

晶体管共射极单管放大器实验报告

1. 实验目的

- 1.1. 掌握放大器静态工作点的测量与调整方法。
- 1.2. 学习放大电路的交流特性等性能指标的测量方法。
- 1.3. 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。

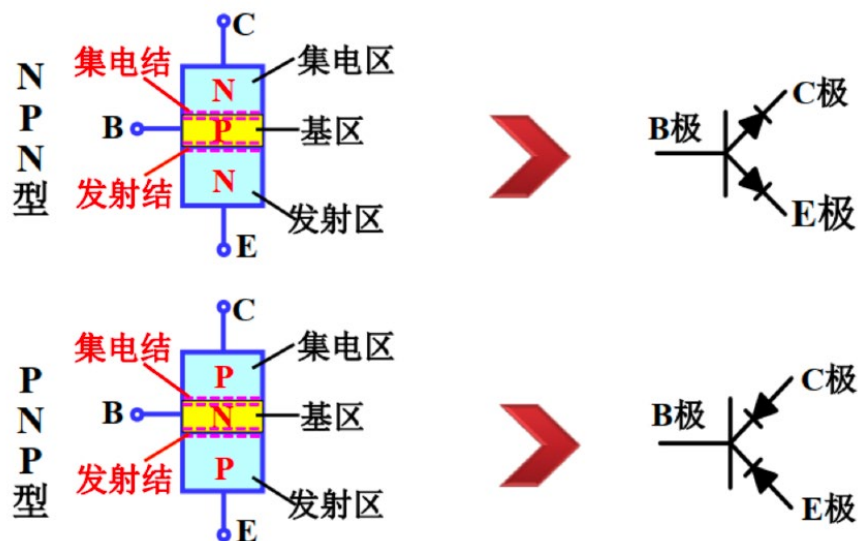
2. 实验原理

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：

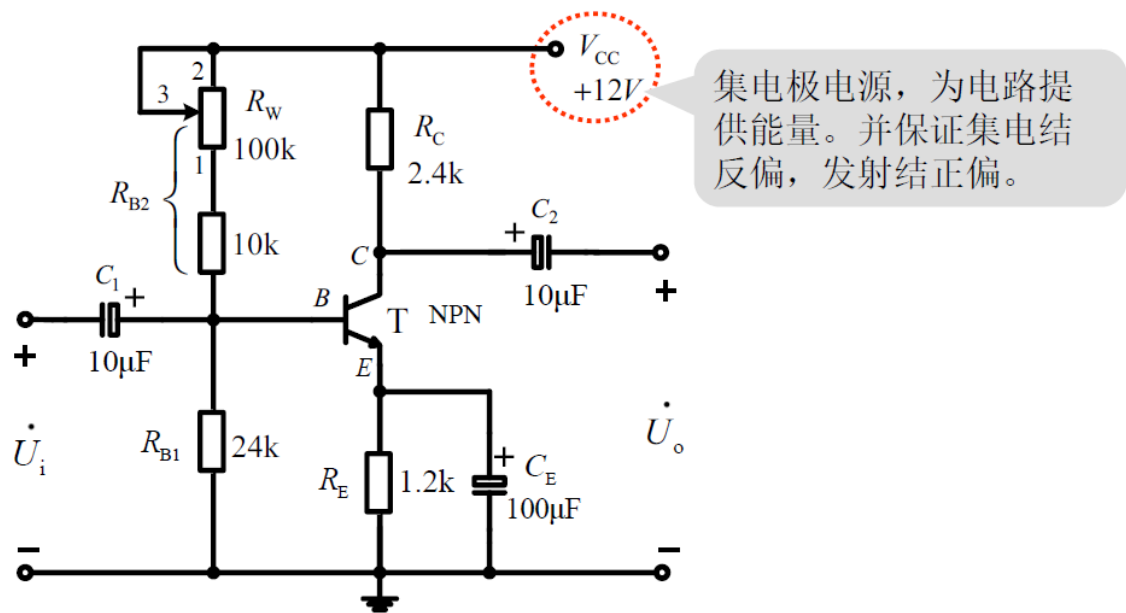


2.1.2. 三极管的电极判别

平面对着自己，引脚朝下，从左至右依次是 E、B、C 极。



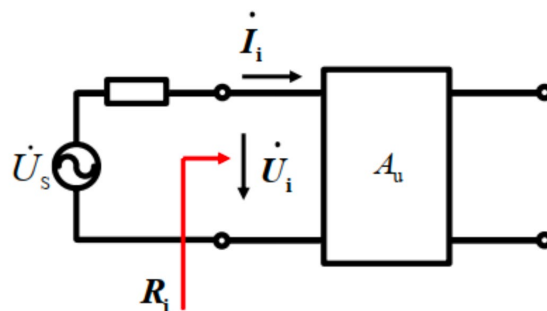
2.2. 实验电路图



各元件介绍：

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。一般为几伏到几十伏。
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。一般为几千欧到几十千欧。
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 $10\mu F$ 到 $50\mu F$ 。
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

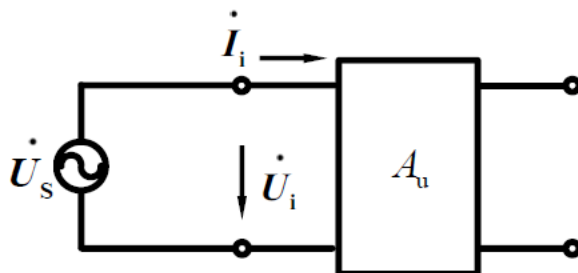
前级的影响越小。计算公式如下：

$$\frac{U_i}{R_i} = \frac{U_s - U_i}{R}$$

可得：

$$R_i = \frac{U_i}{U_s - U_i} R$$

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：

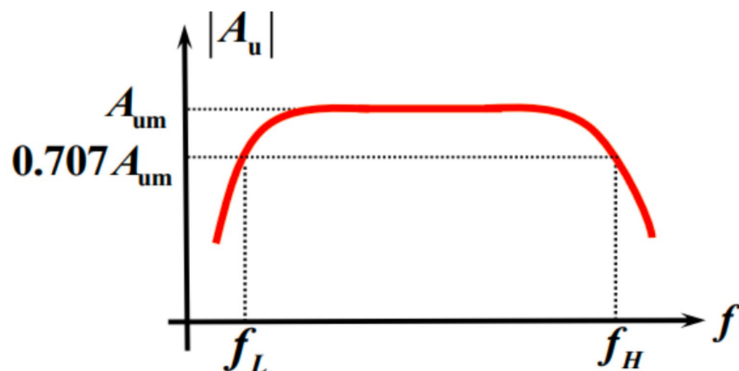
$$R_o = \frac{U_o}{I_o} \Big|_{U_s=0, R_s=\infty}$$

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：

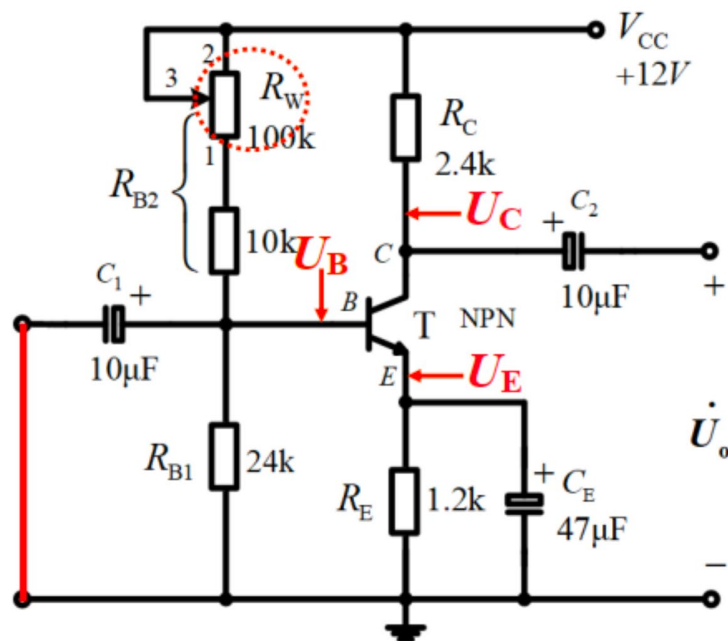
$$R_o = \left(\frac{U_o}{U_L} - 1 \right) R_L$$

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 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 时，即 $0.707A_{um}$ 时，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



2.6.1. 静态工作点的选取：

静态工作点需设定在合适范围内，它会影响到输出的动态范围、功耗、增益等。

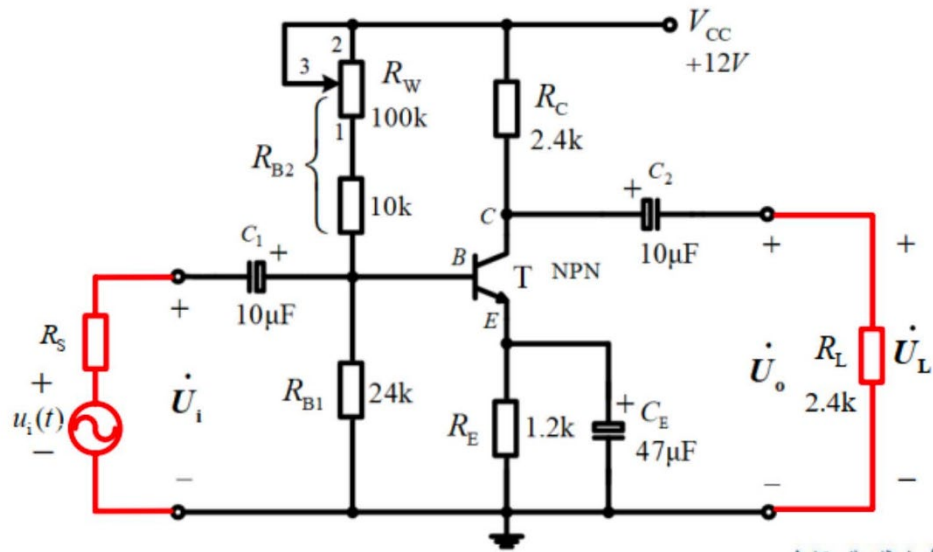
- 1) 若静态工作点位置过高，则三极管进入饱和区，发生饱和失真，其放大规律不再满足的线性关系。
- 2) 若静态工作点位置过低，且输入信号动态幅度较大，则元件可能进入截止区，发生截止失真。
- 3) 静态工作点应设置在输出特性曲线交流负载线的中点。当信号幅度逐渐增加时，同时发生两种失真。且信号幅度范围最大。

2.6.2. 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，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。

$U_B(V)$	$U_E(V)$	$U_C(V)$	$R_{B2}(\Omega)$
2.986	2.399	7.179	63.74k Ω

此时 $U_B - U_E = 2.986 - 2.399 = 0.587V$ ，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：

$$f = 1kHz, u_i = 5mV.$$

$R_L(k\Omega)$	输出电压(V)	A_u
∞	0.811	162.2
2.4	0.445	89.0

代入输出电阻公式得：

$$R_0 = \left(\frac{U_o}{U_L} - 1 \right) R_L = \left(\frac{0.811}{0.445} - 1 \right) \times 2.4k\Omega \approx 1.974k\Omega$$

数据分析:

由共射放大电路的性质, 理论上有:

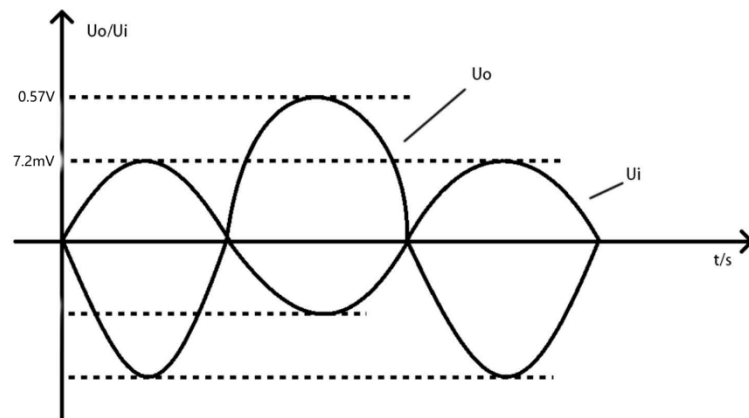
$$A_u = -\beta \frac{R'_L}{h_{ie}}$$

因此理论上有:

$$\frac{A_{u1}}{A_{u2}} = \frac{R'_{L1}}{R'_{L2}} = \frac{2.4}{2.4||1.974} \approx 2.216.$$

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 $\frac{U_o}{U_i}$ 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:

频率值	$f_L = 138Hz$	$f_0 = 10kHz$ (中频)	$f_H = 699kHz$
输入电压	$U_i = 5mV$	$U_i = 5mV$	$U_i = 5mV$
输出电压	$U_L/\sqrt{2}$	$U_L = 0.415V$	$U_L/\sqrt{2}$

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

$U_L = 0.415V$, 对应 $\frac{U_L}{\sqrt{2}} \approx 0.293V$.

维持输入电压基本不变, 调整输入电压到截止频率, 有:

$$f_L = 138Hz, f_H = 699kHz.$$

从而得到通频带 BW:

$$\Delta f_{0.7} = f_L - f_H = 698.862 \text{ kHz}.$$

3.4. 输入电阻的测试

$$U_S = 10 \text{ mV}, R_L = 2.4 \text{ k}\Omega.$$

U_s	U_i	R_i
9.40 mV	4.73 mV	2.025 k Ω

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：

$$R_i = \frac{U_i}{U_s - U_i} R = \frac{4.73}{9.40 - 4.73} \times 2 \text{ k}\Omega \approx 2.025 \text{ k}\Omega$$

即输入电阻约为 2.025 k Ω .

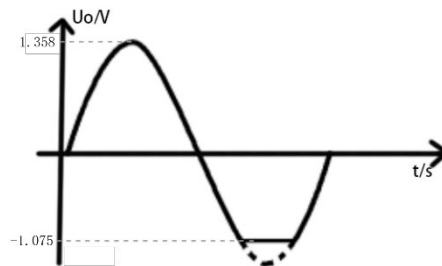
3.5. 静态工作点对输出波形失真的影响

测量数据如下：

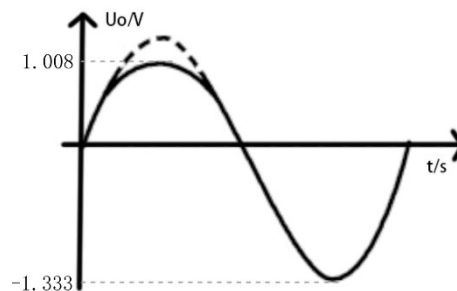
$$R_C = 2.4 \text{ k}\Omega, R_L = \infty, U_i = 10 \text{ mV}.$$

$U_B(V)$	$U_B(V)$	$U_B(V)$	$R_{B2}(\Omega)$	失真情况	管子工作状态
4.198	3.572	4.739	39.45	失真	饱和区
2.467	1.863	8.118	83.93	失真	截止区

饱和区的 U_0 图像如下：



截止区的 U_0 图像如下：



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. 思考题

4.1. 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？

常见失真类型：

1. 非线性失真（幅度失真）：

- 原因：输入信号幅度过大，导致三极管进入非线性工作区（例如进入饱和区或截止区），无法保持线性放大。

2. 截止失真：

- 原因：偏置电压不足，导致三极管在输入信号的负半周期时进入截止状态，输出波形被截断。

3. 饱和失真：

- 原因：输入信号幅度过大，导致三极管在输入信号的正半周期时进入饱和状态，输出波形被截断。

4. 频率失真：

- 原因：电容耦合或分布参数导致放大器对不同频率的响应不一致，尤其是高频或低频时出现衰减或失真。

4.2. 调整静态工作点时，RB2 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？

原因：

1. 保护三极管基极：

- 电阻 RB2 限流，防止电位器调到最低阻值时电流过大，烧坏三极管。

2. 稳定偏置电压：

- RB2 提供一定的固定电阻，防止因电位器调节不稳定或接触不良而导致偏置电压发生剧烈变化。

3. 增加调节精度：

- 串联电阻 RB2 可以细化电位器的调节范围，使工作点的调整更加精确。

4.3. 对于本次的单管放大电路，实现放大的条件是什么？

1. 合适的静态工作点：

- 确保三极管工作在放大区，即基极电压 V_B 、集电极电压 V_C 和发射极电压 V_E 满足放大区的条件。

2. 输入信号幅度适中:

- 输入信号不能过大，以免三极管进入饱和区或截止区，产生非线性失真。

3. 足够的增益:

- 放大电路的电阻配置和负载选择要能提供足够的电压增益。

4. 适当的耦合电容和旁路电容:

- 耦合电容确保交流信号传输，旁路电容可以提高增益和频率响应。