

# 大连海事大学

## 电路实验指导

受控源特性的研究

2020 年 4 月

# 电路实验室安全操作规程

电路实验旨在帮助学生更好地理解电路原理，为了增强实验室的管理，确保学生有一个良好的实验环境，参与实验的学生应认真阅读操作规程并完成签字。

1. 未经指导教师允许，学生不得私自对实验室总开关进行操作。
2. 实验室严禁饮食。严禁将饮用水、饮料等液体放置在桌面，以防止对实验台造成污染、短路。
3. 学生有义务爱护实验仪器、设备等，不可擅自对实验仪器、设备进行拆解。不可随便动用与本实验无关的仪器设备。
4. 学生应认真预习实验内容，若对实验存在问题，应及时向老师汇报。学生在实验开始前需要清楚实验仪器的各项使用操作。同时需要做好实验仪器的清点（实验仪器的数量、种类），若与实验室提供的清单不符，应及时上报教师。
5. 学生应当遵守实验讲义的步骤（或按照教师的要求进行），在开关合闸前务必多次检查电路连接，若存在没有把握的电路连接，则需要与教师及时沟通。切记避免短路等破坏性行为（如有特殊实验要求则遵循实验要求）。
6. 在实验时，学生必须注意实验安全。严禁使用破损的导线，切忌肢体直接接触强电等危险行为。学生应注意若在实验过程中需要改变线路连接，首先应将电源切断，然后再进行相应操作，切忌带电操作。若在实验中出现任何危险现象（设备出现烧焦味、冒烟等），学生应立即将空气开关断开，之后应该及时向指导教师汇报。
7. 若因学生操作不当而造成实验仪器的损坏，学生有义务对其进行赔偿，同时指导教师有权利要求学生停止实验内容。
8. 为规范实验严谨性及遵循实验的客观规律，学生严禁伪造实验数据或抄写他人数据等违规行为，若因实验仪器若存在误差或因仪器损坏而造成的数据偏差，学生应及时向教师汇报。
9. 完成实验后，学生须做到再次清点实验仪器的数量及种类，将仪器整理好、归回原位并完成签字。
10. 学生不得擅自带出实验室的各类器材、元件、仪表等设备。
11. 学生的实际实验操作以及是否遵守实验室相关规章将直接影响最终实验成绩，请知悉。
12. 根据《大连海事大学学生违纪处分实施细则》第二十一条，一经发现抄袭，对相似实验报告进行零分处理并给予相应处罚。

### 注：关于疫情期间仿真实验报告的特别说明

1. 实验报告要完成所有的内容，实验预习计算、预习题应尽量用自己的理解去回答，如发现抄袭，本次实验按 0 分处理，如多次发现抄袭，最终成绩将会按挂科处理。
2. 实验仿真图应采用对 multisim 的仿真界面截图的形式（可用 windows 自带的截图工具，或者使用 word 中的屏幕截图），截图无须截取整个屏幕，但应将所有电路元器件包含在截图之中。截图大小应满足可放置于实验报告的表格中。
3. 写实验报告时如果遇到数学符号、计算、图线、表格等不易用键盘实现的情况，学生可先将题、图表等写画在白纸上，再用手机拍照，将照片放置在该题的解答处（注意图片大小，排版要具有易读性）；对于有能力的同学，也可以通过使用 excel 等软件画出相对应的图线。（即完成报告的形式不限）
4. 疫情结束返校后，无条件仿真的同学应在校实验室中完成之前仿真的实验内容，具体时间听从教师安排。
5. 对于仿真实验可正常进行的同学，实验报告应不晚于规定时间上交。实验报告统一交至学委，再由学委将文件压缩打包统一交给教师。如有特殊情况，请及时与教师沟通。

## 实验 6 受控源特性的研究

### 一. 实验目的

1. 加深对受控源电路的理解。
2. 通过对四类受控源的测试, 加深对他们受控特性及负载特性的认识。
3. 熟悉由运算放大器组成受控源电路的分析方法, 了解运算放大器的应用。

### 二. 实验原理

#### 1. 概述

##### (1) 受控源

受控源是对某些电路元件物理性能的模拟, 反映电路中某条支路的电压或电流受另一条支路电压或电流控制的关系。测量受控量与控制量之间的关系, 就可以掌握受控源输入量与输出量间的变化规律。受控源具有独立电源的特性, 受控源的受控量仅随控制量的变化而变化, 与外接负载无关。

根据控制变量与受控量的不同组合, 受控源可分为四类: 电压控制电压源(VCCS)、电流控制电压源(CCVS)、电压控制电流源(VCCS)、电流控制电流源(CCCS)。电路模型如图 2-6-1 所示。

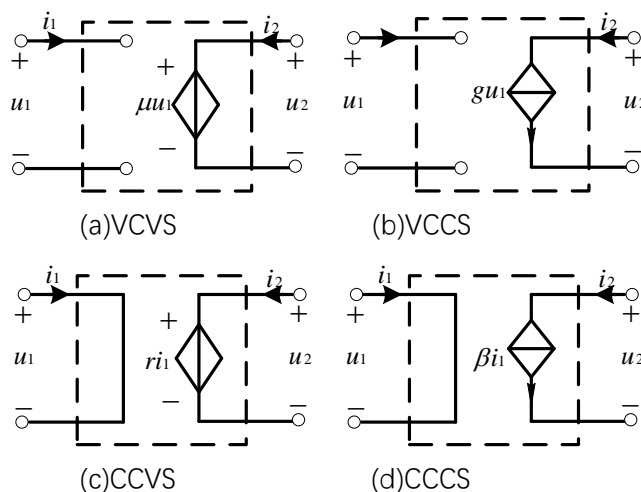


图 2-6-1 4 种受控源电路模型

**注意:** 上述四种元件有的可能是用一个元器件实现的, 例如二极管, 三极管, 变压器等, 有的可能是用较复杂的电路实现的, 例如本实验中的集成运算放大器电路。这些元器件无论是用什么方法实现, 我们都把它们视为一个器件, 称之为电压控制电压源, 电压控制电流源, 电流控制电压源, 电流控制电流源。而且由于是一个线性元件, 它们的输出与输入之比为一个常数, 例如电流控制电流源, 输入一个电流  $i_1$ , 输出一个电流  $i_2$ , 二者之比为  $i_2/i_1 = \beta$ 。

##### (2) 运算放大器

运算放大器是一种高增益、高输入阻抗、低输出阻抗的放大器。通常用图 2-6-2(a)所示的电路符号表示, 其等效电路模型如图 2-6-2(b)所示。运算放大器有两个输入端、一个输出端、一个对输入和输出信号的参考接地端。两个输入端中, 一个称为同相输入端, 另一个称为反相输入端。所谓同相输入端是指当反相输入端电压为零时, 输出电压的极性与该输入端的电压极性相同, 同相输入端在电路符号上用“+”表示; 所谓反相输入端是指当同相输入端电压为零时, 输出电压的极性和该输入端电压的极性相反, 同相输入端在电路符号上用“-”表示。

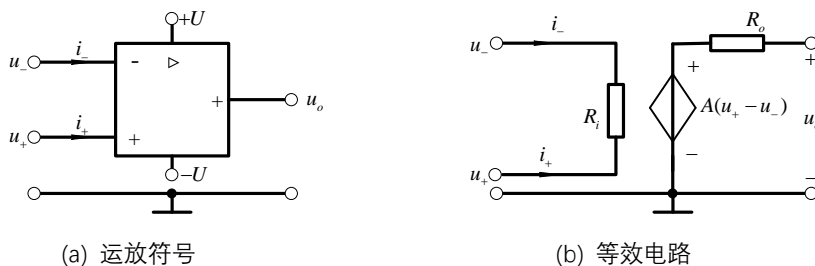


图 2-6-2 运算放大器及其等效电路

理想运算放大器有两个特性：

1) 运算放大器的“+”端和“-”端可以认为是等电位的， $u_+ = u_-$ ，即通常所说的“虚”短路；

2) 运算放大器的输入端电流等于零， $i_+ = i_- = 0$ 即通常所说的“虚断”；

此外，理想运算放大器的输出电阻很小，可以认为是零。这些都是简化含有运算放大器网络的依据。

## 2. 用运算放大器实现的受控源

### (1) 电压控制电压源(VCVS)

电路如图 2-6-3 所示。由运算放大器输入端“虚短”特性可知：

$$u_+ = u_- = u_1$$

$$i_{R_2} = \frac{u_1}{R_2}$$

由运算放大器的“虚断”特性，可知：

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

故

$$\frac{u_1}{R_2} = \frac{u_2 - u_1}{R_1}$$

$$u_2 = u_1 \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \quad (2-6-1)$$

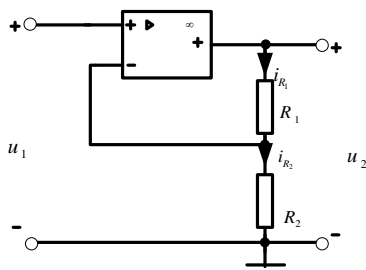


图 2-6-3 电压控制电压源(VCVS)

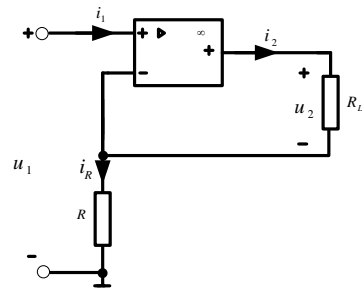


图 2-6-4 电压控制电流源(VCCS)

即运算放大器的输出电压  $u_2$  受输入电压  $u_1$  控制。其电路模型如图 2-6-1(a)所示。转移电压比：

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

该电路是一个同相比例放大器，其输入与输出有公共接地端，这种连接方式称为共地连接。

### (2) 电压控制电流源(VCCS)

电路如图 2-6-4 所示。根据理想运放“虚短”、“虚断”特性，输出电流为：

$$i_2 = i_R = \frac{u_1}{R} = g u_1 \quad (2-6-2)$$

该电路输入、输出无公共接地点，这种连接方式称为浮地连接。

### (3) 电流控制电压源(CCVS)：

电路如图 2-6-5 所示。根据理想运放“虚短”，“虚断”特性，可推得：

$$u_2 = -i_R \cdot R = -i_1 \cdot R \quad (2-6-3)$$

即输出电压  $u_2$  受输入电流  $i_1$  的控制。其电路模型如图 2-6-1(c)所示。转移电阻为：

$$\gamma = \frac{u_2}{i_1} = -R \quad (2-6-4)$$

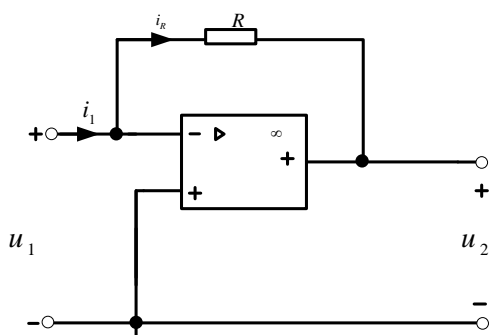


图 2-6-5 电流控制电压源

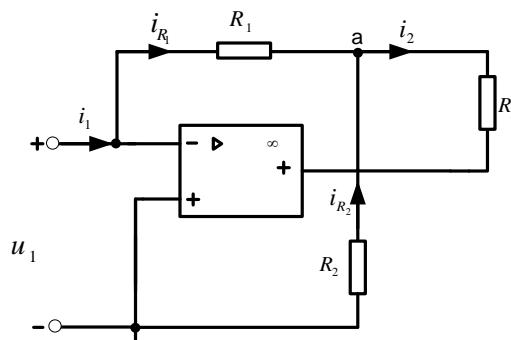


图 2-6-6 电流控制电流源

**注意：**图 2-6-6 中输出端与 R2 的交叉线不是连接的，交叉点没有实心点。

#### (4) 电流控制电流源(CCCS)

电路如图 2-6-6 所示。由于同相输入端“+”接地，根据“虚短”、“虚断”特性可知，“-”端为虚地，电路中 a 点的电压为：

$$u_a = -i_{R_1} \cdot R_1 = -i_1 \cdot R_1 = -i_{R_2} \cdot R_2$$

所以，

$$i_{R_2} = i_1 \frac{R_1}{R_2}$$

输出电流：

$$i_2 = i_{R_1} + i_{R_2} = i_1 + i_1 \frac{R_1}{R_2} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) i_1 \quad (2-6-5)$$

即输出电流  $i_2$  只受输入电流  $i_1$  的控制，与负载  $R_L$  无关。它的电路模型如图 2-6-1(d)所示，转移电流比：

$$\beta = \frac{i_2}{i_1} = 1 + \frac{R_1}{R_2} \quad (2-6-6)$$

### 四. 实验步骤

#### 1. 测试电压控制电压源特性

(1) 实验电路如图 2-6-7 所示。

(2) 根据表 2-6-1 中内容和参数，自行给定  $U_1$  值，测试 VCVS 的转移特性  $U_2 = f(U_1)$ ，计算  $\mu$  值，并与理论值比较。(理论值计算可参考式 2-6-1)

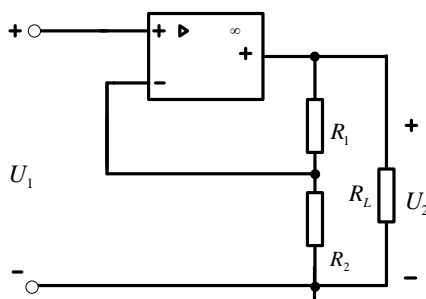


图 2-6-7 VCVS 实验线路

表 2-6-1 VCVS 的转移特性

$R_1 = R_2 = 1k\Omega$	$R_L = 1k\Omega$
------------------------	------------------

给定值	$U_1$ (V)	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4
测试值	$U_2$ (V)									
计算值	$\mu = U_2/U_1$									

(3) 根据表 2-6-2 中内容和参数, 自行给定  $R_L$  值, 测试 VCVS 的负载特性  $U_2=f(R_L)$ , 计算  $\mu$  值, 并与理论值比较。

表 2-6-2 VCVS 的负载特性  $U_2=f(R_L)$

$R_1=1\text{k}\Omega$		$R_2=2\text{k}\Omega$		$U_1=1\text{V}$		
给定值	$R_L(\text{k}\Omega)$	3.0	4.7	10	15	33
测试值	$U_2$ (V)					
计算值	$\mu = U_2/U_1$					

## 2. 测试电压控制电流源特性

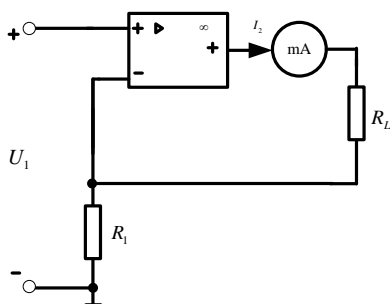


图 2-6-8 VCCS 实验线路

(1) 实验电路如图 2-6-8 所示。

(2) 根据表 2-6-3 中内容, 测试 VCCS 的转移特性  $I_2=f(U_1)$ , 并计算  $g$  值, 并与理论值比较。(可参考式 2-6-2)

表 2-6-3 VCCS 的转移特性  $I_2=f(U_1)$

$R_1=1\text{k}\Omega$		$R_L=1\text{k}\Omega$								
给定值	$U_1$ (V)	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4
测试值	$I_2$ (mA)									
计算值	$g = I_2/U_1$ (S)									

(3) 根据表 2-6-4 中内容, 测试 VCCS 输出特性  $I_2=f(R_L)$ , 并计算  $g$  值。

表 2-6-4 VCCS 输出特性  $I_2=f(R_L)$

$R_1=2\text{k}\Omega$		$U_1=1\text{V}$				
给定值	$R_L(\text{k}\Omega)$	3	4.7	10	15	20
测试值	$I_2$ (mA)					
计算值	$g = I_2/U_1$ (S)					

## 3. 测试电流控制电压源特性

(1) 实验电路如图 2-6-9 所示。

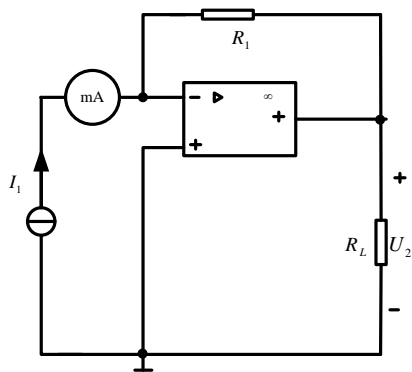


图 2-6-9 CCVS 实验线路

(2) 根据表 2-6-5 中内容，测试 CCVS 的转移特性  $U_2=f(I_1)$ ，并计算  $r$  值，并与理论值进行比较。(可参考式 2-6-4)

表 2-6-5 CCVS 的转移特性  $U_2=f(I_1)$

$R_1=1k\Omega$		$R_L=1k\Omega$								
给定值	$I_1(\text{mA})$	-2	-1.5	-1	-0.5	0	0.5	1	1.5	2
测试值	$U_2(\text{V})$									
计算值	$r=U_2/I_1 (\Omega)$									

(3) 根据表 2-6-6 中内容，测试 CCVS 输出特性  $U_2=f(R_L)$ ，并计算  $r$  值。

表 2-6-6 CCVS 输出特性  $U_2=f(R_L)$

$R_1=2k\Omega$		$I_1=1.5\text{mA}$				
给定值	$R_L(k\Omega)$	3	4.7	10	15	33
测试值	$U_2(\text{V})$					
计算值	$r=U_2/I_1 (\Omega)$					

#### 4. 测试电流控制电流源特性

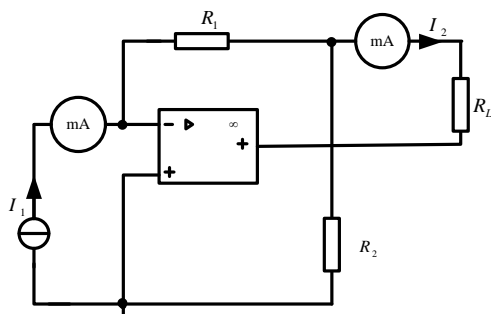


图 2-6-10 CCCS 实验线路

(1) 实验电路如图 2-6-10 所示

(2) 根据表 2-6-7 中内容，测试 CCCS 的转移特性  $I_2=f(I_1)$ ，并计算  $\beta$  值，与理论值进行比较。(可参考式 2-6-5)

表 2-6-7 CCCS 的转移特性  $I_2=f(I_1)$

$R_1=1k\Omega$		$R_2=1k\Omega$					$R_L=1k\Omega$			
给定值	$I_1(\text{mA})$	-2	-1.5	-1	-0.5	0	0.5	1	1.5	2
测试值	$I_2(\text{mA})$									
计算值	$\beta=I_2/I_1$									



(3) 根据表 2-6-8 中内容, 测试 CCCS 输出特性  $I_2=f(R_L)$ , 并计算  $\beta$  值。

表 2-6-8 CCCS 输出特性  $I_2=f(R_L)$

$R_1=2\text{k}\Omega$		$R_2=1\text{k}\Omega$		$I_1=0.5\text{mA}$		
给定值	$R_L(\text{k}\Omega)$	1	2	2.4	3.0	4.7
测试值	$I_2(\text{mA})$					
计算值	$\beta=I_2/I_1$					

## 六. 注意事项

1. 运算放大器输出端不能与地短路, 输入电压不宜过高(小于 5V), 输入电流不能过大, 应在几十微安至几毫安之间。
3. 运算放大器应有电源( $\pm 15\text{V}$ )供电, 其正负极性和管脚不能接错。