

# 电路测试技术

## 实 验 报 告

院 系: 光学与电子信息学院

班 级:

学 号:

学生姓名:

指导教师:

电路测试课程组

电气与工程学院

华中科技大学

实验一:

直流试验单元的基本操作

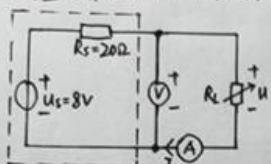
实验台编号: 8

## 实验注意事项

- (1) 实验过程中, 直流稳压电源不能短路, 直流恒流电源不能开路, 以免损坏电源设备。
- (2) 仪表读数和实验数据的运算要按有效数字的有关规则进行。
- (3) 绘制特性曲线时, 注意坐标比例的合理选取, 电量单位应注明。
- (4) 测定元件伏安特性曲线时, 不要使电表电压表、电流表的量程, 以便分析测量误差。

## 二、实验任务与方法

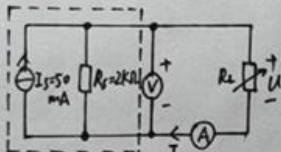
## 1. 测量“实际直流电压源”的端口特性



含内阻的电压源特性曲线的测试数据

$R_L (\Omega)$	$\infty$	800	500	300	200	100
$U (V)$	8.01	7.81	7.70	7.50	7.27	6.64
$I (mA)$	0	9.70	15.45	24.95	36.44	66.57

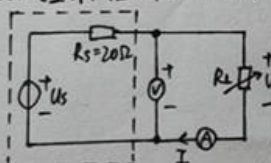
## 2. 测量“实际直流电流源”的端口特性



含内阻的电流源特性曲线的测试数据

$R_L (\Omega)$	0.002	20	40	60	80	100
$U (V)$	19.6 mV	1.02	2.02	2.97	3.93	4.85
$I (mA)$	51.2	50.7	50.1	49.6	49.1	48.6

## 3. 测量非线性电阻的伏安特性 (要求电压源最大输出为 16V, 测量 8~10 点)。



非线性电阻伏安特性曲线的测试数据

$U_s (V)$	0	2.0	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5	16
$U (V)$	0	1.80	3.83	4.06	4.29	4.52	4.75	3.83	15.93
$I (mA)$	0	8.54	8.88	7.47	6.02	4.48	2.89	2.88	3.95
							8	12	16
							7.98	11.96	15.93
							1.88	2.91	3.95

实验一：直流试验单元的基本操作

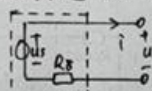
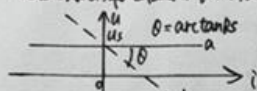
实验成绩：\_\_\_\_\_

## 一、实验目的

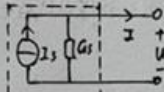
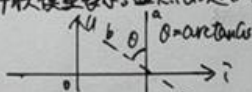
1. 研究实际直流电源(戴维南诺顿电路)的端口特性
2. 学习用电压表、电流表测定“实际直流电源”和电阻元件的端口特性。

## 二、实验原理

1. 伏安测量法 独立电源和电阻元件的伏安特性可用电压表、电流表测量,称为伏安法。也适用非线性元件。需注意仪表的合理接法。
2. 实际电压源 电压源端电压  $U_s(t)$  是确定时间函数,与电流无关。若  $U_s(t) \equiv C$  (常数),称直流电压源  $U_s$ 。实际电压源可用理想电压源  $U_s$  和电阻  $R_s$  串联模型表示。显然  $R_s$  越大,  $\theta = \arctan R_s$  越大。

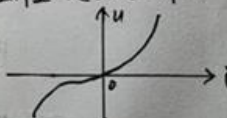
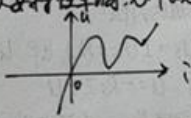
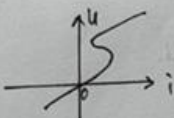


3. 实际电流源 电流源  $i_s(t)$  是确定时间函数与端电压无关。若  $i_s(t) \equiv C$  (常数),称直流电流源  $i_s$ 。可用电流源  $i_s$  和电导  $G_s$  并联模型表示。显然  $G_s$  越大,  $\theta = \arctan G_s$  越大。



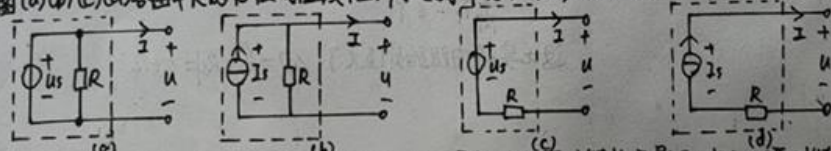
4. 线性电阻元件 在  $U-i$  坐标平面,其特性为一条通过原点的直线。

5. 非线性电阻元件
  - ① 元件端电压是电流单值函数,称元件为电流控制型电阻元件
  - ② 元件电流是端电压单值函数,称元件为电压控制型电阻元件
  - ③ 元件伏安特性单调,元件既是电流控制型又是电压控制型。

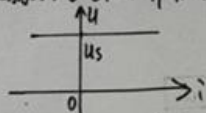


## 三、予习题思考题

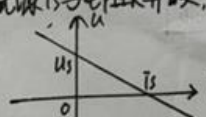
图(a)(b)(c)(d)各图中  $R$  的存在对虚线框所示电源外特性有何影响?试画出各图的外特性曲线。



解: (a) 由于电压源  $U_s$  与电阻  $R$  串联, 故  $U = U_s$ ,  $R$  对电源外特性无影响。作出电源外特性曲线如下图。

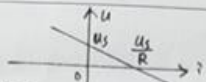


(b) 由于电流源  $i_s$  与电阻  $R$  并联,  $U = (I_s - I)R$  即  $U = -RI + RI_s$ ,  $R$  的存在使  $U$  随  $i$  增大而减小。

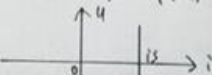


(c) 由于电压源  $U_s$  与电阻  $R$  串联,  $U = U_s - IR$ ,  $R$  的存在使  $U$  随  $i$  的增大而减小。





(d) 由于电流源  $i_s$  与电阻  $R_s$  串联,  $i = i_s$ , 故  $R$  的存在对电源外特性无影响



#### 四. 实验任务与实验(含考卷) 实验数据(含图表曲线和计算过程)

- (1) 测定由电压源  $U_s$  和电阻  $R_s$  相串联的电路模型的伏安特性曲线。电路线路见下图1。
- (2) 测定由电流源  $i_s$  和电阻  $G_s$  相并联的电路模型的伏安特性曲线。电路线路见下图2。
- (3) 测量非线性电阻的伏安特性。电路线路见下图3。

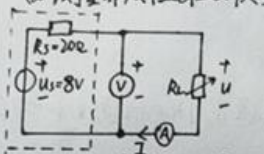


图1 实际电压源伏安特性

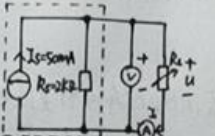


图2 实际电流源伏安特性

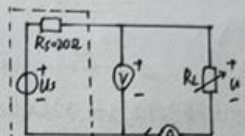


图3 测量非线性电阻伏安特性

得到实验数据如下:

##### (1) 测定“实际直流电压源”的端口特性

表1 含内阻的电压源特性曲线的测试数据

$R_L(\Omega)$	$\infty$	800	500	300	200	100
$U(V)$	8.01	7.81	7.70	7.50	7.27	6.64
$I(mA)$	0	9.70	15.45	24.95	36.44	66.57

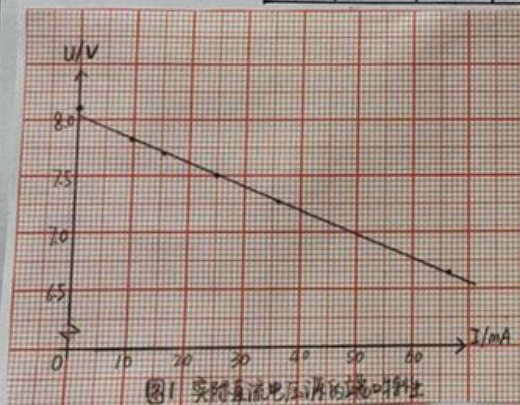


图1 实际直流电压源的端口特性

计算电源的内阻:

由KVL,  $U_s = I(R_s + R_L)$ , 即  $U_s = IR_s + U$ .

整理有  $U = -R_s I + U_s$

由线性模型的最小二乘法公式有

$$\hat{R}_s = \frac{\sum_{i=1}^6 U_i I_i - 6 \bar{U} \bar{I}}{\sum_{i=1}^6 I_i^2 - 6 \bar{I}^2} = 20.6\Omega$$

这比实验内阻给定值大了  $\Delta R = \hat{R}_s - R_s = 0.6\Omega$

##### (2) 测定“实际直流电流源”的端口特性

表2 含内阻的电流源特性曲线的测试数据

$R_L(\Omega)$	0	20	40	60	80	100
$U(V)$	0.02	1.02	2.02	2.97	3.93	4.85
$I(mA)$	51.2	50.7	50.1	49.6	49.1	48.6

计算电源的内阻:

由KCL,  $U = (I_s - I)R_s$  即  $U = -R_s I + I_s R_s$ .

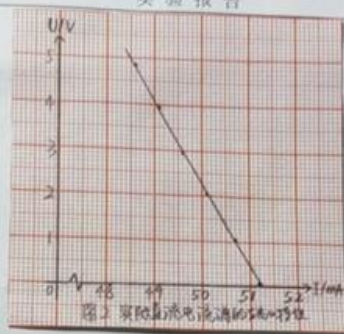
由线性模型的最小二乘法公式有

$$\hat{R}_s = \frac{\sum_{i=1}^6 U_i I_i - 6 \bar{U} \bar{I}}{\sum_{i=1}^6 I_i^2 - 6 \bar{I}^2} = 1.85k\Omega$$

这比实验内阻给定值小了

$$\Delta R = |\hat{R}_s - R_s| = 0.15k\Omega = 150\Omega$$

# 实验报告

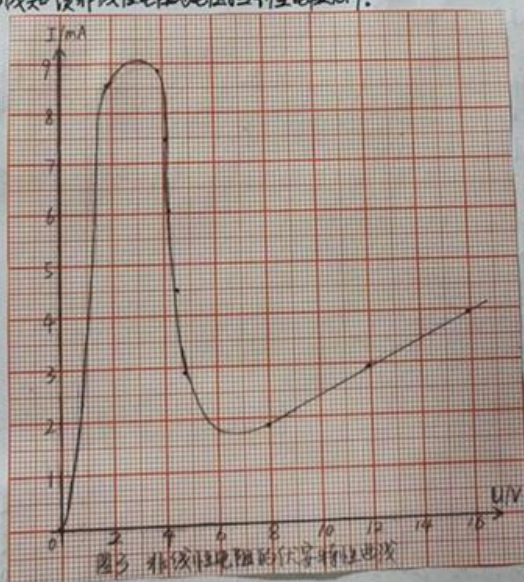


B) 测量非线性电阻的伏安特性

表3 非线性电阻伏安特性曲线的测试数据

$U_s(V)$	0	2.0	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	8.0	12.0	16.0
$U(V)$	0	1.80	3.83	4.06	4.29	4.52	4.75	3.83	7.98	11.96	15.93
$I(mA)$	0	8.54	8.88	7.49	6.02	4.98	2.89	8.88	1.88	2.91	3.95

在初测作出草图后,根据图象发现非线性电阻的伏安特性曲线拐点大致出现在  $U_s=4.5V$  附近,于是在  $U_s=4.5V$  附近增大采样频率,同时,根据伏安特性曲线知该非线性电阻电压为电阻型电阻元件。



## 五. 误差分析

1. 实验仪器存在一定误差。一方面,电压表、电流表不是理想的,会存在内阻产生的误差;另一方面,信号源输出信号,电压表、电流表测量信号也存在一定的仪器误差。如实验111测定“实际直流电压源”时,在信号源设置“电压源DC 8V”的情况下,电压表示数能达到8.01V,这表明电路实际信号与电源电表示数存在一定误差。同时电阻阻值也会产生一定误差。
2. 在计算实验111、实验112曲线坐标的线性回归系数时,发现直流电压源线性模型回归系数  $R^2=0.9999$ ,而直流电流源线性模型回归系数  $R^2=0.9996$ ,表明直流电流源较直流电压源,其稳定性更差,可能会输出不稳定的信号。
3. 将实验1.2的实验值与理论值归于一体,有以下两表:



实验报告

表4 实验(1)误差分析

$R_L(\Omega)$	00	800	500	300	200	100
$U_{测}(V)$	8.01	7.81	7.70	7.50	7.27	6.64
$U_{真}(V)$	8	7.80	7.69	7.5	7.27	6.67
$\Delta U = U_{测} - U_{真}(V)$	0.01	0.01	0.01	0	0	-0.03
$I_{测}(mA)$	0	9.70	15.45	24.95	36.44	66.57
$I_{真}(mA)$	0	9.76	15.38	25	36.36	66.67
$\Delta I = I_{测} - I_{真}(mA)$	0	-0.06	0.07	-0.05	0.08	-0.10

表5 实验(2)误差分析

$R_L(\Omega)$	0	20	40	60	80	100
$U_{测}(V)$	0.02	1.02	2.02	2.97	3.93	4.85
$U_{真}(V)$	0	0.99	1.96	2.91	3.85	4.76
$\Delta U(V)$	0.02	0.03	0.06	0.06	0.08	0.09
$I_{测}(mA)$	51.2	50.7	50.1	49.6	49.1	48.6
$I_{真}(mA)$	50	49.5	49.0	48.5	48.1	47.6
$\Delta I(mA)$	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0

从表4可知  $\Delta U, \Delta I$  均有正有负, 符合正常测量误差, 而表5对比表4, 表5  $\Delta U, \Delta I$  均较大且均为正值, 因此有理由认为误差主要来源于直流电源, 且电源输出电流要比设置电流大。

### 六、思考题

1. 用伏安法测量电阻值。若电压表量程150V, 示值128.0V; 电流表量程1A, 示值0.826A, 电表准确度等级均为0.3级, 试求因仪表的基本误差引起的测量最大相对误差。

解: 测量时电压表产生的最大绝对误差为  $\Delta U_m \leq \pm 0.3\% \cdot 150V = \pm 0.45V$

故最大示值相对误差  $\gamma_m = \frac{\Delta U_m}{U_m} \times 100\% = \pm 0.35\%$

电流表产生的最大绝对误差为  $\Delta I_m \leq \pm 0.3\% \cdot 1A = \pm 0.003A$

最大示值相对误差  $\gamma'_m = \frac{\Delta I_m}{I_m} \times 100\% = \pm 0.36\%$

2. 什么是有有效数字? 规定有效数字有何意义?

解: 实验中记录的测量数据应符合测量精度要求, 由若干位可靠数字和一位可疑数字组成的数据是有效数字。有效数字可避免修约误差的累积, 保证数据处理结果的准确度, 关系利能正确实验结果。

3. 什么是舍入误差? 它对测量结果有何影响?

解: 因作具体的数值计算只能按有限位数进行, 对数据精确值舍入取有限位数产生的误差是舍入误差。

它会使测量结果失去一定可靠数字, 增加一位可疑数字。

4. 说明下列数据的有效数字各是几位。

182.1, 0.0783, 3.60,  $0.930 \times 10^3$ ,  $2.32 \times 10^3$

解: (1) 182.1 中 182 是准确数字, 1 是估读数字, 具有 4 位有效数字;

(2) 0.0783 中 78 是准确数字, 3 是估读数字, 具有 3 位有效数字;

(3) 3.60 具有 3 位有效数字;

(4)  $0.930 \times 10^3$  具有 3 位有效数字;

(5)  $2.32 \times 10^3$  具有 3 位有效数字。

### 七、实验小结

本次实验是对直流实验单元做的基丰操作, 原理、仪器、方法操作都较为简单, 通过研究实际直流电源(戴维南、诺顿等效)的端口特性, 学习用电压表、电流表测定“实际直流电源”和电阻元件的端口特性, 简单回顾并迁移了《电路理论》中的知识章节, 同时认识了电路实验的基丰内容。同时, 本次实验也使我意识到细致操作与规范操作的重要性。