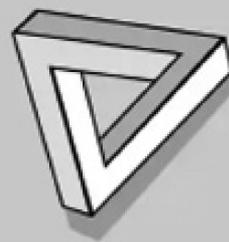
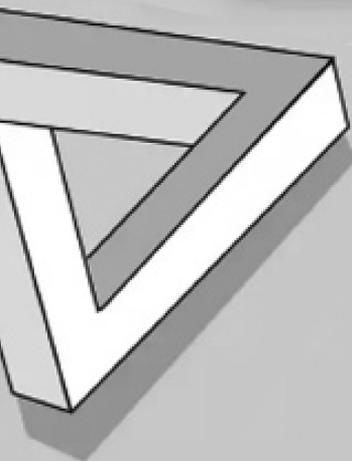


电工部分



实验设备使用注意事项

1. 必须在断电情况下完成实验电路的连接，经检查确认无误后方可通电。切勿将 380V 和 220V 接错。
2. 强电实验与弱电实验使用的导线不同，不可将弱电导线用于强电实验中。
3. 若发现设备打开无显示，请检查设备电源是否插好或保险丝是否良好。
4. 恒流源、单相调压器、直流可调电源在使用前应调至最小值(逆时针旋转到终端)；使用完毕后也须调至最小值。
5. 可调电阻(电位器)在使用时，须先调至最大值，然后再通电，最后调至需要的阻值。
6. 使用电流表时请注意将电流表串联于电路中，切勿并联于电路，以免造成电源短路。
7. 双路可调电源禁止串联使用。
8. 若需更换保险丝，请按设备要求的规格型号更换，切勿随意更换不同型号的保险丝。

常用电工仪表的测量与误差分析

一、实验目的

1. 掌握系统误差和随机误差的概念。
2. 学会分析系统误差和随机误差的方法。

二、实验原理与说明

(一) 测量方法

根据获得测量结果的方法不同，测量可以分为两大类：直接测量和间接测量。

1. 直接测量法

直接测量法是指被测量与其单位量做比较，被测量的大小可以直接从测量的结果得出。例如：用电压表测量电压，读数即为被测电压值，这就是直接测量法。

直接测量法又分直接读数法和比较法两种。

上述用电压表测量电压，就是直接读数法，被测量可直接从指针指示的表面刻度读出。这种测量方法的设备简单，操作方便，但其准确度较低，测量误差主要来源于仪表本身的误差，误差最小约可达 $\pm 0.05\%$ 。

比较法是指测量时将测量与标准量进行比较，通过比较确定被测量的值。例如用电位差计测量电压源的电压，就是将被测电压源的电压与已知标准电压源的电压相比较，并从指零仪表确定其作用互相抵消后，即可以刻度盘读得被测电压源的电压值。比较法的优点是准确度和灵敏度都比较高，测量误差主要决定于标准量的精度和指零仪表的灵敏度，误差最小约可达 $\pm 0.001\%$ 。比较法的缺点是设备复杂，价格昂贵，操作麻烦，仅适用于较精密的测量。



2. 间接测量法

间接测量法是指测量时测出与被测量有关的量，然后通过被测量与这些量的关系式，计算得出被测量。例如用伏安法测量电阻，首先测得被测电阻上的电压和电流，再利用欧姆定律求得被测电阻值。间接测量法的测量误差较大，它是各个测量仪表和各次测量中误差的综合。

(二) 测量误差

测量中，无论采用什么样的仪表、仪器和测量方法，都会使测量结果与被测量的真实值(即实际值或简称“真值”)之间存在差异，这就是测量误差。测量误差可分为三类，即系统误差、偶然误差和疏忽误差。

1. 系统误差

系统误差的特点是测量结果总是向某一方向偏离，相对于真实值总是偏大或偏小，具有一定的规律性，根据其产生的原因可分为：仪表误差、理论或方法误差、个人误差。

(1) 仪表误差

仪表在规定的正常工作条件下使用(在规定的温度、湿度，规定的安置方式，没有外界电磁场的干扰等)，由于仪表本身结构和制造工艺上的不完善所引起的误差，叫作仪表的基本误差。例如仪表偏转轴的磨损、标尺刻度的不准等引起的误差，都属于基本误差，是仪表本身所固有的。

由于仪表在非正常工作条件下使用而引起的误差，叫仪表的附加误差。例如外界电磁场的干扰所引起的误差，就属于附加误差。

仪表误差有两种表示方法。

① 绝对误差

用仪表测量一个电量时，仪表的指示值 A_x 与被测量的实际值 A_0 之差，叫绝对误差，用 Δ 表示：

$$\Delta = A_x - A_0 \quad (1-1)$$

绝对误差的单位与被测量的单位相同。绝对误差在数值上有正负之分。

② 相对误差

用绝对误差无法比较两次不同测量结果的准确性，例如用电流表测量 100mA 的电流时，绝对误差为 +1mA，又若测量 10mA 电流时，绝对误差为 +0.25mA，虽然绝对误差是前者大于后者，但不能说明后者的测量比前者准确，要使两次测量能够进行比较，必须采用相对误差。

通常把仪表的绝对误差 Δ 与被测量的实际值的比值的百分比，叫相对误差，

用 γ 表示。

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\% \quad (1-2)$$

因为测量值 A_x 与实际值 A_0 相差不大，故相对误差也可近似表示为

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_x} \times 100\% \quad (1-3)$$

用相对误差分析上述两次测量结果：第一次测量中，被测电流的相对误差为

$$\gamma_1 = \frac{\Delta_1}{A_{01}} \times 100\% = \frac{+1}{100} \times 100\% = +1\% \quad (1-4)$$

第二次测量中被测电流的相对误差为

$$\gamma_2 = \frac{\Delta_2}{A_{02}} \times 100\% = \frac{+0.25}{10} \times 100\% = +2.5\% \quad (1-5)$$

从计算结果看出，第一次测量的绝对误差虽大，但相对误差较小，所以第一次测量比第二次测量的结果准确。

(2) 理论误差或方法误差

这是指实验本身所依据的理论和公式的近似性，或者对实验条件及测量方法考虑得不周到带来的系统误差。例如，未考虑仪表内阻对被接入电路的影响而造成的系统误差就属于这一类。

(3) 测量者个人因素带来的个人误差

例如测量者反应速度的快慢、分辨能力的高低、个人的固有习惯等，致使读数总是偏大或偏小。

2. 偶然误差

偶然误差是由于某种偶然因素所造成的，其特点是在相同的测量条件下，有时偏大，有时偏小，无规律性。例如，温度、外界电磁场、电源频率的偶然变化，即使采用同一仪表去多次测量同一个量，也会得到不同的结果。

3. 疏忽误差

疏忽误差是指测量结果出现明显的错误，是由于实验者的疏忽造成读错或记错等所引起的误差。

三、实验设备(如表 1-1 所示)

表 1-1 实验设备

名称	数量	型号
三相空气开关	1 块	30121242
双路可调直流电源	1 块	30121046
电阻	2 只	$1\text{k}\Omega * 1, 15\text{k}\Omega * 1$
直流电压电流表	1 块	指针式
短接桥和连接导线	若干	P8-1 和 50148
实验用 9 孔插件方板	1 块	300mm × 298mm

四、实验步骤

1. 图 1-1 接线, U_S 用直流稳压电源, 取 $R_1 = 1\text{k}\Omega$, $R_2 = 15\text{k}\Omega$, 测量电路中的电流 I_1 与 U_1 , 将数据填入表 1-1 内。

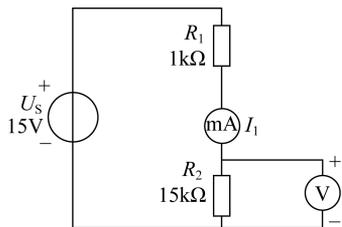


图 1-1

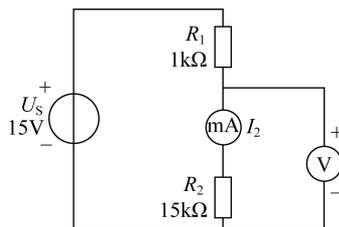


图 1-2

2. 然后改动电压表正表棒按图 1-2 接线, 测量电路中电流 I_2 与 U_2 , 且将数据填入表 1-1 中。

3. 然后再改变电压表正极表棒按图 1-1 接线, 进行步骤 1 的测量, 重复步骤 1, 步骤 2 三次, 共测得六组数据, 分别填入表 1-2 中。

4. 通过计算, 分别得出两个接线图中四个电量 I_1 、 U_1 、 I_2 、 U_2 的平均值, 填入表 1-3 中。

5. 根据式(1-1), 式(1-2)计算实验结果的绝对误差、相对误差, 并填入

表 1-3。

表 1-2 测量误差实验数据

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
图 1-1	I_1										
	U_1										
图 1-2	I_2										
	U_2										

表 1-3 实验数据计算值

		平均值		绝对误差	相对误差
图 1-1	I_1	U_1	Δ_1	γ_1	
图 1-2	I_2	U_2	Δ_2	γ_2	

五、分析与讨论

1. 按接线图所示，计算电阻 R_2 上两端电压和流过电流的大小。
2. 根据表 1-2 中的数据，比较前一小题算得的数据，分析哪一种接法测得的数据更为准确，并分析解释原因，说明属于哪类误差？
3. 若要求测量电阻 R_1 两端的电压，则将接线图中 R_1 、 R_2 两个电阻位置互换，仍分别采用实验步骤 1、2、3 中的两种接法，对实验结果进行分析，此时哪一种接法测得的数据更准确，从而最终可以得出什么结论？

仪表的误差减小方法和量程扩展

一、实验目的

1. 了解减小测量误差的方法。
2. 掌握测量电压表、电流表内阻的方法。
3. 掌握量程扩展的方法。

二、实验原理与说明

(一) 减少测量误差的方法

在实际测量中，测量结果与实际值总是存在差异，这种差异称为测量误差。

1. 测量误差的分类

(1) 系统误差：在多次测量中，遵循一定变化规律或保持不变的误差，称为系统误差。其产生原因主要有以下几方面。

① 测量仪器本身的误差

由测量仪器、仪表引起的误差有基本误差和附加误差两种。前者是受仪器制造工艺的限制造成的，后者是由于工作条件不符合仪器而造成的。

② 测量方法引起的误差

由于测量方法的不完善，或运用了近似公式，或未计进接触电阻、仪表内阻、漏电、热电势等因素造成的误差，还有由于仪器位置放得不恰当所引起的误差，都是方法误差。

(2) 偶然误差：其大小、符号都没有确定的规律误差，也称为随机误差。

由于周围环境的变化，温度、湿度、磁场、电场、电源等因素造成在相同的条件下进行多次相同的测量，会有完全不同的结果，这种误差称为随机误差。

(3) 疏失误差：由于测量过程中测量人员的粗心大意引起测量结果的不正确

或读数不正确等造成的误差，也称为粗大误差。

2. 减小测量误差的方法

(1) 系统误差的消除方法有以下三个方面。

① 测量前检查所有可能产生系统误差的来源，并设法消除或确定大小后进行修正，以减小误差。

② 选择合理的测量方法，选择适当的仪表及量程配上合适的附加装置，改善仪表的安装质量和配线方式：采用合适的屏蔽措施，除去外电场、磁场的影响。

③ 采用特殊的测量方法以减小测量误差，常用的方法有以下几种。

i. 替代法：在保持仪表读数不变的情况下，用等值的已知量去代替被测量，这样的测量结果与测量仪表和外界的因素无关。例如用电桥测量电阻，用标准电阻代替被测电阻，并调整标准电阻的数值使电桥达到平衡，被测电阻就等于这个标准电阻，于是排斥了电桥和外界的条件的影响引起的误差。

ii. 误差补偿法：为消除系统误差，对同一被测量反复进行两次测量，其一次的误差为正的，一次误差为负的，则可以取两次的平均值，便可以消除或减少系统误差。例如为了消除外磁场对电流表读数的影响，可将电流表的位置倒置后测量一次。取两次结果的平均值，则可以消除系统误差。

iii. 校正法：若系统误差已经知道，则在测量结果中引入校正值，以消除系统误差。例如有些仪器在说明书中，引入了校正值。它可以用曲线或数据表示，根据不同测量结果来进行修正。

(2) 偶然误差的消除：偶然误差是随机的，不可以在一次测量中加以消除，必须重复测量后取测量的算术平均值。测量次数越多，则算术平均值越接近于实际值，误差越小，即越正确。

(3) 疏失误差的消除：疏失误差完全是由测量人员的不注意所造成，因此应不断提高操作人员的素质，包括业务素质和工作责任心。通过多次反复测量，不断更换测量人员或用数据统计分析测量等反复方法也可以消除疏失误差。

(二) 量程扩展

1. 电压表扩大量程的方法——串联附加电阻

如图 2-1 所示的测量电路，电压表内电阻为 R_V ，附加电阻为 R_S ，流过电压表的电流为 I ， R_S 的阻值大于 R_V ，使被测量的大部分电压都降落在 R_S 上，起到了分压作用。

因为

$$I = U_V / R_V = U / (R_V + R_S) \quad (2-1)$$

设

$$K = (R_V + R_S) / R_V \quad (2-2)$$

则

$$U = K \cdot U_V \quad R_S = (K - 1) R_V \quad (2-3)$$

由此可见, 要将电压表的量程扩大 K 倍, 只需串入一只 $(K - 1) R_V$ 的电阻就可以了。 K 称为电压扩程倍数。

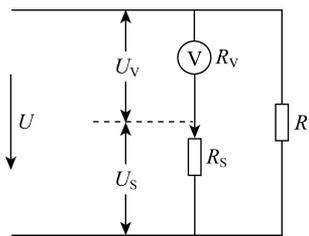


图 2-1 扩大电压表量程

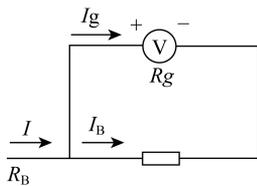


图 2-2 扩大电流表量程

2. 电流表扩大量程的方法——附加分流器

磁电系电流表测量电流的范围很小, 只能从几千微安到几千毫安之间, 故要扩大量程。一般采用附加分流器的方法来实现。如图 2-2 所示, 原来只能通过电流 I_g , 现在要通过电流 I , 故在流过分流器的电流为 $I_B = I - I_g$ 。

所以

$$I_g \cdot R_g = I R_B \cdot R_B / (R_g + R_B) \quad (2-4)$$

$$I = (R_g + R_B) I_g / R_B \quad (2-5)$$

设:

$$(R_g + R_B) / R_B = K \quad I = K \cdot I_g \quad (2-6)$$

分流电阻 $R_B = R_g / (K - 1)$, K 称为扩程倍数。

(三) 电压表, 电流表内电阻对测量结果的影响

1. 电压表内电阻对测量结果的影响

为了减小电压表对被测电路的影响, 要求电压表的内阻越大越好, 如图 2-3 所示的被测电路中, 电压表的内阻为 R_V , 测量电阻 R_2 两端的电压, 被测电压的实际值是 $U_2 = R_2 / (R_1 + R_2) U$, 而测量值 $U'_2 = R'_2 / (R_1 + R'_2) U$, 其中, $R'_2 = R_2 R_V / (R_2 + R_V)$, 因此, 测量值和实际值有差异, 这个差异是电压表的内阻 R_V 引起的。若上式中的 R_V 为 ∞ , 则 $U_2 = U'_2$ 。一般应选择电压表内阻比被测电阻大得多的电压表。

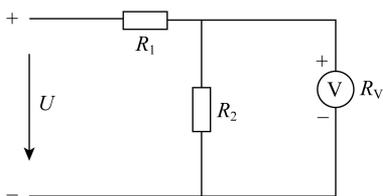


图 2-3 电压表内阻对测量结果的影响

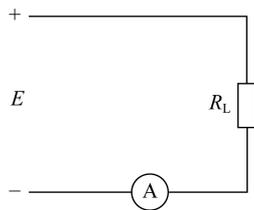


图 2-4 电流表内阻对测量结果的影响

2. 电流表内阻对测量结果的影响

为了减小测量仪表对被测电路的影响，要求电流表的内阻越小越好，因为内阻小，测量结果就越接近于真实值，误差就小。如图 2-4 所示电路，电流表内阻为 R_g ，负载电阻为 R_L ，流过的电流为 I ，电源的电动势为 E ，则电路中的电流 I ： $I = E / (R_g + R_L)$ ，如果 $R_g = 0$ ，则 $I = E / R_L$ 。内阻越小， I 值越准确。

三、实验设备(如表 2-1 所示)

表 2-1 实验设备

名称	数量	型号
三相空气开关	1 块	30121242
双路可调直流电源	1 块	30121046
电阻	7 只	$1\Omega * 2$, $1k\Omega * 1$, $100k\Omega * 2$, $150k\Omega * 1$
直流电压表、电流表	各 1 台	指针式可调节档位
万用表(学校自备)	1 台	500 型
短接桥和连接导线	若干	P8-1 和 50148
实验用 9 孔插件方板	1 块	300mm × 298mm

四、实验步骤

1. 测量电压表内阻

在电压表的面板上都标有了“电压灵敏度”，以每伏的内阻表示，如“ $2000\Omega/V$ ”，若选用 10V 档量程，即电压表的内阻为 $20k\Omega$ 。灵敏度越高，则内阻越大，测量越精确。磁电系仪表的内阻较大，约每伏几千欧姆，甚至可达 $100k\Omega$ ，电动系电压表的内阻较低，约几千欧姆左右，即灵敏度较低。

依次取用电压表的各档，用万用表的电阻挡去测量每档的内阻阻值，并将所测得的数据填入表 2-2 内。

表 2-2 电压表各档内阻 R_V

电压灵敏度: _____ Ω/V

量程				
内阻阻值(Ω)				

2. 测量电流表内阻

依次选用电流表的各档, 用万用表的电阻挡去测量每档的内阻阻值, 将测得的结果填入表 2-3 中。

表 2-3 电流表各档内阻 R_g

量程			
内阻阻值(Ω)			

3. 扩展电压表量程

(1) 按图 2-5 接线, U_S 为 25V, 用直流稳压电源来提供, 选用万用表 10V 电压档。

(2) 根据实验步骤 1 中, 所测得的 10V 档内阻值, 去用串联电阻 R_S , $R_S = (K-1) \cdot R_V$, 其中 K 为要求的扩程倍数, $K = U_S/U_V$, 完成表 2-4 中所列出的各电量值的测量。

表 2-4 扩展电压表量程实验数据

$U_S = 25V$

$U_V =$	$R_V =$	$K =$
$R_S =$	$U_{RS} =$	$I =$

(参考实验数据: 以 500 型万用表为例, 10V 电压档的内阻为 $100k\Omega$, 若要求扩成倍数为 2.5, $K = U_S/U_V = 25/10 = 2.5$, 则串联电阻 R_S 应取为 $150k\Omega$ 。)

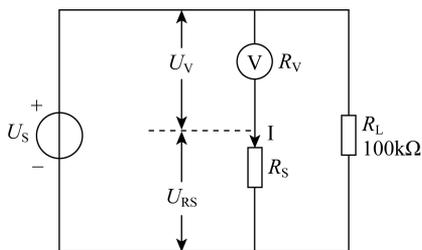


图 2-5 扩展电压表量程实验接线图

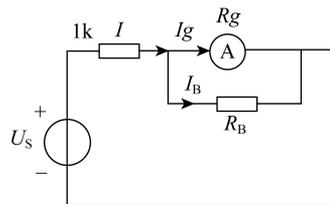


图 2-6 扩展电流表量程实验接线图

4. 扩展电流表量程

(1) 按图 2-6 接线, $U_s = 25V$, 用直流稳压电源来提供, 选用电流表(或万用表电流档)2.5mA 档。

(2) 根据实验步骤 2 中所测得的电流表 2.5mA 档的内阻值 R_g , 根据 $K = I/I_g$, 计算扩程倍数 K , 并确定并联电阻 R_B 的阻值, $R_B = R_g/(K - 1)$, 完成表 2-5 中所列出的各电量值的测量。

表 2-5 扩展电流表量程实验数据

$U_s = 25V$

$I =$	$R_g =$	$I_g =$
$K =$	$R_B =$	$I_B =$

五、分析与讨论

1. 根据表 2-2 的测量数据, 分析各电压档量程内阻之间的关系。
2. 根据表 2-3 的测量数据, 分析各电流档量程内阻之间的关系。
3. 根据表 2-4 的测量结果, 总结扩展电压表量程的方法。
4. 根据表 2-5 的测量结果, 总结扩展电流表量程的方法。

电路元件伏安特性的测绘

一、实验目的

1. 学习测量线性和非线性电阻元件伏安特性的方法，并绘制其特性曲线。
2. 学习测量电源外特性的方法。
3. 掌握运用伏安法判定电阻元件类型的方法。
4. 学习使用直流电压表、电流表，掌握电压、电流的测量方法。

二、实验原理与说明

1. 电阻元件

(1) 伏安特性

二端电阻元件的伏安特性是指元件的端电压与通过该元件电流之间的函数关系。通过一定的测量电路，用电压表、电流表可测定电阻元件的伏安特性，由测得的伏安特性可了解该元件的性质。通过测量得到元件伏安特性的方法称为伏安测量法(简称伏安法)。把电阻元件上的电压取为纵(或横)坐标，电流取为横(或纵)坐标，根据测量所得数据，画出电压和电流的关系曲线，称为该电阻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 $U=IR$ ，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，具有双向性。如图 3-1(a) 所示。

(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，其伏安特性是一条过坐标原点的曲线，如图 3-1(b) 所示。

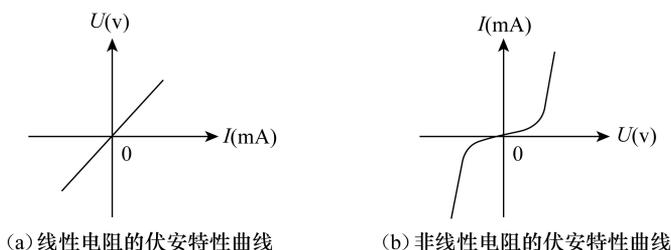


图 3-1 伏安特性曲线

(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。

2. 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 3-2(a)中实线所示。实际电压源的外特性曲线如图 3-2(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 3-2(b)所示。图 3-2(a)中角 θ 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

$$U = U_s - R_s \cdot I \tag{3-1}$$

(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_2 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。

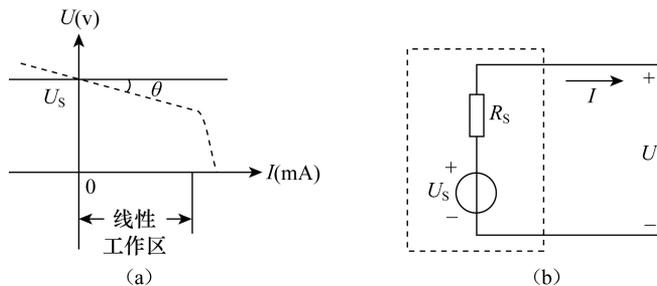


图 3-2 电压源特性

3. 直流电流源(DC current source)

(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 3-3(a) 所示。实际电流源的外特性曲线如图 3-3(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 3-3(b) 所示。图 3-3(a) 中的角 θ 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

$$I = I_s - U \cdot G_s \quad (3-2)$$

(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。

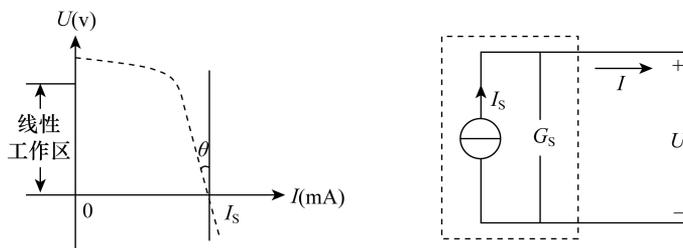


图 3-3 电流源外特性

三、实验设备(如表 3-1 所示)

表 3-1 实验设备

名称	数量	型号
三相空气开关	1 块	30121242
双路可调直流电源	1 块	30121046
恒流源	1 块	30111113
直流电压电流表	1 块	30111047
电阻	13 只	1Ω * 1, 5.1Ω * 1, 10Ω * 1, 22Ω * 1, 51Ω * 2, 100Ω * 2, 220Ω * 1, 1kΩ * 1
白炽灯泡	1 只	12V/0.1A
灯座	1 只	M = 9.3mm
短接桥和连接导线	若干	P8-1 和 50148
实验用 9 孔插件方板	1 块	300mm × 298mm

四、实验步骤

1. 测量线性电阻元件的伏安特性

(1) 按图 3-4 接线, 取 $R_L = 51\Omega$, U_s 用直流稳压电源, 先将稳压电源输出电压旋钮置于零位。

(2) 调节稳压电源输出电压旋钮, 使电压 U_s 分别为 0V、1V、2V、3V、4V、5V、6V、7V、8V、9V、10V, 并测量对应的电流值和负载 R_L 两端电压 U , 数据记入表 3-2。然后断开电源, 稳压电源输出电压旋钮置于零位。

表 3-2 线性电阻元件实验数据

U_s (v)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I (mA)											
U (v)											
$R = U/I$ (Ω)											

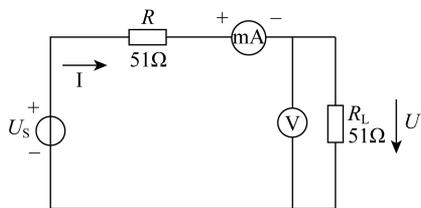


图 3-4 线性电阻元件的实验线路

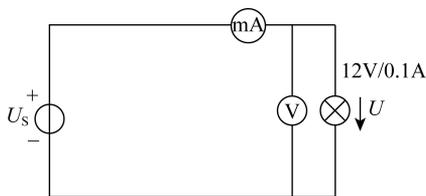


图 3-5 非线性电阻元件的实验线路

(3) 根据测得的数据, 在下面坐标平面上绘制出 $R_L = 51\Omega$ 电阻的伏安特性曲线。先取点, 再用光滑曲线连接各点。

2. 测量非线性电阻元件的伏安特性

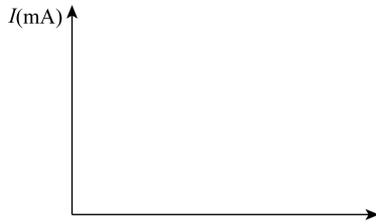
(1) 按图 3-5 接线, 实验中所用的非线性电阻元件为 12V/0.1A 小灯泡。

(2) 调节稳压电源输出电压旋钮, 使其输出电压分别为 0V、1V、2V、3V、4V、5V、6V、7V、8V、9V、10V、11V、12V, 测量相对应的电流值 I 及灯泡两端电压 U , 将数据记入表 3-3 中。断开电源, 将稳压电源输出电压旋钮置零位。

表 3-3 非线性电阻元件实验数据

U_s (V)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I (mA)													
U (V)													
$R = U/I$ (Ω)													

(3) 根据测得的数据在下面坐标平面上绘制出白炽灯的伏安特性曲线。



3. 测量直流电压源的伏安特性

(1) 按图 3-6 接线，将直流稳压电源视作直流电压源，取 $R = 100\Omega$ 。

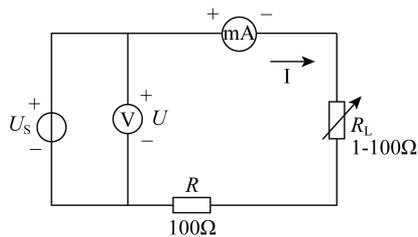


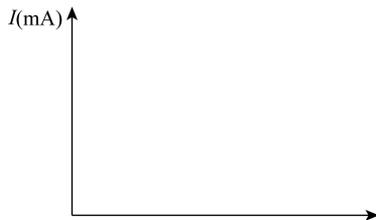
图 3-6 电压源实验线路

(2) 稳压电源的输出电压调节为 $U_s = 10V$ ，改变电阻 R_L 的值，使其分别为 100Ω 、 51Ω 、 22Ω 、 10Ω 、 5.1Ω 、 1Ω ，测量其相对应的电流 I 和直流电压源端电压 U ，记于表 3-4 中。

表 3-4 电压源实验数据

$R_L(\Omega)$	100	51	22	10	5.1	1
$I(\text{mA})$						
$U(\text{V})$						

(3) 根据测得的数据在下面坐标平面上绘制出直流电压源的伏安特性曲线。



4. 测量实际直流电压源的伏安特性

(1) 按图 3-7 接线, 将直流稳压电源 U_s 与电阻 R_0 (取 51Ω) 相串联来模拟实际直流电压源, 如图中虚线框内所示, 取 $R = 100\Omega$ 。

(2) 将稳压电源输出电压调节为 $U_s = 10V$, 改变电阻 R_L 的值, 使其分别为 100Ω 、 51Ω 、 22Ω 、 10Ω 、 5.1Ω 、 1Ω , 测量其相对应的实际电压源端电压 U 和电流 I , 记入表 3-5 中。

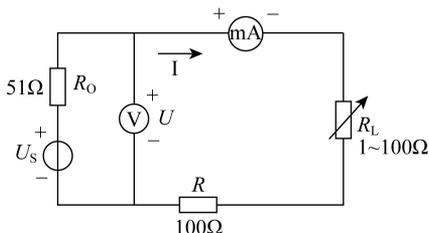


图 3-7 实际电压源实验线路

表 3-5 实际电压源实验数据

$R_L(\Omega)$	100	51	22	10	5.1	1
$I(\text{mA})$						
$U(\text{V})$						

(3) 根据测得的数据在下面平面坐标上绘制实际电压源的伏安特性曲线。



5. 测量直流电流源的伏安特性

(1) 按图 3-8 接线, R_L 为可变负载电阻。

(2) 调节直流稳电源的输出电流为 $I_s = 24\text{mA}$, 改变 R_L 的值分别为 330Ω 、 220Ω 、 100Ω 、 51Ω 、 22Ω , (其中 330Ω 采用 220Ω 与 100Ω 串联, 50Ω 采用 2 个 100Ω 并联), 测量对应时电流 I 和电压 U , 记入表 3-6 中。

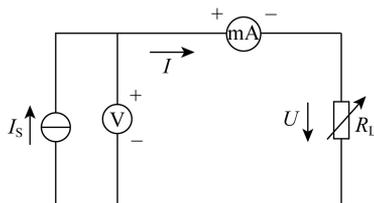


图 3-8 电流源实验线路

表 3-6 电流源实验数据

$R_L(\Omega)$	330	220	100	50	22
$I(\text{mA})$					
$U(\text{V})$					

(3) 根据测得的数据在下面坐标平面上绘制电流源的伏安特性曲线。



6. 测量实际直流电流源的伏安特性

(1) 按图 3-9 接线, R_L 为负载电阻, 取 $R_0 = 1\text{k}\Omega$, 将 R_0 与电流源并联来模拟实际电流源, 如图中虚线框内所示。

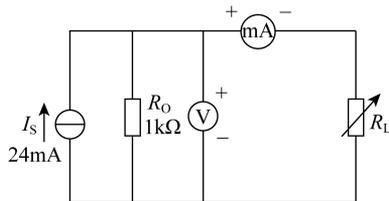


图 3-9 实际电流源实验线路

(2) 调节电流源输出电流 $I_s = 24\text{mA}$, 改变 R_L 的值分别为 330Ω 、 220Ω 、 100Ω 、 50Ω 、 22Ω , 测量对应的电流 I 和电压 U , 记入表 3-7 中。

表 3-7 实际电流源实验数据

$R_L(\Omega)$	330	220	100	50	22
$I(\text{mA})$					
$U(\text{V})$					

(3) 根据测得的数据在坐标平面上绘制实际电流源的伏安特性曲线。



五、注意事项

1. 电流表应串接在被测电流支路中，电压表应并接在被测电压两端，要注意直流仪表“+”“-”端钮的接线，并选取适当的量限。
2. 使用测量仪表前，应注意对量程和功能的选择。
3. 直流稳压电源的输出端不能短路。

六、分析与讨论

1. 比较 51Ω 电阻与白炽灯的伏安特性曲线，你会得出什么结论？
2. 根据不同的伏安特性曲线的性质分别称它们为什么电阻？
3. 从伏安特性曲线看欧姆定律，它对哪些元件成立？哪些元件不成立？
4. 比较直流电压源和实际直流电压源的伏安特性曲线，你会从中得出什么结论？
5. 比较直流电流源和实际直流电流源的伏安特性曲线，你会从中得出什么结论？
6. 稳压电源串联电阻构成的电压源，它的输出电压与输出电流之间有什么关系？是否能写出伏安特性方程式？
7. 选取表 3-7 中的任一组实验结果，按式(3-2)计算出 R_s 、 G_s 和实验参数比较。

实验四

基尔霍夫定律验证和电位的测定

一、实验目的

1. 验证基尔霍夫电流定律(KCL)和电压定律(KVL)。
2. 通过电路中各点电位的测量加深对电位、电压及它们之间关系的理解。
3. 通过实验加强对参考方向的掌握和运用的能力。
4. 训练电路故障的诊查与排除能力。

二、实验原理与说明

1. 基尔霍夫电流定律(KCL)

在任一时刻，流出(或流入)集中参数电路中任一可以分割开的独立部分的端子电流的代数和恒等于零，即

$$\sum I = 0 \quad \text{或} \quad \sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}} \quad (4-1)$$

此时，若取流出节点的电流为正，则流入节点的电流为负。它反映了电流的连续性，说明了节点上各支路电流的约束关系，它与电路中元件的性质无关。

要验证基尔霍夫电流定律，可选一电路节点，按图中的参考方向测定出各支路电流值，并约定流入或流出该节点的电流为正，将测得的各电流代入式(4-1)，加以验证。

2. 基尔霍夫电压定律(KVL)

按约定的参考方向，在任一时刻，集中参数电路中任一回路上全部元件两端电压代数和恒等于零，即

$$\sum U = 0 \quad (4-2)$$

它说明了电路中各段电压的约束关系，它与电路中元件的性质无关。式(4-2)中，通常规定凡支路或元件电压的参考方向与回路绕行方向一致者取正

号，反之取负号。

3. 电压、电流的实际方向与参考方向的对应关系

参考方向是为了分析、计算电路而人为设定的。实验中测量的电压、电流的实际方向，由电压表、电流表的“正”端所标明。在测量电压、电流时，若电压表、电流表的“正”端与参考方向的“正”方向一致，则该测量值为正值，否则为负值。如图 4-1 所示。

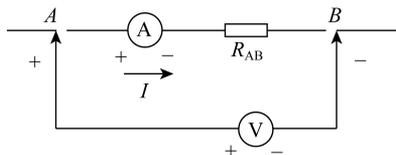


图 4-1 电压、电流的实际方向和参考方向

4. 电位与电位差

在电路中，电位的参考点选择不同，各节点的电位也相应改变，但任意两节点间的电位差不变，即任意两点间电压与参考点电位的选择无关。

5. 故障分析与检查排除

(1) 实验中常见故障

- ① 连线：连线错，接触不良，断路或短路。
- ② 元件：元件错或元件值错，包括电源输出出错。
- ③ 参考点：电源、实验电路、测试仪器之间公共参考点连接错误等等。

(2) 故障检查

故障检查方法很多，一般是根据故障类型，确定部位、缩小范围，在小范围内逐点检查，最后找出故障点并给予排除。简单实用的方法是用万用表(电压档或电阻档)在通电或断电状态下检查电路故障。

① 通电检查法

用万用表的电压档(或电压表)，在接通电源情况下，根据实验原理，电路某两点应该有电压，万用表测不出电压；某两点不应该有电压，而万用表测出了电压；或所测电压值与电路原理不符，则故障即在此两点间。

② 断电检查法

用万用表的电阻档(或欧姆表)，在断开电源的情况下，根据实验原理，电路某两点应该导通无电阻(或电阻极小)，万用表测出开路(或电阻极大)；某两点应该开路(或电阻很大)，但测得的结果为短路(或电阻极小)，则故障即在此两点间。

三、实验设备(如表 4-1 所示)

表 4-1 实验设备

名称	数量	型号
三相空气开关	1 块	30121242
双路可调直流电源	1 块	30121046
直流电压电流表	1 块	30111047
电阻	4 只	100Ω * 1, 150Ω * 1, 220Ω * 1, 510Ω * 1
测电流插孔	3 只	
电流插孔导线	3 条	
短接桥和连接导线	若干	P8-1 和 50148
实验用 9 孔插件方板	1 块	300mm × 298mm

四、实验步骤

1. 验证基尔霍夫定律(KCL 和 KVL)的实验线路

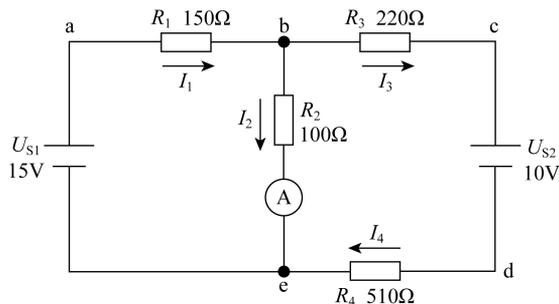


图 4-2 验证基尔霍夫定律实验线路

2. 基尔霍夫电流定律(KCL)的验证

- (1) 按图 4-2 接线, U_{S1} 、 U_{S2} 用直流稳压电源提供。
- (2) 用万用表(电流档)依次测出电流 I_1 、 I_2 、 I_3 , (以节点 b 为例), 数据记入表 4-1 内。
- (3) 根据 KCL 定律式(4-1)计算 $\sum I$, 将结果填入表 4-2, 验证 KCL。

表 4-2 验证 KCL 实验数据

I_1 (mA)	I_2 (mA)	I_3 (mA)	$\sum I$

3. 基尔霍夫电压定律(KVL)的验证

- (1) 按图 4-2 接线, U_{S1} 、 U_{S2} 用直流稳压电源。
- (2) 用万用表的电压档, 依次测出回路 1(绕行方向: beab)和回路 2(绕行方向: bcdeb)中各支路电压值, 数据记入表 4-3 内。
- (3) 根据 KVL 定律式(4-2), 计算 ΣU , 将结果填入表 4-3, 验证 KVL。

表 4-3 验证 KVL 实验数据

回路 1 (beab)	U_{be} (V)	U_{ea} (V)	U_{ab} (V)		ΣU
回路 2 (bcdeb)	U_{bc} (V)	U_{cd} (V)	U_{de} (V)	U_{eb} (V)	ΣU

4. 电位的测定

- (1) 仍按 4-2 接线。
- (2) 分别以 c、e 两点作为参考节点(即 $V_c = 0$ 、 $V_e = 0$), 测量图 4-2 中各节点电位, 将测量结果记入表 4-4 中。
- (3) 通过计算验证: 电路中任意两点间的电压与参考点的选择无关。

表 4-4 不同参考点电位与电压

测试值(V)	V_a	V_b	V_c	V_d	V_e	
c 节点						
e 节点						
计算值(V)	U_{ab}	U_{bc}	U_{cd}	U_{de}	U_{eb}	U_{ea}
c 节点						
e 节点						

五、注意事项

1. 使用指针式仪表时, 要特别关注指针的偏转情况, 及时调换表的极性, 防止指针打弯或损坏仪表。
2. 验证 KCL、KVL 时, 电压端电压都要进行测量, 实验中给定的已知量仅作为参考。



3. 测量电压、电位、电流时，不但要读出数值来，还要判断实际方向，并与设定的参考方向进行比较，若不一致，则该数前加“-”号。

六、分析与讨论

1. 测量电压、电流时，如何判断数据前的正负号？负号的意义是什么？
2. 电位出现负值，其意义是什么？
3. 计算表 4-3 中的 ΣU 是否为零？为什么？
4. 对表 4-4 中的计算值进行分析，可以得出什么结论？