



## 单级放大电路实验报告

实验名称: 单级放大电路

系 别: 计算机科学与技术

实验者姓名: 陈 瑾

学 号: 37220222203552

实验日期: 2023年11月1日

实验报告完成日期: 2023 年 11 月 5 日

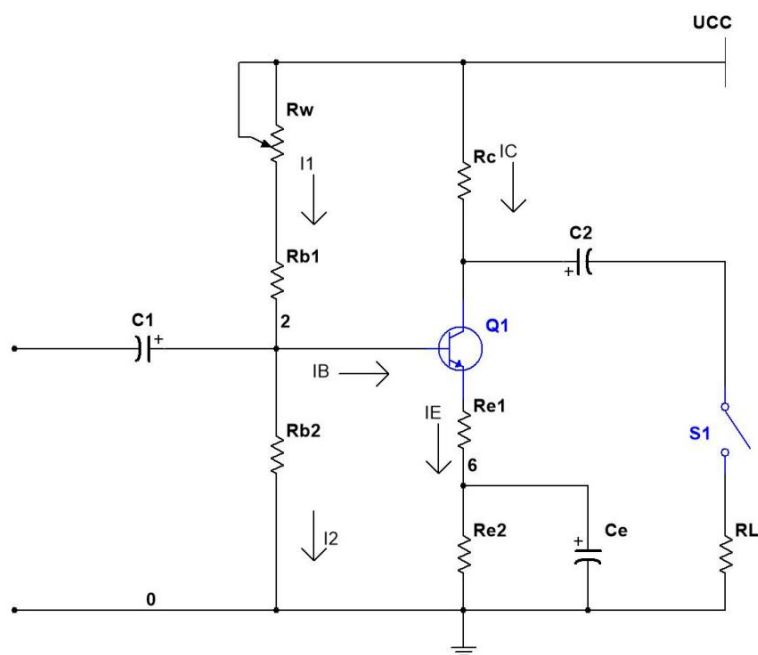
指导老师意见:

## 一、实验目的

- 1、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。
- 2、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。
- 3、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。
- 4、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、实验原理

实验电路图如同所示



### 1. 放大器直流偏置电路分析计算

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

$$\begin{aligned} I_1 &= (5 \sim 10) I_B \quad (\text{硅管}) \\ I_1 &= (10 \sim 200) I_B \quad (\text{锗管}) \end{aligned}$$

(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

$$\begin{aligned} U_B &= 3 \sim 5V \quad (\text{硅管}) \\ U_B &= 1 \sim 3V \quad (\text{锗管}) \end{aligned}$$

根据以上要求设置的静态偏置电路，其近似分析计算如下：

$$\begin{aligned} U_B &\approx \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} \times U_{CC} \\ U_E &= U_B - 0.7V \quad (\text{硅管}) \\ I_C \approx I_E &= \frac{U_E}{R_{e1} + R_{e2}}, \quad I_B = \frac{I_C}{\beta} \\ U_{CE} &\approx U_{CC} - I_C (R_C + R_{e1} + R_{e2}) \end{aligned}$$

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  $R_e$  来实现静态工作点的改变。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

$$R_o \approx R_C$$

## 三、实验仪器

1、双踪示波器	1 台
2、函数信号发生器	1 台
3、“四位半”数字多用表	1 台
4、电子技术综合实验箱	1 台

## 四、实验内容

### 1. 放大器静态工作点调试及测量

按下图连接电路，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 $R_W$ ，使 $I_{CQ} = 1.3mA$ ，及 $V_{EQ} = 1.3V$ 。测量所需数据，填入表格。

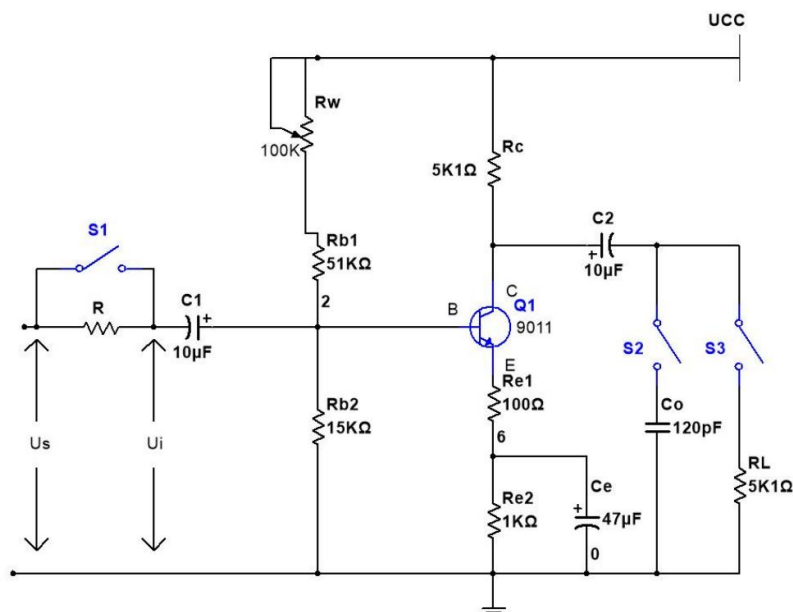


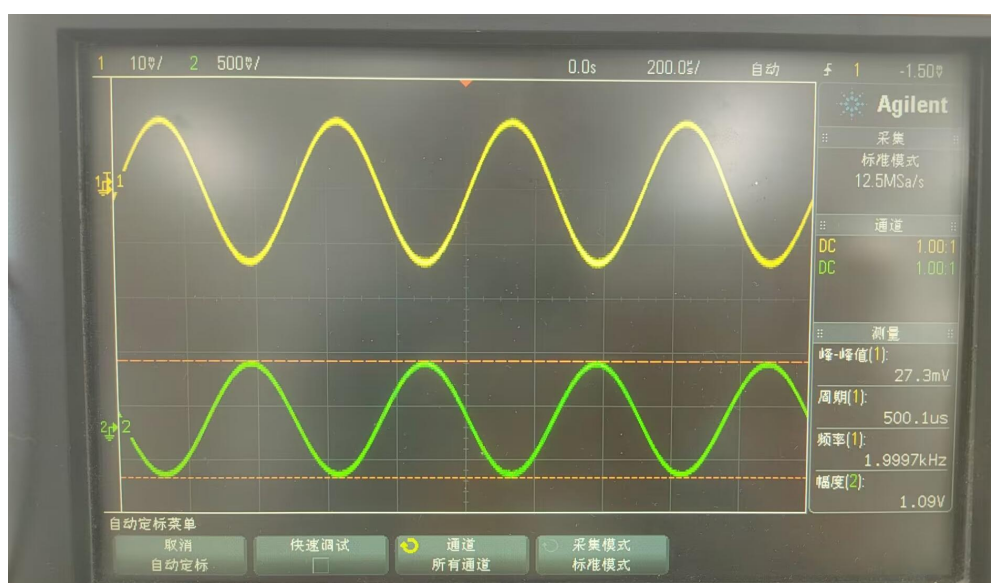
表 1 静态工作点测量

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	1.3	2.014	5.897	1.2	0.714	4.597

## 2、基本放大器的电压放大倍数、输入电阻、输出电阻的测量

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），填入下表并计算 $A_v$ 、 $R_i$ 、 $R_o$ 。

表2 单级放大电路参数测量

测 量				计 算			
$U_s$	$U_i$	$U_{o\infty}$	$U_{OL}$	$A_{v\infty}$	$A_{vL}$	$R_i$	$R_o$
10.72mV	9.36mV	414.5mV	218.2mV	44.28	23.31	6.88k $\Omega$	4.59k $\Omega$

$$A_{v\infty}=U_{o\infty}/U_i=414.5/9.36=44.28$$
$$A_{vL}=U_{OL}/U_i=218.2/9.36=23.31$$
$$R_i=U_i/(U_s-U_i)*R=9.36/(10.72-9.36)*1=6.88k\Omega$$
$$R_o=(U_{o\infty}/U_{OL}-1)*R_L=(414.5/218.2-1)*5.1=4.59k\Omega$$

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 $V_i=10mV$  不变，当 $f=2KHz$ 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0.707 $V_o$  时，记下此时信号发生器的频率，即为下限频率 $f_L$ 。填入下表，测量过程均应保持 $V_i$ 不变和波形不失真。

2) 方法2

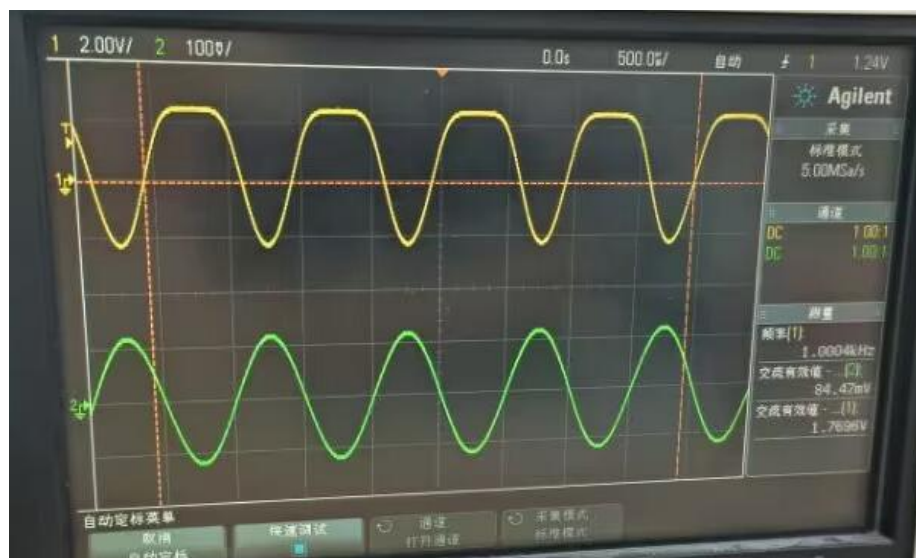
使用多功能仪器的扫频仪，对该放大器的幅频特性曲线进行测量显示，并使用cursor功能在屏幕上读取其上限、下限截止频率。

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	210	30	210
方法2	209.98	30.052	209.98

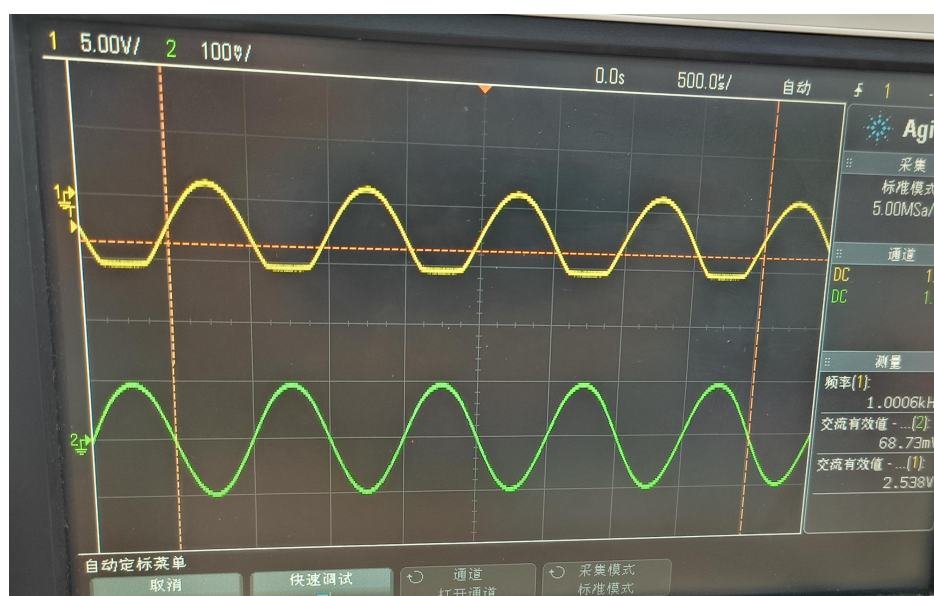
4、观察静态工作点对波形失真的影响

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。



$V_{EQ}$ (V)	$V_{BQ}$ (V)	$V_{CQ}$ (V)	失真情况
0.47	1.06	9.90	截止失真

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。



$V_{EQ}$ (V)	$V_{BQ}$ (V)	$V_{CQ}$ (V)	失真情况
1.63	2.27	4.53	饱和失真



## 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？

看静态工作点的各极点位，对PNP管，若  $V_E > V_B > V_C$ ，则电路工作在放大状态；对NPN管，若  $V_C > V_B > V_E$ ，则电路工作在放大状态。

2、按实验电路，若输入信号增大到100mV，输出电压=? 是否满足 $V_o = A_v \cdot V_i$ ，试说明原因？

输入信号增大到100mV，输出电压=1.54V, 不满足 $V_o = A_v \cdot V_i$ ，因为此时信号太大，电路处于饱和状态，会出现饱和失真。

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。

1) 测量时电表内阻对电路造成影响，使测量值存在一定误差；

2) 晶体管集电极和发射极之间漏电电流可能存在不稳定现象。

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？

若输入、输出波形都无法显示，先确认信号发生器的输出开关是否打开，若无，则打开输出开关；若已经打开输出开关，但示波器仍无法显示，则再次自检示波器。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，则检查信号线和探头的地线是否导通。

如果示波器上只能显示输入波形，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。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。

## 六、实验小结

本次实验相较于以往几次实验，难度提升了不少，其中一部分在于预习要求，第一次使用Multisim对电路进行仿真实验，在软件下载以及使用过程中都遇到了一些困难，好在向其他同学寻求帮助并结合老师上传的资料以及自己摸索解决了这些问题；其次，正式实验时也遇到了一些困难，因为本次实验电路比较复杂，涉及的电路元器件比较多且杂，在电路搭接过程中也是费了一番功夫，不过最终也是成功完成实验。