

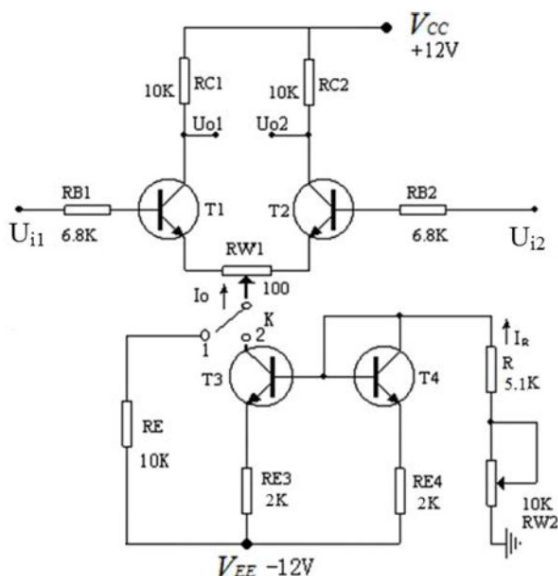
差动放大器实验报告

1. 实验目的

- 1) 熟悉差动放大器的工作原理，加深理解其性能和特点
- 2) 学习差动放大器静态工作点的设置方法、掌握差模电压增益、共模电压增益、共模抑制比 CMRR 等主要性能指标的测试方法。
- 3) 了解基本差动放大器与具有镜像恒流源的差动放大器的性能差别。

2. 实验内容

2.1. 本次实验电路：



当开关 K 接 1 时，为典型差动放大电路。其中 T1, T2 为差分对管，与电阻 RB1, RB2, RC1, RC2 以及电位器 RW1 共同组成差动放大的基本电路。且 $RB1=RB2$, $RC1=RC2$ 。

当开关 K 接 2 时，为具有恒流源的差动放大电路。T3 与 T4 与电阻 RE3, RE4, R, RW2 共同组成镜像恒流源电路。

2.2. 典型差动放大电路的性能调试：

1. 调整静态工作点

由于电路做工问题，静态时电路并不对称，需要调节。不加输入信号，将 U_{i1} , U_{i2} 对地短路，调节 RW1 电位器，使 $U_{O1} = U_{O2}$ 。
用万用表直流电压档分别测量差分对管 T1, T2 的各极电位，得到下表。

| 对地电位 | U_{c1} | U_{c2} | U_{E1} | U_{E2} | U_{B1} | U_{B2} |
|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 测量值 | 6.085V | -6.182V | -0.645V | -0.645V | -19.73mV | -19.83mV |

2. 测量差模放大倍数 A_{ud}

将 U_{i2} 接地，从 U_{i1} 段输入 $U_{id} = 20\text{mV}$ (有效值)， $f=1\text{kHz}$ 。测量得到：

输入电压实际值 $U_{id}=20\text{mV}$

单端输出电压 $U_{od1}=766.9\text{mV}$, $U_{od2}=756.7\text{mV}$

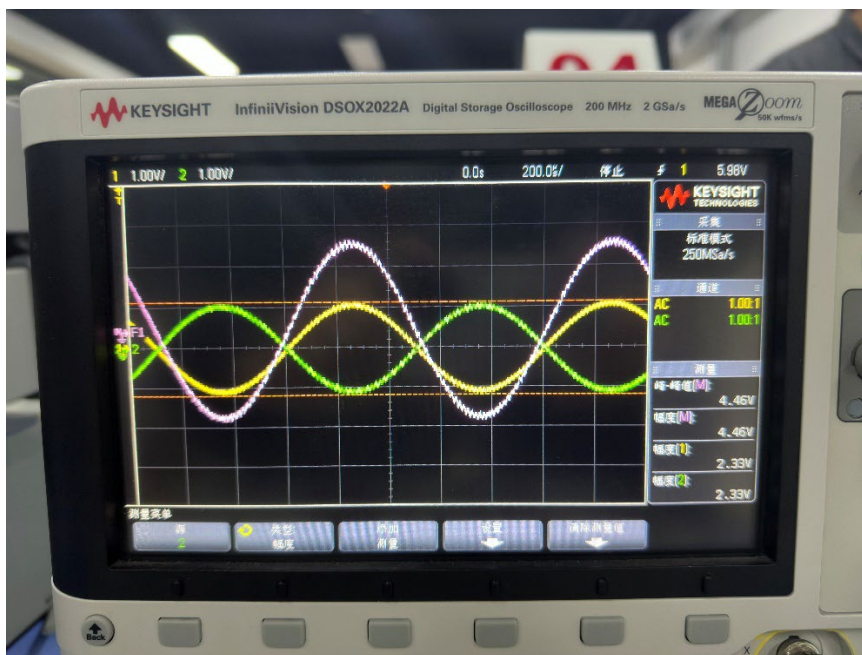
双端出差模电压 $U_{od}=U_{od1} + U_{od2}=1.524\text{V}$

双端出差模放大倍数 $A_{ud}=U_{od}/U_{id}=76.2$

单端出差模放大倍数 $A_{ud1}=U_{od1}/U_{id}=38.345$,

$A_{ud2}=U_{od2}/U_{id}=37.835$ 。

用示波器（AC 耦合）测量得到 U_{od1} （黄）, U_{od2} （绿）, U_{od} （紫）波形如下图：



理论值分析：=====

3. 测量差模输入电阻

差模信号单端输入模式，在信号源 U_S 与 U_{i1} 输入端之间串接一个 $R_S = 10\text{k}\Omega$ 的电阻， $f=1\text{kHz}$ ，测量得：实际 $U_S=80\text{mV}$ ， $U_{i1}=68.1\text{mV}$ 。得出差模输入电阻：

$$R_{id} = \frac{U_{i1}}{\frac{U_S - U_{i1}}{R_S}} = 57.2\text{k}\Omega$$

4. 测量差模输出电阻

差模信号单端输入单端输出模式， U_S 等于 50mV （有效值）， $f=1\text{kHz}$ ，空载时 $U_{od1} = 2.168\text{V}$ ，有载时 $U_{od1L} = 1.075\text{V}$ 。得出差模输出电阻：

$$R_{od1} = \frac{U_{od1} - U_{od1L}}{U_{od1L}} R_L = 11.68\Omega$$

5. 测量共模放大倍数 A_{uC}

将输入端的 U_{i1}, U_{i2} 两点接在一起，从 U_{S1} 端输入 90mV （有效值）， $f=1\text{kHz}$ 的共模信号。测量得

到：

输入电压实际值 $U_{ic}=90.0\text{mV}$

单端输出电压 $U_{oc1}=43.7\text{mV}$ ， $U_{oc2}=44.8\text{mV}$

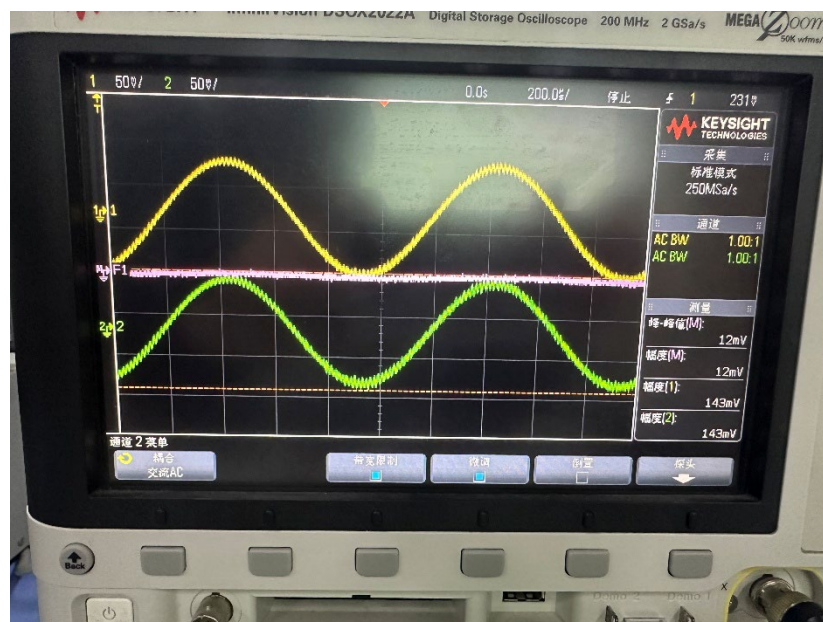
双端输出差模电压 $U_{oc}=1.1\text{mV}$

双端输出差模放大倍数 $A_{uc} = U_{oc}/U_{ic}=0.0122$

单端输出差模放大倍数 $A_{uc1} = U_{oc1}/U_{ic}= 0.486$ ，

$A_{uc2} = U_{oc2}/U_{ic}= 0.498$ 。

用示波器（AC 耦合）测量得到 U_{oC1} （黄）， U_{oC2} （绿）， U_{oC} （紫）波形如下图：



下面进行理论分析：

6. 计算双端输出和单端输出的共模抑制比

2.3. 具有恒流源的差动放大电路的性能调试

1. 调整静态工作点

不加输入信号，将 U_{i1}, U_{i2} 对地短路，调节 R_{W1} 点位器，使 $U_{O1} = U_{O2}$ 。调节 R_{W2} 电位器，

使 $I_0 = 2(U_{c1}/R_{C1}) = 1\text{mA}$ 。

实际测量得到 $U_{RC1} = 5.0\text{V}$ ， $R_{W2} = 4.278\text{k}\Omega$ 。

用万用表直流电压档分别测量差分对管 T_1, T_2 的各极电位，得到下表。

| | | | | | | |
|------|-------|-------|---------|---------|---------|---------|
| 对地电位 | Uc1 | Uc2 | UE1 | UE2 | UB1 | UB2 |
| 测量值 | 6.81V | 6.91V | -0.636V | -0.636V | -17.23V | -17.35V |

2. 测量差模放大倍数 A_{ud}
将 U_{i2} 接地，从 U_{i1} 端输入 $U_{id} = 20\text{mV}$ （有效值）， $f=1\text{kHz}$ 。测量得到：
输入电压实际值 $U_{id}=20.0\text{mV}$
单端输出电压 $U_{od1}=0.834\text{V}$ ， $U_{od2}=0.831\text{V}$
双端输出差模电压 $U_{od}=U_{od1} + U_{od2}=1.665\text{V}$
双端输入差模放大倍数 $A_{ud} = U_{od}/U_{id}=83.25$
单端输入差模放大倍数 $A_{ud1} = U_{od1}/U_{id}= 41.70$ ，
 $A_{ud2} = U_{od2}/U_{id}= 41.55$ 。
3. 测量共模放大倍数 A_{uc}
将输入端的 U_{i1}, U_{i2} 两点接在一起，从 U_{S1} 端输入 90mV （有效值）， $f=1\text{kHz}$ 的共模信号。测量得到：
输入电压实际值 $U_{ic}=90.0\text{mV}$
单端输出电压 $U_{oc1}=0.882\text{mV}$ ， $U_{oc2}=0.868\text{mV}$
双端输出差模电压 $U_{oc}=1.75\text{mV}$
双端输出差模放大倍数 $A_{uc} = U_{oc}/U_{ic}=0.0098$
单端输出差模放大倍数 $A_{uc1} = U_{oc1}/U_{ic}=0.0096$ ，
 $A_{uc2} = U_{oc2}/U_{ic}= 0.019$ 。
4. 计算双端输出和单端输出的共模抑制比

=====

3. 误差分析

=====

4. 思考题

- 4.1. 为什么要对差动放大器进行调零，在实验中是否非常重要？
在实际环境中，晶体管无法保证参数一致，进行调零才能保证输出平衡，在实验中非常重要。
- 4.2. 差动放大器中的 R_E 和恒流源起什么作用？提高 R_E 阻值会受到什么限制？

1) R_E 是指电阻-电容耦合方式的共射极放大电路中的发射极电阻，它的作用主要有两个方面：

1.1. 通过改变 R_E 的阻值，可以调节放大电路的增益和频率响应。增加 R_E 的阻值会减小放大电路的增益，同时会增加低频截止频率，使得电路对于低频信号的放大能力变弱；减小 R_E 的阻值则相反。因此， R_E 在设计放大电路时可以用来调节电路的增益和频率响应。

1.2. 通过 R_E 可以实现静态偏置点的稳定。在共射极放大电路中，通过合适选择 R_E 的阻值，可以确保晶体管的工作点处于正常工作区域，同

时提高放大电路的稳定性和线性度。

2) 恒流源是提供稳定电流的电路元件，它的主要作用有：

- 2.1. 提供稳定的电流源。恒流源可以通过电路设计来提供恒定的电流，可以用来驱动其他电路或元件，例如放大电路中的晶体管。
- 2.2. 保持电路的工作点稳定。恒流源可以用来给电路提供稳定的工作点，保证电路在一定的范围内工作。

3) 提高 RE 的阻值会减小放大电路的增益，同时会增加低频截止频率，使得电路对于低频信号的放大能力变弱。

3. 典型差动放大器电路与恒源差动放大电路的共模输出 U_{oc1} 与 U_{oc2} ，其大小、极性及共模抑制比 CMRR 有何区别？为什么？

| 特性 | 典型差动放大器 | 恒流源差动放大器 |
|-----------------------|---------------|-----------------|
| U_{oc1}, U_{oc2} 大小 | 随共模输入变化，较大 | 随共模输入变化，极小 |
| U_{oc1}, U_{oc2} 极性 | 非对称，受尾部电阻影响 | 对称，受恒流源控制 |
| 共模抑制比 (CMRR) | 较低，受尾电阻限制 | 较高，恒流源提高了抑制能力 |
| 原因 | 尾部电阻对共模信号抑制较差 | 恒流源提供高阻抗，抑制共模信号 |