

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 运算放大器与受控源

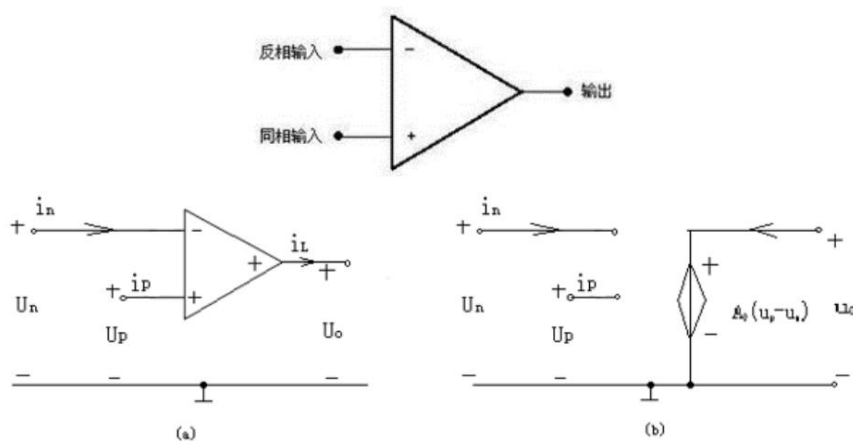
一. 实验目的

- 1、加深对受控源的理解。
- 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:



$$U_o = A_o(U_p - U_n)$$

运算放大器的输出电压为:

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

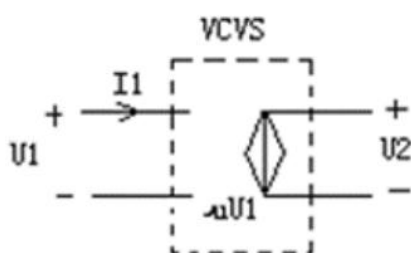
$$U_p = U_n, \text{ 同时 } i_p = U_p/R_{ip} = 0, i_n = U_n/R_{in} = 0$$

这说明理想运放具有下列三大特征:

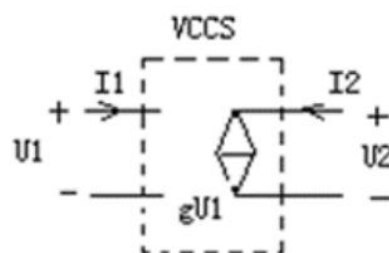
- ① +、- 输入端电位相等, 通常称为“虚短路”。
- ② 输入端电流为零, 即输入电阻为无穷大, 通常称为“虚断路”。
- ③ 运放的输出电阻为零。

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。

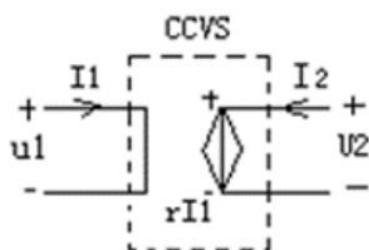
四种基本受控源:



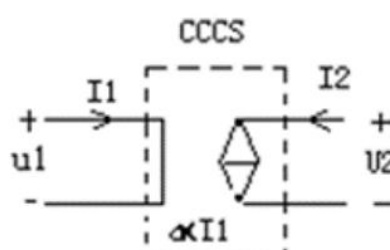
(a) 电压控制电压源 (VCVS)



(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数的定义如下:

(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

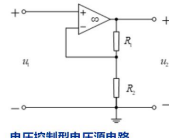
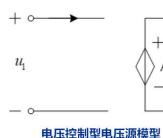
$$u_+ = u_- = u_1, i_{R_2} = \frac{u_+}{R_2} = \frac{u_-}{R_2}$$

又由于运算放大器的虚断特性, 故有: $i_{R_1} = i_{R_2}$

$$\text{故有: } u_2 = i_{R_2}R_1 + i_{R_2}R_2 = i_{R_2}(R_1 + R_2) = \frac{u_1}{R_2}(R_1 + R_2) = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)u_1 = \mu u_1$$

即输出电压 U_2 受输入电压 U_1 的控制, 其电压比为:

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



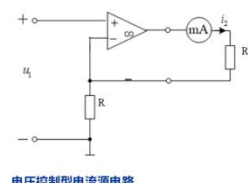
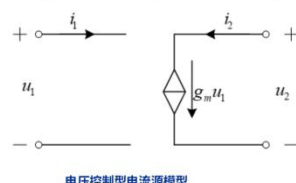
②电压控制型电流源 VCCS

$$\text{运算放大器输出电流为 } i_2 = i_R = \frac{u_+}{R} = \frac{u_1}{R}$$

即只受输入电压 u_1 控制, 与负载电阻无关 (实际上 R_L 为有限值)。

$$\text{转移电导为 } g_m = \frac{i_2}{u_1} = \frac{1}{R}$$

输入、输出无公共接地点, 这种联接方式称为浮地联接。



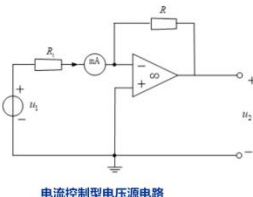
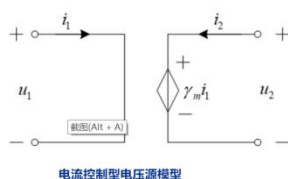
③电流控制电压源 (CCVS)

由于运放的“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。

$$\text{转移电阻为 } r_m = \frac{u_2}{i_1} = -R$$



④电流控制型电流源 (CCCS)

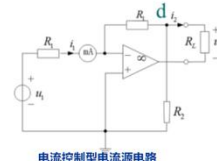
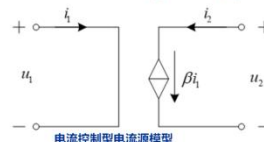
“+”接地, “-”端虚地, d点的电压为 $u_d = -i_{R_1}R_1 = -i_1R_1$

$$\text{电流为 } i_{R_2} = -\frac{u_d}{R_2} = i_1 \frac{R_1}{R_2}$$

$$\text{输出端电流为 } i_2 = i_{R_1} + i_{R_2} = i_1 + i_1 \frac{R_1}{R_2} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)i_1$$

即输出电流 i_2 受输入电流 i_1 控制, 与负载电阻无关。

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



三. 实验设备



四. 实验内容及数据

③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

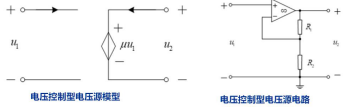
$$u_+ = u_- = u_1, i_{R_2} = \frac{u_+}{R_2} = \frac{u_-}{R_2}$$

又由于运算放大器的虚断特性, 故有: $i_{R_1} = i_{R_2}$

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

即输出电压 U_2 受输入电压 U_1 的控制, 其电压比为:

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



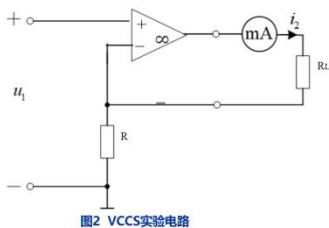
给定值	u1/V	0.5	1	1.5	2	2.5
测试值	u1/V	0.5	1	1.5	2	2.5
VCVS 测试值	u2/V	1.15	2.13	3.09	4.1	5.09
计算值	μ	2	2	2	2	2

②在输出端接入可调 R_L 电阻箱, 改变阻值, $u_1=1.0V$, 测量 VCVS 的输出电压。

给定值	R_L/Ω	1k	2k	4k	8k
VCVS 测试值	u2/V	2.17	2.17	2.17	2.17

2. 按图2测定电压控制电流源的特性。

①给定 $u_1=2V$, $R=2K\Omega$, R_L 接可调电阻箱, 按照表2.1测定 VCCS 性能, 并计算 g_m 。



给定值	R_L/Ω	1k	2k	3k	4k	5k
VCVS 测试值	i2/mA	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04
计算值	gm/S	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

②给定 $R_L=5K\Omega$, $R=2K\Omega$, 改变 U_1 。

给定值	u1/V	1	2	3	4	5
测试值	u1/V	1	2	3	4	5
VCVS 测试值	i2/mA	0.53	1.04	1.48	1.48	1.48
计算值	gm/S	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5