

### 三、差动放大电路

A

李晚宇

2024100192

#### 一、实验目的

- (1) 熟悉差动放大器的工作原理。
- (2) 掌握差动放大器的基本测试方法。

#### 二、实验仪器

- (1) 数字示波器
- (2) 数字万用表
- (3) 信号发生器

#### 三、实验原理

调整电位器  $R_p$  用调节点  $V_{T1}$ 、 $V_{T2}$  管的静态工作点，使得输入信号  $U_i = 0$  时，双端输出电压  $U_o = 0$ 。

$R_e$  为两管共有的发射极电阻，它对差模信号无负反馈，因为不影响差模电压的放大倍数但对共模信号有强烈的负反馈作用，所以可以有效地抑制零漂，稳定静态工作点。电路中使用晶体管的 ~~静态工作点~~，用恒流源代替发射极电阻  $R_e$ ，可以进一步提高差动放大器抑制共模信号的能力。

##### 1. 静态工作点的估算

(1) 典型电路 
$$I_E = \frac{|U_{EE}| - U_{BE}}{R_e}$$
$$I_{C1} = I_{C2} = \frac{1}{2} I_E \quad (\text{认为 } U_{B1} = U_{B2} \approx 0)$$

(2) 恒流源电路：
$$I_{C3} \approx I_{E3} \approx \frac{R_{E1}}{R_{E1} + R_{E2}} \frac{|U_{EE}| - U_{BE}}{R_{E2}}$$
$$I_{C1} = I_{C2} = \frac{1}{2} I_{C3}$$

##### 2. 差模电压放大倍数 $A_{ud}$ 和共模电压放大倍数 $A_{uc}$

当差动放大器的射极电阻  $R_e$  足够大，或用恒流源电路的时候，差模电压放大倍数  $A_{ud}$  由输出端的输出方式决定，而与输入端无关。

###### (1) 双端输入：

$$\text{当 } R_e = \infty, R_p \text{ 在中点位置时，则有 } A_d = \frac{\Delta U_o}{\Delta U_i} = - \frac{\beta R_e}{R_b + R_e + \frac{1}{2}(\beta + 1)R_p}$$

(2) 单端输出：
$$A_{d1} = \frac{\Delta U_{C1}}{\Delta U_i} = \frac{1}{2} A_d$$

$$A_{d2} = \frac{\Delta U_{C2}}{\Delta U_i} = -\frac{1}{2} A_d$$

当输入是共模信号时，若为单端输出，则有

$$A_{C1} = A_{C2} = \frac{\Delta U_{C1}}{\Delta U_i} = - \frac{\beta R_c}{R_b + R_e + (\beta + 1)(\frac{1}{2}R_p + 2R_e)}$$

若为双端输出, 在理想情况下, 则有  $A_c = \frac{\Delta U_o}{\Delta U_i} = 0$ .

实际上, 由于元件不可能完全对称, 因此  $A_c$  也不会绝对等于 0.

### 3. 共模抑制比 (CMR)

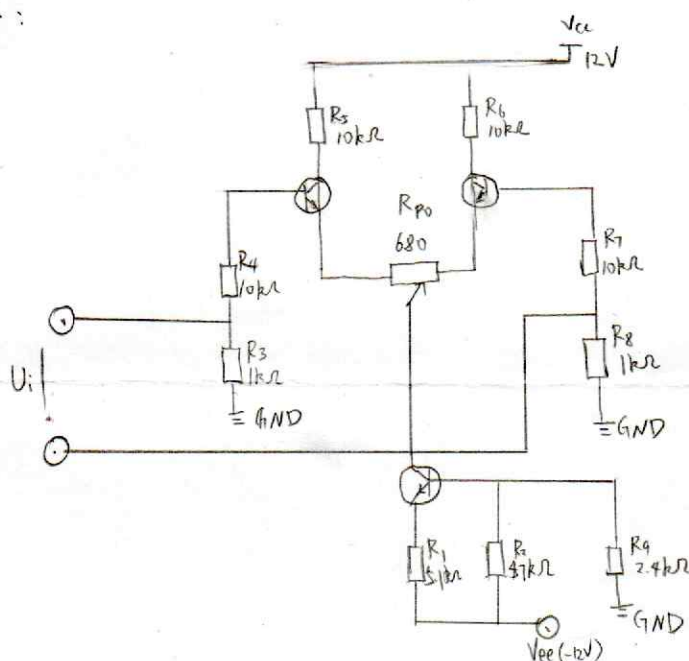
为了表征差动放大器对有用信号 (差模信号) 的放大作用和对共模信号的抑制作用, 通常用一个综合指标来衡量, 即共模抑制比.

$$CMR = \left| \frac{A_d}{A_c} \right| \quad \text{或} \quad CMR = 20 \lg \left| \frac{A_d}{A_c} \right| \text{ (dB)}$$

差动放大器的输入信号可用直流信号, 也可用交流信号.

### 四. 实验内容及结果

电路图如下:



#### 1. 测量静态工作点

(1) 调整: 将输入端  $U_i$  短路与地, 接有直流电源, 调节零电位器  $R_{P0}$ , 测量  $U_{c1}$ 、 $U_{c2}$  之间的电压  $U_o$ , 使双端输出电压  $U_o = 0$  或接近 0, 表明电路里作对称.

(2) 测量静态工作点. 测量差动放大电路中晶体管  $U_{b1}$ 、 $U_{b2}$ 、 $U_{b3}$  各极对地电压记录如下.

①

对地电压  $U_{c1}$   $U_{c2}$   $U_{c3}$   $U_{b1}$   $U_{b2}$   $U_{b3}$   $U_{e1}$   $U_{e2}$   $U_{e3}$

测量值 (V) 4.8350 4.8398 -0.9613 -26.78m -25.60m -4.0136 -0.6349 -0.6519 -4.6588

## 2. 测量差模放大倍数

在输入端加入直流电压信号  $U_{id} = \pm 0.1 \text{ V}$ ，... 测量数据算出单端和双端输出的电压放大倍数。

△先测直流信号  $0 \text{ V}$ ， $0 \text{ V}_2$ ，使其分别为  $+0.1 \text{ V}$  和  $-0.1 \text{ V}$  再输入  $U_{i1}$  和  $U_{i2}$ 。

## 3. 测量共模电压放大倍数

将输入端  $U_{i1}$ 、 $U_{i2}$  短接，接交流信号源的输出端，信号源另一端接地。

调节信号为  $U_i = 50 \text{ mV}$ ， $f = 1 \text{ kHz}$  的正弦信号，在差模输出不变的情况下，测量此时的单端输出电压值，并计算双端输出的共模电压值。

将输入端先后接入直流信号  $0 \text{ V}$  和  $0 \text{ V}_2$ ，分别测量单端及双端输出电压值。

由测量数据得单端和双端输出的电压放大倍数，进一步算出共模抑制比。

$$\text{CMR} = \left| \frac{A_d}{A_c} \right|$$

输入信号 $U_{i1}$ 及测量 反计算量	差模输入						共模输入					
	测量值 (V)			计算值			测量值 (V)			计算值		
	$U_{c1}$	$U_{c2}$	$U_{c\text{双}}$	$A_{d1}$	$A_{d2}$	$A_{d\text{双}}$	$U_{c1}$	$U_{c2}$	$U_{c\text{双}}$	$A_{c1}$	$A_{c2}$	$A_{c\text{双}}$
直流 $\pm 0.1 \text{ V}$	22.853	7.402	-5.1167	-12.1635	12.821	-25.5835	4.8324	-4.8381	-0.0057	-0.008	-0.0085	-0.0285
正弦信号 $50 \text{ mV}$ , $1 \text{ kHz}$ ( $18.06 \text{ mV}$ )	0.7419	-0.7444	1.4863	14.838	-14.888	29.726	0.55 mV	0.40 mV	9.75 mV	0.011	0.008	0.195
	$\text{CMRR}_1 = \left  \frac{A_d}{A_c} \right  = 897.67$						$\text{CMRR}_2 = \left  \frac{A_d}{A_c} \right  = 152.63$					

## 4. 在实验板上组成单端输入的差放电路进行下列实验

(1) 将  $U_{i2}$  接地，组成单端输入差动放大器。从  $U_{i1}$  端输入直流信号  $U_i = \pm 0.1 \text{ V}$

测量单端及双端输出，记录如下，并计算单端输出及双端输出的电压放大倍数。

并双端输入时的单端及双端差模放大倍数进行比较。

(2)  $U_{i2}$  接地，从  $U_{i1}$  端输入正弦信号  $U_i = 50 \text{ mV}$ ， $f = 1 \text{ kHz}$ ，分别测量单端及双端输出电压。

记录如下。

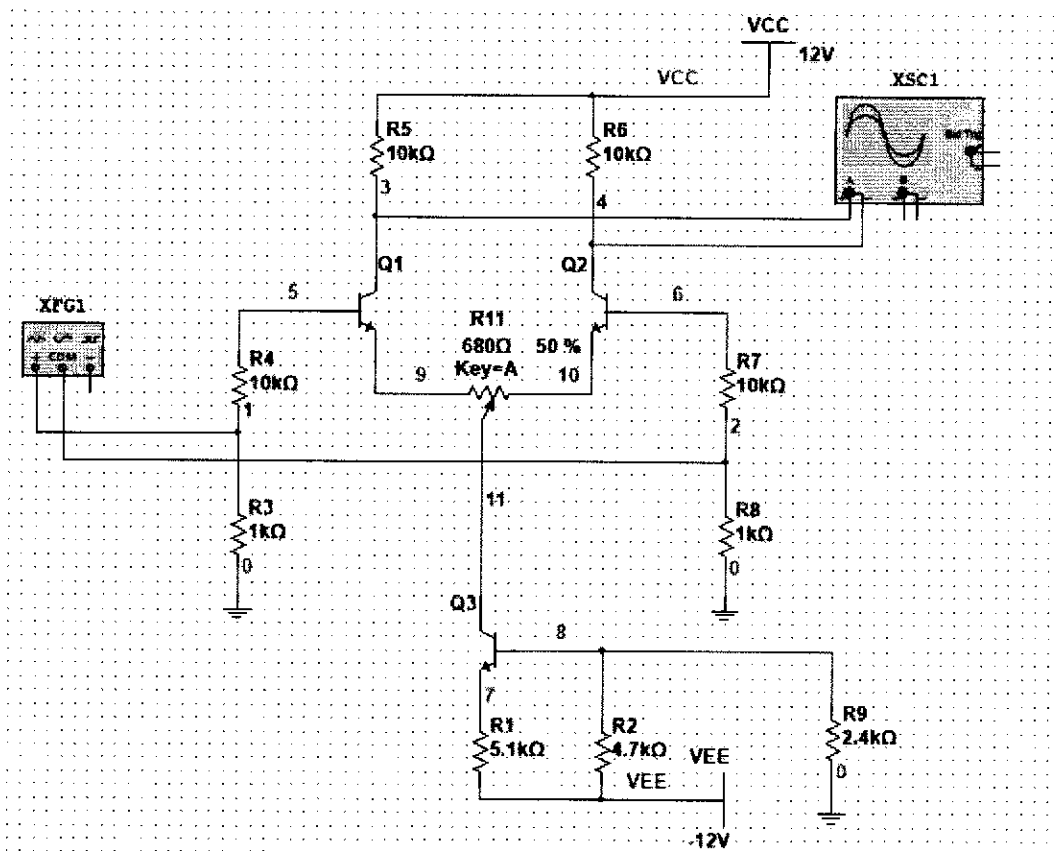
输入信号 $U_i$ 测量及计算值	$U_{c1}$	$U_{c2}$	$U_{o\text{双}}$	放大倍数
直流 $+0.1 \text{ V}$	3.6331	6.540	-2.4009	-2.4009
直流 $-0.1 \text{ V}$	6.053	5.3102	2.5735	25.135
正弦信号 $50 \text{ mV}$ $1 \text{ kHz}$	0.7245	-0.7209	1.4318	28.636

$\pm ?$

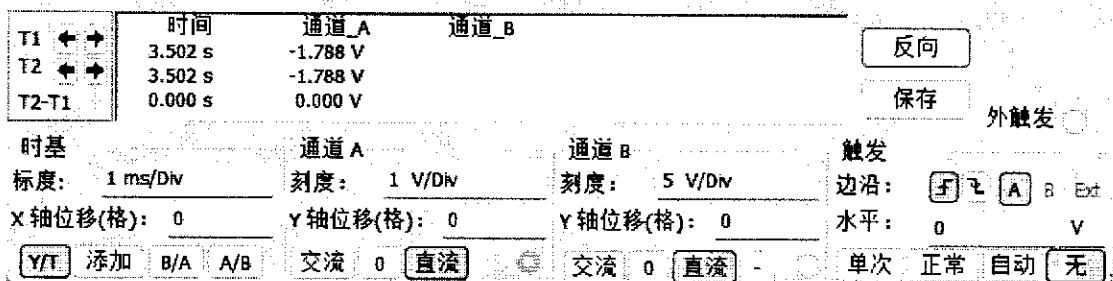
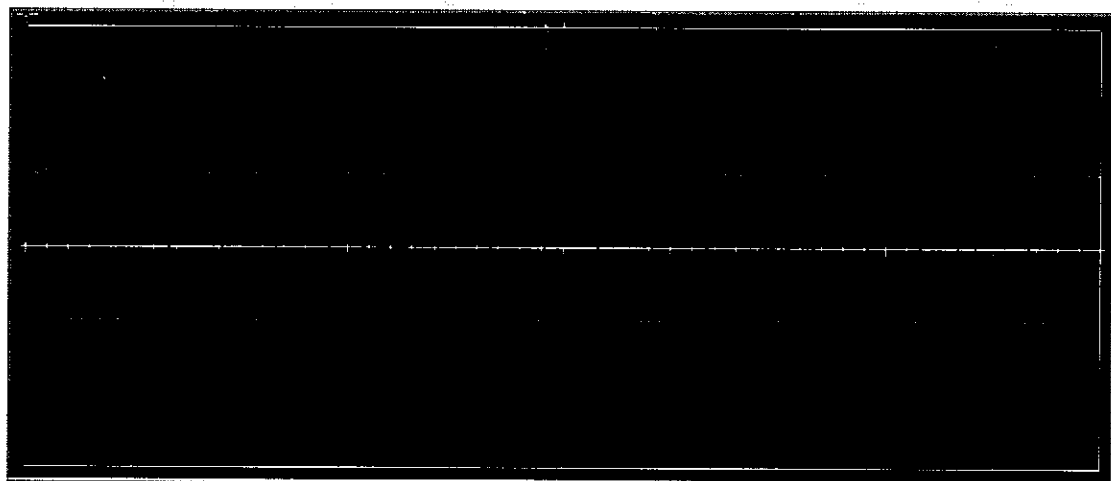
共模情况记录表

输入信号 $v_i$ 测量值	$U_{c1}$	$U_{c2}$	$U_o$	放大倍数
直流 $10V$	4.8297	4.8388	-9.14m	0.914
直流 $-0.1V$	4.8307	4.8387	-8.48m	0.848
正弦信号 $5mV$ 1kHz	0.55m	0.4m	9.63m	0.1936

?

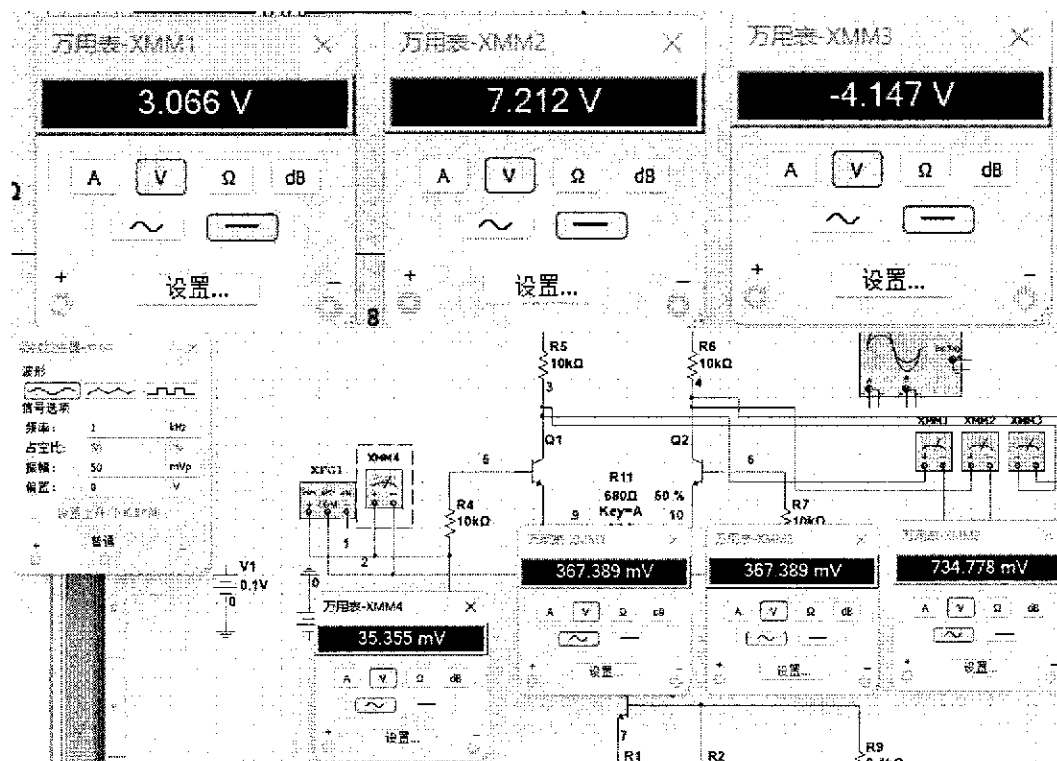


示波器-XSC1

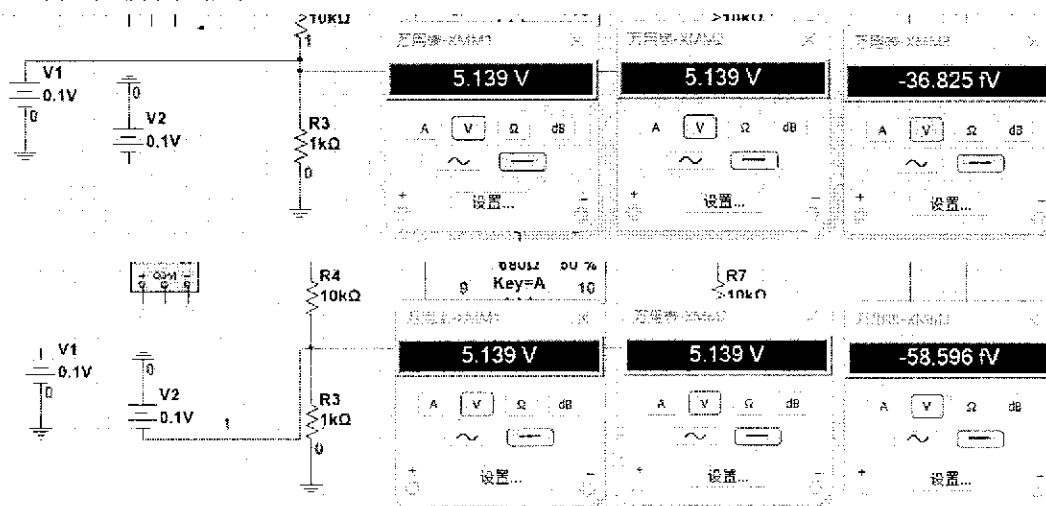


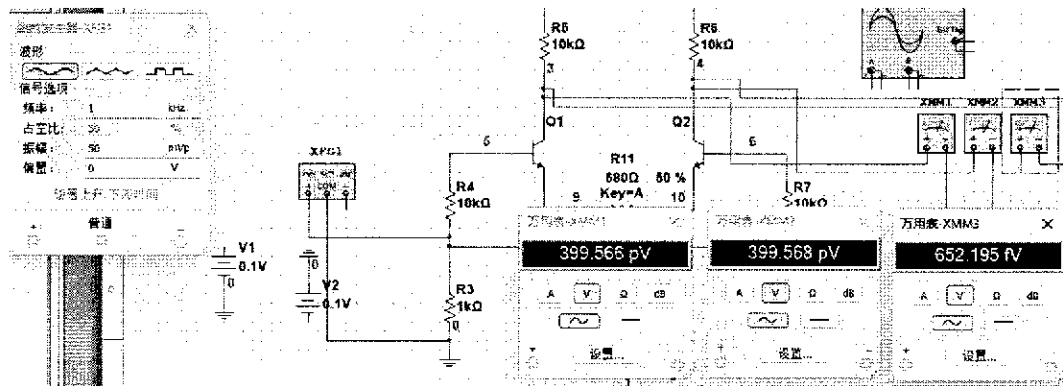


## 2. 测量差模放大倍数



### 3. 测量共模放大倍数





输入信号	Uc1	Uc2	Uo	Ad1	Ad2	Ad
+0.1V	5.139	5.139	-36.825f	0.0005	-0.0005	-1.84125e-13
-0.1V	5.139	5.139	-58.596f	0.0005	-0.0005	-2.9298e-13
正弦信号	399.566p	399.568p	652.195f	1.3015e-11	1.13016e-11	1.8447e-14

#### 4. 共模抑制比

直流	交流
1.12614E+14	1.12663E+15