

# 晶体管共射极单管放大器

实验者：杨城昊 PB21061338 吴越 PB21000004

实验桌号：10

## 1 实验目的

1. 掌握放大器静态工作点的测量与调整方法。
2. 学习放大电路的交流特性等性能指标的测量方法。
3. 掌握静态工作点与输出波形失真的关系，了解最大不失真输出电压的测量方法。

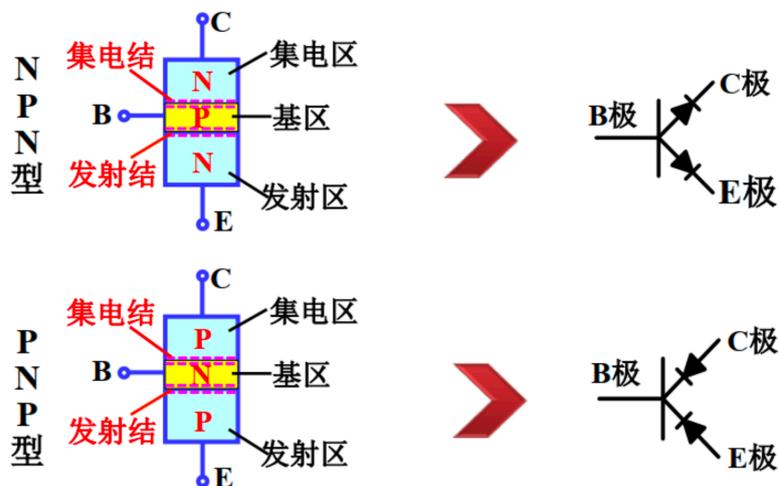
## 2 实验原理

### 2.1 三极管

#### 2.1.1 三极管的结构及类型

半导体三极管是由两个PN结构成，把半导体分成三个区域。

三极管有两种类型：NPN型和PNP型。三极管的内部等效图如下图所示：



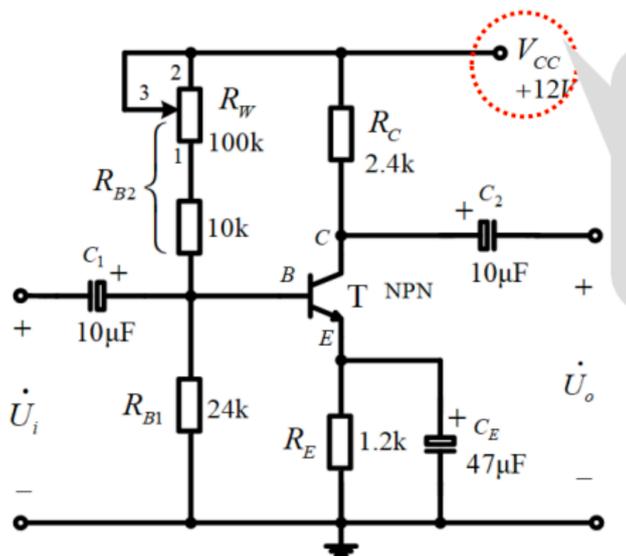
#### 2.1.2 三极管的电极判别

平面对着自己，引脚朝下，从左至右依次是E、B、C极。



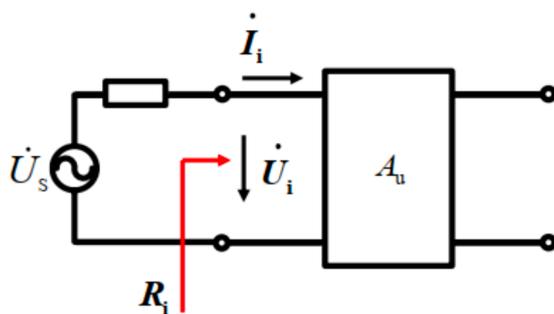
1—Emitter (发射极)  
 2—Base (基极)  
 3—Collector (集电极)

## 2.2 实验电路图



1. 三极管T: 是电路的核心, 工作在放大区, 实现电流放大。
2. 集电极直流电源 $V_{CC}$ : 为电路提供能量, 并保证集电结反偏。一般为几伏~几十伏。
3. 发射极电阻 $R_C$ : 将变化的电流转换为变化的电压, 以实现电压的放大。一般为几千欧~几十千欧。
4. 基极电阻 $R_{B1}$ 、 $R_{B2}$ : 保证发射结正偏, 并为电路提供大小合适的静态基极电流 $I_B$ 。
5. 耦合电容 $C_1$ 、 $C_2$ : 隔直通交。隔离输入、输出信号与电路直流的联系, 同时能使交流信号顺利输入输出。其为电解电容, 有极性, 一般为 $10\mu F$   $50\mu F$ 。
6.  $C_E$ : 对交流而言,  $C_E$ 短接 $R_E$ , 确保放大电路动态性能不受影响

## 2.3 输入电阻



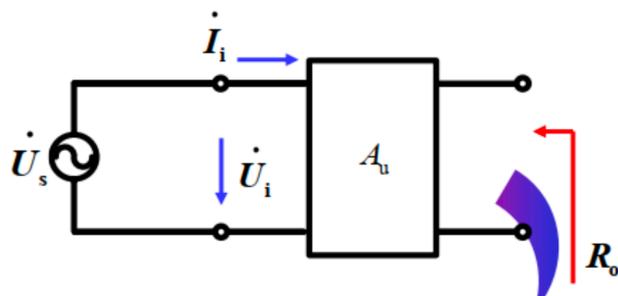
输入电阻是衡量放大电路从其前级取电流大小的参数。输入电阻越大，从其前级取得的电流越小，对前级的影响越小。计算公式如下：

$$\frac{U_i}{R_i} = \frac{U_s - U_i}{R} \quad (1)$$

可得：

$$R_i = \frac{U_i}{U_s - U_i} R \quad (2)$$

## 2.4 输出电阻



将放大电路等效为戴维南等效电路，这个戴维南等效电路的内阻就是输出电阻。定义 $R_o$ 为：

$$R_o = \frac{U_o}{I_o} \Big|_{U_s=0, R_s=\infty} \quad (3)$$

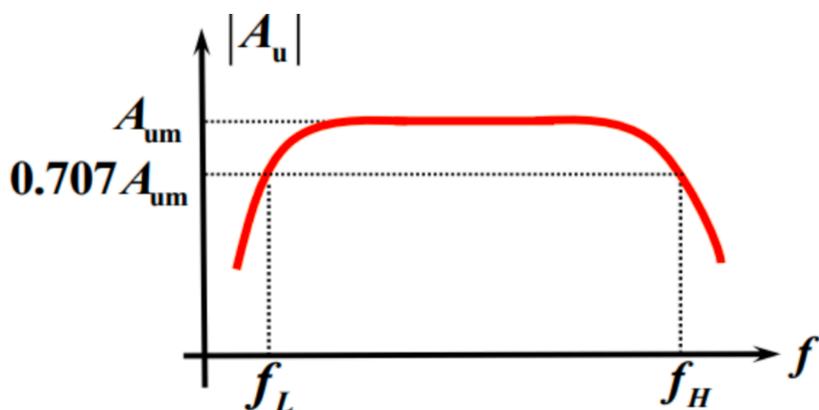
测量开路电压 $U_o$ ，测量接入负载后的输出电压 $U_L$ ，带入公式计算：

$$R_o = \left( \frac{U_o}{U_L} - 1 \right) R_L \quad (4)$$

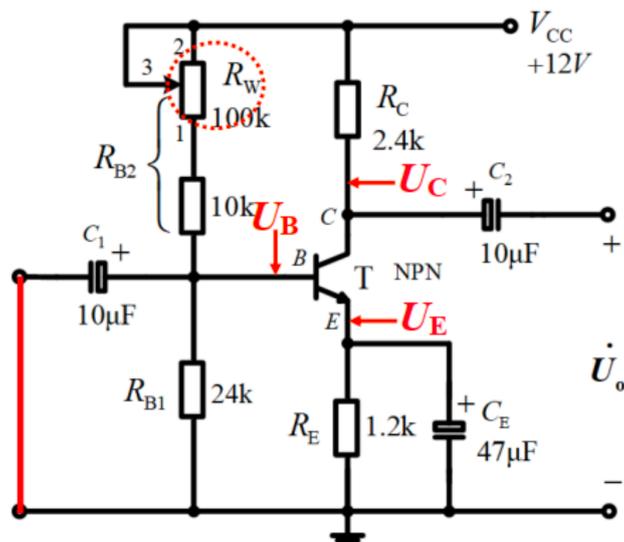
## 2.5 频率特性

随着信号频率的变化，当电压放大倍数下降到中频放大倍数的 $1/\sqrt{2}$ 时，即 $0.707A_{um}$

所对应的频率分别称为下截止频率 $f_L$ 和上截止频率 $f_H$



## 2.6 静态工作点的调试



### 静态工作点的选取:

静态工作点需设定在合适范围内，会影响到输出的动态范围、功耗、增益等。

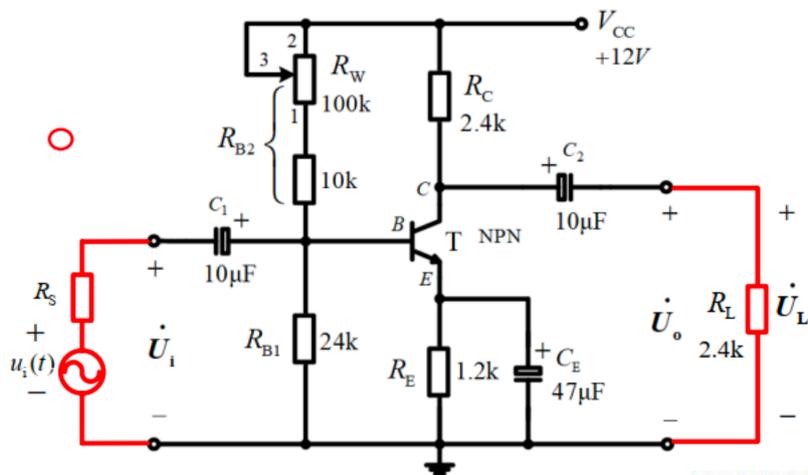
1. 若静态工作点位置过高，则三极管进入饱和区，发生饱和失真，其放大规律不再满足 $\beta$ 的线性关系。
2. 若静态工作点位置过低，且输入信号动态幅度较大，则元件可能进入截止区，发生截止失真。
3. 静态工作点应设置在输出特性曲线交流负载线的中点。当信号幅度逐渐增加时，同时发生两种失真。且信号幅度范围最大。

### 最佳静态工作点的调试:

1. 改成调解信号幅度足够大，使得输出一定失真
2. 调节电阻 $R_w$ 使输出的上半部一直增大，直到输出上半部不再增大
3. 然后减小信号幅度使得输出为不失真波形。
4. 用万用表直流挡测量静态工作点，用欧姆档测 $R_w$ ，用示波器画出波形图

## 2.7 电压放大倍数测试

实验电路如下图所示:



### 3 实验内容

#### 3.1 静态工作点的调整与测量

利用万用表蜂鸣档检测本次实验所用导线是否存在断路，并利用万用表欧姆档测量本次实验中使用到电阻的真实值。

$U_B(V)$	$U_E(V)$	$U_C(V)$	$R_{B2}(\Omega)$
3.0086	2.4063	7.0570	64.925k $\Omega$

表1

此时 $U_B - U_E = 3.0086 - 2.4063 = 0.6023V$ ，在硅管的参考范围内，可以认为调整好了静态工作点。

#### 3.2 电压放大倍数和输出电阻的测试

测量数据如下：

$$f = 1kHz, u_i = 10mV$$

$R_L(k\Omega)$	输出电压(V)	$A_u$
$\infty$	1.525	152.5
2.3596	0.768	76.8

表2

带入输出电阻公式：

$$R_0 = \left( \frac{U_o}{U_L} - 1 \right) R_L = \left( \frac{1.525}{0.768} - 1 \right) \times 2.3596 \Omega \approx 2.3258 \Omega \quad (5)$$

数据分析：

由共射放大电路的性质，理论上

$$A_u = -\beta \frac{R'_L}{h_{ie}} \quad (6)$$

因此理论上:

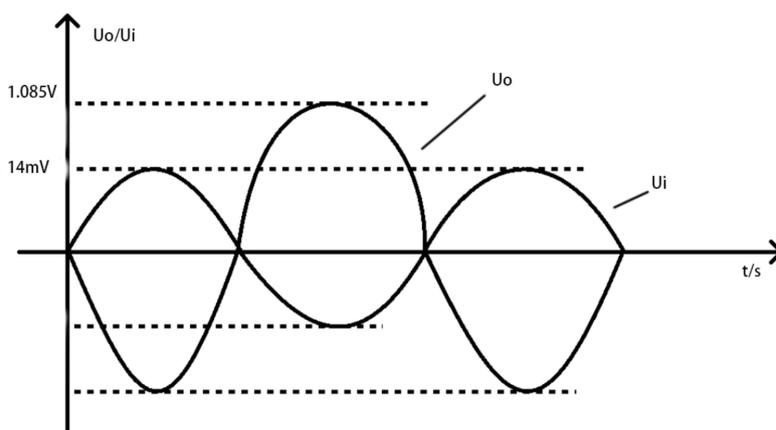
$$\frac{A_{u1}}{A_{u2}} = \frac{R'_{L1}}{R'_{L2}} = \frac{2.3596}{2.3596/2.3258} \approx 2.014 \quad (7)$$

即两个放大倍数约为2倍关系, 而实际上有:

$$\frac{A_{u1}}{A_{u2}} = \frac{152.5}{76.8} \approx 1.986 \quad (8)$$

即测量值也近似为两倍关系, 可以认为实验结果较为准确。

测量中 $U_o/U_i$ 波形图像如下:



可见 $U_o$ 与 $U_i$ 之间有一个波长的相位差, 这也与 $A_u$ 值为负这一点相吻合。

### 3.3 放大电路通频带的测试

测量数据如下:

$$U_i = 10mV, R_C = 2.4k\Omega, R_L = 2.4k\Omega$$

频率值	$f_L = 277Hz$	$f_0 = 10kHz$ (中频)	$f_H = 418kHz$
输入电压	$U_i = 10mV$	$U_i = 10mV$	$U_i = 10mV$
输出电压	$U_L/\sqrt{2} = 0.575V$	$U_L = 0.813V$	$U_L/\sqrt{2} = 0.575V$

表3

数据分析:

实验中从小到大逐渐增大输入信号频率调整为 $f_0 = 10kHz$ 附近时, 输出电压达到最大值 $U_L = 0.813V$

对应 $U_L/\sqrt{2} \approx 0.575V$

因此维持输入电压基本不变, 调整输入电压到截止频率, 有:

$$\begin{aligned} f_L &= 277Hz \\ f_H &= 418kHz \end{aligned} \quad (9)$$

从而得到通频带BW:

$$\Delta f_{0.7} = f_L - f_H = 418\text{kHz} - 277\text{Hz} = 417.723\text{kHz} \quad (10)$$

### 3.4 输入电阻的测试

测量数据如下:

$$U_i = 20\text{mV}, R_C = 2.4\text{k}\Omega, R_L = 2.4\text{k}\Omega$$

$U_s$	$U_i$	$R_i$
20.11mV	12.44mV	1.9546k $\Omega$

表4

在输出电压一定的情况下, 可以通过R的分压计算出输入电阻如下:

$$R_i = \frac{U_i}{U_s - U_i} R = \frac{12.44}{20.11 - 12.44} \times 1.9546\text{k}\Omega \approx 3.17\text{k}\Omega \quad (11)$$

即输入电阻约为3.17k $\Omega$

### 3.5 静态工作点对输出波形失真的影响

测量数据如下:

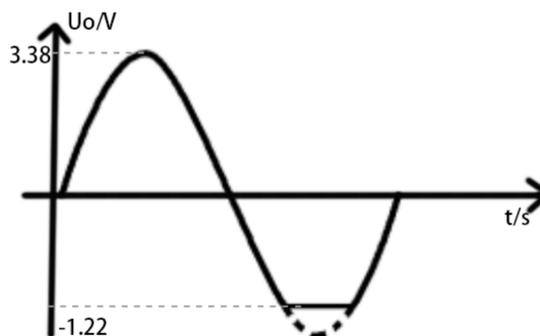
$$U_i = 18.04\text{mV}, R_C = 2.4\text{k}\Omega, R_L = \infty$$

$U_B(V)$	$U_B(V)$	$U_B(V)$	$R_{B2}(\Omega)$	失真情况	管子工作状态
4.5717	3.9410	4.0275	32.987	失真	饱和区
3.0086	2.4063	7.057	64.925	不失真	放大区
2.3091	1.6928	8.4313	92.314	失真	截止区

表5

三个区域的 $U_o$ 图像分别如下:

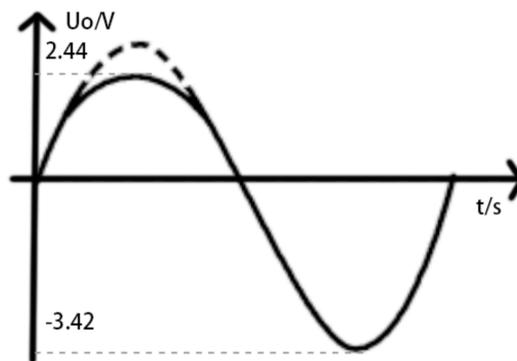
#### 1. 饱和区



#### 2. 放大区

同实验内容1, 为正弦信号。

### 3. 截止区



可见，必须设置合适的静态工作点，才能让共射放大电路正常工作。

否则在饱和区与截止区都会出现较大的失真情况。

## 4 实验总结

通过本次实验：

1. 掌握了放大器静态工作点的测量方法与调整方法。
2. 学习了放大电路的交流特性等性能指标的测量方法。
3. 掌握了静态工作点与输出波形失真的关系，了解了最大不失真输出电压的测量方法。

## 5 思考题

1. 加入输入信号时，输出波形会出现哪几种失真？分别是什么原因引起的？

答：加入输入信号后，输出波形可能会有三种失真，种类及原因如下：

### (1) 饱和失真

$I_{CQ}$ 过大时，三极管进入饱和区而引起的失真，形状为“削底”失真。

### (2) 截止失真

$I_{CQ}$ 过大时，三极管进入截止区而引起的失真，形状为“缩顶”失真。

### (3) 饱和与截止失真

$I_{CQ}$ 正常，但输入信号过大时，同时出现饱和与截止失真。

2. 调整静态工作点时， $R_{B2}$ 是10k电阻与电位器 $R_W$ 相串联，而不能直接用电位器，为什么？

答： $R_{B2}$ 起保护电阻的作用。若只使用电位器，当电位器调到零时，发射结直接与 $V_{CC}$ 相接。过大的电压可能会烧坏三极管，因此要接入 $R_{B2}$ 起保护电阻的作用。

3. 对于本次的单管放大电路，实现放大的条件是？

答：放大条件为：调整 $R_w$ 至合适的静态工作点，使得集电极反偏，发射极正偏，电路处于放大状态。

静态工作点位于合适的位置且输入信号不宜过大，避免输出信号发生失真。