

姓名: 张津溪 学号: 11210119 班级: 3 实验日期: 2013.11.30

共射极单管放大电路研究

100

1. 实验目的

- 分析共射极放大电路的性能, 加深对共射极放大电路放大特性的理解;
- 学习共射极放大电路静态工作点的调试方法, 分析静态工作点对放大器性能的影响;
- 掌握放大器电压放大倍数、输入电阻、输出电阻及最大不失真输出电压的测试方法。

2. 实验原理

共射极放大电路既能放大电流又能放大电压, 故常用于小信号的放大。改变电路的静态工作点可调节电路的电压放大倍数, 该电路输入电阻居中, 输出电阻大, 放大倍数大, 适用于多级放大电路的中间级。实验电路如图 1 所示, 图 1 中电路为一电阻分压式工作点稳定的共射极单管放大器。其中 R_{B1} 、 R_{B2} 组成分压电路构成三极管 T 的偏置电路, 用来固定基极电位。发射极电阻 R_{E1} 和 R_{E2} 用于稳定放大器静态工作点。 R_{B1} 、 R_{B2} 、 R_C 、 R_E 构成放大器直流通路。 C_1 、 C_2 为耦合电容, 起隔直作用, 即隔断信号源、放大器和负载之间的通路, 使三者之间无影响; 对交流信号起耦合作用, 即保证交流信号畅通无阻地通过放大电路。 C_E 为旁路电容, 其大小对电压增益影响较大, 是低频响应的主要因素。当在放大器的输入端加上输入信号 V_i 后, 便可在放大器的输出端得到一个与输入信号相位相反, 幅度被放大的输出信号 V_o , 从而实现了电压的放大。

图 1 中, 当流过分压电阻 R_{B1} 和 R_{B2} 的电流远远大于晶体管 T 的基极电流时 (一般为 5~10 倍), 则 T 的静态工作点为

$$I_{CQ} \approx I_{EQ} = \frac{V_{BQ} - V_{BEQ}}{R_{E1} + R_{E2}}$$

$$V_{CEQ} \approx V_{CC} - I_{CQ}(R_C + R_{E1} + R_{E2})$$

值得注意的是, 静态工作点是直流量, 必须进行直流分析或用直流电压表和电流表测量。

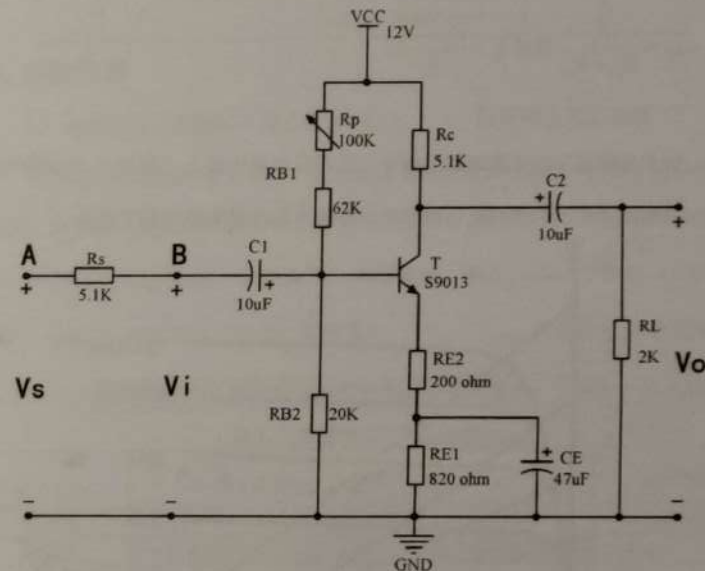


图 1. 共射极单管放大电路原理图

电压放大倍数 A_v 为

$$A_v = -\beta \frac{R_C // R_L}{r_{be} + (1 + \beta)R_{E2}}$$

$$\text{式中 } r_{be} \approx 300 + \beta \frac{26(mV)}{I_{EQ}(mA)}$$

输入电阻

$$R_i = R_{B1} // R_{B2} // [r_{be} + (1 + \beta)R_{E2}]$$

输出电阻 $R_o = R_C$ 。

2.1 放大器静态工作点的测量与调试

1) 静态工作点的测量

短接图 1 所示电路的输入端, 分别用电压表依次测量晶体管三个管脚对地的电压 V_B 、 V_C 和 V_E (注意, 测量静态工作点时, 电压表应放在直流档)。集电极电流可以用间接测量法, 方法是由测量所得的 V_C 或 V_E , 计算出 I_C 。即

$$I_C \approx I_E = \frac{V_E}{R_{E1} + R_{E2}} \text{ 或者 } I_C = \frac{V_{CC} - V_C}{R_C}$$

2) 静态工作点的调试

放大器静态工作点的调试是指对三极管集电极电流 I_C (或 V_{CE}) 的调整与测试。共射极单管放大电路的电路参数对静态工作点的影响如图 2 所示。

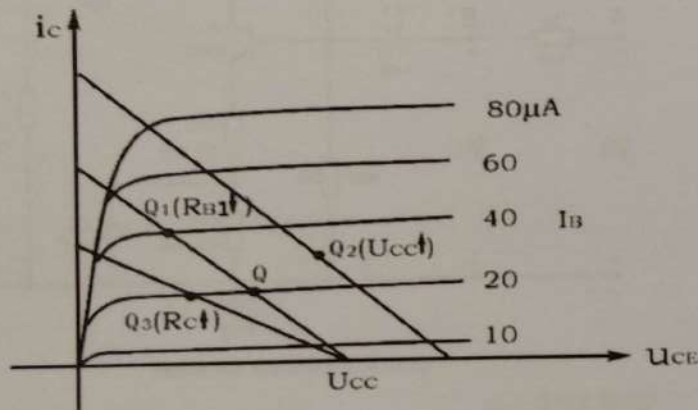


图 2. 电路参数对静态工作点的影响

静态工作点是否合适, 对放大器的性能和输出波形都有很大影响。静态工作点对 V_o 波形失真的影响如图 3 所示。如果工作点偏高, 放大器加入交流信号后易产生饱和失真; 如果工作点偏低, 易产生截止失真, 这都不符合不失真放大的要求。所以在选定工作点后还要进行动态调试, 即在放大器的输入端加一定的输入电压 V_i , 监测输出电压 V_o 的大小和波形是否满足要求。如不满足, 则应重新调节静态工作点。

工作点的偏高和偏低不是绝对的, 应该是相对信号的幅度而言。如输入信号幅度很小, 即使工作点偏高或偏低也不一定会出现失真。确切的说, 产生波形失真真是信号幅度与静态工作点设置配合不当所致。如需满足较大信号幅度的要求, 静态工作点最好尽量靠近交流负载线的中点。

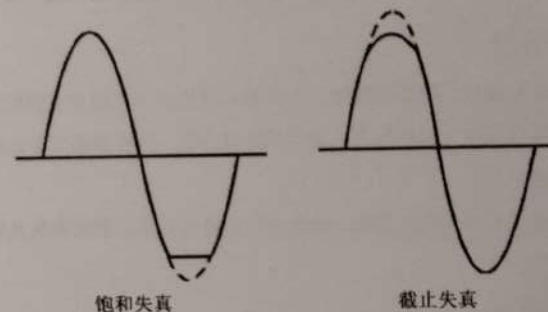


图 3. 静态工作点对 V_o 波形失真的影响

2.2 放大器动态指标的测量

放大器动态指标包括电压放大倍数、输入电阻、输出电阻、最大不失真输出电压 (动态范围) 和通频带等。

1) 电压放大倍数 A_v 的测量

$$A_{v0} = V_o / V_i \text{ (输出开路) 或 } A_{vL} = V_L / V_i \text{ (输出带负载)}$$

2) 输入电阻 R_i 的测量

放大器输入电阻的大小, 反映放大器消耗前级信号功率的大小, 是放大器的重要指标之一。测量原理如图 4 所示, 在被测放大器前串联一个可变电阻 R_s , 并加入信号。分别测出电阻 R_s 两端对地的电压 U_s 和 U_i , 则放大器的输入电阻 R_i 为

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

3) 输出电阻 R_o 的测量

放大器输出电阻的大小表示该放大器带负载的能力。输出电阻 R_o 越小, 放

大器输出等效电路越接近于恒流源，这时放大器带负载能力越强。输出电阻的测量为后级电路的设计提供了输入条件。 R_o 的测量原理如图4所示，先不加负载 R_L ，信号从 U_i 点加入，测出开路电压 U_o ；然后接上负载 R_L ，测得 U_L ，则放大器的输出电阻为

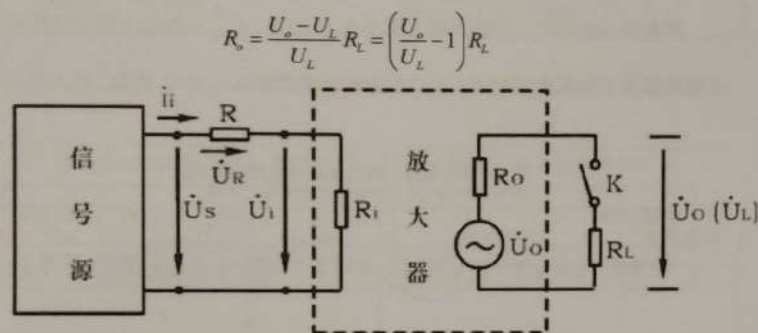


图4. 输入输出电阻测量原理图

4) 最大不失真输出电压 V_{opp} 的测量 (最大动态范围)

如上所述，为了得到最大动态范围，应将静态工作点调在交流负载线的中点。为此在放大器正常工作的条件下，逐步增大输入信号的幅度，用示波器观察 V_o ，当输出波形同时出现饱和失真和截止失真时，说明静态工作点已经调在交流负载线的中点。然后再反复调整输入信号，使输出信号幅度最大且无失真时，用万用表交流毫伏档测出 V_o ，或者用示波器直接读出 V_{opp} 。

3. 实验器材

序号	名称	型号与规格	数量	备注
1	直流稳压电源	DP1308A	1	
2	数字万用表	DM3051	1	
3	函数信号发生器	DG1022	1	
4	面包板		1	

5	电阻、电容、三极管	三极管S9013一个， 100k Ω 可变电阻1个， 62k Ω 电阻1个， 20k Ω 电阻1个， 5.1k Ω 电阻2个， 2k Ω 电阻1个， 820 Ω 电阻1个， 200 Ω 电阻1个， 10 μ F电解电容2个， 47 μ F电解电容1个，	12
---	-----------	--	----

4. 实验内容

1) 静态工作点的测试 (理论值 $\beta = 80$)

检测需要用到的电子元器件，并且测量电阻电容的精确值，按图1所示连接电路。接通直流电源前，先将电位器 R_p 调至最大，函数信号发生器输出调整为零。然后接通+12V电源，调节 R_p 到一合适数值，使 $I_{CQ} = 1mA$ (即 $V_{Re} = 5.1V$ 或者 $V_c = 6.9V$)，测量静态工作点，即测量 V_{CQ} 、 V_{BQ} 、 V_{EQ} ，并计算 I_{EQ} ，将数据填入表1中。本实验所有表格中带阴影的空格是需要测量的，无阴影的是估算值

表1. 三极管静态工作点的测试

	V_{CQ}/V	V_{BQ}/V	V_{EQ}/V	I_{EQ}/mA
理论值	6.9	1.72	1.085	1.0125
测量值	6.90	1.65	1.03	1.01

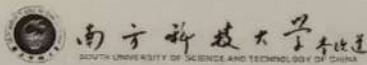
2) 测量电压放大倍数

当 $V_{Re} = 5.1V$ 时，在放大器的输入端B点处加入 $f = 1kHz$ ，峰-峰值 $V_{opp} = 100mV$ 的正弦信号，用示波器观察放大器输出电压 V_o 波形，在波形不失真的条件下用万用表的交流毫伏档分别测量 $R_L = 2k\Omega$ 和输出端开路时的 V_o 值，并用示波器观察 V_o 和 V_i 的相位关系，填入表2中。

表2. 三极管放大倍数的测定

	V_o/mV	A_{v0}	V_{OL}/mV	A_{vL}
理论值	777.45	21.99	218.99	6.19
实测值	764	21.6	222	6.27

模拟电路实验报告



3) 观察静态工作点对输出波形失真的影响(带负载)

调节 R_p 使三极管分别处于截止区和饱和区(使 V_{CQ} 分别为最大和最小)(R_p 旋至最大和最小), 输入端 B 点加入 $f=1\text{kHz}$ 的正弦信号。从零逐渐加大输入信号幅度, 用示波器观察输出波形(带负载), 结果填入表 3 中。

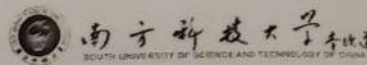
4) 测量最大不失真输出电压(带负载)

逐渐加大 B 点输入信号, 若出现饱和失真, 则增大 R_p 阻值使工作点下降, 反之若出现截止失真则减小 R_p 阻值, 提高工作点。如此反复调节, 直到输出波形同时出现饱和失真和截止失真, 测量 V_{CEQ} 、 I_{CQ} , 将结果填入表 3 中。并在此后的实验中保持最佳工作点。随后逐渐减小输入信号幅度, 使输出波形刚好不失真, 用示波器和万用表测出 V_{Op-p} 和 V_{Omax} 的值, 并将测量结果计入表 3 中。

表 3. 调节失真和最佳工作点的参数

	V_{CQ}/V	I_{CQ}/mA	V_{EQ}/V	V_{CEQ}/V	输出波形(示意)	失真类型
工作点偏离	8.81	0.737	0.641	7.46		截止
	2.35	1.974	1.95	0.292		饱和
最佳工作点	4.40	1.485	1.60	2.89	最大不失真输出电压 $V_{Omax} = 1.50V$ $V_{Op-p} = 4.23V$	

模拟电路实验报告



5) 测量输入电阻和输出电阻

测量输出电阻时, 在输入端 B 点加入 $f=1\text{kHz}$, $V_{ip-p}=200\text{mV}$ 的正弦波信号, 令 R_L 分别为 $2k\Omega$ 和空载, 在输出信号 U_o 不失真的情况下, 用万用表或示波器测出 U_o 和 U_L 的值, 计入表 4 中。

测量输入电阻时, 在输入端 A 点加入 $f=1\text{kHz}$, $V_{ip-p}=200\text{mV}$ 的正弦波信号, 在输出信号不失真的情况下, 用万用表或示波器测出 U_s 和 U_i 的值, 填入表 4 中。

表 4. 输入电阻、输出电阻的相关参数测试

测试条件	U_o/V	U_L/V	$R_o/k\Omega$	U_s/mV	U_i/mV	$R_i/k\Omega$
测量值	1.54	0.457	4.74	70.7	41.9	7.42

6) 测量幅频特性(带负载)

改变输入信号的频率(B 点输入, 幅值不变, $V_{ip-p}=600\text{mV}$), 用逐点法测出相应的输出电压 V_o 值(带负载, 使用万用表的交流毫伏档测有效值), 填入表 5 中, 据此测出上下限频率。 2.754?

表 5. 输入信号频率对输出电压的影响

f/Hz	20	25	50	100	200	500	1k	10k
V_o/V	1.405	1.166	1.484	1.442	1.499	1.499	1.501	1.504
f/Hz	100k	200k	300k	400k	500k	800k	820k	1M
V_o/V	1.462	1.341	1.252	1.047	0.910	0.683	0.659	0.433

上限频率: 400kHz 下限频率: 25Hz

7) 旁路电容 C_E 对放大电路的影响

C_E 对放大器的增益有很大影响, 按表 6 所示条件进行测量, 并简述 C_E 是如何对放大器的增益产生影响的。

表 6. 旁路电容对增益的影响

测试条件		V_o / V	A_{vo}
保持最佳工作点, $R_L = \infty$ 、 $R_S = 0$, $V_{Q-P} = 200mV$, $f = 1kHz$	$C_E = 47\mu F$	1.54	2.8
	不接 C_E	0.337	4.77

$$V_i = \frac{0.1V}{10}$$

8) 用 Multisim 仿真实验内容 3) 和 7)。结果填入表 7 和表 8 中。

表 7. 调节失真的参数 (Multisim 仿真)

	V_{CEQ} / V	I_{CQ} / mA	输出波形	失真类型
工作点偏离				

表 8. 旁路电容对增益的影响 (Multisim 仿真)

测试条件		V_o / V	A_{vo}
保持最佳工作点, $R_L = \infty$ 、 $R_S = 0$, $V_{Q-P} = 200mV$, $f = 1kHz$	$C_E = 47\mu F$		
	不接 C_E		

5. 思考题

1. 调整静态工作点时, R_{B1} 要用一固定电阻与电位器串联, 而不能直接用电位器, 为什么?

如果不接保护电阻, 调节电位器时极易使电路短路, 阻为 0 从而电流过大烧毁电路, 所以该固定电阻为保护电阻。

2. 若将 NPN 型三极管换成 PNP 型的, 试问 V_{CC} 及电容的极性应如何改动?

V_{CC} 应改为 $-12V$, 电容极性也应反转。