

D IANGONG DIANZI
SHIYAN
JIAOCHENG

张雪芹 阮建国 宋继荣 ○ 主编

电工电子 实验教程



华东理工大学出版社
EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS



华东理工大学优秀教材出版基金资助图书

电工电子实验 教程

张雪芹 阮建国 宋继荣 主编



华东理工大学出版社
EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

电工电子实验教程/张雪芹,阮建国,宋继荣主编. —上海:华东理工大学出版社,2008.9

ISBN 978-7-5628-2424-4

I. 电... II. ①张... ②阮... ③宋... III. ①电工技术—实验—高等学校—教材②电子技术—实验—高等学校—教材
IV. TM-33 TN-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 104543 号

电工电子实验教程

.....

主 编 / 张雪芹 阮建国 宋继荣

责任编辑 / 周 颖

责任校对 / 徐 群

封面设计 / 王晓迪

出版发行 / 华东理工大学出版社

地 址:上海市梅陇路 130 号,200237

电 话:(021)64250306(营销部)

传 真:(021)64252707

网 址:www.hdlgpress.com.cn

印 刷 / 常熟华顺印刷有限公司

开 本 / 787mm×1092mm 1/16

印 张 / 11.75

字 数 / 298 千字

版 次 / 2008 年 9 月第 1 版

印 次 / 2008 年 9 月第 1 次

印 数 / 1-6050 册

书 号 / ISBN 978-7-5628-2424-4/TM·6

定 价 / 19.80 元

(本书如有印装质量问题,请到出版社营销部调换。)

前 言

电工电子实验是工科院校电工学、电工技术与电子技术及相关课程的实践性环节,是整个教学过程的重要组成部分。

本书内容丰富,覆盖面广,实验内容除涉及电路、电机、模拟电子技术和数字电子技术等4个部分,还包括常用仪器仪表介绍、Multisim 仿真软件介绍和基本实验技能介绍。实验项目中既有验证型实验,又有设计型和综合型实验;既有硬件实验,又有软件实验。同时,每个实验均包含多个实验题目,并提供可选实验。实验教师可以根据专业及学时的不同,以及学生实验能力的不同,对实验内容进行组合,以满足不同层次实验教学的需要。

本书中的基本实验部分已使用了十多年,新增了综合型、设计型实验、可编程逻辑器件(CPLD)实验及计算机仿真实验。本书可以与张南主编的《电工学(少学时)》(高等教育出版社出版)及其他电工、电子教材配套使用。

本书实验1~4,6~10,14~17,26以及附录2由张雪芹编写,实验19~25,27由阮建国编写,实验5,11~13,18以及附录1由宋继荣编写,附录3~8由朱奇编写。全书由张雪芹统稿。

本书编写中得到华东理工大学电工电子教研室和电子信息实验中心多位同仁以及研究生董婷和邓倩岚的支持和帮助,张万顺副教授审阅了本书的全部内容,并提出了许多宝贵的意见和建议,在此深表感谢。

由于作者的水平有限,书中的错误和不妥之处难免存在,敬请广大读者批评指正。

编 者

2008.6 于华东理工大学

目 录

实验注意事项	1
实验预习与实验报告的要求	2
基本实验技能和要求	3
第 1 部分 电工技术实验	5
实验 1 电路元件伏安特性的测绘	5
实验 2 基尔霍夫定律和叠加定理验证	11
实验 3 电源等效变换及戴维宁定理	15
实验 4 简单正弦电路的研究	19
实验 5 RC 一阶电路	25
实验 6 并联交流电路	29
实验 7 三相交流电路	35
实验 8 异步电动机的继电-接触器控制	40
第 2 部分 电子技术实验	45
实验 9 单管放大电路的研究(一)	45
实验 10 单管放大电路的研究(二)	50
实验 11 差分放大电路	53
实验 12 负反馈放大电路	57
实验 13 功率放大电路	61
实验 14 整流、滤波与稳压电路	64
实验 15 集成直流稳压电路	69
实验 16 可控半波整流及交流调压电路	73
实验 17 运算放大器的线性应用	77
实验 18 集成运算放大器的综合应用	82
实验 19 集成逻辑门电路	85
实验 20 组合逻辑电路	89
实验 21 触发器	93
实验 22 计数器	99
实验 23 555 集成定时器	104
实验 24 A/D 和 D/A 转换	110
实验 25 可编程逻辑器件(CPLD)的应用	114

第 3 部分 综合型、设计型实验	123
实验 26 温度控制系统设计	123
实验 27 步进电机综合控制系统设计	131
附 录	146
1 Multisim 仿真软件	146
2 常用电子元器件的判别	164
3 UT803 型万用表使用说明	167
4 GPS-3303C 型直流稳压电源使用说明	170
5 GOS-6031 型示波器使用说明	173
6 SG1651A 型信号发生器使用说明	177
7 AS2295A 型交流毫伏表使用说明	179
8 验电笔	181

实验注意事项

一、接线前,学生应检查实验用导线是否完好。实验中严禁使用破损了的导线。

二、实验过程中必须一人操作,一人监督。负责监督的学生随时准备拉闸断电,防止事故。操作人员必须单手操作,防止触电引起人身事故。

三、实验中所有接线必须先自行核对,然后请教师检查。未经同意不得接通电源。如未经教师许可而擅自通电造成设备损坏,必须赔偿,责任由肇事者自负;如经检查后造成设备损坏的责任归教师。

四、所有接线的连接应十分牢固,防止实验过程中线头脱落造成碰线、短接。接线时遇到需要将导线直接压在螺丝下时,应注意不能使线头露出过长,否则容易引起碰线故障。

五、在电路通电情况下,不可用手接触电路中不绝缘的金属导线或连接点。

六、实验中若要更改接线,须“先断电,后动线”。临时断开的导线必须完全拆除,严禁导线一端悬空。

七、实验中如遇到事故或发现反常现象,要立即切断电源,并报告教师,经查明原因排除故障后方可继续进行实验,损坏仪器后要填写损坏报告单,按“实验注意事项四”处理。

八、不得用电流表及万用表的电阻、电流挡去测量电压,电烙铁在使用时应妥善放在散热支架上,以防止烫坏物品。

九、实验时要认真仔细,爱护公物,注意安全,不要随便动用与本实验无关的仪器设备。

十、实验完毕后,应该由指导教师检查实验结果,然后再切断电源、拆除接线,并经实验室工作人员检查确认设备完好无损后方可离开实验室。

十一、实验室的各类器材不得擅自带出,私人的各类无线电器材元件未经允许一律不得带进实验室。

实验预习与实验报告的要求

一、实验预习要求

实验前应认真阅读实验教材,了解实验目的、实验内容和实验注意事项,并复习相关原理。为了确保达到预习要求,每次实验前,教师将对学生进行口头或书面检查。凡没有达到要求的学生,均不得参加本次实验。

实验预习应包括以下内容:

1. 明确实验目的,了解实验的内容和实验的操作步骤;
2. 掌握与实验内容有关的定性分析和定量计算;
3. 了解实验仪器和设备的使用方法以及注意事项;
4. 回答指定的预习思考题;
5. 对部分实验,根据实验要求自行拟定实验数据记录表格。

二、实验报告撰写要求

实验报告是实验工作的全面总结,是教师考核学生实验成绩的主要依据。实验报告的重点是实验数据的整理与分析。实验报告要求字迹清楚,回答问题简明扼要,有条有理,数据表格工整,电路图不准随手乱画,实验曲线、波形一律画在方格纸上,剪贴于报告上相应位置。实验数据要求准确到三位有效数字(首位非零、非1),首位为1时,后接三位数,末位四舍五入。实验报告主要包括以下各项:

1. 记录实验电路(包括元器件参数)、实验数据与波形以及实验过程中出现的故障及解决的方法等;
2. 对原始记录进行必要的分析、整理,包括实验数据与估算结果的比较,产生误差的原因及减小误差的方法,实验故障原因的分析等;
3. 回答实验思考题。

基本实验技能和要求

本课程实验要求学生科学、规范操作,掌握电工电子基本的实验技能,包括以下几点。

一、基本实验技能

1. 接线

(1) 合理安排仪表元件的位置,接线该长则长、该短则短,尽量做到接线清楚、容易检查、操作方便。

(2) 接线要牢固可靠。

(3) 先接电路的主回路,再接并联支路。

(4) 为了安全起见,接线时通常最后接电源部分,拆线时应先拆电源部分。操作中严禁带电拆、接线。

2. 合理读取数据点

应通过预操作,掌握被测曲线趋势和找出特殊点:凡变化急剧的地方取点密,变化缓慢处取点疏。应使取点尽量少而又能真实反映客观情况。

3. 正确、准确地读取测量仪表指示值

(1) 合理选择量程,对指针式仪表应力求使指针偏转大于 $2/3$ 满量程时较为合适,同一量程中,指针偏转越大越准确。

(2) 对指针式仪表,在测量仪表量程与表面分度一致时,可以直接读取读数作为测量值。如果不一致,则先记下指针指示的格数,再进行换算,并注意读出足够的有效数字。

二、仪器设备的基本使用方法

1. 了解设备的名称、用途、铭牌规格及面板旋钮情况。使用时各旋钮应放在正确位置,禁止无意识地乱拨动旋钮。

2. 明确仪器设备使用的极限值

(1) 要注意使用设备的最大允许的输出值,如调压器、稳压电源有最大输出电流限制,电机有最大输出功率限制,信号源有最大输出功率及最大信号电流限制。

(2) 要注意测量仪表仪器最大允许的输入量,如电流表、电压表和功率表要注意最大的电流值或电压值。万用表、数字万用表、数字频率计、示波器等输入端都规定有最大允许的输入值,不得超过,否则会损坏设备。对多量程仪表(如万用表)要正确使用量程,千万不能用欧姆挡测量电压或用电流挡测量电压等。

3. 学会判断仪器设备是否工作正常

有自校功能的可通过自校信号对设备进行检查,如示波器有自校正正弦波或方波,频率计有自校标准频率。

三、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. 故障检查方法

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在通电状态下用电压挡或断电状态下用电阻挡检查电路故障。

(1) 带电检查法: 用万用表的电压挡(或电压表), 在接通电源情况下, 根据实验原理, 如果电路某两点应该有电压, 而万用表测不出电压; 或某两点间不应该有电压, 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: 用万用表的电阻挡(或欧姆表), 在断开电源情况下, 根据实验原理, 如果电路某两点应该导通无电阻(或电阻极小), 而万用表测出开路(或电阻极大); 或某两点应该开路(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。

第 1 部分 电工技术实验

实验 1 电路元件伏安特性的测绘

1.1 实验目的

1. 学会识别常用电路元件的方法。
2. 掌握线性电阻、非线性电阻元件伏安特性的测绘。
3. 掌握实验台上直流电工仪表和设备的使用方法。

1.2 预备知识

任何一个二端元件的特性可用该元件两端施加的电压 U 与通过该元件的电流 I 之间的函数关系 $I = f(U)$ 来表示,即用 $I-U$ 平面上的一条曲线来表征,这条曲线称为该元件的伏安特性曲线。

1. 线性电阻器的伏安特性曲线是一条通过坐标原点的直线,如图 1-1 中曲线 a 所示,直线的斜率等于该电阻的值。

2. 通常将白炽灯视为线性电阻,但实际工作时灯丝处于高温状态,其灯丝电阻随着温度的升高而增大,一般灯泡的“冷电阻”与“热电阻”的阻值可相差几倍至十几倍。白炽灯的伏安特性如图 1-1 中曲线 b 所示。

3. 半导体二极管是非线性元件。当向二极管施加正向电压时,如果正向电压低于死区电压(一般的锗管约为 0.2 V ,硅管约为 0.5 V),正向电流几乎为零,二极管工作在“死区”。随着正向电压逐渐升高,电流急剧上升,二极管“导通”。当向二极管施加反向电压时,反向电压从零一直增加到几十至上千伏时,其反向电流很小,二极管工作在“截止状态”。但当反向电压加得过高,超过管子的极限值,则击穿二极管,导致管子损坏。二极管的伏安特性如图 1-1 中曲线 c 所示,从曲线中可以看出,二极管具有单向导电性。

4. 稳压二极管是一种特殊的半导体二极管,其正向特性与普通二极管类似,但其反向特性较特别,如图 1-1 中曲线 d 所示。在反向电压开始增加时,其反向电流几乎为零,但当电压增加到某一数值时,稳压管反向击穿,电流突然增加,并且其端电压基本维持恒定,当外加的反向电压继续升高时其端电压仅有少量增加稳压管工作在反向击穿区,其击穿是可逆的。

5. 理想的直流电压源输出固定幅值的电压,输出电流大小取决于它所连接的外电路。因此它的伏安特性曲线是平行于电流轴的直线,如图 1-2(a)中实线所示。实际电压源可以用一个理想电压源 U_s 和内电阻 R_0 相串联的电路模型来表示。实际电压源的端电压 U 和电流 I 的关系式为: $U = U_s - R_0 \times I$ 。实际电压源的伏安特性曲线如图 1-2(a)中虚线所示。

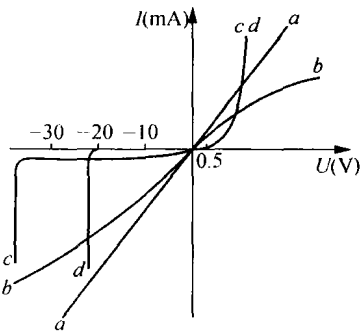


图 1-1 伏安特性曲线

6. 理想的直流电流源输出固定幅值的电流,其端电压的大小取决于外电路,它的伏安特性曲线是平行于电压轴的直线,如图 1-2(b)中实线所示。实际电流源可以用一个理想电流源 I_S 和电阻 R_i 相并联的电路模型来表示。实际电流源的输出电流 I 和电压 U 的关系式为: $I = I_S - U/R_i$ 。实际电流源的伏安特性曲线如图 1-2(b)中虚线所示。

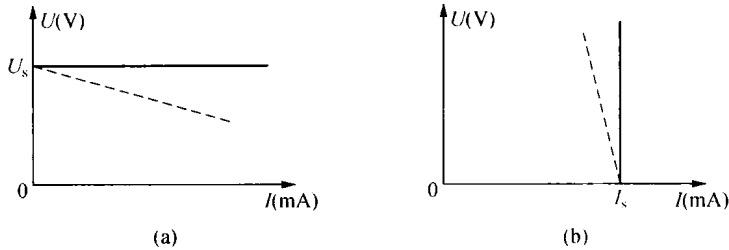


图 1-2 电压源和电流源伏安特性曲线

1.3 实验设备

(1) 可调直流稳压电源 (2) 可调直流恒流源 (3) 万用表 (4) 电阻箱 (5) 实验方板和器件

可调直流稳压电源为电路提供连续可调的直流电压。使用时输出端不能短路。在实验中使用,通常先根据实验要求调节好所需输出电压,然后关闭待用。等电路连接完毕后,再将直流稳压电源接入电路,并打开电源。这样可以避免电压过高烧坏实验器件,或者电路连接过程中将稳压电源输出端短路。

可调直流恒流源为电路提供连续可调的直流电流。使用时输出端不能开路。在实验中使用,通常先将恒流源的两个输出端短路,根据实验要求调节好所需输出电流后,关闭待用。等电路连接完毕后,将恒流源接入电路,再打开电源。这样可以避免电流过大损坏实验器件,或者电路连接过程中将恒流源输出端开路。

实验方板如图 1-3 所示,又称“九孔板”。板面上以“日”字形、“田”字形和“一”字形相连的孔内部导通。元器件通过插在九孔板上进行连接。使用时需要注意不要将电压源的两个输出端接在相联通的孔上,造成电源短路。

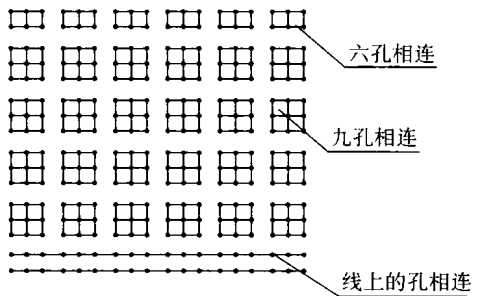


图 1-3 实验方板

万用表使用时要注意测量的是交流还是直流信号,注意选择量程,特别要注意不要用电流挡去测量电压,否则会烧坏万用表。

可调直流稳压电源和可调直流恒流源及万用表的具体使用方法参见附录。

1.4 实验内容

1.4.1 必做实验

实验 1-1 测量线性、非线性元器件的伏安特性

1. 测量线性电阻元件的伏安特性

(1) 按图 1-4 接线, U_S 为直流稳压电源,使用时先将直流稳压电源输出电压调至 0 V。

(2) 调节直流稳压电源输出电压,使电压 U_s 分别为 0 V, 2 V, 4 V, 6 V, 8 V, 10 V, 依次测量电流 I 和负载 R_L 两端电压 U , 数据记入表 1-1 中。

(3) 断开电源,将直流稳压电源输出电压置零。

表 1-1 线性电阻元件实验数据

$U_s(\text{V})$	0	2	4	6	8	10
$I(\text{mA})$						
$U(\text{V})$						
$R=U/I(\Omega)$						

2. 测量非线性电阻元件的伏安特性

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

(2) 调节直流稳压电源输出电压旋钮,使其输出电压分别为 0 V, 0.5 V, 1 V, 2 V, 3 V, 4 V, 5 V, 6 V, 依次测量电流 I 及灯泡两端电压 U , 将数据记入表 1-2 中。

(3) 断开电源,将直流稳压电源输出电压复零。

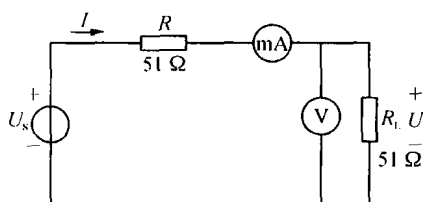


图 1-4 线性电阻元件的实验线路

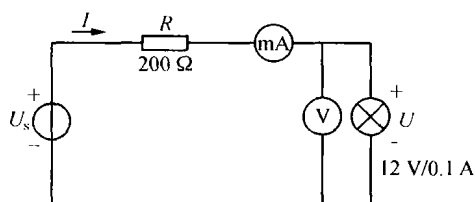


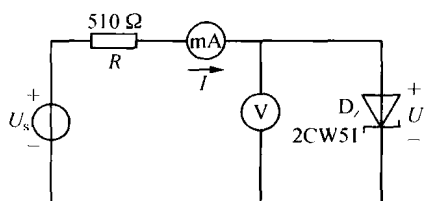
图 1-5 非线性电阻元件的实验线路

表 1-2 非线性电阻元件实验数据

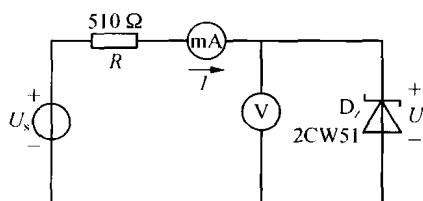
$U_s(\text{V})$	0	0.5	1	2	3	4	5	6
$I(\text{mA})$								
$U(\text{V})$								
$R=U/I(\Omega)$								

3. 测量稳压管的伏安特性

(1) 正向特性测试。按图 1-6(a) 接线,图中 R 为限流电阻。在 2CW51 两端施加正向电压 U , U 在 0~0.75 V 之间取值,测量电流 I , 记入表 1-3 中。



(a)



(b)

图 1-6 稳压管元件的实验线路

(2) 反向特性测试。将 2CW51 反接,如图 1-6(b) 所示。直流稳压电源的输出电压 U_s 从

0~20 V 逐渐增加,测量 2CW51 两端的电压 U 及电流 I ,记入表 1-4,由 U 的变化可看出其稳压特性。

注意:测量时,为了减小电压表并联对反向电流测量值的影响,每次稳压管两端的电压值 U 调好后,应将并联在稳压管两端的电压表除去后再测量电流。

表 1-3 稳压管正向特性实验数据

$U(V)$	0.10	0.30	0.50	0.60	0.70	0.75
$I(mA)$						

表 1-4 稳压管反向特性实验数据

$U_S(V)$	0	1	3	5	10	15	20
$U(V)$							
$I(mA)$							

(注:反向时 U 、 I 取负值)

4. 测量半导体二极管的伏安特性

(1) 参考图 1-7 接线,图中 R 为限流电阻。

(2) 二极管的正向特性测试。在二极管 D 的两端施加正向电压 U , U 在 0~0.75 V 之间变化,测量电流 I ,记入表 1-5。注意其正向电流不得超过 35 mA。

(3) 二极管反向特性测试。将图 1-7 中二极管反接,使 U_S 在 0~30 V 之间变化,测量 IN4007 两端电压 U 及电流 I ,记入表 1-6。(注:由于 IN4007 反向耐压为 1 000 V,所以实验中无法做到反向击穿)。

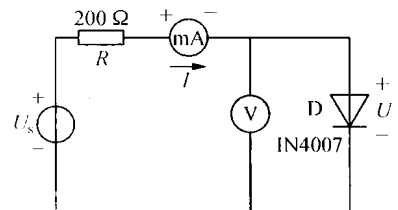


图 1-7 二极管元件的实验线路

注意:测量时,为了减小电压表并联对反向电流测量值的影响,每次二极管两端的电压值 U 调好后,应将并联在二极管两端的电压表除去后再测量电流。

表 1-5 二极管正向特性实验数据

$U(V)$	0.10	0.30	0.50	0.60	0.70	0.75
$I(mA)$						

表 1-6 二极管反向特性实验数据

$U_S(V)$	0	5	10	15	20	25	30
$U(V)$							
$I(mA)$							

(注:反向时 U 、 I 取负值)

1.4.2 开放实验

实验 1-2 测量直流电压和电流源的伏安特性

1. 测量直流电压源的伏安特性

(1) 理想直流电压源的伏安特性测试

将直流稳压电源视作理想电压源。参考图 1-8 接线。直流稳压电源的输出电压调节为 $U_s = 10\text{ V}$ ，改变电阻箱 R_L 的值，使其分别为 $100\ \Omega$ 、 $51\ \Omega$ 、 $22\ \Omega$ 、 $10\ \Omega$ 、 $5.1\ \Omega$ 、 $1\ \Omega$ ，测量相应的电流 I 和直流电压源端电压 U ，自拟表格记录。

(2) 测量实际直流电压源的伏安特性

将直流稳压电源 U_s 与电阻 R_0 相串联模拟实际直流电压源。参考图 1-9 接线，参照上面的方法测量相应的实际电压源的端电压 U 和电流 I ，自拟表格记录。

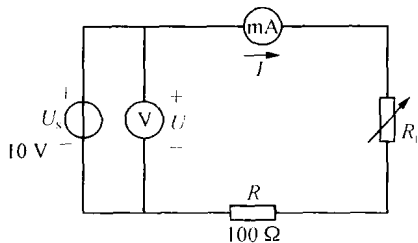


图 1-8 电压源实验线路

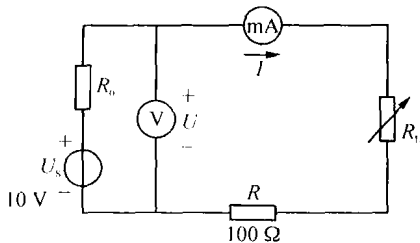


图 1-9 实际电压源实验线路

2. 测量直流电流源的伏安特性

(1) 测量理想直流电流源的伏安特性

将直流恒流电源视作理想电流源。参考图 1-10 接线，调节直流恒电源的输出电流为 $I_s = 24\text{ mA}$ ，改变 R_L 的值分别为 $300\ \Omega$ 、 $200\ \Omega$ 、 $100\ \Omega$ 、 $50\ \Omega$ 、 $22\ \Omega$ ，测量相应的电流 I 和电压 U ，自拟表格记录。

(2) 测量实际直流电流源的伏安特性

将电流源与电阻 R_0 并联来模拟实际电流源。参考图 1-11 接线，参照上面的方法测量相应的实际电流源的端电压 U 和电流 I ，自拟表格记录。

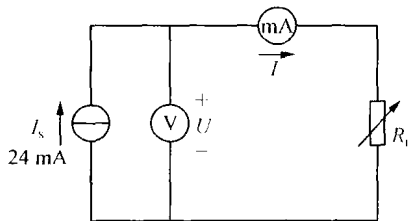


图 1-10 电流源实验线路

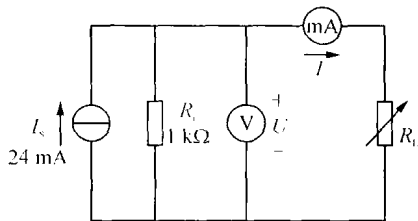


图 1-11 实际电流源实验线路

1.5 预习思考题

1. 阅读附录，学习可调直流稳压电源、可调直流恒流源及万用表的使用方法。
2. 电阻器与二极管的伏安特性有何区别？线性电阻与非线性电阻的概念是什么？
3. 设某器件伏安特性曲线的函数式为 $I = f(U)$ ，试问在逐点绘制曲线时，其坐标变量应如何放置？
4. 通常直流稳压电源的输出端是否允许短路，直流恒流源的输出端是否允许开路，为什么？

1.6 分析与总结

1. 根据各实验数据，分别在方格纸上绘制出光滑的伏安特性曲线。（其中二极管和稳压管

的正、反向电压可取为不同的比例尺)

2. 根据实验结果,总结、归纳被测各元件的特性。
3. 从伏安特性曲线看欧姆定律,它对哪些元件成立?对哪些元件不成立?
4. 电压源与电流源的外特性为什么呈下降变化趋势,稳压源和恒流源的输出在任何负载下是否保持恒值?

1.7 实验注意事项

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,并选取适当的量程。
2. 换接线路时,必须关闭电源开关。
3. 直流稳压电源的输出端不能短路,恒流源的输出端不能开路。
4. 测量中,流过二极管或稳压二极管的电流不能超过管子的极限值,否则管子会被烧坏。

实验 2 基尔霍夫定律和叠加定理验证

2.1 实验目的

1. 验证基尔霍夫电流定律(KCL)和电压定律(KVL)。
2. 验证叠加定理,加深对该定理的理解。
3. 加深对电流和电压参考方向的理解。

2.2 预备知识

1. 基尔霍夫电流定律(KCL)

KCL 指出,对电路中任一结点,在任一瞬间,流入结点的电流总和等于流出该结点的电流总和,即:

$$\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}}$$

基尔霍夫电流定律也可表示为:

$$\sum I = 0$$

即:在任一结点上,各电流的代数和为 0。此时若流入结点的电流为正,则流出结点的电流为负,反之亦然。基尔霍夫电流定律反映了电流的连续性。说明了结点上各支路电流的约束关系。

2. 基尔霍夫电压定律(KVL)

KVL 指出,从回路的任意一点出发,沿回路绕行一周回到原点时,在绕行方向上,各部分电位升的和等于各部分电位降的和,即:

$$\sum V_{\text{升}} = \sum V_{\text{降}}$$

基尔霍夫电压定律也可表示为:

$$\sum U = 0$$

即:从回路的某点出发,沿回路绕行一周,回到原点时,在绕行方向上各部分电压降的代数和为 0。基尔霍夫电压定律说明了电路回路中各段电压之间的关系。

3. 叠加定理

对于多个电源作用的线性电路(由线性元件构成的电路称线性电路),任一支路的电流,都可以认为是由各个电源单独作用时分别在该支路中产生的电流的代数和。对于各个元件上的电压都可以认为是由各个电源单独作用时分别在该元件上产生的电压的代数和。

所谓电源单独作用,是指只保留一个电源作用,而使其余电源为零(理想电压源短接,理想电流源开路),但内阻仍保留。

4. 电压、电流的实际方向与正参考方向的对应关系

为了分析、计算电路的方便,当电压、电流实际方向难以确定时,可先假定一个正方向(并不