

## 一. 单级放大电路

A

廖晓宇

2024/10/19

### 一. 实验目的

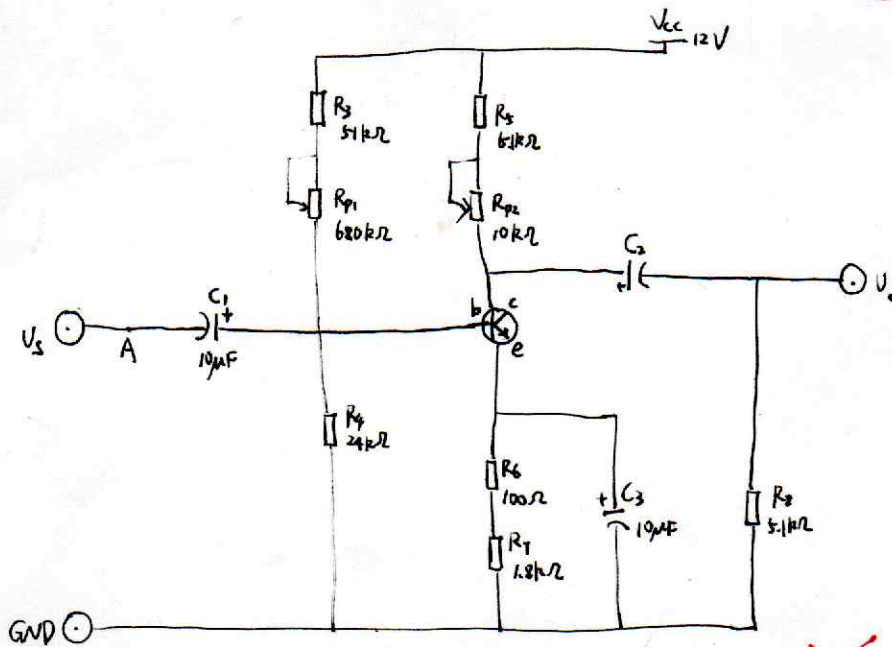
- (1) 熟悉电子元器件和模拟电路实验箱的使用
- (2) 学会测量和调整放大电路静态工作点的方法, 观察放大电路的非线性失真。
- (3) 学习测定放大电路的电压放大倍数。
- (4) 掌握放大电路的输入阻抗、输出阻抗的测试方法。
- (5) 学习基本直流仪器仪表的使用方法

### 二. 实验仪器

- (1) 数字示波器
- (2) 信号发生器
- (3) 数字万用表

### 三. 实验原理

电路中的放大主要是指微弱电信号的放大: 电压幅度、电流幅度或功率的放大。放大在集成电路中完成, 放大电路可以将输入的微弱电信号的电压或电流的幅度进行放大, 从而放大信号的能量。小功率的信号经放大电路放大后, 其能量得到加强, 这为输出的能量是由直流电源提供的, 只是经过放大电路的控制, 使之转换成信号能量, 提供给负载, 所以说放大作用实质上是一种能量的控制作用, 具有能量控制作用的器件称为有源器件, 如双极型三极管。



## 1. 静态工作点的估算

当流过基极分压电阻的电流远远大于三极管的基极电流时, 可以忽略  $I_{BQ}$ , 则有

$$U_{BQ} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC}$$

$$I_{CQ} \approx I_{EQ} = \frac{U_{BQ} - U_{BEQ}}{R_E}$$

$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_C - I_{EQ} R_E \approx V_{CC} - I_{CQ} (R_C + R_E)$$

$$I_{BQ} = \frac{I_{CQ}}{\beta}$$

## 2. 动态指标

放大电路的动态指标主要有电压放大倍数, 输入电阻, 输出电阻以及通频带等。

理论上, 电压放大倍数  $A_u = -\beta \frac{R_o}{r_{be}}$ , 输入电阻  $R_i = R_1 // R_2 // r_{be} \approx r_{be}$ , 输出电阻  $R_o \approx R_C$ 。

对于电压放大倍数  $A_u$  的测量, 可以调整放大器到合适的静态工作点, 然后加入输入电压  $U_i$ ,

在输出电压  $U_o$  不失真的情况下, 用交流毫伏表测出  $U_i$  和  $U_o$  的有效值, 则  $A_u = \frac{U_o}{U_i}$ 。

为了测量放大器的输入电阻, 按下图所示电路, 在被测放大器的输入端与信号源之间接入一已知电阻  $R$ ,

在放大器正常工作的情况下, 用交流毫伏表测出  $U_s$  和  $U_i$ , 则根据输入电阻的定义可得  $R_i = \frac{U_i}{I_i} = \frac{U_i}{U_s - U_i} R$ 。



测量电压放大倍数时, 首先将放大器调整到合适静态工作点, 给定输入电压  $U_i$ , 在输出  $U_o$  不失真的情况下,

用交流毫伏表测出输出电压  $U_o$  与输入电压的有效值, 则  $A_u = \frac{U_o}{U_i}$ 。

通频带定义为上限频率与下限频率之差:  $f_{BW} = f_H - f_L$ 。通频带越宽, 表明放大器对信号频率的适应能力越强。

其中  $f_L$  下限频率满足如下关系式:  $A(f_L) = \frac{A_{\text{中频}}}{\sqrt{2}} = 0.7 A_{\text{中频}}$ 。

## 四、实验内容及结果

### 1. 调整静态工作点

将函数信号发生器的输出端经输出电缆接至  $U_i$  输入端, 调整函数信号发生器输出的正弦波信号, 使  $f = 1\text{kHz}$ ,

$U_i = 10\text{mV}$  ( $U_i$  是放大器输入端的有效值), 用示波器可得: 一般采用实验箱上加载的办法, 即利用一个较大的

信号 ( $U_s = 10\text{mV}$ ), 在实验板上经  $100:1$  衰减电阻降为  $1\text{mV}$ , 将示波器的输入电缆线接至放大器输入端。

然后调整基极电阻  $R_{B1}$ , 在示波器上观察  $U_o$  的波形, 将  $U_{BQ}$  调整到最大不失真输出, 注意观察静态工作点的变化对输出

波形的影响, 观察何时出现饱和失真, 何时截止失真, 若出现饱和失真减小  $U_i$ , 直至不出现失真, 再调工作点  $R_{B1}$ 。

电位器手动 ( $R_B = R_{B1} + R_{B2}$ )。用万用表测静态工作点。

测量参数	$U_{BE}(V)$	$I_C(\mu A)$	$I_B(\mu A)$	$U_{CE}(V)$	$U_C(V)$	$U_B(V)$	$U_O(V)$	$R_o(k\Omega)$
实测值	0.6265	0.6026	0.7127	3.8192	5.105	1.9751	1.3494	17.00



## 2. 测量放大电路的电压放大倍数

- (1) 调整函数信号发生器输出为正弦信号，调节，用示波器观察放大器的输出波形，调整到不失真，用晶体管毫伏表测量放大器空载时的输出电压的有效值，调节，重复上述步骤，验证放大倍数的线性关系，记录如下。

栏目	实测值		计算值
	$U_i$	$U_o$	$A_u$
空载	49.95	558.4	11.28
加载	49.4	190.57	38.58

## 3. 测量放大器的输入、输出电阻

- (1) 输入电阻的测量：断开电阻  $R_2$ ，用万用表的电阻档测量信号源与放大器之间的电阻  $R_s$ ，用晶体管毫伏表测量信号源两端电压  $U_s$  以及放大器输入电压  $U_i$ ，可求得放大器的输入电阻  $R_i$ 。

$U_s$	$U_i$	$R_s$
50.57mV	315.60mV	5.109k $\Omega$

$$R_i = \left( \frac{U_i}{U_s - U_i} \right) R_s = 8.532k\Omega$$

- (2) 输出电阻测量：在放大器输出信号不失真的情况下，断开  $R_L$ ，用晶体管毫伏表测量输出电压  $U_o$ 。

接上  $R_L$ ，测得  $U_{oL}$ ，可求得放大器的输出电阻  $R_o$ 。

$U_o$	$U_{oL}$	$R_L$
10.03V	3.03.97mV	5.080k $\Omega$

$$R_o = \left( \frac{U_o - U_{oL}}{U_{oL}} \right) \cdot R_L = 8.9165k\Omega$$

## 4. 测量放大电路 4. 幅频特性曲线

输入幅  $\rightarrow$  输出幅

( )  
增益 (dB)

F (kHz)	$U_o$ (mV)
0.387	257.09
0.400	261.35
0.500	292.41
0.600	315.11
0.700	332.26
0.800	365.40
0.900	355.54
1	
1.5	381.70
2	396.84
2.5	401.91
3	404.11
3.5	406.06
4	406.25
4.5	407.05
5	406.79
5.5	405.47
6	404.54
6.5	
7	403.49

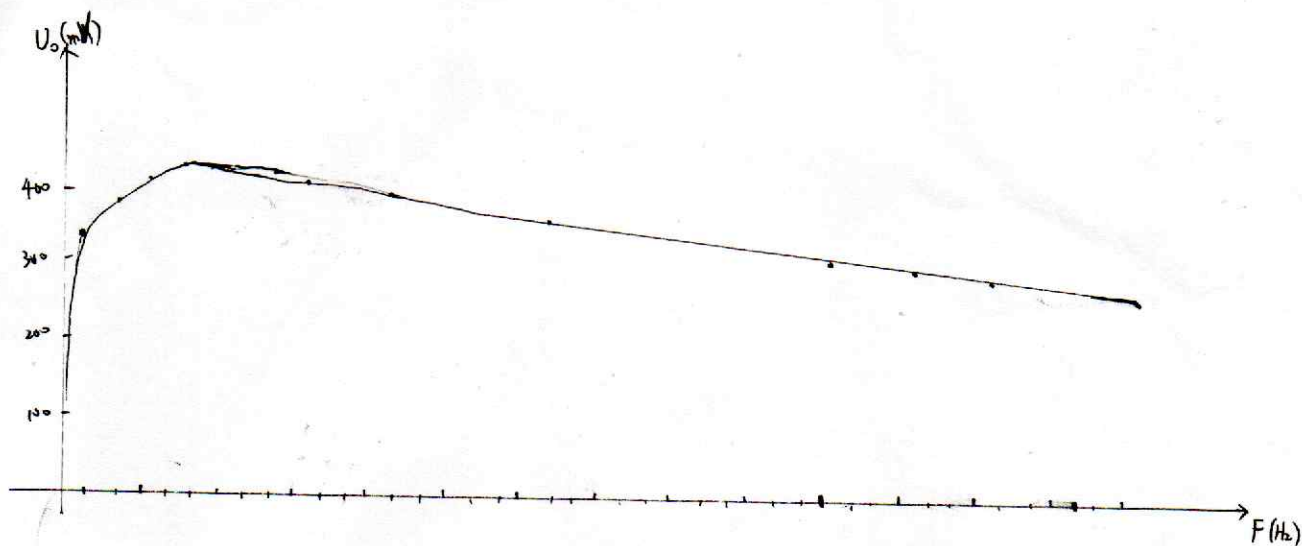
8	403.08
9	400.75
10	397.61
15	373.26
20	349.32
25	325.16
30	302.94
35	298.44
40	263.82
41	260.26
42	257.04

$f_L$

$f_H$

BW

?



### 5. 观察放大电路的非线性失真

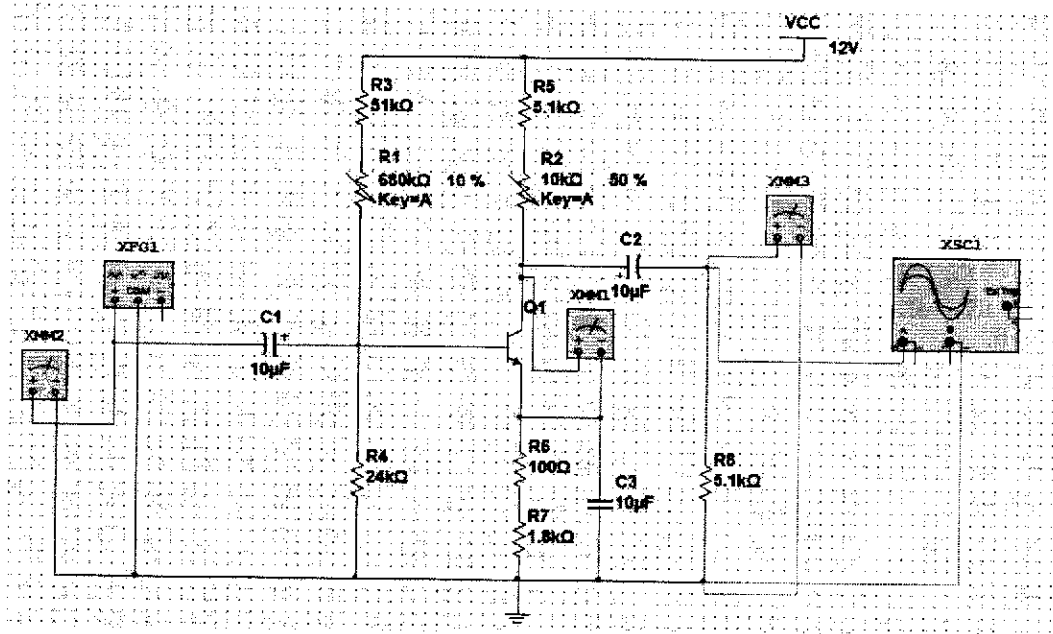
(1) 工作点合适, 输入信号过大引起的非线性失真: 在静态工作点不变的情况下增大输入信号, 用示波器观察输出波形的失真现象, 用万用表测量  $I_c$  和  $U_{ce}$  的值.

$I_c$	$U_{ce}$
0.6025mA	4.164V

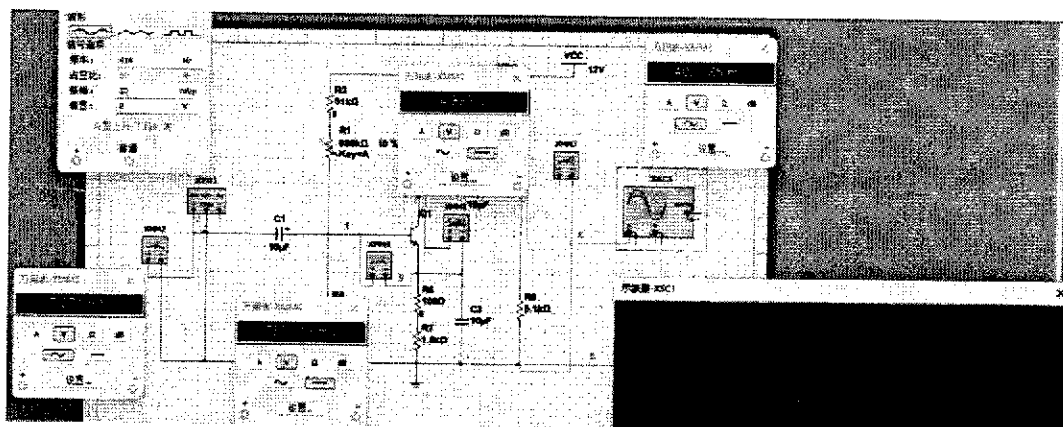
(2) 工作点不合适, 引起的非线性失真: 在放大器输入电压  $U_i$  不变的情况下, 改变放大电路的静态工作点 (调节  $R_{b1}$  的大小), 用示波器观察输出电压  $U_o$  波形的变化, 用万用表测量  $I_c$  和  $U_{ce}$  的值, 并记录.

$R_{b1}$	波形图	$I_c$	$U_{ce}$	何种失真
较小		0.9702mA	0.259V	饱和失真
最大		0.0015mA	10.239V	截止失真

## 1. 仿真电路图



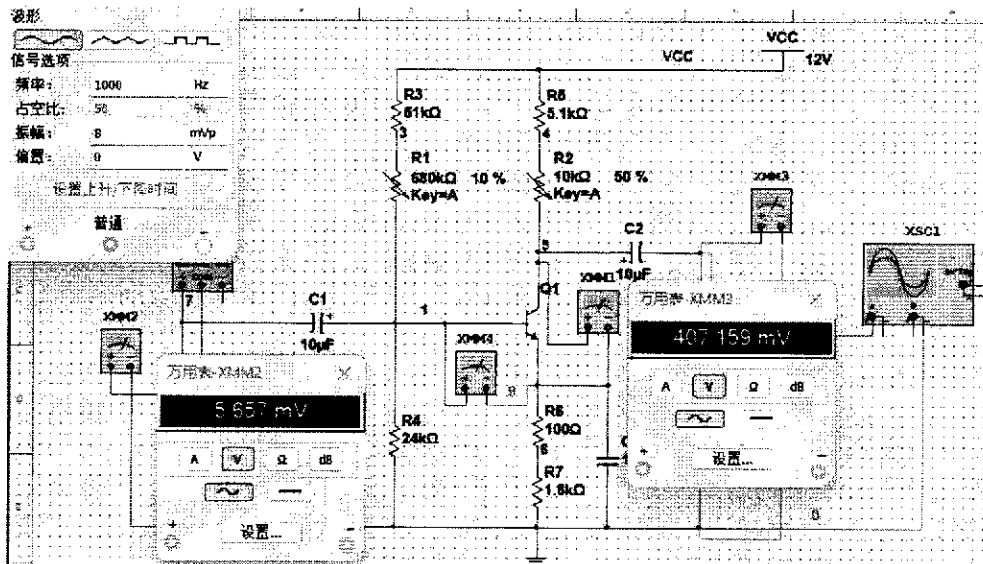
## 2. 静态工作点仿真结果



## 单级放大电路 直流工作点分析

	Variable	Operating point value
1	V1	12.0000
2	V2	0.0000
3	V3	0.0000
4	V4	0.0000
5	V5	0.0000
6	V6	0.0000

### 3. 电压放大倍数



Ui	Uo	Au
5.657m	407.459m	72.027
7.071m	506.939m	71.693
10.607m	750.22m	70.729
		71.498

### 4. 输入输出电阻

#### (1) 输入电阻

Ui	Us	Rs	Ri
315.60m	504.57m	5.109k	8.5326k

#### (2) 输出电阻

Uo	Uol	RI	Ro
1.0063	363.97m	5.0808	8.9665k

### 5. 幅频特性曲线

