

# 大连海事大学

## 电路实验指导

电子元件的伏安特性  
电压源与电流源的等效变换

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 电压源与电流源的等效变换

## 一. 实验目的

1. 学习线性和非线性电阻元件伏安特性的测量方法，熟悉伏安特性曲线的绘制方法。
2. 掌握运用伏安法判定电阻元件类型的方法。
3. 掌握建立电源模型的方法。
4. 掌握电源外特性的测试方法，认识理想电压源、理想电流源、实际电压源、实际电流源的伏安特性。
5. 验证实际电压源与实际电流源等效变换的条件。

## 二. 实验原理

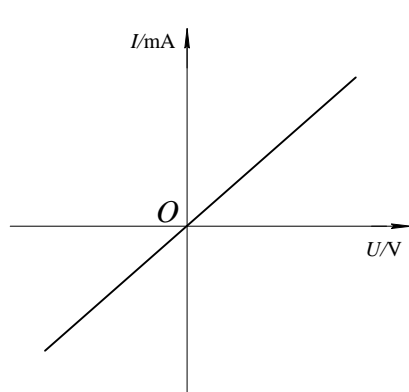
### 1. 伏安特性

若二端元件的特性可用加在该元件两端的电压  $U$  和流过该元件的电流  $I$  之间的函数关系  $I = f(U)$  来表征，以电压  $U$  为横坐标，以电流  $I$  为纵坐标，绘制  $I-U$  曲线，则该曲线称为该二端元件的伏安特性曲线。

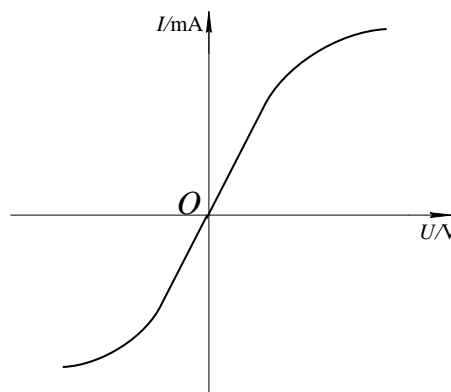
### 2. 线性电阻元件

线性电阻元件的伏安特性满足欧姆定律。在关联参考方向下，可表示为： $U = RI$ ，其中  $R$  为常量，称为电阻的阻值，它不随其电压或电流改变而改变，其伏安特性曲线是一条过坐标原点的直线，如图 2-1-1(a)所示，该曲线的斜率即是电阻  $R$  的倒数。

线性电阻的伏安特性曲线对称于坐标原点，说明在电路中若将线性电阻反接，也不会影响电路参数。这种伏安特性曲线对称于坐标原点的元件称为**双向性元件**。实践中我们把普通的电阻视为线性电阻元件。



(a) 线性电阻的伏安特性曲线

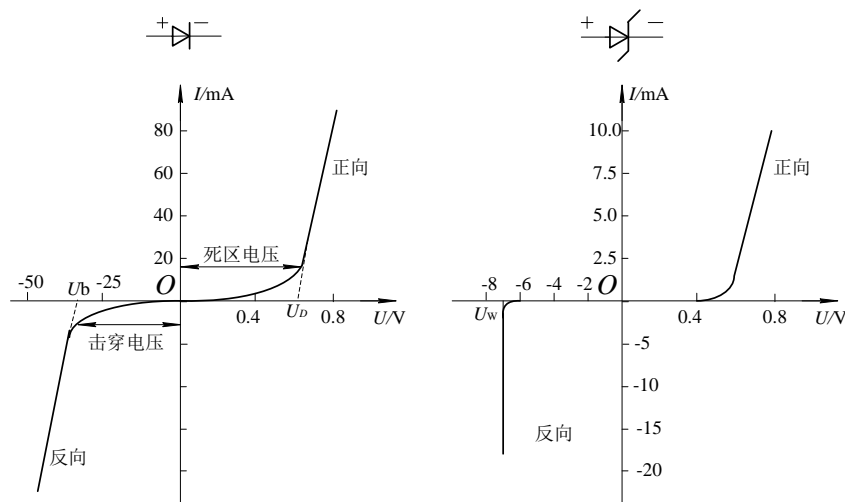


(b) 白炽灯灯丝的伏安特性曲线

图 2-1-1 伏安特性曲线

### 3. 非线性电阻元件

非线性电阻元件不遵循欧姆定律，它的阻值  $R$  随着其电压或电流的改变而改变，即它不是一个常量。以白炽灯为例，白炽灯工作时，灯丝处于高温状态，灯丝的电阻随温度升高而增大，而灯丝温度又与流过灯丝的电流有关，所以灯丝阻值随流过灯丝的电流而变化，灯丝的伏安特性曲线不再是一条直线，而是如图 2-1-1(b)所示的曲线。半导体二极管是一种常用的非线性元件，由 P 型、N 型半导体材料制成 PN 结，经欧姆接触引出电极封装而成。在电路图中用图 2-1-2(a)符号表示，两个电极分别为正极、负极。二极管的主要特点是单向导电性，其伏安特性曲线如图 2-1-2(a)所示，其特点是：在正向电压和反向电压较小时，电流较小，当正向电压加大到某一数值  $U_0$  时，正向电流明显增大，将此段直线反向延长与横轴相交，交点  $U_0$  称为正向导通值电压。正向导通后，锗管的正向电压降为 0.2-0.3V，硅管为 0.6-0.8V。在反向电压较大时，电流趋近极限值  $-I_s$ ， $I_s$  为反向饱和电流；在反向电压超过某一数值  $-U_0$  时，电流急剧增大，这种情况称为击穿， $U_0$  为击穿电压。



(a) 普通二极管的符号和伏安特性 (b) 稳压二极管的符号和伏安特性  
图 2-1-2 典型二极管伏安特性

由于二极管具有单向导电性，它在电子电路中得到了广泛应用，常用于整流、检波、限幅、元件保护以及在数字电路中作为开关元件等。

稳压二极管是一种特殊的硅二极管，表示符号和伏安特性曲线如图 2-1-2(b)所示。由伏安特性知，在反向击穿区一个很宽的电流区间，伏安曲线陡直，此直线反向与横轴相交于  $U_w$ 。与一般二极管不同，普通二极管击穿后电流急剧增大，电流超过极限值  $-I_s$ ，二极管被烧毁。稳压二极管的反向击穿是可逆的，去掉反向电压，稳压管又恢复正常，但如果反向电流超过允许范围，稳压管同样会因热击穿而烧毁。故正常工作时要根据稳压二极管的允许工作电流来设定其工作电流。稳压管常用在稳压、恒流等电路中。

#### 4. 测量方法

在被测电阻元件上施加不同极性和幅值的电压，测量出流过该元件中的电流；或是在被测电阻元件中通入不同方向和幅值的电流，测量该元件两端的电压，便得到被测电阻元件的伏安特性。

### 5. 直流电压源

#### (1) 直流电压源

理想的直流电压源输出固定幅值的电压，而它的输出电流大小取决于它所连接的外电路。因此它的外特性曲线是平行于电流轴的直线，如图 2-2-1(a)中实线所示。实际电压源的外特性曲线如图 2-2-1(a)虚线所示，在线性工作区它可以用一个理想电压源  $U_s$  和内电阻  $R_s$  相串联的电路模型来表示，如图 2-2-1(b)所示。图 2-2-1(a)中角  $\theta$  越大，说明实际电压源内阻  $R_s$  值越大。实际电压源的电压  $U$  和电流  $I$  的关系式为：

$$U = U_s - R_s \cdot I \quad (2-2-1)$$

#### (2) 测量方法

将电压源与一可调负载电阻串联，改变负载电阻  $R_L$  的阻值，测量出相应的电压源电流和端电压，便可以得到被测电压源的外特性。

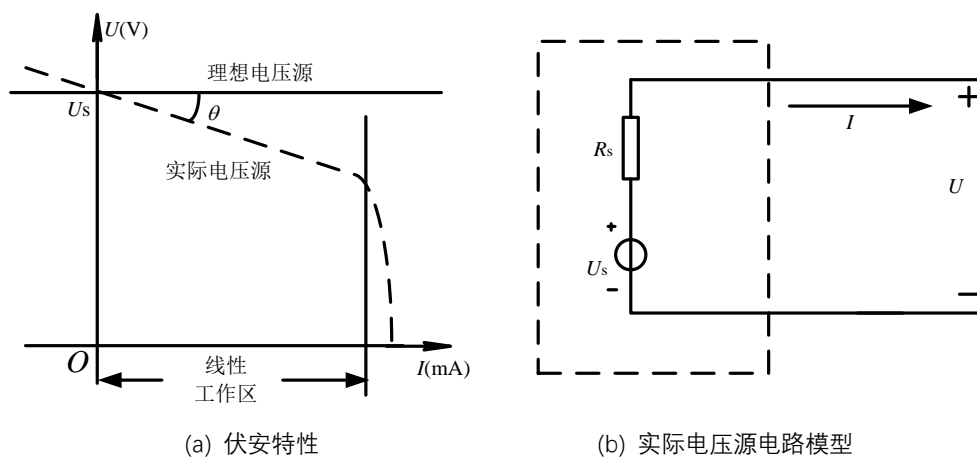


图 2-2-1 电压源

## 6. 直流电流源

### (1) 直流电流源

理想的直流电流源输出固定幅值的电流，而其端电压的大小取决于外电路，因此它的外特性曲线是平行于电压轴的直线，如图 2-2-2(a)中实践所示。实际电流源的外特性曲线如图 2-2-2(a)中虚线所示。在线性工作区它可以用一个理想电流源  $I_s$  和内电导  $G_s$  ( $G_s=1/R_s$ ) 相并联的电路模型来表示，如图 2-2-2(b)所示。图 2-2-2(a)中的角  $\theta$  越大，说明实际电流源内电导  $G_s$  值越大。实际电流源的电流  $I$  和电压  $U$  的关系式为：

$$I = I_s - U \cdot G_s \quad (2-2-2)$$

### (2) 测量方法

电流源外特性的测量与电压源的测量方法一样。

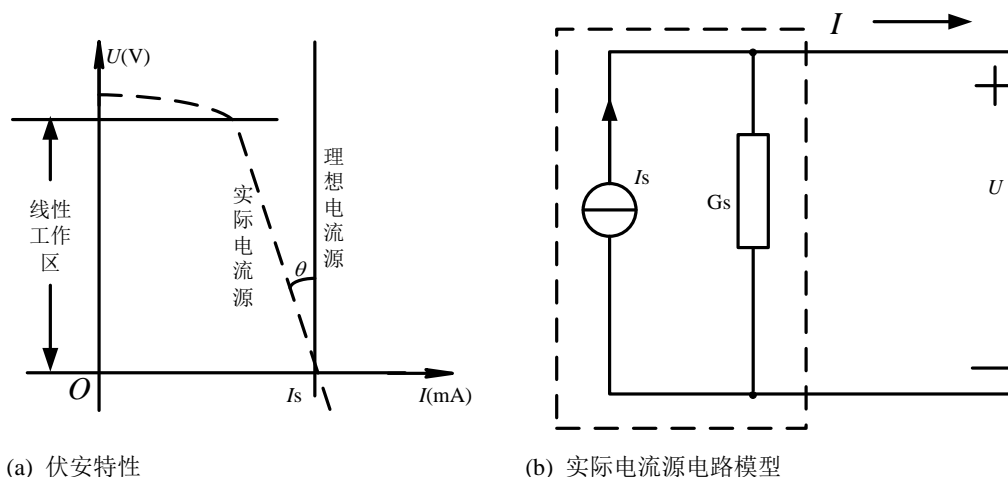


图 2-2-2 电流源

## 7. 实际电源等效变换

就其外特性而言，实际电源既可以看成是一个电压源，又可以看成是一个电流源。若视为电压源，则可用一个电压源  $U_s$  与一个电阻  $R_0$  相串联的组合来表示；若视为电流源，则可用一个理想电流源  $I_s$  与一电导  $G_0$  相并联的组合来表示，若它们向同样大小的负载提供同样大小的电流和端电压，则称这两个电源是等效的，即具有相同的外特性。其等效变换的条件为

$$I_s = \frac{U_s}{R_0}, \quad G_0 = \frac{1}{R_0} \quad (2-2-3)$$

或

$$U_s = I_s R_0 \quad R_0 = \frac{1}{G_0} \quad (2-2-4)$$

等效电路如图 2-2-3 所示。

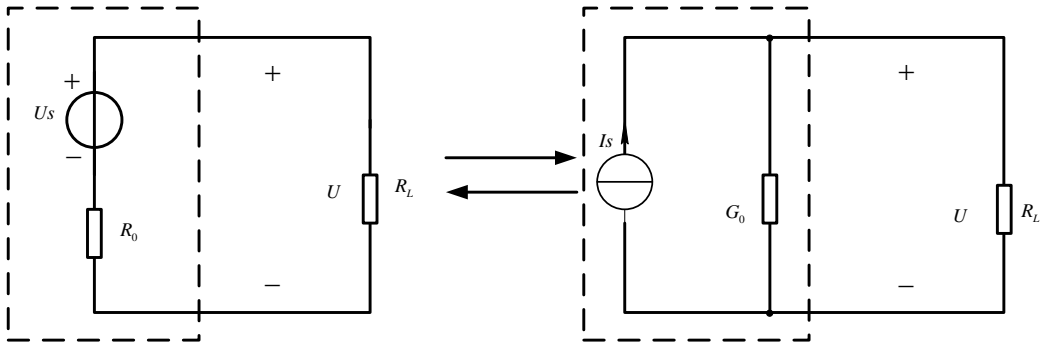


图 2-2-3 电压源-电流源等效变换

### 三. 实验步骤

#### 1. 测量线性电阻元件的伏安特性

(1) 按图 3-1-3 接线，取  $R_L=51\Omega$ ， $U_s$ 用直流稳压电源。

(2) 经检查无误后，点击运行按钮，调节直流电源输出电压，使电压  $U_s$ 分别为 0V、2V、4V、6V、8V、10V，并测量对应的电流值  $I$  和负载  $R_L$  两端电压  $U$ ，数据记入表 3-1-1。然后断开电源，稳压电源输出电压旋钮置于零位。

表 3-1-1 线性电阻元件实验数据

$U_s(V)$		0	2	4	6	8	10
测量	$I(mA)$						
	$U(V)$						
计算	$R_L=U/I$ ( $\Omega$ )						

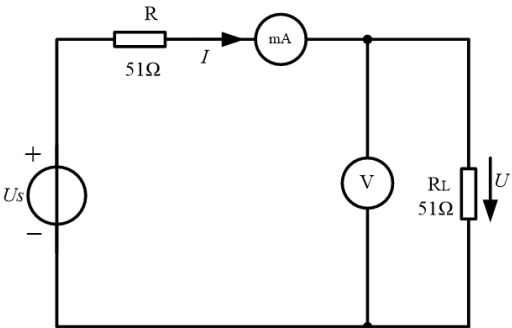


图 3-1-3 线性电阻元件的实验线路

(3)根据测得的数据，绘制出  $R_L= 51\Omega$ 电阻的伏安特性曲线。

#### 2. 测量稳压二极管的反向伏安特性

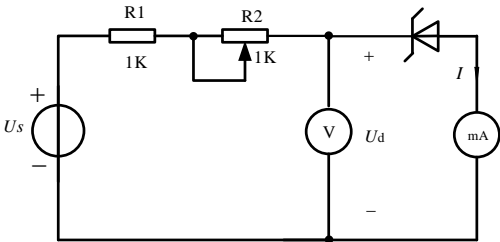


图 3-1-4 反向伏安特性测量原理图

- (1) 按照图 3-1-4 将稳压二极管连接到反向伏安特性测量电路中。
- (2) 测反向击穿特性(稳压特性)，实验数据不能少于 10 个，测出反向电流达 10mA 时稳压二极管的反向击穿电压(稳定电压)。记录  $I-U_D$  关系数据于表 3-1-2 中。
- 稳压二极管参考选择为 ZPD6.2 ( $V_Z=6.2V$ ) (请根据自己的理解自己选择，非固定要求，只做参考)

表 3-1-2 稳压管反向特性试验数据

测量	$I/(mA)$										
	$U_D(V)$										
计算	$R=U_D/I(\Omega)$										

- (3) 描出稳压管的伏安特性曲线。

### 3. 测量电压源的外特性

- (1) 电路如图 3-2-1 所示， $U_s$  为 +6V 直流稳压电源，调节电位器  $R_2$ ，令其阻值由大至小变化，电流表指示数值如表 3-2-1 中变化，记录电压表对应的读数，填入表 3-2-1。

表 3-2-1 电压源电压、电流实验数据

$I/(mA)$	1	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
$U(V)$									

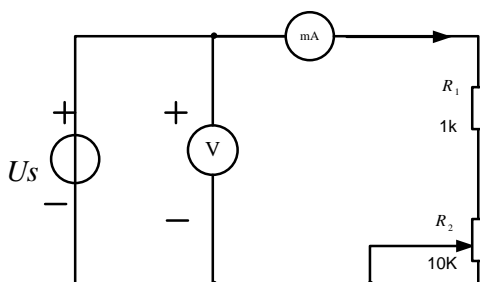


图 3-2-1 测量(近似)理想电压源外特性电路

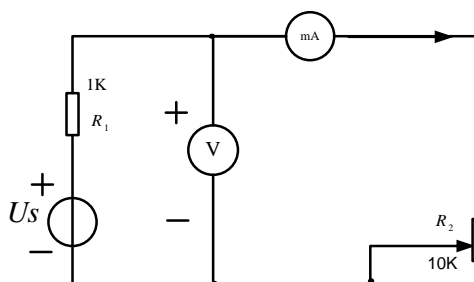


图 3-2-2 测量实际电压源外特性电路

- (2) 电路如图 3-2-2 所示，调节电位器  $R_2$ ，令其阻值由大至小变化，电压表指示数值如表 3-2-2 中变化，记录电流表对应的读数，填入表 3-2-2。

表 3-2-2 实际电压源电压、电流实验数据

$U(V)$	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5
$I/(mA)$								

### 4. 测量电流源的外特性

- (1) 电路如图 3-2-3 所示， $I_s$  为直流恒流源，调节其输出为 6mA，调节电位器  $R_L$ ，按表 3-2-3 给出的电压值测出对应的输出电流。

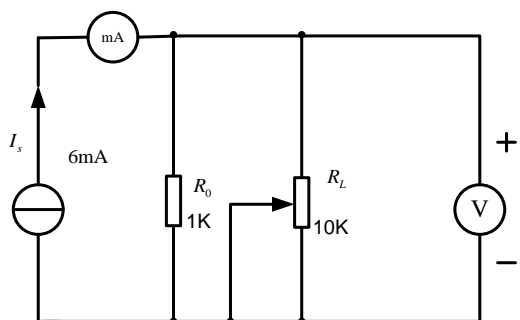


图 3-2-3 测量(近似)理想电流源外特性电路

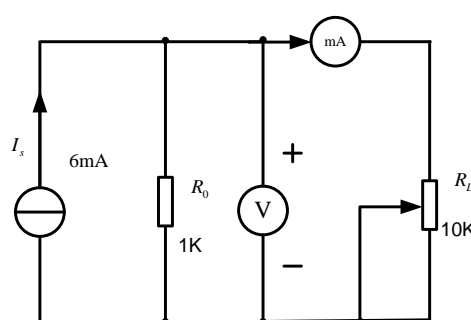


图 3-2-4 测量实际电流源外特性电路



表 3-2-3 电流源电压、电流实验数据

$U(V)$	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.0
$I(mA)$								

(2)电路如图 3-2-4 所示，调节电位器  $R_L$ ，按表 3-2-4 给出的电压值测出对应的输出电流。

表 3-2-4 实际电流源电压、电流实验数据

$U(V)$	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5
$I(mA)$								