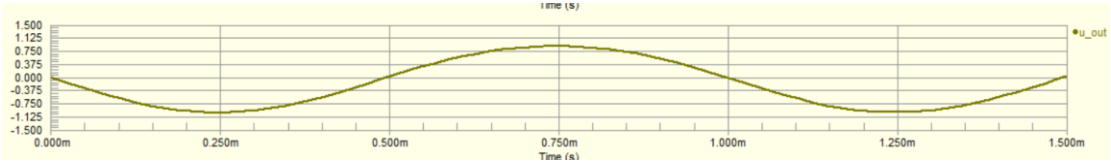


Figure 3

将输入信号调至峰值为 300mV，再次进行仿真模拟操作，得到图 Figure 4，虽然有限但是我们可以观测到一定的截止失真现象。



## 附录 3.5 用最小二乘法拟合生成直流负载线

参考附录 3.2 中的数据，利用最小二乘法可以进行曲线拟合。  
最小二乘法来拟合次数为一的曲线的公式如下：

$$y = kx + b \quad (1)$$

其中：

$$k = \frac{\sum xy - n\bar{x}\bar{y}}{\sum x^2 - n\bar{x}^2} \quad (2)$$

计算出斜率之后再次根据 $(\bar{x}, \bar{y})$ ，利用待定系数法来求出截距  $b$ 。

上述过程也可以使用 MATLAB 里面的 `cf tool` 来实现。最终我们可以得到拟合出的直流负载曲线的公式为：

$$y = -0.2842x + 4.27 \quad (3)$$

将原始数据、拟合曲线与理论曲线用 MATLAB 画出如图 Figure 1

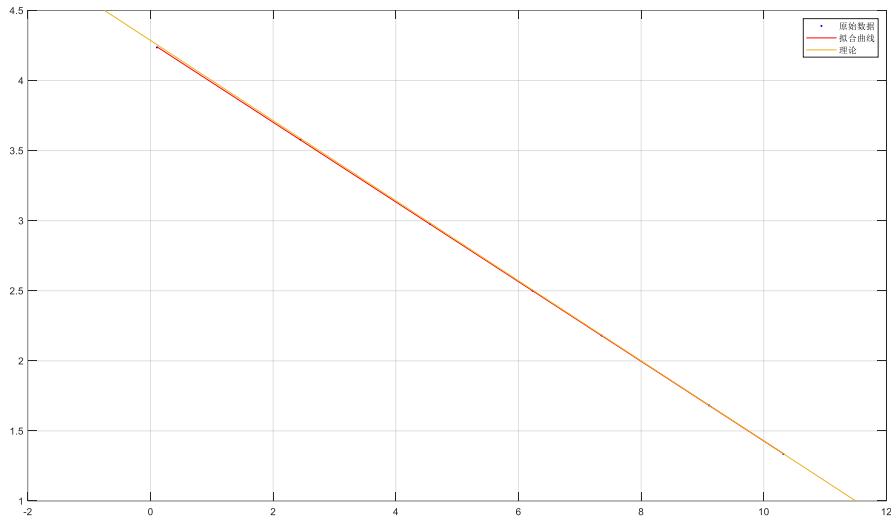


Figure 1

可以看出理论曲线与仿真数据拟合曲线非常相近，证明了仿真实验的有效性。

MATLAB 所用的代码如下：

```
x=[1.3350;1.6820;2.1810;2.5000;2.9760;3.5790;4.2360;];
```

```
y=[10.3200;9.1090;7.3540;6.2310;4.5610;2.4450;0.1060;];
```

```
[a,b]=createFit(y,x);
```

```
hold on;
```

```
y2=1:0.01:4.5;
```

```
x2=15-3.5*y2;
```

```
plot(x2,y2);
```

```
legend('原始数据', '拟合曲线', '理论');
```



```
hold off;

function [fitresult, gof] = createFit(y, x)

%% 拟合: '无标题拟合 1'。
[xData, yData] = prepareCurveData( y, x );

% 设置 fittype 和选项。
ft = fittype( 'poly1' );

% 对数据进行模型拟合。
[fitresult, gof] = fit( xData, yData, ft );

% 绘制数据拟合图。
figure( 'Name', '直流负载曲线' );
h = plot( fitresult, xData, yData );
legend( h, '原始数据', '拟合曲线', 'Location', 'NorthEast', 'Interpreter',
'none' );
% 为坐标区加标签
xlabel( 'y', 'Interpreter', 'none' );
ylabel( 'x', 'Interpreter', 'none' );
grid on
```