

南开大学电子信息与光学工程学院

电路基础实验

实验名称 1.叠加定理与戴维南定理验证

1 实验目的

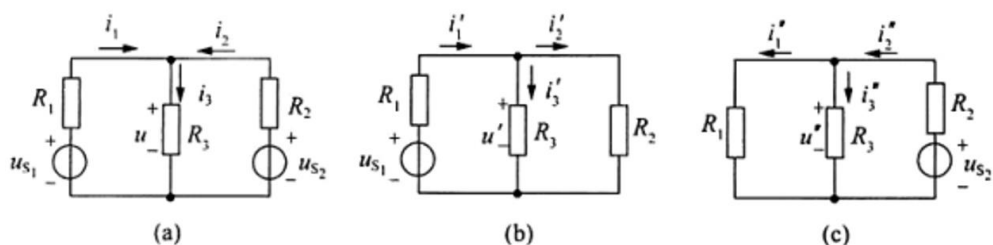
1.加深对线性网络中叠加定理与戴维南定理的理解，用实验数据验证这两个定理。

2.学习线性有源二端网络等效电路参数的测量方法。

2 实验原理

1.叠加定理

在线性电路中，有多个电源同时作用时，任一支路的电流或电压都是电路中每个独立电源单独作用时在该支路中所产生的电流或电压的代数和。某独立源单独作用时，其它独立源均需置零。（电压源用短路代替，电流源用开路代替。）



$$i_1 = i_1' - i_1'' \quad i_2 = -i_2' + i_2''$$

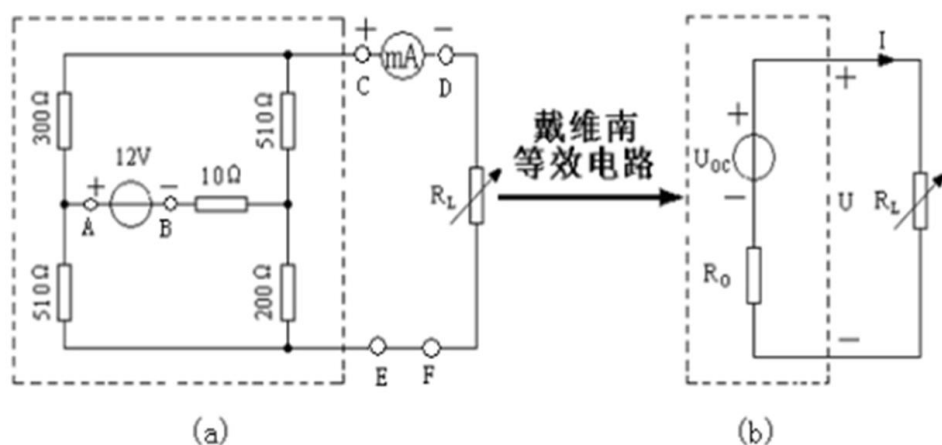
$$i_3 = i_3' + i_3'' \quad u = u' + u''$$

2.戴维南定理

一个含源线性二端电阻性网络就它的外部特性来说，可用一个由理想电压源和电阻串联的源支路来等效代替。其理想电压源的电压等于原网络端口的

开路电压，其电阻等于原网络中所有独立电源都置零值时的入端等效电阻。

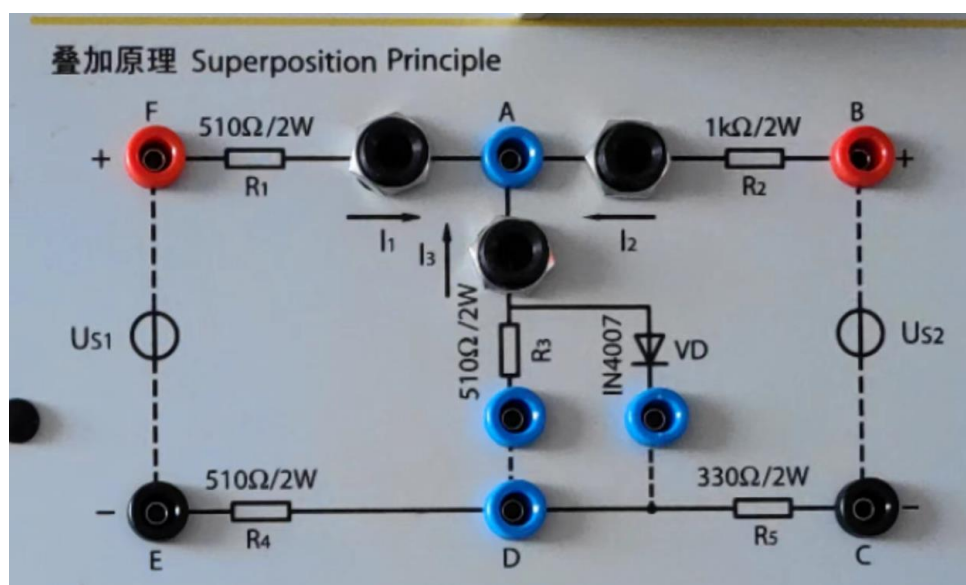
注意：该定理除要求网络为线性外，还要求网络和外电路之间不容许存在其他的耦合关系，例如磁的耦合(互感耦合)或非独立电源(受控源)的耦合。但外电路可以是非线性。

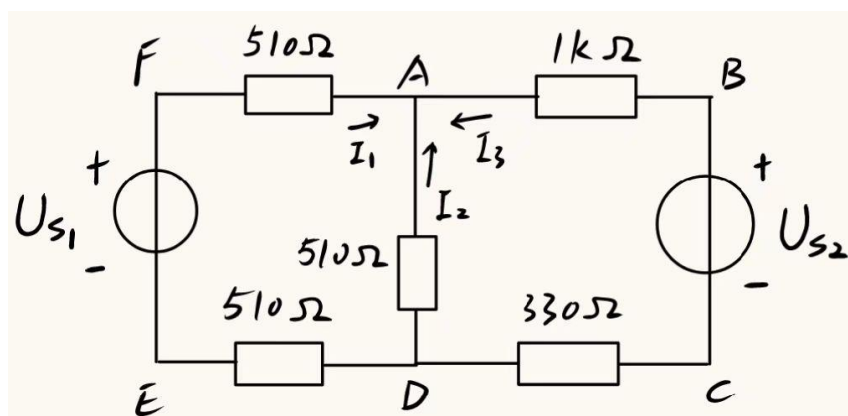


3 实验内容及数据

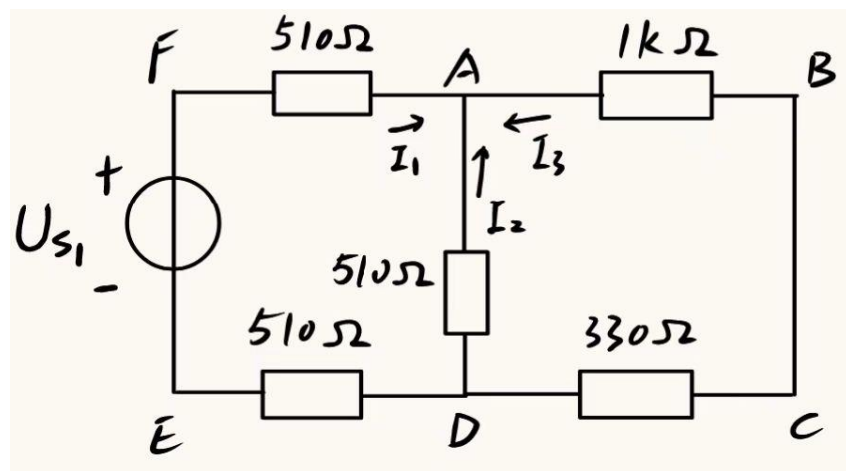
1. 验证叠加定理

U_{s1} 连接 +12V 直流稳压电源； U_{s2} 连接电压源 +6V 直流稳压电源（均以电压表读数为准）。连接 R_3 和 D 点，不连接二极管 VD。

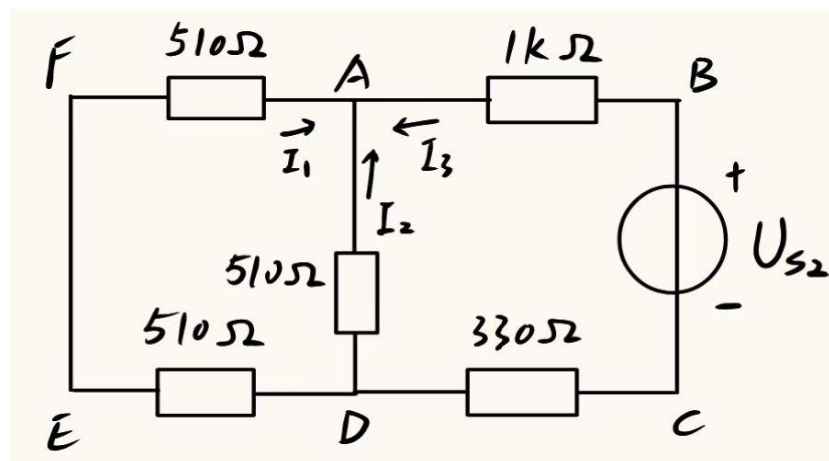




原电路图



U_{s1} 单独作用分电路图(a)



U_{s2} 单独作用分电路图(b)

测量项目	$U_{s1}(V)$	$U_{s2}(V)$	$I_1(mA)$	$I_2(mA)$	$I_3(mA)$
Us1 单独作用	12.06	0	8.627	-2.39	-6.226
Us2 单独作用	0	6.03	-1.203	3.611	-2.396
Us1、Us2 共同作用	12.05	6.03	7.423	1.222	-8.621

测量项目	$U_{AB}(V)$	$U_{CD}(V)$	$U_{AD}(V)$	$U_{DE}(V)$	$U_{FA}(V)$
Us1 单独作用	2.4	0.7885	3.189	4.409	4.41
Us2 单独作用	-3.619	-1.1986	1.229	-0.6195	-0.6197
Us1、Us2 共同作用	-1.2341	-0.4075	4.412	3.791	3.791

实验数据

我们根据叠加原理得到下表,结果表明 U_{s1} 、 U_{s2} 共同作用时的电流和电压与叠加原理得到的结果在误差允许的范围内几乎相同,从而可以验证叠加定律的成立。

	$I_1(mA)$	$I_2(mA)$	$I_3(mA)$	$U_{AB}(V)$
Us1、Us2 共同作用	7.423	1.222	-8.621	-1.2341
叠加定律结果	7.424	1.221	-8.622	-1.219

	$U_{CD}(V)$	$U_{AD}(V)$	$U_{DE}(V)$	$U_{FA}(V)$
Us1、Us2 共同作用	-0.4075	4.412	3.791	3.791
叠加定律结果	-0.4101	4.418	3.7895	3.7903

2. 验证戴维南定律

(1) 用开路电压-短路电流法测定戴维南等效电路的 U_{oc} 和 I_{sc} ,并通过 U_{oc} 和 I_{sc} 的比值求出 R_o 。

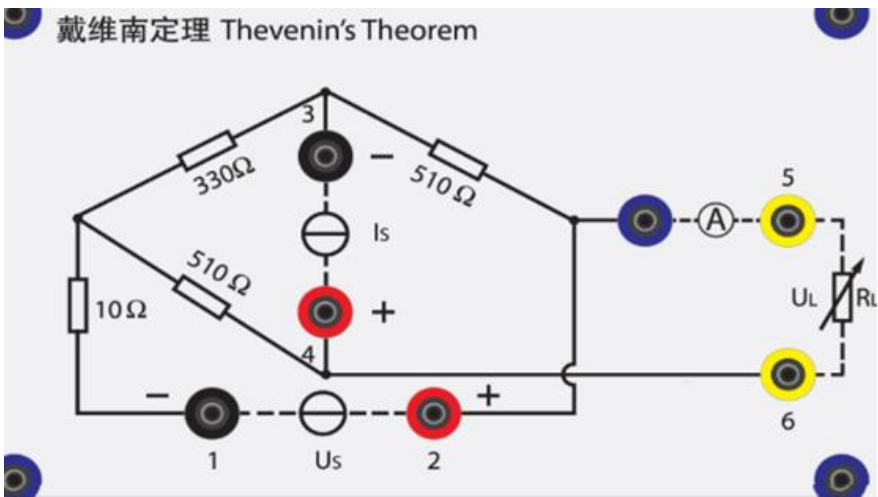
(2) 令 $R_L = 1K\Omega$, 测量 R_L 两端的电压 U 和流过 R_L 的电流 I 。

(3) 将直流稳压电源调置为上表中所测得的电压值 U_{oc} (推荐用电压表并联

测量后得到更为准确的电压值），将电阻值调成上表中计算所得的 R_O 电阻值。

(4) 测量有源二端网络的外特性，即测量 R_L 两端电压 U' 和通过 R_L 的电流 I' 并记录。

(5) 将电压 U' 、电流 I' ，与(2)中得到的 U 、 I 相比较，分析是否能够验证戴维南定理。



实验电路，其中 $U_S = 12V$ 、 $I_S = 20mA$ (具体以电表测量为准)

$U_{OC}(V)$	$I_{SC}(mA)$	$R_O(\Omega)$	$U(V)$	$I(mA)$	$U'(V)$	$I'(mA)$
1.5703	2.988	525.73	1.0404	1.024	1.0373	1.003

其中实验中设置的戴维南等效电路为 $U'_S = 1.5722V$ 、 $R'_S = 256\Omega$ 。

在误差允许的范围内 $U = U'$ 、 $I = I'$ ，可以验证戴维南定律成立。

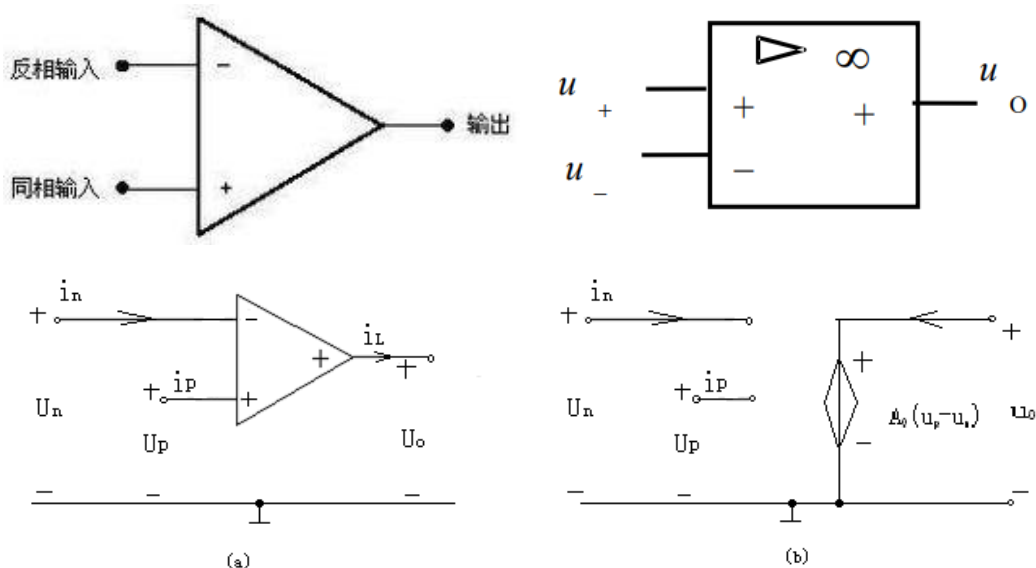
实验名称 2.受控源的研究

1 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。

2 实验原理

运算放大器（简称运放）的电路符号及其等效电路：



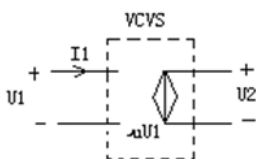
运算放大器的输出电压为： $U_o = A_o(U_p - U_n)$

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 $i_p = \frac{U_p}{R_{ip}} = 0$ ， $i_n = \frac{U_n}{R_{in}} = 0$ 。这说明理想运放具有下列三大特征：

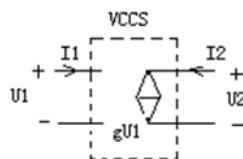
- (1) +、-输入端电位相等，通常称为“虚短路”。
- (2) 输入端电流为零，即输入电阻为无穷大，通常称为“虚断路”。
- (3) 运放的输出电阻为零。

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。

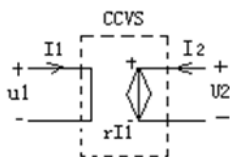
四种基本受控源：



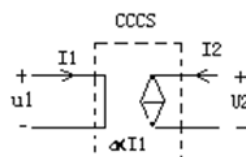
(a) 电压控制电压源 (VCVS)



(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)

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

(2) 压控电流源(VCCS)

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

(3) 流控电压源(CCVS)

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

(4) 流控电流源(CCCS)

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

1.VCVS

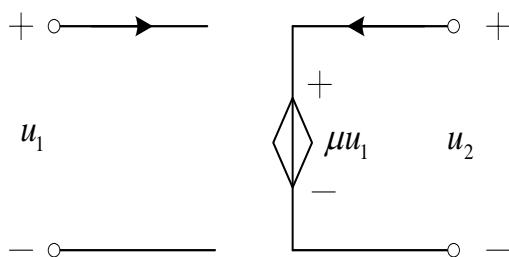
由于运算放大器的输入端+、-为虚短路，所以

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

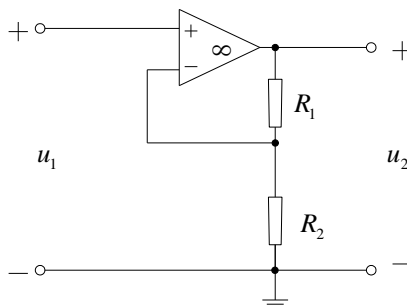
又由于运算放大器的虚断特性，故有： $i_{R_1} = i_{R_2}$

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

即输出电压 U_2 受输入电压 U_1 的控制，其电压比为 $\mu = 1 + \frac{R_1}{R_2}$



VCVS 模型



VCVS 电路

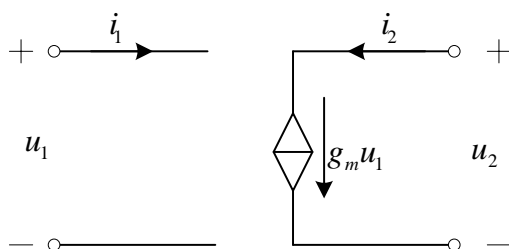
2.VCCS

运算放大器输入电流为 $i_2 = i_R = \frac{u_+}{R} = \frac{u_1}{R}$

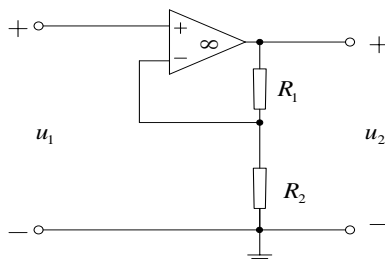
即只受输入电压 u_1 控制，与负载电阻无关（实际上 R_L 为有限值）

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，这种连接方式称为浮地联接。



VCCS 模型



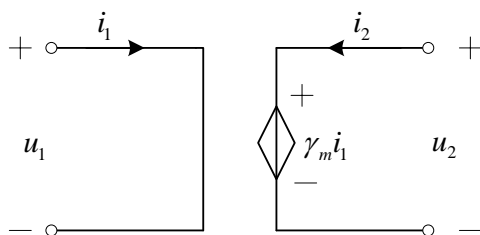
VCCS 电路

3.CCVS

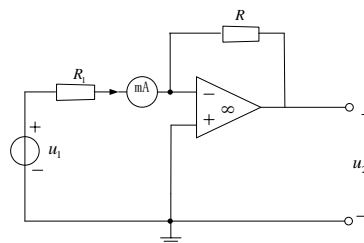
由于运放的“虚地”特性，流过电阻 R 的电流即为输入电流 i_1

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，转移电阻为 $r_m = \frac{u_2}{i_1} = -R$



CCVS 模型



CCVS 电路

4.CCCS

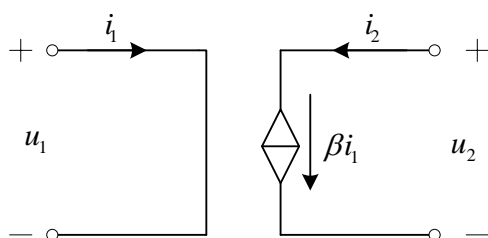
“+”端接地，“-”端虚地,d点的电压为 $u_d = -i_{R_1}R_1 = -i_1R_1$

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

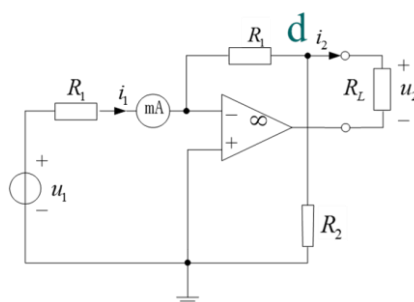
输出端电流为 $i_2 = i_{R_1} + i_{R_2} = i_1 + i_1 \frac{R_1}{R_2} = (1 + \frac{R_1}{R_2})i_1$

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 $\beta = \frac{i_2}{i_1} = 1 + \frac{R_1}{R_2}$



CCCS 模型

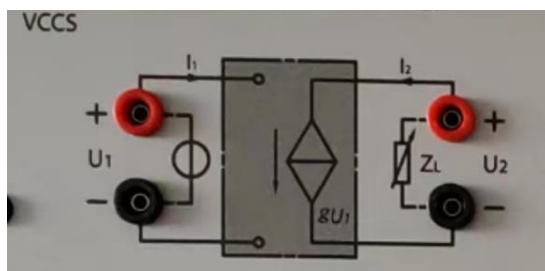


CCCS 电路

3 实验内容及数据

1. 测试电压控制电流源 VCCS 特性

U_1 连接恒压源， I_2 两端接负载 $R_L = 2k\Omega$ 。

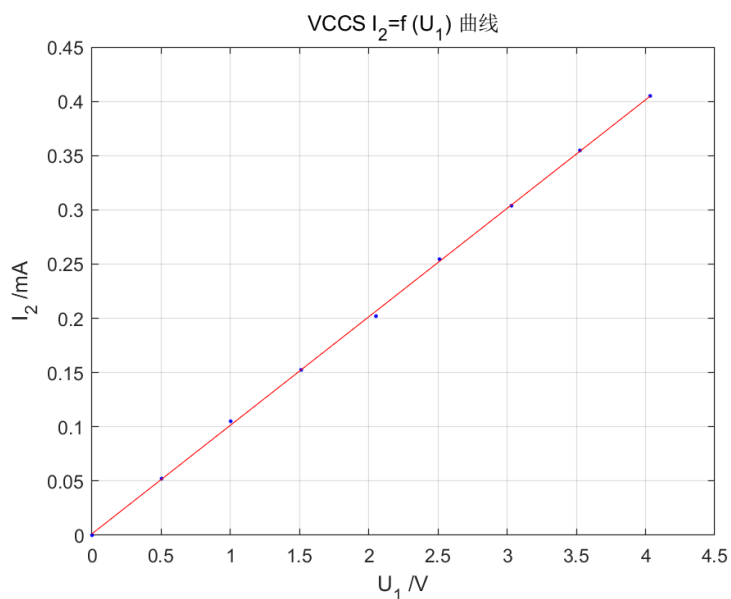


(1) 测试 VCCS 的转移特性 $I_2 = f(U_1)$

调节恒压源输出电压 U_1 ，（以电压表读数为准）， I_2 两端接负载 $R_L = 2k\Omega$ 。记录测得的输出电流 I_2 ，绘制 $I_2 = f(U_1)$ 曲线，并由其线性部分求出转移电导 g 。

VCCS 转移特性

U_1/V	0	0.5023	1.0016	1.511	2.052	2.511	3.031	3.525	4.033
I_2/mA	0	0.0522	0.1051	0.1525	0.202	0.2545	0.3038	0.3547	0.405



由 $I_2 = f(U_1)$ 曲线得到转移电导 $g = 1 \times 10^{-4} \text{ S}$ 。

(2) 测试 VCCS 的负载特性 $I_2 = f(R_L)$

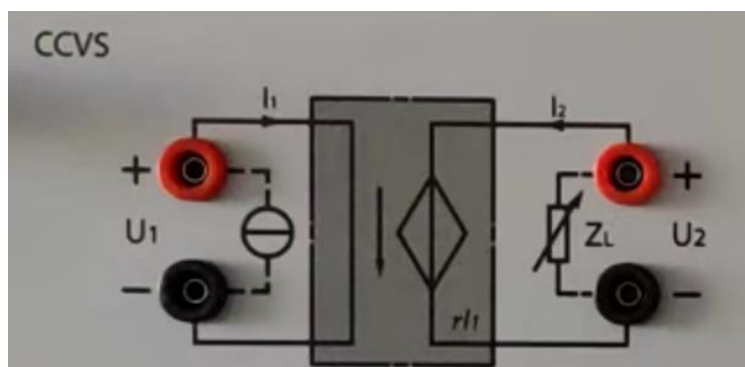
保持 $U_1 = 2V$ （以电压表读数为准）， I_2 两端接不同的负载电阻值，记录测得的输出电流 I_2 。

VCCS 负载特性

$R_L / K\Omega$	0.2	0.3	0.5	1	10	20	30
I_2 / mA	0.2023	0.2023	0.2023	0.2023	0.2026	0.2027	0.2023

2. 测试电流控制电压源 CCVS 特性

I_1 连接恒流源， U_2 两端接负载 $R_L = 2K\Omega$ 。

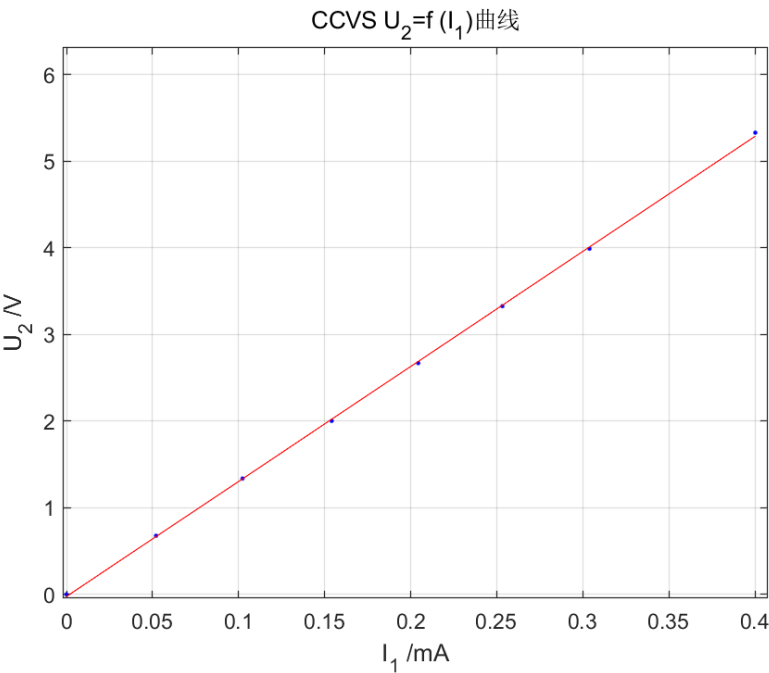


(1) 测试 CCVS 的转移特性 $U_2 = f(I_1)$

调节恒流源输出电流 I_1 （以电流表读数为准）， I_2 两端接负载 $R_L = 2K\Omega$ 。记录测得的输出电压 U_2 ，绘制 $U_2 = f(I_1)$ 曲线，并由其线性部分求出转移电阻 r 。

CCVS 转移特性

I_1/mA	0	0.0521	0.1023	0.1541	0.2044	0.2533	0.3039	0.4002
U_2/V	0	0.678	1.3384	2.003	2.671	3.328	3.991	5.331



由 $U_2 = f(I_1)$ 曲线得到转移电阻 $r = 1.327 \times 10^4\Omega$ 。

(2) 测试 CCVS 的负载特性 $U_2 = f(R_L)$

保持 $I_1 = 0.2mA$ （以电流表读数为准）， U_2 两端接不同的负载电阻值，记录测得的输出电压 U_2 。

CCVS 负载特性

R_L/Ω	200	300	500	1000	1500	2000
U_2/V	2.664	2.664	2.664	2.665	2.663	2.664

3. 测试电流控制电压源 VCVS 特性

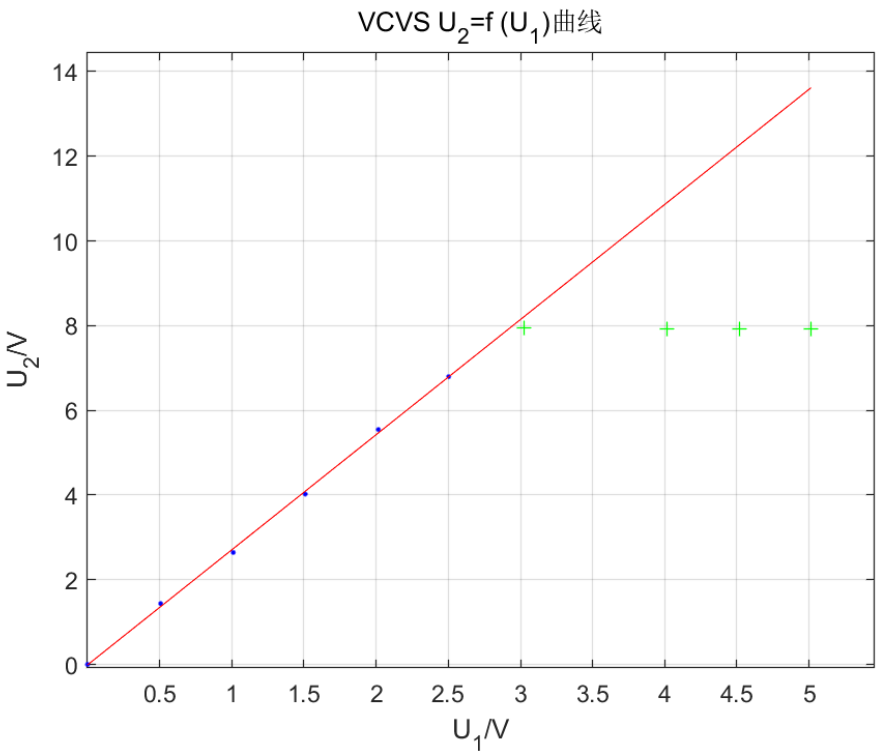
不同类型的受控源可以进行级联，以形成等效的另一类型的受控源，受控源 VCCS 与 CCVS 进行适当的联接组成 VCVS。

(1) 测试 VCVS 的转移特性 $U_2 = f(U_1)$

固定 $R_L = 2K\Omega$ ，调节稳压电源输出电压 U_1 。测量 U_1 及相应的 U_2 值，记录测得的输出电压 U_2 ，绘制 $U_2 = f(U_1)$ 曲线，并由其线性部分求出电压增益 μ 。

VCVS 转移特性

U_1/V	0	0.5072	1.01	1.509	2.015	2.503	3.022	4.013	4.517	5.013
U_2/V	0	1.437	2.643	4.023	5.545	6.793	7.946	7.923	7.924	7.923



由 $U_2 = f(U_1)$ 曲线得到电压增益 $\mu = 2.1782$ 。

(2) 测试 CCVS 的负载特性 $U_2 = f(R_L)$

保持 $U_1 = 2V$ （以电压读数为准）， U_2 两端接不同的负载电阻值，记录测得的输出电压 U_2 。

VCVS 负载特性

R_L/Ω	200	300	500	1000	1500	2000
U_2/V	2.817	3.709	4.955	5.443	5.442	5.444

其中当 R_L 相对较小时，运放中的电流过大，从而导致了输出电压并不满足理论关系。

4 思考题

(1) 若受控源控制量的极性反向，试问其输出极性是否发生变化。

当受控源控制量的极性反向时，其输出极性会发生变化。因为控制量 k_1 和输出量 k_2 之间满足线性关系 $k_2 = \lambda k_1$ ，所以控制量极性反向，输出极性会发生变化。

(2) 试分析受控源的输出特性是否适用于交流信号。

受控源的输出特性适用于交流型号。由于运算放大器在交流信号下依然满足“虚短”和“虚断”的特性，同时电阻在交流信号下依旧满足线性的伏安特性，所以受控源的控制量 k_1 和输出量 k_2 之间依旧满足线性关系 $k_2 = \lambda' k_1$ ，所以受控源的输出特性适用于交流信号。