

# 晶体管共射极单管放大器

## 实验报告

信息科学技术学院 神 PB22114514

信息科学技术学院 李 毅 PB22051031

教室：电四楼 101 室 座位号：8

2023 年 11 月 29 日

## 第一部分 实验目的

1. 掌握放大器静态工作点的调试方法，学会分析静态工作点对放大器性能的影响。
2. 掌握放大器电压放大倍数、输入电阻、输出电阻的测量方法。
3. 熟悉常用电子仪器及模拟电路实验设备的使用。

## 第二部分 实验内容

本实验所用电阻分压式工作点稳定共射极单管放大器电路如图 1 所示。

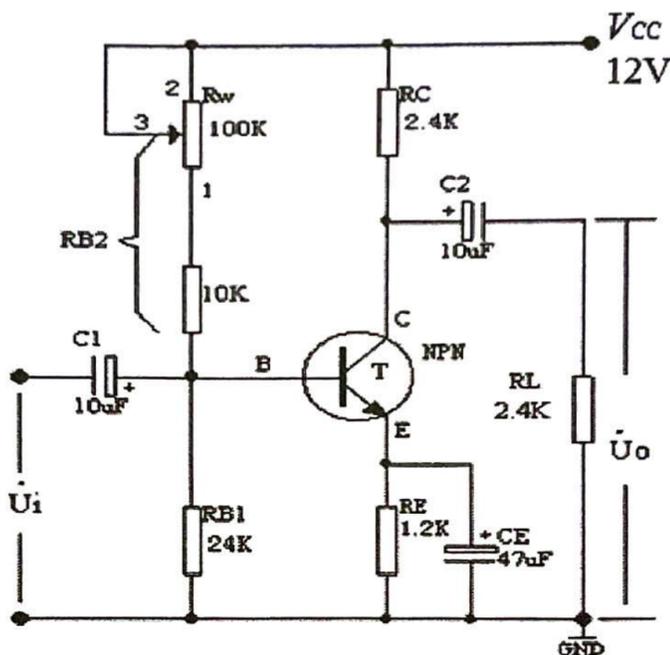


图 1 共射极单管放大器电路图

偏置电路采用  $R_{B1}$  和  $R_{B2}$  组成的分压电路，并在发射极中接有电阻  $R_E$ ，以稳定放大器的静态工作点。当在放大器的输入端加入输入信号  $u_i$  后，在放大器的输出端便可得到一个与  $u_i$  相位相反，幅值被放大的输出信号  $u_o$ ，从而实现了电压放大。

### 一、静态工作点的测量

测量放大器的静态工作点，应在输入信号  $U_i = 0$  的情况下进行，即将放大器输入端与地端短接，实验中为了避免断开集电极，所以采用测量电压  $U_E$ ，然后算出  $I_C$  的方法。按图 4-1 接线，打开交流开关，调节  $R_W$ ，使  $I_C = 2.0mA$  (即  $U_E = 2.4V$ )，用万用表测量  $U_B$ 、 $U_E$ 、 $U_C$ 、 $R_{B2}$  值，结果如表 1 所示。

表 1 静态工作点测量结果

测量值				计算值		
$U_B(V)$	$U_E(V)$	$U_C(V)$	$R_{B2}(k\Omega)$	$U_{BE}(V)$	$U_{CE}(V)$	$I_C(mA)$
3.01	2.40	7.14	65.43	0.61	4.74	2.0

## 二、测量电压放大倍数

使用频率为  $1\text{KHz}$  的正弦波作为输入信号  $u_i$ 。同时用双踪示波器观察放大器输入电压  $u_i$  和输出电压  $u_o$  的波形，在  $u_o$  波形不失真的条件下，用毫伏表测量开路 and 带载两种情况下  $u_o$  的有效值，并用双踪示波器观察  $u_i$  和  $u_o$  的相位关系，记录如表 2 所示，其中电压测量值为有效值。

表 2 电压放大倍数测量结果

$R_C(k\Omega)$	$R_L(k\Omega)$	$U_o(\text{V})$	$A_u$	$u_o$ 与 $u_i$ 的波形
2.4	2.4	0.75	-77.6	见图 2
2.4	$\infty$	1.62	-167.7	

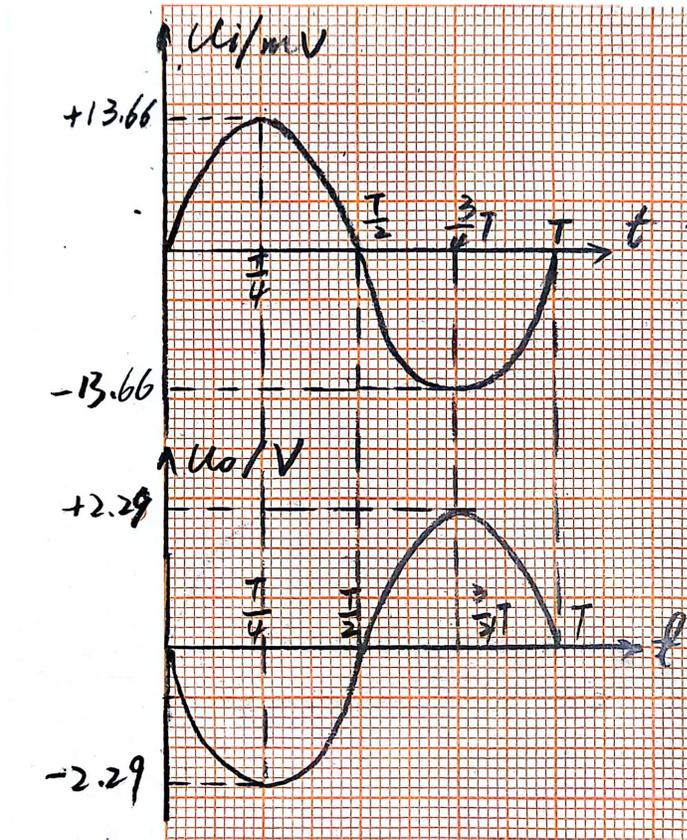


图 2  $u_o$  与  $u_i$  的波形图

### 理论计算与误差分析：

由直流分析可知， $I_E \approx I_C = 2.0\text{mA}$ ，实验所用晶体管的  $\beta$  取为 200，则晶体管输入电阻理论值为：

$$r_{be} = 300\Omega + (1 + \beta) \frac{26\text{mV}}{I_E(\text{mA})} = 2.913\text{k}\Omega$$

$R_L = \infty$  时，电压放大倍数理论值：

$$A_u = -\beta \frac{R_C || R_L}{r_{be}} = -164.8$$

相对误差：

$$\delta_{A_u} = \left| \frac{-167.7 - (-164.8)}{-164.8} \right| = 2.02\%$$

$R_L = 2.4k\Omega$  时，电压放大倍数理论值：

$$A_u = -\beta \frac{R_C || R_L}{r_{be}} = -82.4$$

相对误差：

$$\delta_{A_u} = \left| \frac{-77.6 - (-82.4)}{-82.4} \right| = 5.83\%$$

导致误差的原因可能有：

实验中所用的各个电阻实际值与标称值不符，晶体管实际参数  $\beta$  不等于 200。

### 三、测量输入电阻与输出电阻

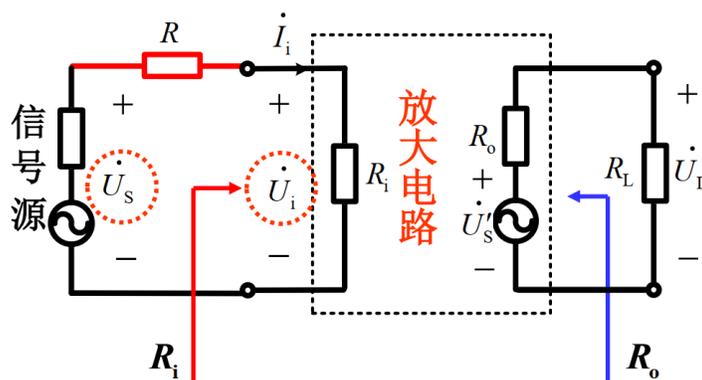


图 3 输入输出电阻的测量

如图 3 所示，在放大器输入端和信号源之间串入一已知电阻  $R$ ，取  $R = 2k\Omega$ ， $R_C = 2.4k\Omega$ ， $R_L = 2.4k\Omega$ ， $I_C = 2.0mA$ 。输入  $f = 1kHz$  的正弦信号  $u_S$ ，在输出电压  $u_o$  为不失真的情况下，用毫伏表测出  $U_S, U_i$ ，通过计算得出  $R_i$ 。测出输出端不接负载时的输出电压  $U_o$  和接入负载后的输出电压  $U_L$ ，可算得输出电阻  $R_o$ 。

表 3 输入输出电阻的测量

$U_S$ (mV)	$U_i$ (mV)	$U_L$ (V)	$U_o$ (V)
9.42	4.88	0.466	0.913

数据处理、理论计算与误差分析： $R_i$  与  $R_o$  的测量值分别为：

$$R_i = \frac{U_i}{I_i} = \frac{U_i}{U_S - U_i} R = 2.58k\Omega$$

$$R_o = \left( \frac{U_o}{U_L} - 1 \right) R_L = 2.301k\Omega$$

$R_i$  与  $R_o$  的理论值分别为：

$$R_i = R_{B1} || R_{B2} || r_{be} = 2.50k\Omega$$

$$R_o \approx R_C = 2.4k\Omega$$

$R_i$  与  $R_o$  的相对误差分别为:

$$\delta_{R_i} = \frac{2.58 - 2.50}{2.50} \times 100\% = 3.2\%$$

$$\delta_{R_o} = \frac{2.4 - 2.301}{2.4} \times 100\% = 4.1\%$$

可以看出,  $R_i$  和  $R_o$  的误差均在允许范围内。

#### 四、测量幅频特性曲线

取  $I_C = 2.0mA$ ,  $R_C = 2.4k\Omega$ ,  $R_L = 2.4k\Omega$ , 保持输入信号  $u_i = 9.58mV$  不变, 改变信号源频率  $f$ , 逐点测出相应的输出电压  $U_o$ , 计算  $f$  的对数  $lgf$  与电压增益  $A_u$ , 结果如表 4 所示, 作出  $lgf - A_u$  曲线如图 4 所示。

表 4 频率特性测量数据

f(Hz)	200	250	258	300	350	400	500	700	1000	2000	5000	10000
lgf	2.30103	2.39794	2.41162	2.477121	2.544068	2.60206	2.69897	2.845098	3	3.30103	3.69897	4
U <sub>o</sub> (V)	0.492	0.551	0.554	0.594	0.627	0.651	0.685	0.723	0.748	0.773	0.783	0.784
A <sub>u</sub>	50.82645	56.92149	57.2314	61.36364	64.77273	67.25207	70.76446	74.69008	77.27273	79.85537	80.88843	80.99174
f(Hz)	20k	30k	50k	70k	100k	150k	200k	300k	400k	385k	500k	
lgf	4.30103	4.477121	4.69897	4.845098	5	5.176091	5.30103	5.477121	5.60206	5.585461	5.69897	
U <sub>o</sub> (V)	0.784	0.781	0.776	0.769	0.755	0.728	0.695	0.618	0.545	0.554	0.479	
A <sub>u</sub>	80.99174	80.68182	80.16529	79.44215	77.99587	75.20661	71.79752	63.84298	56.30165	57.2314	49.48347	

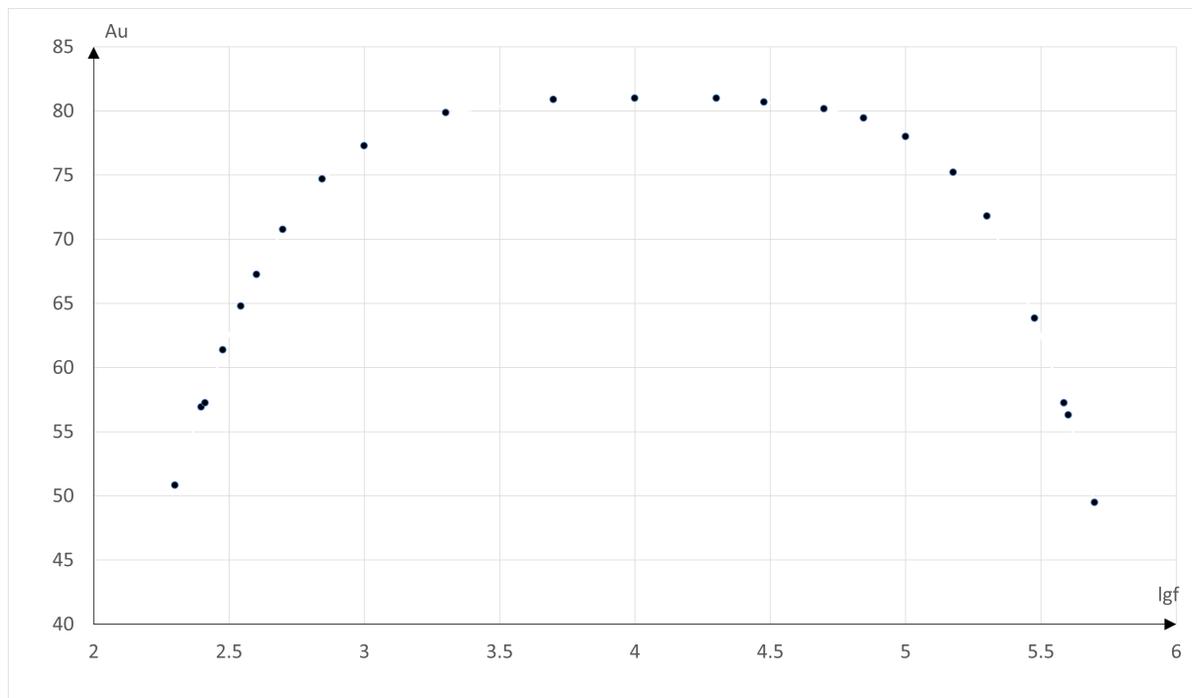


图 4  $lgf - A_u$  曲线

中频电压放大倍数  $A_{um}$  约为 81, 则有  $\frac{1}{\sqrt{2}}A_{um} \approx 57.2$ , 测得对应 3dB 下截止频率  $f_L = 258Hz$ , 3dB 上截止频率  $f_H = 385kHz$ , 通频带宽  $f_{BW} = f_H - f_L = 384.7kHz$

### 五、观察静态工作点对输出波形失真的影响

在  $R_C = 2.4k\Omega, R_L = \infty$  条件下, 使  $u_i = 0$ , 调节  $R_W$  使  $I_C = 2.0mA$ , 测出  $U_{CE}$  值。输入频率为  $1kHz$  的正弦波信号  $u_i$ , 再逐步加大信号幅度, 使输出电压  $u_o$  足够大但不失真, 然后保持输入信号不变, 分别增大和减小  $R_W$ , 使波形出现失真, 测出失真情况下的  $I_C$  和  $U_{CE}$  值, 记录失真情况与管子工作状态如表 5 所示, 绘出  $u_o$  波形图如图 5 所示。

表 5 静态工作点对输出信号失真情况的影响

$I_C$ (mA)	$U_E$ (V)	$U_C$ (V)	$U_{CE}$ (V)	$u_o$ 波形	失真情况	管子工作状态
2	2.4	7.14	4.74	见图 5(a)	无	放大
2.64	3.17	5.62	2.45	见图 5(b)	饱和失真 (削底)	放大/饱和
1.48	1.77	8.4	6.63	见图 5(c)	截止失真 (缩顶)	放大/截止

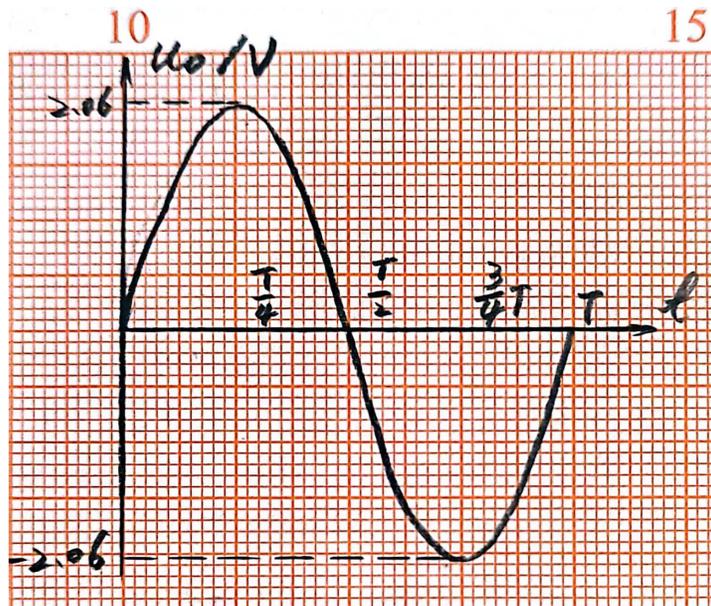


图 5(a)

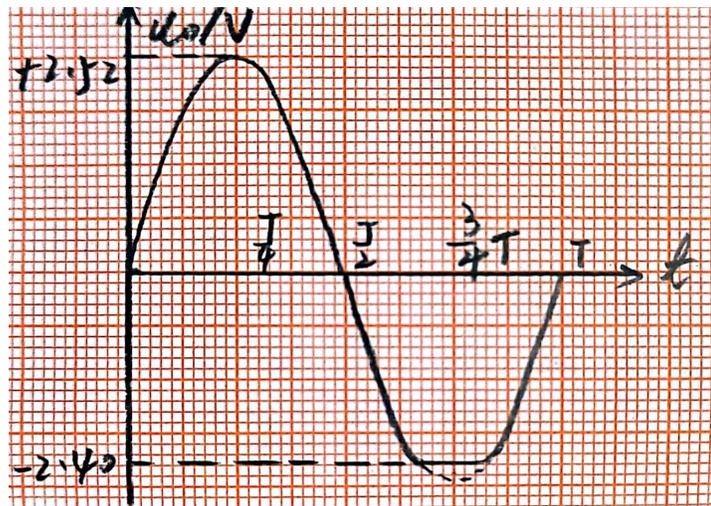


图 5(b)

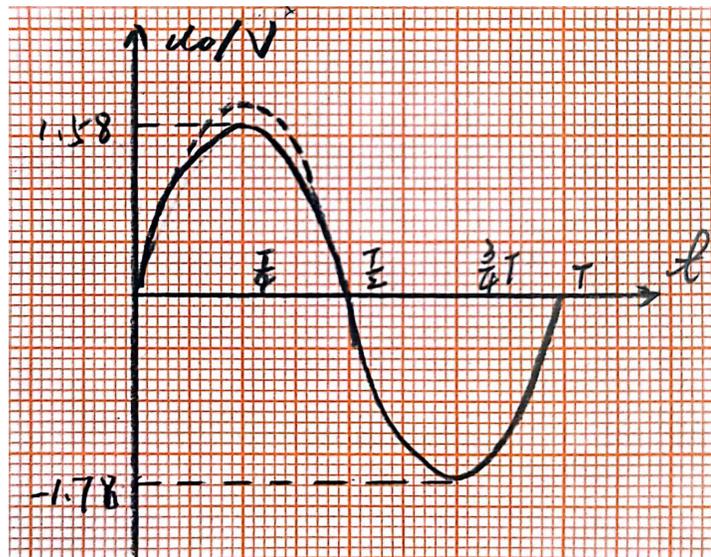


图 5(c)

根据静态工作点的分析方法，有

$$U_B \approx \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{CC}$$

$$I_E = \frac{U_B - U_{BE}}{R_E} \approx I_C$$

理论上，当减小  $R_{B2}$  时， $U_B$  增大， $I_E, I_C$  增大，静态工作点提高，不断减小  $R_{B2}$  会使三极管进入饱和区，出现饱和失真，即削底现象。当增大  $R_{B2}$  时， $U_B$  减小， $I_E, I_C$  减小，静态工作点降低，不断增大  $R_{B2}$  会使三极管进入截止区，出现截止失真，即缩顶现象。

从数据和波形图可以看出，当  $I_C$  增大时，放大器出现饱和失真，当  $I_C$  减小时，放大器出现截止失真，与理论分析结果一致。

## 第三部分 思考题

### 1. 加入输入信号 $U_i$ 时，输出波形会出现哪几种失真？分别什么原因引起的？

(1) 饱和失真，如图 5(b) 所示。由于  $I_{CQ}$  设置的过高，使得输入信号正半周靠近峰值的一段时间内，晶体管工作在饱和区，集电极动态电流产生顶部失真，集电极电阻电压产生顶部失真。由于共射电路的倒相性质，输出电压发生底部失真，即削底现象。

(2) 截止失真，如图 5(c) 所示。由于  $I_{CQ}$  设置的过低，使得输入信号负半周靠近峰值的一段时间内，晶体管工作在截止区，集电极动态电流产生底部失真，集电极电阻电压产生底部失真。由于共射电路的倒相性质，输出电压发生顶部失真，即缩顶现象。

(3) 若输入电压峰峰值过大，饱和失真和截止失真可能会同时出现。

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

若不串入保护电阻，若电位器初始处于 0 位置， $R_B = 0$ ， $V_{CC}$  直接加在基极，由于发射极电阻相对较小，因此产生的发射结电流很大，会导致发射结烧毁。因此需要串入 10k 电阻来保护电路。

### 3. 对于本次的单管放大电路，实现放大的条件是什么？

对于全部的输入信号，晶体管工作均工作在放大区。即满足发射结正偏 ( $V_{BE} > 0$ )，集电结反偏 ( $V_{BC} < 0$ )

## 致 谢

感谢中国科学技术大学信息与计算机实验教学中心