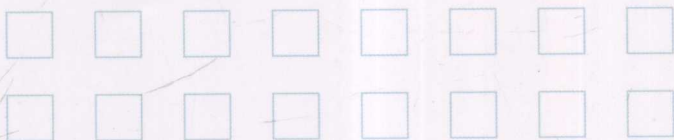


电工电子 实验教程

(第二版)

李振声 李晓飞 编著
李晓静 宗晓宁



科学出版社

内 容 简 介

本书是天津理工大学电工电子实验中心根据《高等学校工科电工技术、电子技术课程教学基本要求》编写的一本实验教材。全书共分3篇,第1篇为电工技术实验,包括13个电路实验;第2篇为电子技术实验,安排了21个模拟电路实验、22个数字电路实验,以及5个综合设计性实验;第3篇为EDA虚拟实验,安排了12个EDA虚拟实验。

本书可作为理工科院校相关专业电工电子实验课教材。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子实验教程/李振声等编著. —2版. —北京:科学出版社,2012
ISBN 978-7-03-035415-0

I. 电… II. 李… III. ①电工试验-高等学校-教材②电子技术-实验-高等学校-教材 IV. ①TM-33 ②TN-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第200663号

责任编辑:杨 凯 / 责任制作:董立颖 魏 谨

责任印制:赵德静 / 封面设计:卢雪娇

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

科 学 出 版 社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京佳艺恒彩印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010年1月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2012年9月第 二 版 印张:19 1/2

2012年9月第四次印刷 字数:376 000

印数:9 001—13 000

定 价:38.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

《电工电子实验教程》是在《高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划》基础上,以教育部(原国家教育委员会)颁布的《高等学校工科电工技术、电子技术课程教学基本要求》为依据编写的。

几年来,电工与电子技术课程组围绕实验教学的改革和创新,做了大量卓有成效的研究、探索与实践,也取得了一些非常优秀的教学成果。在实验教学的基础之上,开放实验室、扩充实验项目的内容、组织大学生参加全国电子竞赛、“挑战杯”全国大学生课外科技竞赛、全国大学生创新创业计划竞赛、飞思卡尔机器人大赛、电脑鼠大赛等活动。获得全国、市级、天津理工大学的各种奖项几十项等。此次,《电工电子实验教程》的再版是在课程组总结过去的实验教学成功经验,优化实验教学内容、创新实验教学的方法和手段,培养大学生研究性学习的实验教学理念基础上编写的。

实验教学是高等学校教学过程中最为重要的一个教学环节。以培养大学生创新能力、提高大学生科研素质为目的。《电工电子实验教程》的编写,结合我校实验教学的实际情况,其中电工技术部分是以浙江天煌科技实业有限公司、上海宝徕教学设备厂生产的实验装置为平台;电子技术部分是以天津理工大学电工电子实验中心与清华大学教学设备厂联合研制的实验装置为平台;仿真部分是以软件 EWB 为平台。

本书共分三篇,第 1 篇为电工技术实验,包括 13 个电工实验,由李晓飞、宗晓宁共同编写;第 2 篇为电子技术实验,主要安排了 21 个模拟电路实验,22 个数字电路实验,以及 5 个综合设计性实验,基础部分主要以单元实验电路为主,同时加强了实验的设计技能项目,主要是要求学生掌握各种电路的测试方法和手段,提高学生综合处理和解决实际问题的能力,由李振声编写;第 3 篇安排了 12 个仿真实验,由李晓静编写。

本教材编写的过程中难免存在有不妥之处,希望读者提出批评和改进意见。

编 者

2012 年 6 月

目 录

第 1 篇 电工技术实验

第 1 章 电工技术	3
实验 1 实验误差分析	4
实验 2 元件伏安特性及电源外特性的测量	7
实验 3 基尔霍夫定律验证	13
实验 4 叠加原理验证	16
实验 5 戴维南定理验证	21
实验 6 典型电信号的测量	29
实验 7 RC 一阶电路暂态过程	33
实验 8 交流电路中元件参数的测量	40
实验 9 R 、 L 、 C 元件在正弦交流电路中的特性	44
实验 10 日光灯电路功率因数的提高	55
实验 11 三相交流电路测量	60
实验 12 变压器的应用	63
实验 13 三相交流电动机的正反转控制	67

第 2 篇 电子技术实验

第 1 章 模拟电路	73
实验 1 常用电子仪器的使用	74
实验 2 单级放大电路	78
实验 3 两级放大电路	81
实验 4 负反馈放大电路	83
实验 5 射极跟随器	86
实验 6 差动放大电路	89
实验 7 比例求和运算电路	91
实验 8 积分与微分电路	94
实验 9 波形发生电路	96
实验 10 有源滤波器	98
实验 11 电压比较器	100
实验 12 集成电路 RC 正弦波振荡器	102
实验 13 集成功率放大器	104
实验 14 整流滤波与并联稳压电路	106

实验 15	串联稳压电路	108
实验 16	集成稳压器	111
实验 17	RC 正弦波振荡器	114
实验 18	LC 振荡器及选频放大器	116
实验 19	电流/电压转换电路	118
实验 20	互补对称功率放大器	119
实验 21	波形变换电路	120
第 2 章	数字电路	123
实验 1	门电路的逻辑功能及测试	124
实验 2	组合逻辑电路(半加器、全加器及逻辑运算)	128
实验 3	R-S,D,J-K 触发器	132
实验 4	三态输出触发器及锁存器	135
实验 5	时序电路	137
实验 6	集成计数器及寄存器	139
实验 7	译码器和数据选择器	142
实验 8	波形产生及单稳态触发器	144
实验 9	555 时基电路	146
实验 10	CMOS 门电路	150
实验 11	TS 门及 OC 门	152
实验 12	TTL 与 CMOS 的相互连接	155
实验 13	MSI 加法器	157
实验 14	竞争-冒险现象	159
实验 15	触发器的应用	161
实验 16	MSI 计数器	163
实验 17	施密特触发器	165
实验 18	单稳态触发器	167
实验 19	多路模拟开关	170
实验 20	数字定时器	173
实验 21	电压变换器	175
实验 22	4 路优先判决电路	176
第 3 章	综合性设计	179
实验 1	BTL 集成电路扩音板的设计	180
实验 2	简易开关型稳压电源的设计	186
实验 3	数字钟的设计	195
实验 4	智力竞赛抢答计时器的设计	205
实验 5	双路防盗报警器的设计	211

第 3 篇 EDA 虚拟实验

第 1 章	电工技术	219
实验 1	基尔霍夫定律	220

实验 2 叠加原理	225
实验 3 戴维南定理	228
实验 4 一阶电路的瞬态分析	232
实验 5 R, L, C 串并联电路的特性	238
实验 6 三相电路	248
第 2 章 电子技术	255
实验 1 单级共射极放大电路	256
实验 2 运算电路	264
实验 3 直流稳压电源	275
实验 4 门电路的逻辑功能与使用	281
实验 5 几种常用的组合逻辑电路	286
实验 6 计数器	292
附录 1 常用逻辑符号对照表	297
附录 2 部分集成电路引脚图	299
参考文献	303

第1篇

电工技术实验

第1章

电工技术

- 实验1 实验误差分析
- 实验2 元件伏安特性及电源外特性的测量
- 实验3 基尔霍夫定律验证
- 实验4 叠加原理验证
- 实验5 戴维南定理验证
- 实验6 典型电信号的测量
- 实验7 RC 一阶电路暂态过程
- 实验8 交流电路中元件参数的测量
- 实验9 R 、 L 、 C 元件在正弦交流电路中的特性
- 实验10 日光灯电路功率因数的提高
- 实验11 三相交流电路测量
- 实验12 变压器的应用
- 实验13 三相交流电动机的正反转控制

实验 1

实验误差分析

实验目的

- 掌握系统误差和随机误差的概念。
- 学会分析系统误差和随机误差的方法。

实验原理

1. 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作比较,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。

(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。

2. 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)之间存在着差异,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(仪表使用在规定的温度、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,叫做仪表的基本误差。例如仪表偏转轴的磨损,标尺刻度的不准等引起的误差,都是属于基本误差,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。

(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,就是属于这一类。

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。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。

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,这是不允许出现的。

3. 误差的表示方法

(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,但并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。

实验设备

• 三相空气开关	1 块	MC1001	
• 双路可调直流电源	1 块	MC1046	
• 电阻	2 只	1k Ω ×1	15k Ω ×1
• 直流电压电流表	1 块	MC1047C	
• 短接桥和连接导线	若干		
• 实验用 9 孔插件方板	1 块		

实验内容

(1) 按照图 1.1 接线, U_s 为直流稳压电源, 取 $U_s=10\text{V}$, $R_1=100\Omega$, $R=150\Omega$, 测量电路中的电流 I_1 与 U_1 , 将数据填入表 1.1 内。

(2) 然后改动电流表位置, 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 1.2 中。

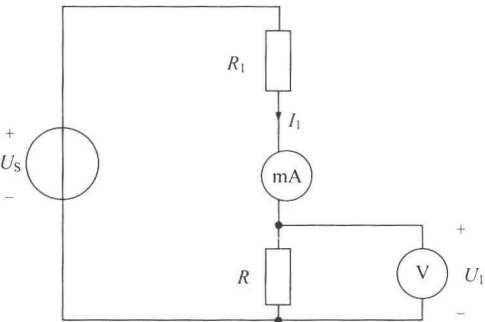


图 1.1 电流表外接法测量

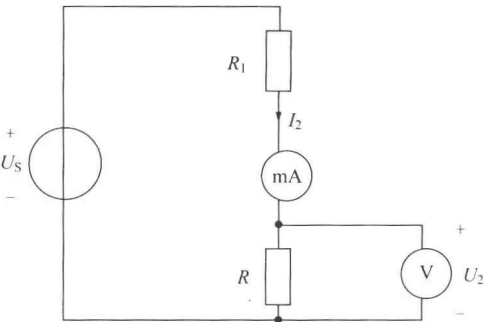


图 1.2 电流表内接法测量

(3) 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 1.1、表 1.2 中。

(4) 根据式(1.1)和式(1.2)计算电阻 R 实验结果的绝对误差和相对误差, 并填入表 1.1、表 1.2 中。

表 1.1 图 1.1 测量误差实验数据

测量次数	1	2	3	4	5	6	平均值
$U_1(\text{V})$							
$I_1(\text{mA})$							
$R=\frac{\overline{U_1}}{\overline{I_1}}$			Δ_R			γ_R	

表 1.2 图 1.2 测量误差实验数据

测量次数	1	2	3	4	5	6	平均值
$U_2(\text{V})$							
$I_2(\text{mA})$							
$R=\frac{\overline{U_2}}{\overline{I_2}}$			Δ_R			γ_R	

分析与讨论

- (1) 按图 1.1、图 1.2 所示, 计算电阻 R 上两端电压和流过电流的大小。
- (2) 根据表 1.1、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?

实验 2

元件伏安特性及 电源外特性的测量

实验目的

- 学习测量线性电阻与非线性元件伏安特性的方法,并绘制其特性曲线。
- 学习测量电源外特性的方法。
- 学习使用直流电压表、电流表,掌握电压、电流的测量方法。

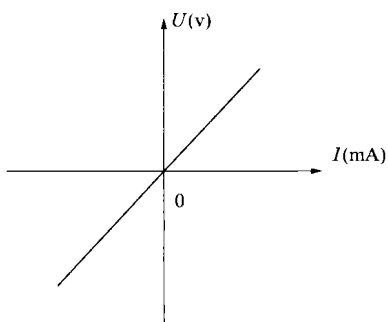
实验原理

1. 电阻元件

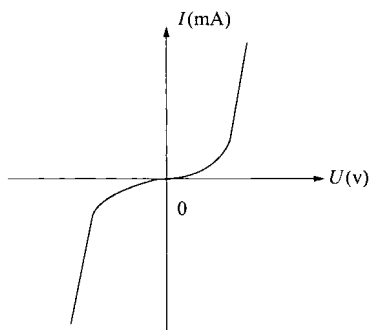
1) 伏安特性

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。

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 2.1(a)所示。



(a) 线性电阻的伏安特性曲线



(b) 非线性电阻的伏安特性曲线

图 2.1 伏安特性曲线

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 2.1(b)所示。

2) 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 2.2(a)中实线所示。实际电压源的外特性曲线如图 2.2(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 2.2(b)所示。图 2.2(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:

$$U=U_s-R_s \cdot I \tag{2.1}$$

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。

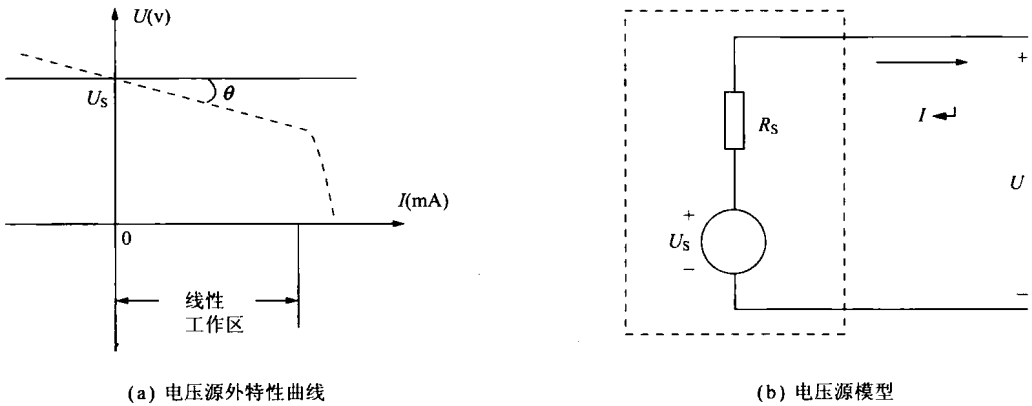


图 2.2 电压源特性

3. 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 2.3(a)中实线所示。实际电流源的外特性曲线如图 2.3(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 2.3(b)所示。图 2.3(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:

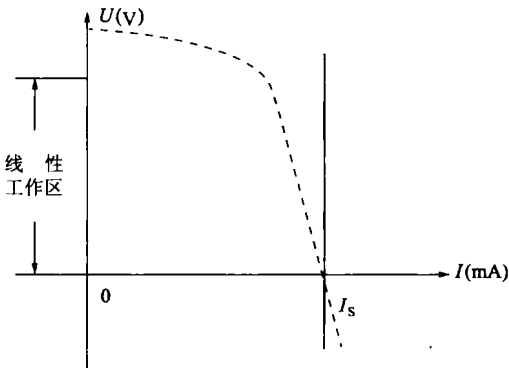
$$I=I_s-U \cdot G_s \tag{2.2}$$

2) 测量方法

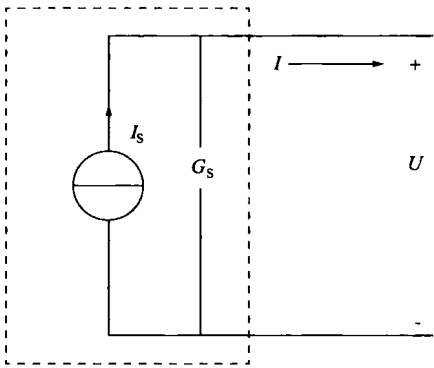
电流源外特性的测量与电压源的测量方法一样。

实验设备

• 三相空气开关	1 块	MC1001
• 双路可调直流电源	1 块	MC1046
• 恒流源	1 块	MC1113
• 直流电压电流表	1 块	MC1047C
• 电阻	13 只	$1\Omega\times 1$ $5.1\Omega\times 1$ $10\Omega\times 1$ 等
• 灯泡、灯座	1 套	
• 短接桥和连接导线	若干	
• 实验用 9 孔插件方板	1 块	



(a) 电流源外特性曲线



(b) 电流源模型

图 2.3 电流源外特性

实验内容

1. 测量线性电阻元件的伏安特性

(1) 按图 2.4 接线,取 $R_L=100\Omega$, U_s 为直流稳压电源,先将稳压电源输出电压旋钮置于零位。

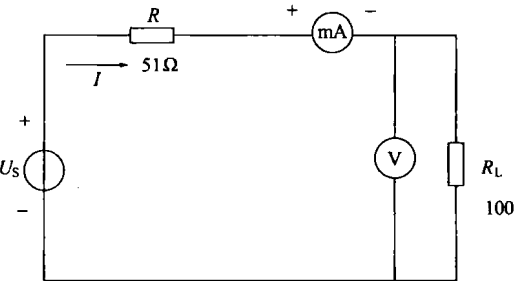


图 2.4 线性电阻元件的实验线路

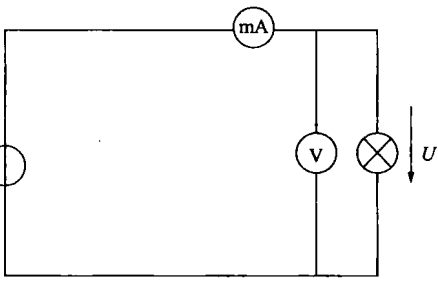


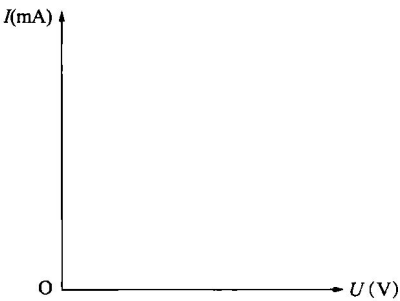
图 2.5 非线性电阻元件的实验线路

(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 2.1。然后断开电源,稳压电源输出电压旋钮置于零位。

(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。

表 2.1 线性电阻元件实验数据

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



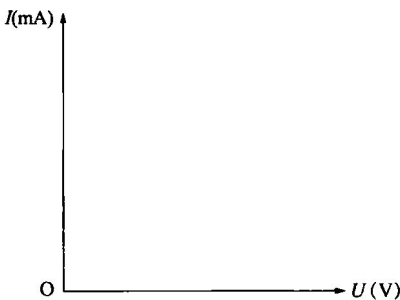
2. 测量非线性电阻元件的伏安特性

- (1) 按图 2.5 接线,实验中所用的非线性电阻元件为小灯泡。
- (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 2.2 中。断开电源,将稳压电源输出电压旋钮置零位。

表 2.2 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
$I(mA)$													
$U(V)$													
$R=U/I(\Omega)$													

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

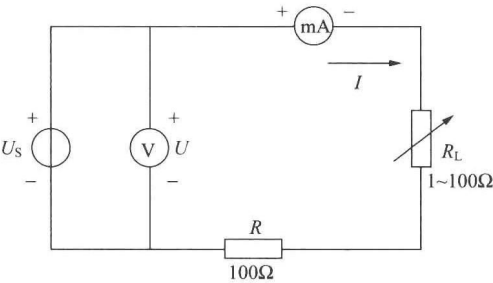


图 2.6 电压源实验线路

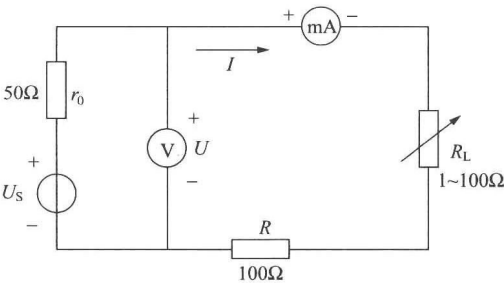


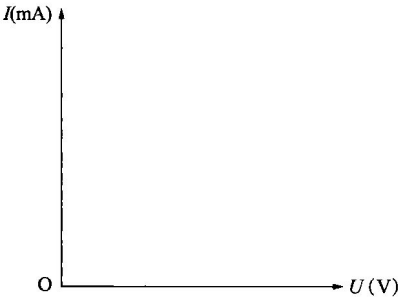
图 2.7 实际电压源实验线路

(2) 稳压电源的输出电压调节为 $U_s=10\text{V}$,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 2.3 中。

表 2.3 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 2.7 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,取 $R=100\Omega$ 。

(2) 将稳压电源输出电压调节为 $U_s=10\text{V}$,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 2.4 中。

表 2.4 实际电压源实验数据

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