

高等学校教材

电工学实验

*Diangongxue
Shiyan*

汪建立 皮元清 / 主编

武汉理工大学出版社

电 工 学 实 验

主 编 汪建立 皮元清

副主编 夏晓玲 孔冬连

武汉理工大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电工学实验/汪建立,皮元清主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2002.9
ISBN 7-5629-1872-4

I. 电… II. ①汪… ②皮… III. 电工学-实验-高职高专-教材 IV. TM29

内 容 简 介

本书是高职高专电工学课程系列教材之一,为适应当代高职高专机电类电工学实验的基本技能的要求而编写,主要包括33个实验和附录。

本书可作为高职高专机电类专业电工学课程的实验教材,也可供有关工程技术人员参考。

武汉理工大学出版社出版发行

(武汉市洪山区珞狮路122号 邮编:430070)

各地新华书店经销

湖北省京山印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:9 字数:215千字

2002年9月第1版 2002年9月第1次印刷

印数:1—3000 定价:15.00元

(本书如有印装质量问题,请向承印厂调换)

前 言

电工学课程是高职高专机电类专业的一门重要的以理论应用性与技术实践性为特点的技术基础课,其中电工学实验是整个教学过程的重要组成部分。

全书选编了 33 个实验和 3 个附录,通过这些实验可以使受到以下几个方面的基本技能训练:(1)电工仪表的使用及电工测量技术的基本练习;(2)安排、组织实验的方法;(3)电子电工线路的简单调试;(4)分立元件和集成电路的应用;(5)电路常见故障排除;(6)严肃认真的科学态度和踏实细致的实验作风。

本书是按 120 学时《电工学教学大纲》编写的,参考了部分兄弟院校的电工学实验教材及有关资料,适当增加了一些内容,读者可根据具体情况选择使用。

《电工学教学大纲》规定,实验前学生必须认真预习,实验后学生必须认真编写实验报告。为此,我们除对实验原理和步骤作了充分说明外,还提出了预习要求及思考题,并且对实验报告提出了明确要求。

本书由汪建立、皮元清主编,夏晓玲、孔冬连为副主编。其中,汪建立执笔实验一至实验十二、实验三十三及绪论;孔冬连执笔实验十三至实验二十二;夏晓玲执笔实验二十三至实验三十二;皮元清执笔附录 A、附录 B、附录 C。

本书由郑健生教授、刘德生副教授主审。

在本书早期构思过程中,李从喜、姜明灿、陈展鹏、赵清泉等同志给予了很大帮助,并对实验内容提出了宝贵意见。本书是鄂州大学电工教研室历年实验教学成果的结晶,它的出版在很大程度上得到了教研室所有同志的支持和帮助。编者在此一并致谢。

由于编者水平所限,书中难免存在不妥和疏漏之处,衷心欢迎使用本书的读者和同行批评指正,以便今后修订提高。

编 者

2002 年 8 月

目 录

绪 论	(1)
实验一 常用电工仪表的使用及减小内阻测量误差的方法	(4)
实验二 线性与非线性元件伏安特性的测定	(8)
实验三 基尔霍夫定律和电位的研究	(12)
实验四 叠加原理和戴维南定理	(16)
实验五 受控源特性的研究	(20)
实验六 串联谐振电路特性的研究	(24)
实验七 RL 串联电路及其功率因数的提高	(27)
实验八 三相电路及功率的测量	(30)
实验九 变压器的研究	(34)
实验十 三相异步电动机的直接起动控制线路	(38)
实验十一 三相异步电动机正反转控制线路	(41)
实验十二 三相异步电动机 $Y-\Delta$ 起动控制电路	(43)
实验十三 晶体二极管及三极管极性的测试	(45)
实验十四 晶体三极管输入、输出特性的测试	(47)
实验十五 低频信号电压放大器	(49)
实验十六 两级阻容耦合放大器	(52)
实验十七 场效应放大器	(55)
实验十八 差动放大电路	(58)
实验十九 负反馈放大器	(61)
实验二十 OTL 功率放大器	(63)
实验二十一 RC 正弦波振荡器	(66)
实验二十二 集成运算放大器组成的基本运算电路	(68)
实验二十三 集成与门和或门	(71)
实验二十四 集成与非门及非门	(73)
实验二十五 组合逻辑电路的设计与测试	(75)
实验二十六 加法器	(77)
实验二十七 数据选择器	(79)
实验二十八 维持阻塞 D 触发器	(81)
实验二十九 集成计数器	(83)
实验三十 同步计数器设计	(85)
实验三十一 555 定时器的应用	(87)
实验三十二 D/A 转换器	(90)
实验三十三 红外报警电路	(93)

附录 A 电路元器件	(96)
第一节 电阻器	(96)
第二节 电容器	(99)
第三节 常用半导体器件及集成电路参数	(102)
附录 B 常用电工与电子实验仪器简介	(111)
第一节 指针式万用表	(111)
第二节 数字万用表	(115)
第三节 示波器	(118)
第四节 QT2 型半导体管特性图示仪	(123)
第五节 信号发生器	(129)
附录 C 仪器的维护与检修	(131)
第一节 电工与电子仪器的维护	(131)
第二节 电工与电子仪器的检修	(133)
参考文献	(136)

绪 论

实验是人们认识世界或事物规律,检验理论正确与否的实践性工作,从事实验要求实验人员具备相应的理论知识、实验技能以及归纳实验结果的能力,通过实验可以提高实验人员相应的能力。

一、实验目的

1. 通过实验巩固并加深理解课程的基本理论,培养用理论知识分析和解决实际问题的能力。
2. 通过实验培养严肃认真的科学态度和踏实细致的实验作风。
3. 通过实验可以培养以下几方面的基本技能:
 - (1)能正确使用常用电工仪器仪表及电机、电器等设备;
 - (2)能分析简单的电气设备原理图和电子线路图;
 - (3)掌握连接电路、电工测量、故障排除等实验技巧;
 - (4)运用电路基础理论知识,进行实用电路的设计、调试;
 - (5)能准确地采集数据,测绘波形和曲线,分析实验结果,编写出完整的实验报告;
 - (6)掌握一般的安全用电常识和操作规程。

二、实验预习

每次实验前,充分预习相关理论知识,认真阅读实验教材;否则,实验操作会事倍功半,并且可能损坏仪器和有发生人身事故的危險。预习的主要要求是:

1. 明确实验任务,掌握与实验有关的基本理论,了解实验仪器和设备的使用方法,熟悉实验的操作程序以及注意事项等。
2. 简要写出实验预习报告,内容包括:实验目的、内容、实验电路、实验仪器及设备、实验步骤、计算公式、数据记录表、注意事项以及对本次实验存在的疑问等。为了确保达到预习要求,每次实验前老师将对学生进行口头或书面检查,凡没有达到预习要求的学生,不得参加本次实验。

三、实验操作

实验操作是指在实验室进行的整个实验过程,它包括熟悉、检查及使用实验器件与仪器仪表,连接实验线路,实际测试与数据的记录及实验后的整理工作等。建议参照下列程序进行实验:

1. 检查实验器件及仪器仪表

根据实验指导书清点仪器仪表,熟悉其使用方法,检查仪表的测量装置是否在应有的位置(如零位);否则,应加以调整,以免产生测量误差。

2. 连接实验线路

连接实验线路是整个实验操作的重要工作。需注意以下三个方面：

(1)实验装置的摆设：实验用电源、负载、仪器仪表等应合理摆放。使电路布局合理，便于测量读取数据、连线简单。

(2)连线顺序：根据电路的结构特点，采取合理的接线步骤。

一般按“先串联后并联”，“先接主电路后接辅助电路”的顺序进行。每个连接点不多于两根导线；同时要考虑元件、仪表的极性，参考方向，公共参考点与电路图的对应位置等，最后连接电源。

(3)连线检查：接线完毕后，对照实验电路图，按“先主电路后辅助电路”，“先串联后并联”的原则检查。由左至右开始一一检查，不能漏掉一根哪怕很短的连线，图物对照，以图校物。对初学者来说，电路连线检查是比较困难的一项工作，它既是对电路连接的再次实践，又是建立电路原理图与实物安装图之间内在联系的训练机会。连线检查是保证实验顺利进行，防止事故发生的重要措施。对于强电实验需请指导教师复查，经同意后方可接通电源。

3. 实际测试，观察现象，记录数据

(1)电路接通后，不要急于测量数据，首先应将实验过程完整操作一遍，概略地观察全部现象以及各仪表的读数变化范围。然后开始逐项实验，有选择地读取几组数据。

(2)测量某一组数据时，应尽可能在同一瞬间读取各仪表的数值，以免由于其中某一数据可能发生变化而引起误差，数据的记录要清楚完整，并记录在拟订的表格中。

(3)如果需要绘制曲线，则应读5~7组数据，而且在曲线的弯曲部分应多读几组数据，这样得出的曲线就比较平滑准确。

(4)测得的数据经自查无误，送指导教师复核，同意后方可拆掉电路，以免因数据遗漏或错误，又重新接线。

(5)实验结束后，做好仪器设备和导线的整理及清洁工作，待指导教师检查后，方可离开实验室。

(6)建议两人一组做实验。

四、安全常识及注意事项

实践证明，当人体有1mA工频电流通过时就有不愉快的感觉，超过50mA时就有生命危险，电子电工实验中经常使用220V和380V电源，实验中若稍有不慎就可能发生触电和损坏仪器设备的严重事故。因此，实验过程中一定要认真细致，千万不要麻痹大意，必须严格遵守安全操作规程。

1. 接拆线的操作顺序

实验开始接线时，先把实验仪器设备、元器件之间的线路接好，而后再接电源。实验完毕后，首先断开电源开关然后拆开电源线，再拆仪器设备和元器件之间的连线。

2. 人身安全方面

(1)不准擅自接通电源，不允许人体触及带电部位，严格遵守“先接线后通电”，“先断电后拆线”的操作顺序。

(2)接通电源或起动电动机时，应通知同组的所有人员。

(3)电动机转动时，要防止人身或衣服碰到电动机的旋转部分。

(4)电源切断后电机尚在旋转时，不要用手去制动电动机。

3. 设备安全方面

(1) 爱护国家财产,移动仪器时要轻拿轻放。

(2) 使用电子仪器时应先阅读仪器说明书,熟悉使用方法,使用仪表时应选择适当的量程,使用电机与其他电器设备时应符合其铭牌上规定的额定值。

(3) 不要将电流表当做电压表测量电压,或将万用表的电流档和欧姆档当做电压档测量电压,以免烧坏仪表。

(4) 实验中随时注意有无异常现象,如电路中电流过大,设备过热,绝缘物烧焦发出异味,电机转动声音不正常,保险丝熔断发出响声等。出现上述情况应立即拉开电源开关,报告指导教师共同分析事故原因,及时排除故障,方可继续实验。

五、实验报告

实验报告是对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。实验报告要用规范的实验报告填写,要求语言通顺、图表清晰、分析合理、结论正确,具体内容包括以下几项:

1. 实验名称,学生姓名(包括同组人姓名)、班号和实验日期。
2. 实验目的,实验电路图,实验仪器设备及实验步骤。
3. 实验数据和计算结果,有的实验还要求绘制曲线。
4. 分析实验结论,讨论思考题,写出心得体会。

实验一 常用电工仪表的使用及减小内阻测量误差的方法

一、实验目的

- 1. 掌握电压表、电流表的使用方法；
- 2. 了解电压表、电流表内阻的测量方法；
- 3. 了解电压表、电流表内阻对测量结果的影响及减少仪表内阻产生测量误差的方法。

二、实验原理

1. 用仪表测量某个电量时,仪表的指示值 A_x 与被测量的实际值 A_0 之间,不可避免地存在一定的误差。误差分为两种,即

绝对误差 $\Delta = A_x - A_0$

相对误差 $\gamma = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\%$

通常将仪表的绝对误差 Δ 与量程 A_m 的比值的百分数称为基本误差,最大基本误差即最大绝对误差 Δ_m 与量程 A_m 的比值的百分数,为仪表的准确度:

$$\delta = \frac{\Delta_m}{A_m} \times 100\%$$

仪表的级别是指仪表准确度的等级。国标规定电压表、电流表的准确度有若干等级,各等级所对应的最大基本误差如表 1.1 所示:

表 1.1 仪表等级与最大基本误差

准确度等级	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	5.0
最大基本误差(%)	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 1.0	± 1.5	± 2.0	± 2.5	± 3.0	± 5.0

仪表的准确度等级应该定期进行校验。最简单的校验仪表的方法是比较法。选取一块比被校表的准确度等级高 1.0~2.0 级的仪表作为标准表,将两者同时接入电路中(图 1.1),在表的整个刻度范围内,逐点比较被校表与标准表的差值,并作出校正曲线,如图 1.2 所示,横坐

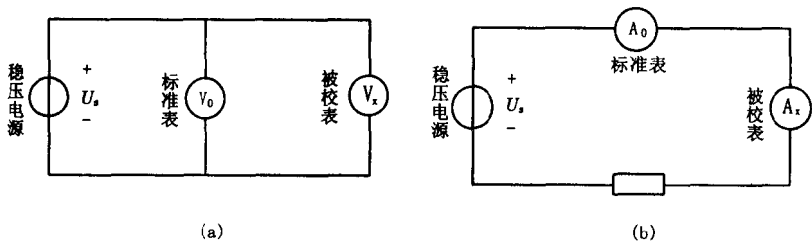


图 1.1 比较法校验仪表
(a)校验电压表;(b)校验电流表

标是被校表的读数 A_x ，纵坐标 Δ 是被校表读数 A_x 与标准表读数 A_0 之差。根据 Δ 最大值的绝对值与量程之比的百分数，确定被校表的准确度等级。若 $\delta=2.1\%$ ，则被校表的准确度等级为 2.0 级。

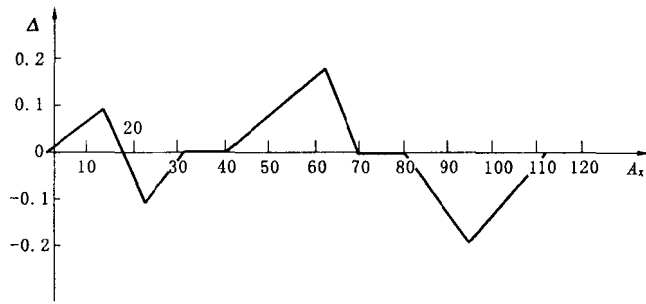


图 1.2 被校表校正曲线

2. 引起电压表、电流表测量误差的原因很多，本实验只分析由仪表内阻不理想引起的误差。在电路测量中，需将电压表与欲测电压的支路并联[图 1.3(a)]，电流表与欲测电流的支路串联[图 1.3(b)]。在理想情况下，测量仪表的接入不应该影响电路的工作状态，以保证测量没有误差。这要求电流表的内阻为零，电压表的内阻为无穷大。但实际使用中的电压表、电流表均达不到理想状态，因此，当仪表接入时，会改变被测电路的工作状态，使测量结果与被测电路的实际值产生偏差。

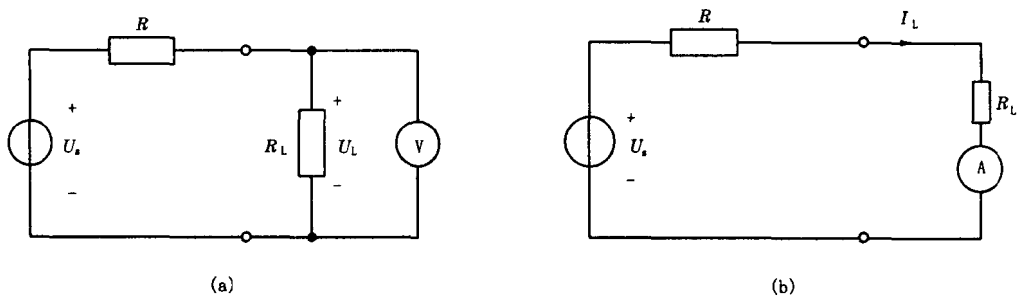


图 1.3 电压与电流的测量

(a)测量负载电压;(b)测量负载电流

3. 电流表内阻的测量可采用“分流法”。如图 1.4(a)所示，Ⓐ为被测电流表，内阻设为 R_A 。首先断开开关 S，调节电流源的输出电流 I_s ，使Ⓐ表指针满偏转，然后合上开关 S，并保持 I_s 值不变，调节可调电阻 R ，使Ⓐ的指针指在 1/2 满偏转位置，此时有：

$$I_A = I_R = \frac{1}{2} I_s \quad R_A = R$$

电压表内阻的测量可采用“分压法”。如图 1.4(b)所示，测量原理与分流法测电流表内阻类似。

4. 若电流表或电压表的内阻不理想，可采用同一量程两次测量法减小由此造成的误差。其中第一次测量仍采用图 1.3 所示测量电路。但在第二次测量时，先将测量仪表串联一个标准电阻 R 。图 1.5 是两次测量某电路开路电压的示意图。设 U_1 为第一次测量值， U_2 为第二次测

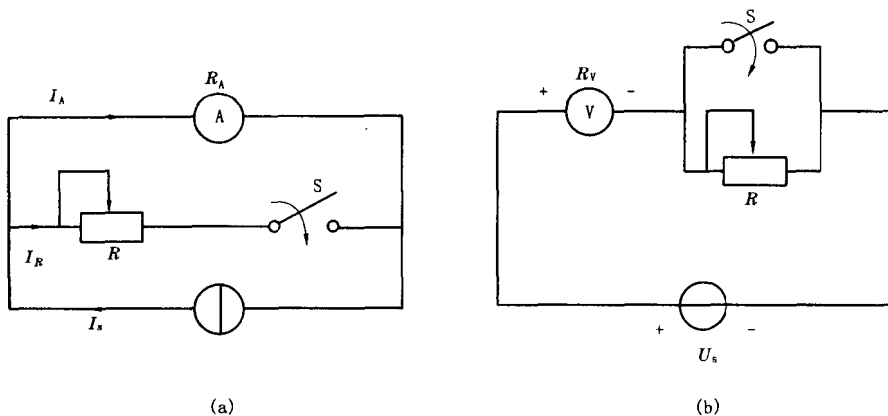


图 1.4 测量仪表内阻电路

(a)分流法测电流表内阻;(b)分压法测电压表内阻

量值,则

$$U_1 = \frac{R_V}{R_{in} + R_V} U_{oc} \quad U_2 = \frac{R_V}{R_{in} + R_V + R} U_{oc}$$

解以上两式,可得

$$U_0 = U_{oc} = \frac{R U_1 U_2}{R_V (U_1 - U_2)}$$

同理,测量图 1.6 所示短路电流,有

$$I = \frac{U_{oc}}{R_{in}} = \frac{R I_1 I_2}{I_2 (R_A + R) - I_1 R_A}$$

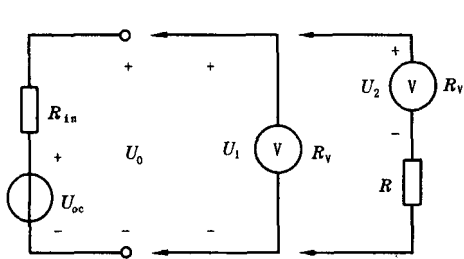


图 1.5 两次测量法测开路电压

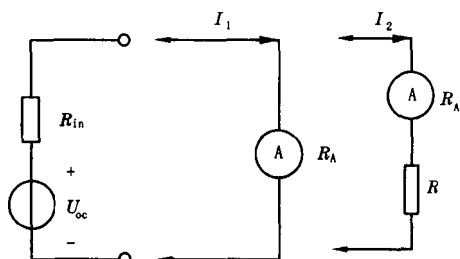


图 1.6 两次测量法测短路电流

三、预习要求

1. 预习教材中电工测量仪表的有关内容;
2. 复习教材中直流电路及电阻分压器的有关理论;
3. 了解万用表和直流稳压电源的使用方法;
4. 阅读实验指导书,了解本次实验的内容及步骤。

四、实验仪器及设备

- 1. 标准数字电压表、被校验电压表各一块；
- 2. 标准数字电流表、被校验电流表各一块；
- 3. 直流电压源、直流电流源各一台；
- 4. 若干电阻和一个可调电阻箱。

五、实验步骤

1. 按图 1.1 接线用标准表校验 25mA 量程的直流电流表和 10V 量程万用表直流电压档。记录校验数据于表 1.2、表 1.3 中。

表 1.2 校验直流电流表数据

被校直流电流表	$I_x(\text{mA})$	1	5	15	20	25
标准数字电流表	$I_0(\text{mA})$					
绝对误差 $\Delta I = I_x - I_0$						

表 1.3 校验直流电压表数据

被校直流电压表	$U_x(\text{V})$	0	2	4	6	8
标准数字电压表	$U_0(\text{V})$					
绝对误差 $\Delta U = U_x - U_0$						

2. 按图 1.4 (a) 用分流法测量直流电流表 (25mA) 的内阻。

3. 用电流表 25mA 档, 采用同一量程两次测量法, 测量图 1.7 所示电路负载电阻 R_L 上的电流。

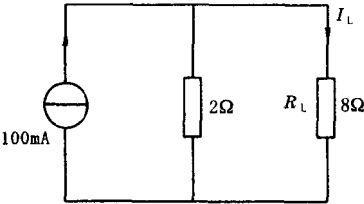


图 1.7 两次测量法测负载电流

六、思考题

- 1. 用 100mA 量程, 0.5 级电流表测量电流时, 可能产生的最大绝对误差为多少?
- 2. 用量程为 10A 的电流表测量实际值为 8A 电流时, 仪表读数为 8.1A, 求测量的绝对误差和相对误差。

七、实验报告要求

- 1. 做出直流电流表 (25mA 档) 的校验报告, 标定仪表的等级、内阻。
- 2. 做出直流电压表 (10V 档) 的校验报告, 标定仪表的等级、内阻。
- 3. 回答思考题。

实验二 线性与非线性元件伏安特性的测定

一、实验目的

1. 学习直读式仪表和晶体管直流稳压电源等设备的使用方法；
2. 掌握线性电阻元件、非线性电阻元件的伏安特性的测试技能；
3. 加深对线性电阻元件、非线性电阻元件伏安特性的理解。

二、实验原理

电阻元件的伏安特性是指该元件两端的电压 U 与流过该元件电流 I 之间的函数关系。常以伏安特性 $U=f(I)$ 或 $I=f(U)$ 来表示。一般伏安特性曲线常以电流为横坐标,但在电子技术中,半导体器件的伏安特性习惯以电压为横坐标。本次实验,我们首先测试线性电阻元件,它的伏安特性是通过坐标原点的一条直线,符合欧姆定律,即 $R=\frac{U}{I}=\text{常数}$,如图 2.1(a)所示,然后我们测试半导体二极管,这是一种特殊的电阻元件,它的电阻是非线性的,即 $U/I \neq \text{常数}$,其伏安特性曲线如图 2.1(b)所示。显然二极管的电阻值不但随电压和电流的大小而改变,还与电流的方向有关。半导体二极管的伏安特性对分析电子电路和确定工作点具有重要意义。

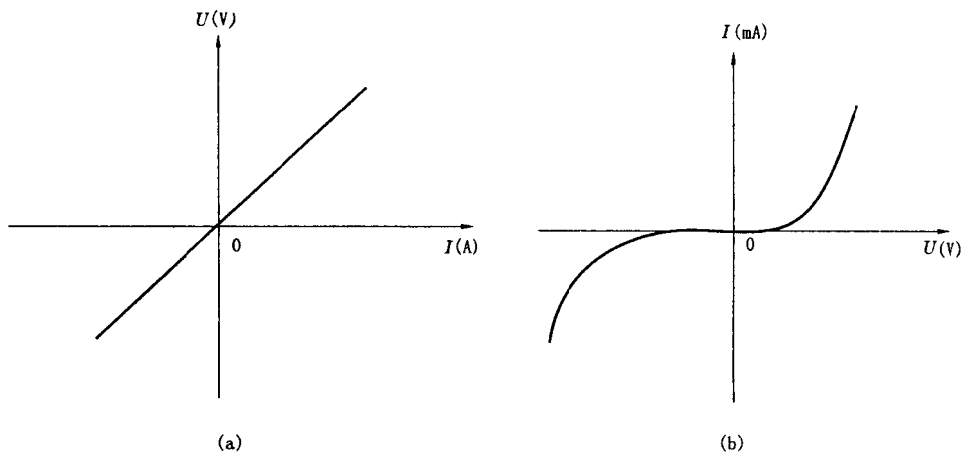


图 2.1 电阻元件的伏安特性曲线
(a)线性电阻的伏安特性;(b)二极管的伏安特性

三、预习要求

1. 认真阅读实验教材,弄清本次实验的目的和具体步骤。
2. 复习欧姆定律、二极管的有关知识。
3. 了解万用表及直流稳压电源的使用方法。

四、实验仪器及设备

- 1. 稳压电源一台；
- 2. 直流电压表(XD-B-06)一块；直流电流表(XD-B-01)一只,(XD-B-02)一只；
- 3. 滑线变阻器(1000Ω)一只；
- 4. 伏安特性单元板(XD-B-26)一块；
- 5. 万用表(MF500型,直流0~25V、0~5mA,0~500mA)一块。

五、实验步骤

1. 测定线性电阻的伏安特性

本实验在 XD-B-26 伏安特性单元板上进行,其板面如图 2.2 所示:

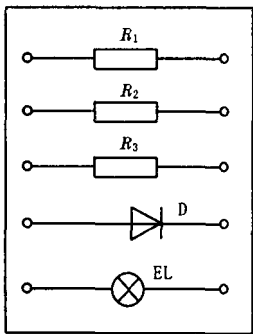


图 2.2 XD-B-26 伏安特性单元板

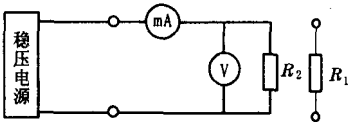


图 2.3 伏安特性单元板电路

取单元板上 $R_1=200\Omega$ 和 $R_2=2000\Omega$ 电阻作为被测元件,并按图 2.3 接好线路,经检查无误后,打开直流稳压电源开关,依次调节直流稳压电源的输出电压为表 2.1 中所示数值,并将相对应的电流值记录在表 2.1 中。

表 2.1

	$U(V)$	0	2	4	6	8	10
$R_1=200\Omega$	$I(mA)$						
$R_2=2000\Omega$	$I(mA)$						

2. 测定半导体二极管的伏安特性

(1)正向特性

按图 2.4(a)接好线路,经检查无误后,开启稳压电源,输出电压调至 2V,调节可调电阻 R ,使电压表读数分别为表 2.2 中数值,并将相对应电流读数记录于表中。

(2)反向特性

按图 2.4(b)接好线路,经检查无误后开启稳压电源,将其输出调至 30V,调节可调电阻器使电压表读数分别为表 2.3 中所列数值,并将读到的数据填入表中。

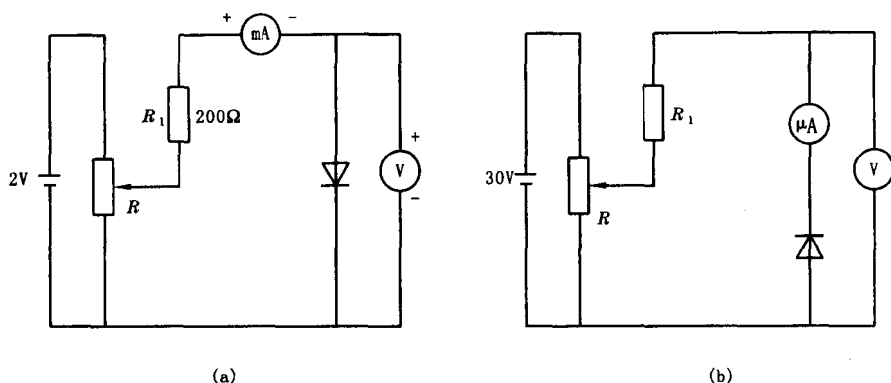


图 2.4 半导体二极管的伏安特性电路
(a)正向特性;(b)反向特性

表 2.2

$U(\text{V})$	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2
$I(\text{mA})$											

表 2.3

$U(\text{V})$	0	5	10	15	20	25	30
$I(\mu\text{A})$							

3. 测定小灯泡丝的伏安特性

本实验采用低压小灯泡作为测试对象,按图 2.5 接好线路,经查无误后打开电源,依次调节电源,输出电压为表 2.4 所列数据,并记录相应数据。

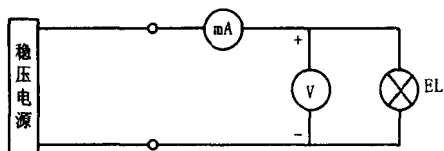


图 2.5 小灯泡丝的伏安特性电路

表 2.4

$U(\text{V})$	0	0.4	0.8	1.2	1.6	2	3	4	5	6	7	8
$I(\text{mA})$												

六、思考题

1. 当用万用表的电阻档测稳压管正、反向电阻时,为什么不同量程有不同的读数? 量程应如何选择为好?

2. 当 $R_V \gg R_L$ 和 $R_V \ll R_L$ 时,试分析图 2.6(a)、(b)哪种电路测量结果较为准确(R_V 为电压表内阻)。

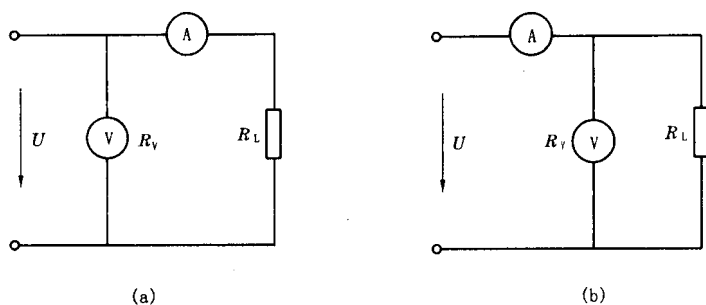


图 2.6 电阻元件伏安特性电路连接

七、实验报告要求

1. 实验报告要按报告单上所列项目认真填写。
2. 根据实验中所得数据,在坐标纸上绘制两个线性电阻、半导体二极管、小灯泡丝伏安特性曲线。
3. 讨论线性电阻和非线性电阻伏安特性有何不同。
4. 回答思考题。