

南开大学电子信息与光学工程学院

电路基础实验_____四_____

实验名称 _____运算放大器与受控电源_____

一. 实验目的

- 1、加深对受控电源的理解。
- 2、学习运算放大器的使用方法，形成有源器件的概念。
- 3、测量电压控制型电流源和电压源，电流控制型电流源和电压源的特性。

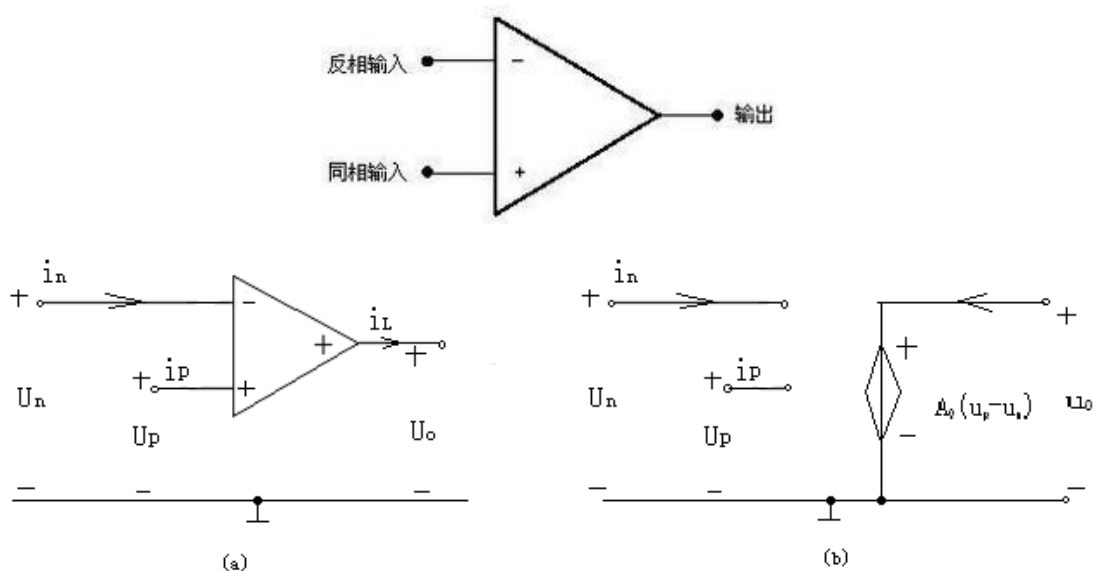
二. 实验原理

1. 运算放大器

运算放大器（简称“运放”）是具有很高放大倍数的电路单元。在实际电路中，通常结合反馈网络共同组成某种功能模块。

其输出信号可以是输入信号加、减或微分、积分等数学运算的结果。由于早期应用于模拟计算机中，用以实现数学运算，故得名“运算放大器”。

运算放大器（简称运放）的电路符号及其等效电路：



运算放大器的输出电压为： $U_o = A_o(U_p - U_n)$

在理想情况下， A_o 与运放的输入电阻 R_i 均为无穷大，因此有

$U_p = U_n$ ，同时

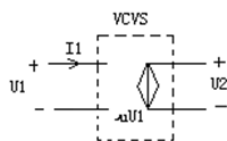
$$i_p = \frac{U_p}{R_{ip}} = 0 \quad i_n = \frac{U_n}{R_{in}} = 0$$

这说明理想运放具有下列三大特征：

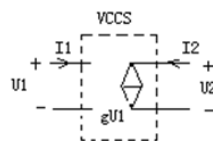
- ① +、-输入端电位相等，通常称为“虚短路”。
- ② 输入端电流为零，即输入电阻为无穷大，通常称为“虚断路”。
- ③ 运放的输出电阻为零。

要使运放工作，还需要接有正、负直流工作电源（称双电源），有的运放也可用单电源工作。

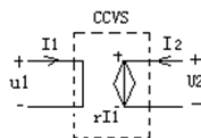
四种基本受控源：



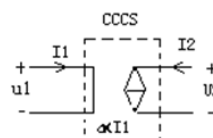
(a) 电压控制电压源 (VCVS)



(b) 电压控制电流源 (VCCS)



(c) 电流控制电压源 (CCVS)



(d) 电流控制电流源 (CCCS)

四种受控源转移函数参量的定义如下：

- (1) 压控电压源 (VCVS)

$$U_2 = f(U_1) \quad \mu = U_2/U_1 \text{ 称为转移电压比 (或电压增益)。}$$

- (2) 压控电流源 (VCCS)

$$I_2 = f(U_1) \quad g_m = I_2/U_1 \text{ 称为转移电导。}$$

- (3) 流控电压源 (CCVS)

$$U_2 = f(I_1) \quad r_m = U_2/I_1 \text{ 称为转移电阻。}$$

- (4) 流控电流源 (CCCS)

$$I_2 = f(I_1) \quad \alpha = I_2/I_1 \text{ 称为转移电流比 (或电流增益)。}$$

①电压控制型电压源（VCVS）：

由于运算放大器的输入端“+”、“-”为虚短路，所以

$$u_+ = u_- = u_1, \quad i_{R_2} = \frac{u_+}{R_2} = \frac{u_-}{R_2}$$

又由于运算放大器的虚断特性，故有：

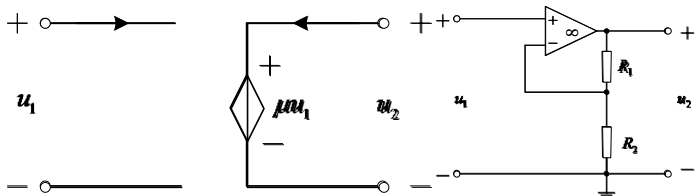
$$i_{R_1} = i_{R_2}$$

故有：

$$u_2 = i_{R_2} R_1 + i_{R_2} R_2 = i_{R_2} (R_1 + R_2) = \frac{u_1}{R_2} (R_1 + R_2) = (1 + \frac{R_1}{R_2}) u_1 = \mu u_1$$

即输出电压 U_2 受输入电压 U_1 的控制，其电压比为：

$$\mu = 1 + \frac{R_1}{R_2}$$



电压控制型电压源模型

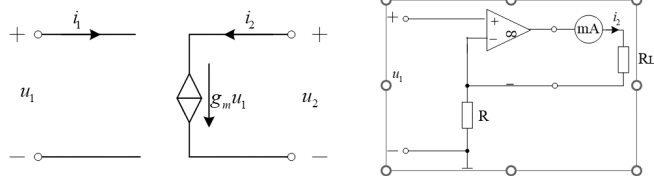
电压控制型电压源电路

②电压控制性电流源 VCCS：

运算放大器输出电流为 $i_2 = i_R = \frac{u_+}{R} = \frac{u_1}{R}$ ，即只受输入电压控制，与负载电阻无

关（实际上 R_L 为有限值）转移电导为 $g_m = \frac{i_2}{u_1} = \frac{1}{R}$ ，输入输出无公共接地点，这种

联接方式称为浮地联接。



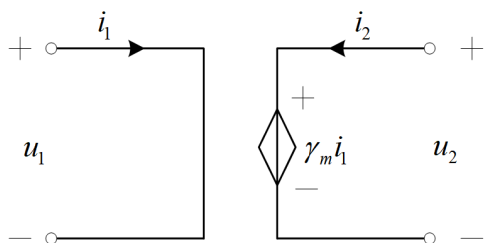
电压控制型电流源模型

电压控制性电流源电路

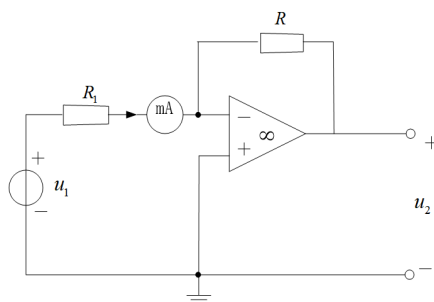
③ 电流控制电压源（CCVS）：

由于运算放大器的“虚地”特性，流过电阻 R 的电流即为输入电流 i_1 。运算放大器的输出电压为 $u_2 = -i_1 R$ ，即输出电压 u_2 受输入电流 i_1 控制。转移电阻为：

$$r_m = \frac{u_2}{i_1} = -R。$$



电流控制型电压源模型



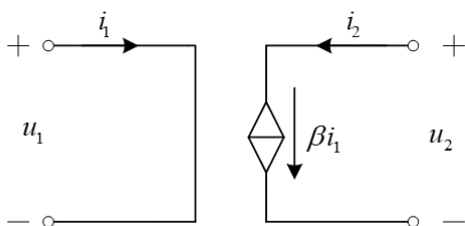
电流控制型电压源电路

④ 电流控制性电流源（CCCS）：

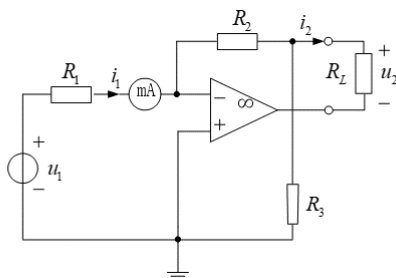
运算放大电路如图所示。由于“+”接地，“-”端虚地，电路中 d 点的电压为 $u_d = -i_{R_1} R_1 = -i_1 R_1$ ，电流为 $i_{R_2} = -\frac{u_d}{R_2} = i_1 \frac{R_1}{R_2}$ ，输出端电流为

$i_2 = i_{R_1} + i_{R_2} = i_1 + i_1 \frac{R_1}{R_2} = (1 + \frac{R_1}{R_2}) i_1$ ，即输出电流 i_2 受输入电流 i_1 控制，与负载电阻

无关。输出电流比为 $\alpha = \frac{i_2}{i_1} = 1 + \frac{R_1}{R_2}$

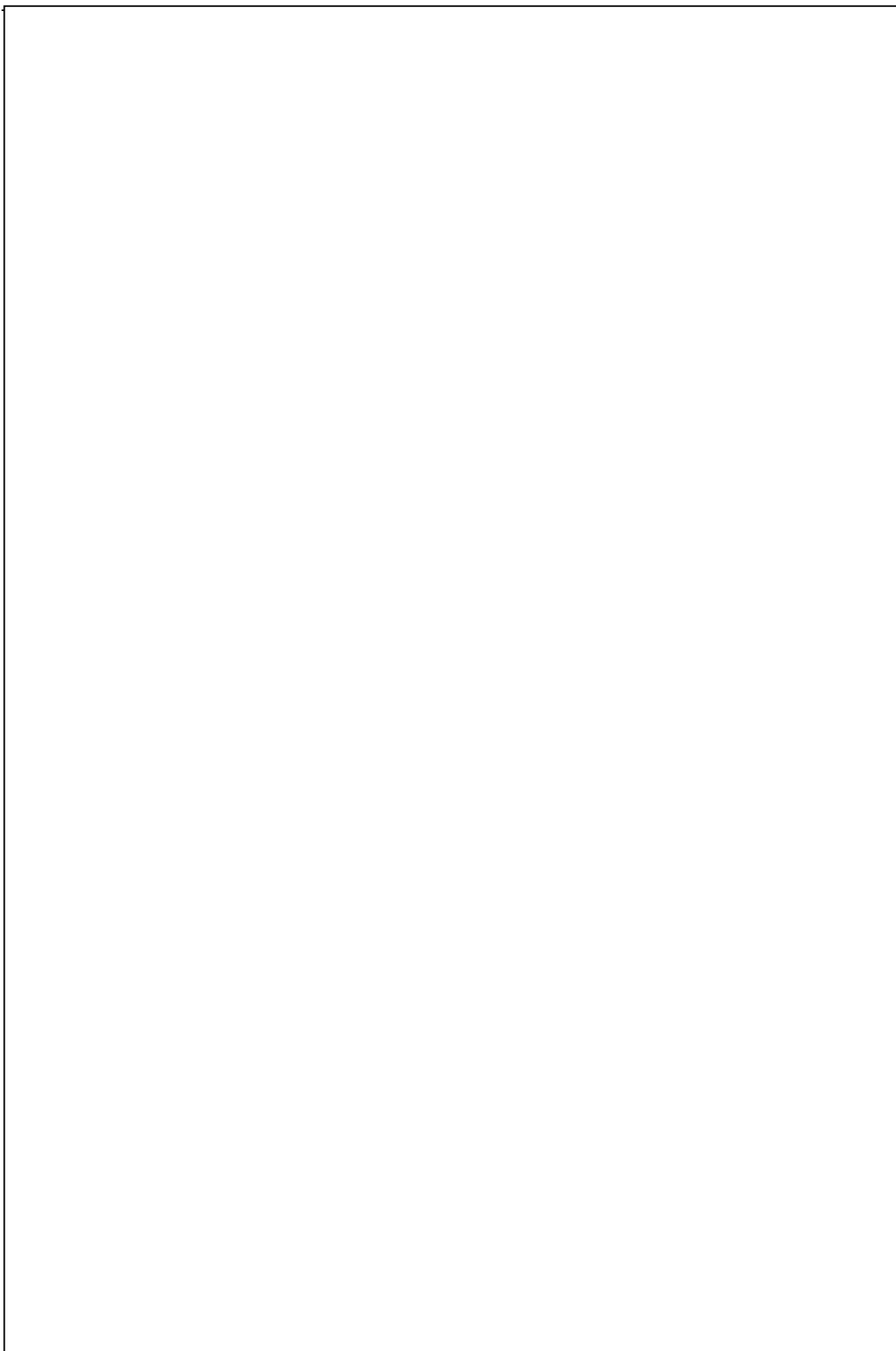


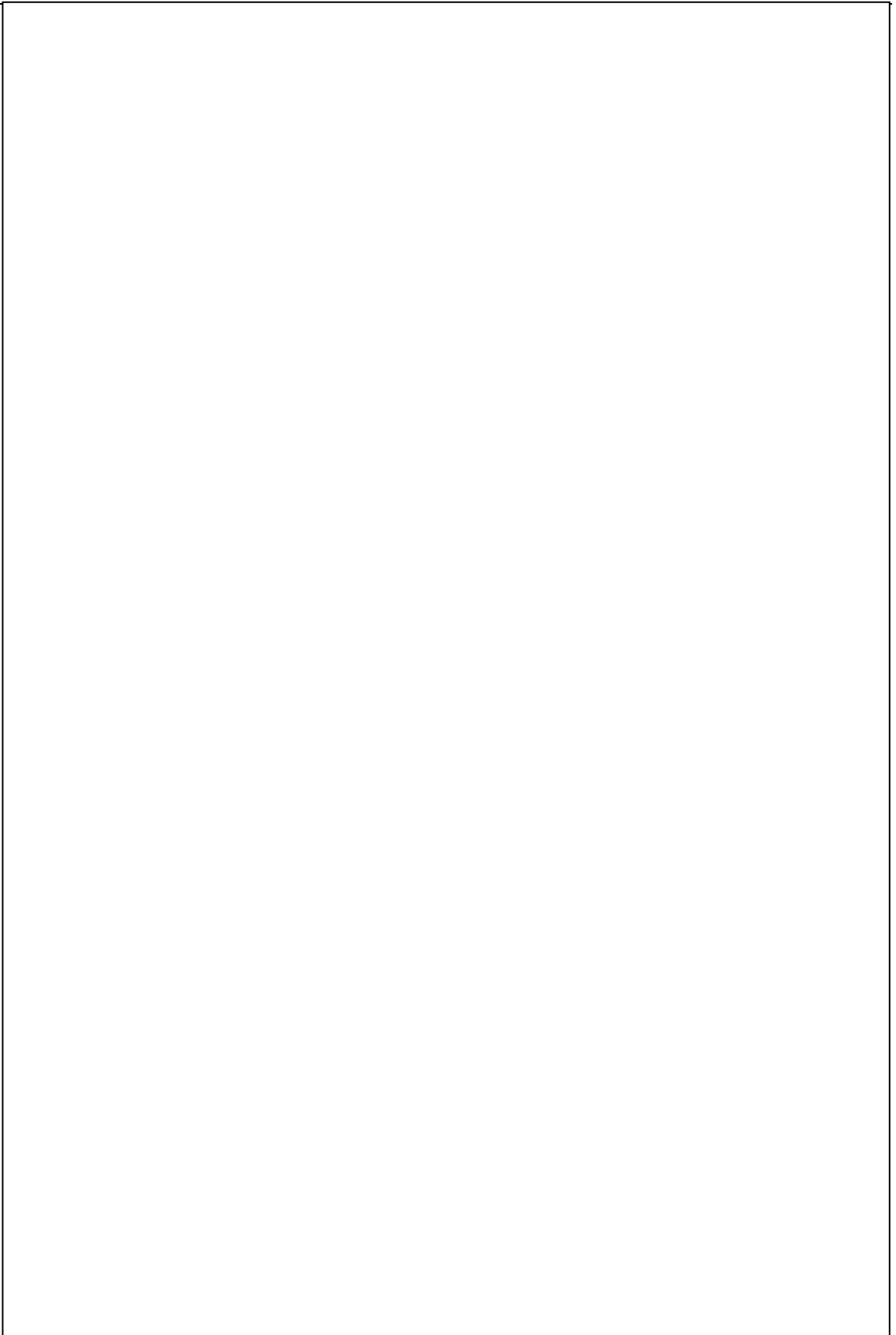
电流控制型电流源模型

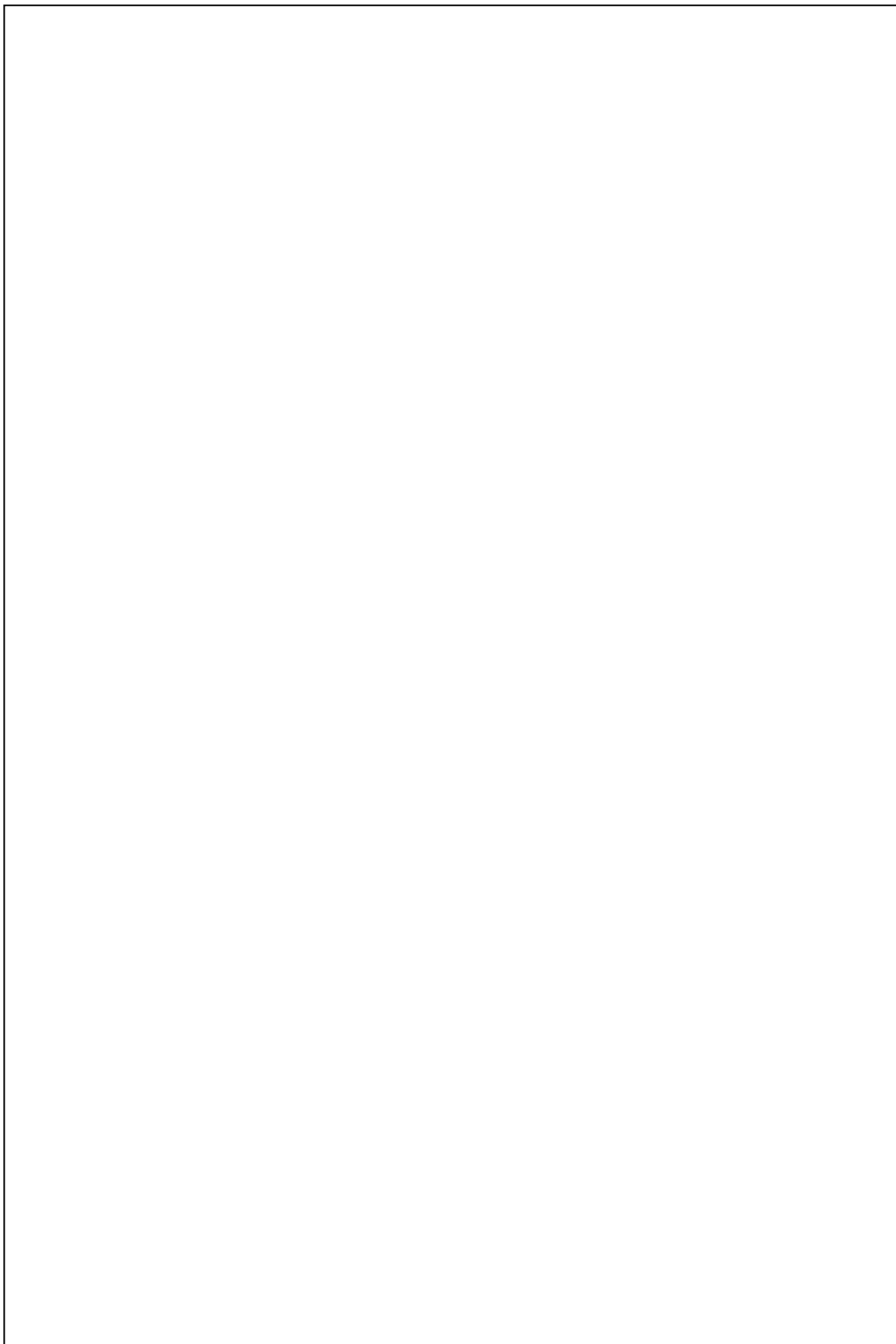


电流控制型电流源电路

三. 实验内容







四. 注意事项

1. 在实际连接电路时，要注意“共地”的问题。
2. 连接运放时，除了要连接运放的输入端和输出端，还要注意连接运放的工作电源和接地端。此外，要特别注意，运放的输出不能接地。
3. 连接电路时要仔细，特别要注意运放的正反向输入端与电源的正负极的连接。
4. 要注意负载电阻的连接位置，这里的负载指的是整个电路的负载，有些同学凭直觉连接到运放的端出端，是不正确的。

五. 思考题

1. 掌握四种受控源的符号、电路模型、控制量与被控制量之间的关系，以及四种受控源中的 μ 、 g_m 、 r_m 和 α 的意义。
2. 对于初学电路基础的同学们来说，运放的概念可能有些抽象，理解上可能会遇到困难。同学们应详细阅读有关运放和受控源的章节，结合实验内容，争取尽早消理解。在完成本节的实验内容之后，需要同学们结合测量数据，总结出四类受控源的特性和带负载时的特性，加深对于受控源的认识。
3. 四类受控源由运放和相关电路组成，每一类的受控源的电路都不是唯一的，本节实验列举的只是其中的一个典型电路。同学们可以根据实验原理中的电路自行推导，求出每一类受控源电路的转移函数，加深对于运放和受控源的理解。
4. 试分析受控源的输出特性是否适用于交流信号。