

实验四 单级放大电路

一、实验目的

- 1、学习用仿真软件对电路进行仿真。
- 2、学会在面包板上搭接电路以及放大电路的静态、动态调试方法。
- 3、掌握放大电路的静态工作点、电压放大倍数、输入电阻、输出电阻和通频带测量方法。
- 4、研究负反馈对放大器性能的影响、了解射级输出器的基本性能。
- 5、了解静态工作点对输出波形的影响和负载对放大倍数的影响。

二、预习要求

- 1、复习理论课有关的内容，掌握静态工作点、电压放大倍数的概念和理论计算，了解静态工作点对输出波形的影响和负载对放大倍数的影响。
- 2、根据实验电路图2所给参数，计算 A_v 、 R_i 、 R_o
- 3、用 Multsim 软件，对本实验的电路进行仿真。计算出输入电阻、输出电阻及带载、空载放大倍数，利用软件自带的扫频仪测量放大电路的通频带。

三 实验原理

三极管组成的共射放大器电路如图 4.1 所示。

1. 放大器直流偏置电路分析计算

直流偏置指放大器在无交流信号作用时，仅在直流电源作用下三极管各级的电流和电压（例如 I_B 、 I_C 、 U_{CE} 等），它在晶体管的特性曲线上是一特定的点，又称静态工作点。放大器的直流偏置电路有不同的结构。基极固定分压偏置电路采用电流负反馈技术，可以自动稳定电路的静态工作点，使工作点受温度影响较小，获得了广泛的应用。

直流偏置电路在进行电路参数设计选择时，必须满足以下两个条件。

（1）要求 $I_1 \approx I_2 \gg I_B$ 。只有满足这个条件，才能保证三极管基极直流电位近似等于

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

当然也不是 I_1 、 I_2 越大越好， I_1 越大偏置电阻 R_{B1} 、 R_{B2} 就越小，这样一方

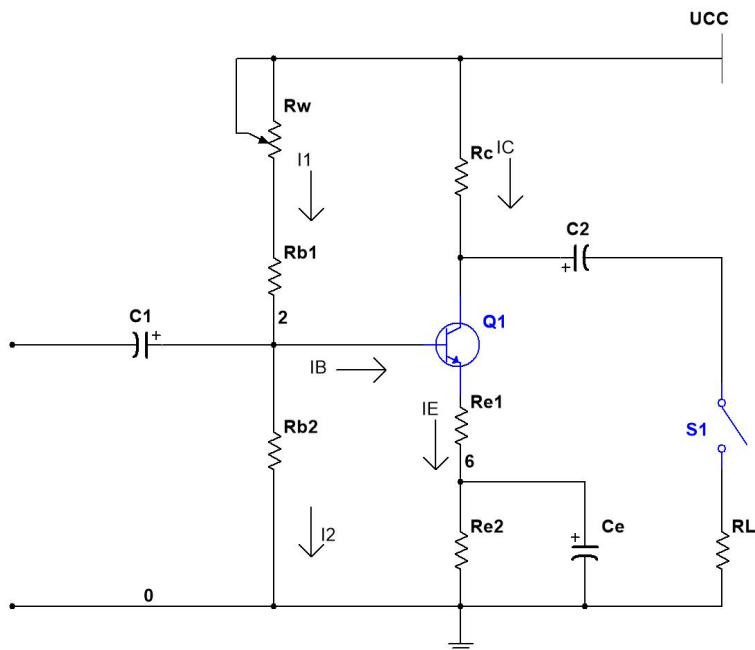


图 4.1 单极放大电路

面增加电源功耗，另一方面将降低放大器的输入电阻。所以，工程上一般按下式选取

$$I_1 = (5 \sim 10) I_B \quad (\text{硅管})$$

$$I_1 = (10 \sim 200) I_B \quad (\text{锗管})$$

(2) 要求 $U_B \gg U_{BE}$ 。因为 R_e 越大，当温度变化时，产生 $I_e R_e$ 压降也越大，此时负反馈越强，静态电流 I_c 稳定效果越好。但是如果 R_e 过大，则在一定静态电流的情况下，需要的直流电源越高；另一方面，会导致三极管的 U_{CE} 电压变小，将使放大器的动态范围减小。所以 U_B 一般按下式选取

$$U_B = 3 \sim 5V \quad (\text{硅管})$$

$$U_B = 1 \sim 3V \quad (\text{锗管})$$

根据以上要求设置的静态偏置电路，其近似分析计算如下：

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

$$U_E = U_B - 0.7V \quad (\text{硅管})$$

$$I_C \approx I_E = \frac{U_E}{R_{e1} + R_{e2}}, \quad I_B = \frac{I_C}{\beta}$$

$$U_{CE} \approx U_{CC} - I_C(R_C + R_{e1} + R_{e2})$$

可见，改变电路参数 U_{CC} 、 R_C 、 R_{b1} 、 R_{b2} 、 R_e 都会引起静态工作点的改变，但是常用的还是调节基极偏置电阻（ R_{b1} 、 R_{b2} ）和射极偏置电阻 R_e 来实现。放大器的静态工作点对放大器的性能有重要的影响，如果 I_B 电流过小，则在外加交流信号的作用下，三极管很容易工作在截止区，使输出波形产生截止失真；如果 I_B 电流过大，则在外加交流信号的作用下，三极管很容易工作在饱和区，使输出波形产生饱和失真。为了使放大器得到一个输出不失真的电压，必须要设置合适的静态工作点。

2. 放大器的交流指标计算

在对该放大器静态工作点设置合适的情况下，输入交流小信号放大器可完成不失真地放大。描述放大器的主要指标有电压放大倍数 A_v 、输入电阻 R_i 、输出电阻 R_o 、上限频率 f_H 、下限频率 f_L 等，该放大器的中频交流指标如下。

（1）电压放大倍数

$$A_v = \frac{V_O}{V_i} = -\frac{R_L'}{r_{be} + (1 + \beta)R_{e1}}, \text{ 其中 } R_L' = R_C // R_L,$$

$$r_{be} \approx 200 + (1 + \beta) \frac{20mV}{I_E}$$

（2）输入电阻

$$R_i = R_b // [r_{be} + (1 + \beta)R_{e1}], \text{ 其中 } R_b = R_{b1} // R_{b2}$$

（3）输出电阻

$$R_o \approx R_C$$

四、实验内容

1. 放大器静态工作点调试及测量

按图4.2连接电路，检查电路连线正确无误后，接通电源12V；将交流信号源 U_s 断开（关闭信号源或者不接入），并将 U_s 端和地短接；调节电位器 R_W ，要求 $I_{CQ} = 1.3mA$ ，在图4.2的电路参数下，也就是测量 $V_{EQ} \approx 1.3V$ 。测量值填入表1。实验过程中部分容易出错的地方，请参考下面的注意事项和故障解

决部分说明。

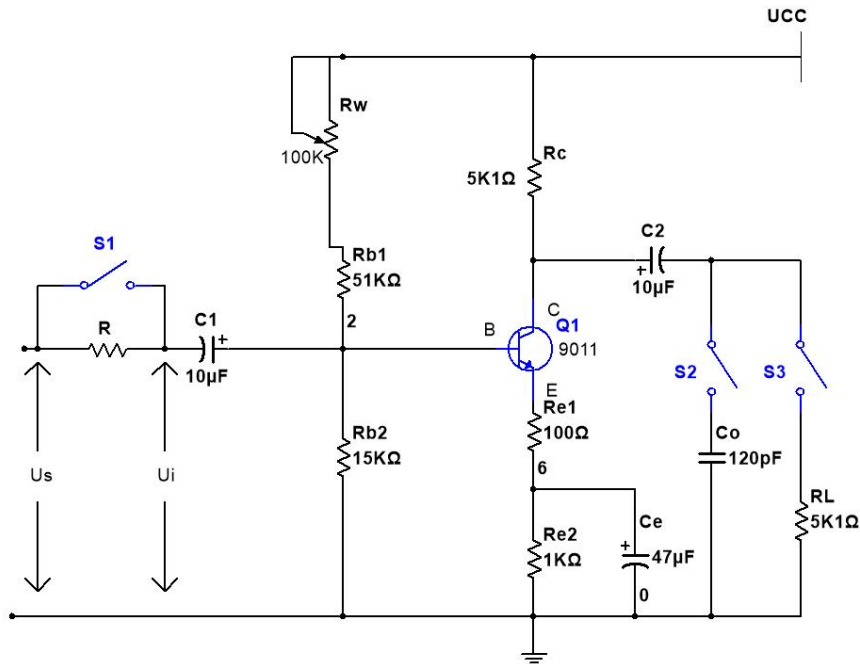


图 4.2 单极放大电路图

表 1 静态工作点测量

静态工作点	V_{EQ} (V)	V_{BQ} (V)	V_{CQ} (V)	由测量计算		
				I_{CQ} (mA)	V_{BEQ} (V)	V_{CEQ} (V)
万用表测量值	1.3V					

注意事项和故障解决:

- 1). 测量之前, 请先检查确认四位半红、黑表笔完好, 量程和档位选择正确 (置DC档)。并特别注意, 在测量静态工作点时, 不能在电路的输入端接入交流信号。
- 2). 先根据实际电路图, 在 $I_{CQ}=3\text{mA}$ 的情况下估算基极和集电极的静态电压大致为2.0V和5.5V左右, 当测量值偏离该值太多时, 需考虑电路出错的可能。
- 3). 若测量值始终为电源电压12V左右或者0V左右, 考虑地线断路或者电源线断路 (先确认已经打开电源开关)。
- 4). 若发射极和基极电压差值约等于0.7V, 但集电极电压和测算值偏差太多, 则检查发射极或者集电极电阻阻值是否正确、极性电容的极性是否接错 (极性电容应该正端朝晶体管, 若负端朝晶体管, 会流过直流电流, 导致集电极的直流电压值和测量值不符合)。

2、基本放大器的电压放大倍数、输入电阻、输出电阻的测量

(1)、测量原理

1)、放大倍数测量:

放大倍数按定义式进行测量,即:输出交流电压与输入交流电压的比值。通常采用示波器比较测量方法(适用于非正弦电压)和交流电压表测量(适用于正弦电压)。

$$A_v = \frac{U_o}{U_i}, \text{ (分带载和空载两种情况)}$$

在测量时,为避免不必要的感应和干扰,必须将所有测量仪器公共端与放大器公共端连接在一起,应适当选择输入信号(幅度、频率),通过示波器观察输出波形,在不失真条件下,应尽量加大输入信号幅度,以避免输入信号太小易受干扰。

2)输入阻抗测量:

放大器输入阻抗为从输入端向放大器看进去的等效电阻,该电阻为动态电阻

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

3)输出阻抗测量:

若输出回路不并接负载 R_L ,则输出测量值为 $V_{O\infty}$;若输出回路并接负载 R_L ,则输出测量值为 V_{OL} ;则可按下式求 R_o 。

$$R_o = \left(\frac{U_{O\infty}}{U_{OL}} - 1 \right) \times R_L$$

(2)、实验电路测量 A_v 、 R_i 、 R_o 。

1) 外加输入信号从放大器 U_s 端输入信号: 频率 $f=2\text{KHz}$ 的正弦信号, $R=1\text{K}$, 使 $V_i=10\text{mV}$ 。在空载($R_L=\infty$)情况下,用示波器同时观察输入和输出波形(V_i 和 V_o),若输出波形失真,应适当减小输入信号。

2) 测量 U_s 、 U_i 、 U_o 、(数字万用表AC档测量),填入表2并计算 A_v 、 R_i 、 R_o 。在测量过程中,如果出现问题,请参看下面的故障解决。

表2 单级放大电路参数测量

测 量				计 算			
U_s	U_i	$U_{O\infty}$	U_{OL}	$A_{v\infty}$	A_{v_L}	R_i	R_o

注意事项和故障解决:

1) 在输入端接入交流信号开始测试之前,请确认电路的静态工作点同上表(1)中测试值是一样的,若静态工作点发生了变化,请回到内容3进行检查。

2) 在使用示波器之前, 请确认已经对示波器进行了自检, 且能正确显示中频段 (2kHz) 信号。示波器CH1通常接输入信号, CH2通常接输出信号。

3) 在信号发生器上按给定的波形、幅度、频率设置好交流信号后, 将此信号发生器的输出信号直接和示波器的2个探头相连 (信号发生器信号线红夹子接2个探头钩子, 黑夹子接2个探头地线)。若输入、输出波形都无法显示, 则请先确认信号发生器的输出开关是否打开, 若无, 请打开输出开关; 若已经打开输出开关, 示波器仍无法显示, 请再次自检示波器。若此时示波器上显示的波形形状正确, 但位置不固定, 无规律的飘动, 则请检查信号线和探头的地线是否导通。

4) 若CH1波形可以显示, CH2波形无法显示, 则进行如下检查:

A、首先断开交流信号, 检查静态工作点是否正确, 如果不正确, 重新调整静态工作点。

B、如果静态工作点正确, 则根据电路中信号的走向, 从R, C1, B极、C极、C2各端一次检查, 看看那个地方出错。

5) 若 V_s 和 V_i 的测量值几乎相同, 则检查信号是否在R的右端 (靠近晶体管那端) 加入而R的左端悬空或者信号在R的左端加入, 但信号加入端和R的左端错开了插孔。

6) 若空载和带载时, 测得的输出信号值都一样, 请检查带载时, 所接负载电阻两端是否分别和C2 负端及地正确连接, 没有出现插孔错排现象; 或者接地时, 所用的面包板窄板插孔和实际所用的地线区域电气上有否连通 (参看面包板结构描述的部分)。

请注意数字万用表测量值 (有效值) 和示波器测量值 (峰峰值) 之间的区别。

3、放大器上、下限频率的测量

为了方便上限频率 f_H 的测试, 将负载电阻 R_L 两端并联120PF的电容 C_o (即将S3闭合), 这样可大大减小整个放大器的上限频率。

1) 方法1 保持输入信号的幅度 $V_i=10\text{mV}$ 不变, 当 $f=2\text{kHz}$ 时, 用示波器观察并测量输出电压 V_o 。

当频率从2kHz 向高端增大时, 使输出电压下降到 $0.707 V_o$ 时, 记下此时信号发生器的频率即为上限频率 f_H ; 同理, 当频率向低端减小时, 使输出电压下降到 $0.707V_o$ 时, 记下此时信号发生器的频率, 即为下限频率 f_L 。填入表3, 测量过程均应保持 V_i 不变和波形不失真。

2) 方法2 使用多功能仪器的扫频仪, 对该放大器的幅频特性曲线进行测量显示, 并使用cursor功能在屏幕上读取其上限、下限截止频率, 填入表3。

表3: 放大器上、下限频率的测量

f_H (KHz)	f_L (Hz)	$B=f_H-f_L$ (KHz)
方法1		

方法2			
-----	--	--	--

注意事项:

在方法1中, 若增加或减小输入信号的频率时, 放大器的输出信号幅度保持不变, 则应该是信号发生器上输出的放大器的输入信号的频率增加、减少的不够, 此时继续同方向调节频率直至输出信号幅度开始下降即可。

4、观察静态工作点对波形失真的影响

- 1). 将电阻R短路, 负载电阻RL开路, 放大器输入30mV, $f=1\text{KHZ}$ 的正弦信号。将上偏置电位器RW的电阻调到最大, 此时观察输出波形的失真情况, 并记录: 测量此时放大器的静态工作点, 记录结果。
- 2). 同理将上偏置电位器RW的电阻调到最小, 此时观察输出波形的失真情况, 并记录: 测量此时放大器的静态工作点, 记录结果。

五、思考题

- 1、如何根据静态工作点判别电路是否工作在放大状态?
- 2、按实验电路, 若输入信号增大到100mV, 输出电压=? 是否满足 $V_o = A_v * V_i$, 试说明原因?
- 3、如果静态工作点测量值和估算值不符, 可能的原因是那些呢, 试分类阐述。
- 4、观察放大器的输入、输出波形时, 如示波器上不显示任何波形, 请问该如何调整相关各个部分 (含信号发生器、示波器和电路), 使输入、输出波形在示波器上正确显示? 如果示波器上只能显示输入波形, 请问该如何调整相关各个部分 (含信号发生器、示波器和电路), 使输出波形在示波器上正确显示?

六、扩展阅读并了解

请查阅参考资料, 了解多级放大电路设计方法, 并回答以下问题

1. 多级放大电路级间耦合方式有哪些, 各自得优缺点是什么?
2. 多级放大电路的电压放大倍数和增益如何计算? 前后级之间是如何影响增益计算的?
3. 多级放大电路的相移、输入输出电阻及通频带如何获得?

七、实验报告要求

- 1、画出实验电路, 标明元件参数。
- 2、简单的说明输入电阻、输出电阻、放大倍数等相关参数的实验测量办法 (含必要的图表, 一张作业纸以内)
- 3、将仿真实验数据根据实验内容顺序, 列表填入实验报告。
- 4、将实际搭接电路测量获得的结果填入表格。

- 5、 完成后面的思考题。
- 6、 如果在仿真、实验过程中，碰到一些自己认为有意义的错误或者经验总结，请在实验的最后部分填写心得、体会。（本次实验开始，报告必须包含本内容）