



“十二五” 高等教育实验实践教学系列规划教材

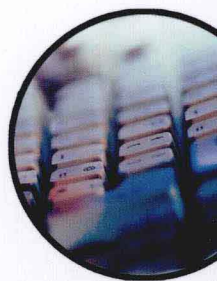


# 电工电子实验

DIANGONG DIANZI SHIYAN

任 坤◎主编

北京工业大学出版社



“十二五”高等教育实验实践教学系列规划教材

# 电工电子实验

主 编 任 坤

副主编 闫慧兰 李 梅

北京工业大学出版社

## 内 容 简 介

本书为高等院校电工学课程的实验课教材。主要包括电工技术实验、电子技术实验、电气测量的基础知识、常用仪器仪表和 Multisim 软件的介绍及使用。书中分别从实验目的、预习内容及要求、实验原理、实验仪器设备、实验内容及步骤、注意事项和实验结果分析等方面对每个实验进行讲述。

本书可作为高等院校非电类理工科专业的电工技术和电子技术课程的配套实验教材,也可作为实验独立设课的电工电子实验课程教材。

## 图书在版编目(CIP)数据

电工电子实验/任坤主编. —北京:北京工业大学出版社, 2011.8

ISBN 978-7-5639-2808-8

I. ①电… II. ①任… III. ①电工技术-实验-高等学校-教学参考资料②电子技术-实验-高等学校-教学参考资料  
IV. ①TM-33②TN-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 163612 号

## “十二五”高等教育实验实践教学系列规划教材 电工电子实验

---

主 编:任 坤

副 主 编:闫慧兰 李 梅

责任编辑:初旭新 程业刚

出版发行:北京工业大学出版社

(北京市朝阳区平乐园 100 号 100124)

010-67391722(传真) bgdcbs@sina.com

出 版 人:郝 勇

经销单位:全国各地新华书店

承印单位:徐水宏远印刷有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:9.75

字 数:236 千字

版 次:2011 年 9 月第 1 版

印 次:2011 年 9 月第 1 次印刷

标准书号:ISBN 978-7-5639-2808-8

定 价:17.00 元

---

版权所有 翻印必究

(如发现印装质量问题,请寄本社发行部调换 010-67391106)

# 前 言

为适应 21 世纪高等学校非电类专业电工技术和电子技术基础课程实践教学的需要，作者根据普通高等院校电工技术和电子技术实践教学大纲的基本要求，结合北京工业大学电工电子实验教学中心多年的实践教学经验编写了本教材。

本书基于理论与实践并重的思想，在内容的安排上注重对学生基本实验技能的训练。旨在通过实验使学生掌握连接电路、电工测量、故障排除等实验技巧，掌握常用电工和电子仪器仪表的基本原理、使用方法，数据采集、处理，以及各种现象的观察、分析方法，从而培养学生用基本理论分析问题、解决问题的能力，严谨认真的科学态度和踏实细致的实验作风，开发学生的创新与动手能力。

本书在北京工业大学教师以往编写的电工电子系列实验讲义的基础上，参考大量的文献资料，吸取各家之长，不断修改、充实、凝练，并按照学生实践课程的设置顺序重新加以编排。本书共选编电工技术实验 15 个、电子技术实验 12 个和附录 7 个。书中实验任务的安排由浅入深、由易到难，从验证性的实验任务逐渐过渡到综合性、设计性的实验任务。在实验任务的设计中，要求学生尽可能多地使用电压表、电流表、万用表、功率表、电量仪、信号发生器和示波器等各种常规电工仪器仪表，使学生在不断重复使用的过程中，熟练掌握这些仪器仪表的使用方法，从而在后续的课程设计、电子竞赛乃至未来的工程实践中能够得心应手地应用这些仪器仪表。

本书由任坤主编，闫慧兰、李梅任副主编。参加编写、审校和验证实验等工作的还有高俊侠、王雁峰、杨旭东、孙慧萍、张国英、纪宝伦（排名不分先后）。

由于作者水平有限，难免存在错误及不足之处，希望广大读者及同行提出宝贵的意见与建议，以便及时修正。

编 者

# 目 录

|                         |    |                            |     |
|-------------------------|----|----------------------------|-----|
| 第1章 绪论.....             | 1  | 2.15 动态电路的仿真实验 .....       | 63  |
| 1.1 电工电子实验的培养目标 .....   | 1  | 第3章 电子技术实验.....            | 67  |
| 1.2 电工电子实验流程与要求 .....   | 2  | 3.1 常用电子仪器使用及二极管           |     |
| 1.3 实验室安全用电规则 .....     | 5  | 应用.....                    | 67  |
| 第2章 电工技术实验 .....        | 7  | 3.2 单管共射电压放大电路.....        | 70  |
| 2.1 常用电工仪表的使用及测量误差      |    | 3.3 集成运算放大器的基本运算           |     |
| 的计算 .....               | 7  | 电路.....                    | 74  |
| 2.2 电路元件的伏安特性测绘.....    | 11 | 3.4 集成运算放大器负反馈放大           |     |
| 2.3 基尔霍夫定律、叠加定理的        |    | 电路.....                    | 78  |
| 验证及电位的研究.....           | 15 | 3.5 RC 正弦波振荡电路 .....       | 80  |
| 2.4 有源二端网络研究.....       | 19 | 3.6 有源滤波器.....             | 82  |
| 2.5 一阶动态电路暂态过程的         |    | 3.7 直流稳压电源.....            | 84  |
| 研究.....                 | 24 | 3.8 门电路逻辑功能测试及应用.....      | 88  |
| 2.6 交流电路等效参数的测量.....    | 27 | 3.9 用 MSI 芯片设计组合逻辑         |     |
| 2.7 RC 选频网络频率特性测试 ..... | 30 | 电路.....                    | 92  |
| 2.8 R、L、C 元件阻抗特性的测定     |    | 3.10 触发器功能测试及应用 .....      | 97  |
| 及 RLC 串联谐振电路特性的         |    | 3.11 集成计数器及其应用.....        | 101 |
| 研究.....                 | 33 | 3.12 555 定时器及其应用 .....     | 104 |
| 2.9 荧光灯电路的连接及提高         |    | 附录 .....                   | 108 |
| 功率因数的方法.....            | 38 | 附录 1 电工测量基础知识 .....        | 108 |
| 2.10 三相交流电路电压、电流和       |    | 附录 2 电工仪表基础知识 .....        | 110 |
| 功率测量 .....              | 42 | 附录 3 万用表 .....             | 117 |
| 2.11 铁磁材料磁滞回线的观测 .....  | 49 | 附录 4 兆欧表和钳形表 .....         | 123 |
| 2.12 单相铁芯变压器特性的测试 ...   | 51 | 附录 5 示波器 .....             | 125 |
| 2.13 三相笼型异步电动机的         |    | 附录 6 信号发生器 .....           | 134 |
| 认识 .....                | 54 | 附录 7 Multisim 电路仿真软件 ..... | 137 |
| 2.14 三相异步电动机继电接触器       |    | 参考文献 .....                 | 147 |
| 控制 .....                | 59 |                            |     |

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 电工电子实验的培养目标

在现代科学技术及工程建设中,电工电子技术的应用十分广泛。对于工科各个专业的学生都要求掌握一定的现代电工电子技术的基础知识。实验技能是科技工作者的基本功之一,也是电工电子技术课程的一项重要的教学内容。通过实验环节的系统训练,可以帮助学生巩固和加深理解相关理论知识,更重要的是通过正确选用实验方法、进行常用电工和电子电路的连接、测试和误差分析等诸多实践环节的训练,能够使学生掌握如何运用理论知识分析和解决实际问题。在训练学生的实验操作技能,培养学生的动手能力和独立工作能力的同时,还将在有限的实验过程中培养学生树立工程实际的观念,实事求是的科学作风,积极探索和勇于创新的精神。总之,通过实验全面培养学生在工程技术方面的素质,为将来能够更好地解决现代科学技术研究及工程建设和开发过程中遇到的问题打下良好的基础。

在能力方面,通过电工电子实验培养学生以下能力:

① 正确使用电工电子设备的能力。学会正确使用常用电子仪器,熟悉电子电路中常用的元器件性能。

② 理论联系实际的能力。能根据所掌握的知识,阅读简单的电路原理图。

③ 实验动手能力。能独立地进行实验操作。

④ 解决问题的能力。能处理实验操作中出现的問題。

⑤ 实际工作能力。能准确地读取实验数据,测绘波形和曲线。

⑥ 独立分析问题的能力。学会处理实验数据,分析实验结果,撰写实验报告。

⑦ 工程实际观点。掌握一般的安全用电常识,遵守操作规程。

在技能方面,通过电工电子实验培养学生以下基本技能:

① 认识并学会正确使用常用的电工仪表。常用的电工仪表有直流电流表、直流电压表、交流电流表、交流电压表、功率表、万用表和兆欧表等。了解仪表的工作原理、使用场合和准确度等级;选择量程,避免读数方法不当引起的误差;掌握仪表的正确接线方法和正确读数方法。

② 认识并学会正确使用常用的电子仪器。常用的电子仪器有直流稳压电源、双踪示波器和信号发生器等。了解电子仪器的组成原理、功能、主要技术性能、主要操作旋钮及操作开关的功能,了解电子仪器的正确调节方法、正确观察及读数方法;掌握电子仪器的正确接线方法。

③ 认识并学会正确使用常用的电工设备。常用的电工设备有单相变压器、接触式



调压器、三相异步电动机和荧光灯；常用的控制电器有开关、交流接触器、继电器和按钮等。了解电工设备的工作原理及使用场合；掌握电工设备的正确接线方法及正确的操作方法。

④ 能够按电路图接线、查线和排除简单的线路故障。具有熟练的按图接线能力，能够判别电路的正常工作状态及故障现象，能够检查线路中的断线及接触不良，尤其是因接线错误而出现短路的现象。

⑤ 能够进行实验操作、读取数据、实验现象观察和测绘波形曲线。

⑥ 能够整理分析实验数据、绘制曲线，并写出整洁、条理清楚、内容完整的实验报告。

⑦ 能够完成电子设计性实验。电子设计性实验可以通过仿真软件进行设计仿真验证，经仿真验证确定实验方案后，实现真实实验。

## 1.2 电工电子实验流程与要求

实验课的教学方式不同于理论课。良好的实验操作方法与正确的操作程序是实验顺利进行的有力保证。实验课要求学生预习实验内容和原理、熟悉设备、按图接线通电操作、观察读数、整理分析数据，撰写实验报告等一系列的工作。实验课教师负责检查学生的预习情况，讲解实验内容及仪器使用方法，检查实验接线，指导学生实施正确的实验操作方法，负责实验课中的安全用电，解答学生在实验中所出现的问题，批改实验报告，在期末考核学生的实验能力并评定成绩。

对于基础性的实验，常规的实验流程如图 1.1 所示。



图 1.1 基础性实验流程

综合设计性实验的流程如图 1.2 所示。



图 1.2 综合设计性实验流程

总体来讲，实验课可以分为三个环节，即预习准备、实验操作和总结报告。每一个环节完成的质量都会影响实验的质量和效果。下面详细介绍各环节的内容和要求。

### 1. 实验前的预习准备工作

实验前的预习是实验课前必不可少的工作。预习充分与否是实验能否顺利进行及收到预期效果的重要前提。学生要养成良好的预习习惯，认真做好课前预习。预习的内容包括：

① 相关的理论知识，明确实验目的并考虑通过何种实验方法来达到实验要求。

② 阅读实验指导书,明确实验目的、实验线路图、所用设备及实验注意事项等。

③ 设计实验电路。例如,根据图 1.3 所示的原理电路模型验证“叠加原理”的正确性;实验中电压源  $E_1$  单独作用时,电压源  $E_2$  需要短路处理;电压源  $E_2$  单独作用时,要将电压源  $E_1$  短路。

在实验操作中不能直接将不作用的电压源短路,通常在实验前必须考虑如何在保证仪器设备安全的条件下完成实验项目。为此,在实验设计中应当把原理电路模型转换成如图 1.4 所示的实验电路接线图。实验电路接线图中的双刀双掷开关用来控制电压源是否作用于电路。另外,在实验中电流的测量是通过电流插座、插头的配合来进行的。实验电路接线图中在需要测量电流的支路设计了电流插座,既实现一只电表多路测量,又保证了仪表的安全。

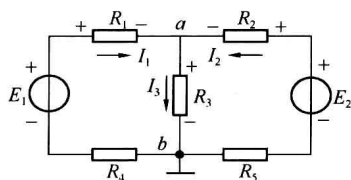


图 1.3 实验电路原理图

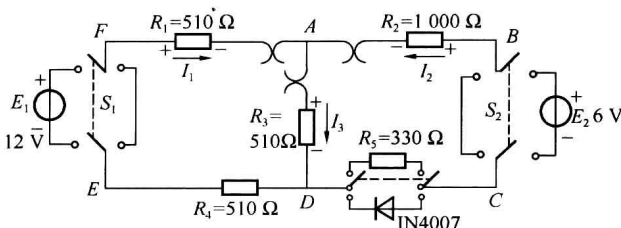


图 1.4 实验电路的接线图

④ 结合实验内容利用所学理论知识进行一些必要的计算。例如,在进行叠加原理实验前,应按给定的电路图和参数分别计算  $E_1$  单独作用、 $E_2$  单独作用及  $E_1$ 、 $E_2$  共同作用时各支路电流、电压;以便在实验时正确选择仪表并与实验数据进行比较和验证。

⑤ 书面完成预习报告。预习报告的内容包括:明确实验目的,必要时设计实验电路图,选择实验设备并预选量程,进行理论预算并设计数据记录表格,预习实验注意事项,书面完成预习思考题。

## 2. 实验操作

实验操作是在详细的预习报告的指导下,在实验室进行的完整实验过程。学生进入实验室,不仅要遵守实验室的相关规定,还需要在完成实验的过程中做到以下几点。

① 将预习报告送交教师检查,检查不合格者教师有权停止其实验。

② 认真听取教师关于本次实验重点、难点及注意事项的讲解。

③ 在实验中要注意安全操作和科学作风的培养。

严禁带电接线、拆线。接线时最后接通电源,拆线时应先拆除电源部分。接线时要注意布线合理,用线长短要合适,接线要牢固可靠。一个接线柱上不要接线过多,各种颜色的导线要搭配使用。

通电实验前,仪器、仪表等均应选择好初始工作状态。例如,调压器活动触头应放在输出电压最小位置;可调电阻的活动触头放在使电路中电流最小位置;测量用仪表量程,由实验估算值确定或放在最大量程挡。

④ 接通电源前必须请教师查线,经教师允许后,方可通电进行实验。

⑤ 每次通电开始操作前应同组人互相配合,加负荷或改变电路参数时应监视各仪表,若有异常现象,如冒烟、仪表指针到极限位置、指针打弯等,应立即断电检查。注意各种仪器、仪表的保护措施。如电流表的短路开关(防止电动机起动电流冲击);有些仪器用保险



丝作过载保护,不得随便更换;监视仪表过载指示灯,过载跳闸机构等。

⑥ 故障检查。在正常情况下,连接好实验线路,即可开始实验测量工作,但也会出现一些故障。在电路实验中常见的是线路故障,查找此类故障可采用以下方法:

断电检查法。当实验接错线,造成电源或负载短路、开路等错误时,应立即关掉电源使用万用表欧姆挡,对照实验电路图,对每个元件及连线逐一进行检查,根据被检查点电阻的大小找出故障点。

通电检查法。当实验电路工作不正常或出现明显错误时,用万用表的电压挡,对照实验电路图,对每个元件及连线逐一进行检查,根据被检查点电压的大小找出故障点。在“对每个元件及连线逐一进行检查”时,一般顺序为:

第一,检查电路连线是否正确。

第二,检查电源供电系统,从电源进线、刀闸开关、熔断器到电路输入端子有无电压,是否符合给定值等。

第三,检查电路中各元件及测量仪器之间连接是否牢固可靠。

第四,检查测量仪器、仪表有无供电,输入、输出是否正常,量程、衰减、显示等是否正确,测试线及接地线是否完好等。

⑦ 在实验中应注意仪表指示,注意仪表量程的及时更换。

⑧ 在测试的过程中,应及时地对数据做初步的分析,以便发现问题,采取必要措施以提高实验质量。

⑨ 实验做完以后,不要忙于拆除实验线路。应先切断电源,待检查实验测试没有遗漏和错误,经教师在原始实验数据签字后再拆线。一旦发现问题,需在原有的实验状态下,查找原因,并做出相应的故障判断及分析。

⑩ 实验结束后的整理工作。全部实验结束后,应将所用仪器设备复归原位,将导线整理成束,清理实验桌面,离开实验室。

### 3. 实验报告的要求

实验报告是实验的一个重要环节,也是评定学生完成实验质量和科学作风的重要依据。同时也是学生实验成绩的主要依据。实验课后要求完成整洁的、条理清楚的、内容完整的实验报告。

实验报告的主要工作是实验数据的处理。此时要充分发挥曲线和图表的作用,其中的公式、图表、曲线应有符号、编号、标题、名称等说明,以保证叙述条理的清晰。为了保证整理后的数据的可信度,实验报告中必须保留由教师签字的原始记录数据。

实验报告最重要的部分是实验结论,它是实验的成果。对此结论必须有科学的依据和理论分析。此外,实验报告中还应包括实验中发现的问题、现象、实验故障,有说服力的理论分析,实验的收获及心得体会等。同时还要书面完成问题讨论。实验报告具体包括以下内容:

① 整理实验数据。将实验中所读出的数据计算出实测值(实测值=读数×倍率,倍率=所选量程/满偏刻度)。

② 绘制曲线、波形图等。

③ 计算误差并分析误差原因。

④ 完成实验指导书中实验总结及喻题讨论。

⑤ 实验报告要求使用统一的实验报告纸,其封面如图 1.5 所示。

北京工业大学

实验报告

模块(课程)名称实验名称

学号实验班编号仪器组号

姓名同组者、

实验日期完成日期

本实验所用学时统计

预习实验报告总计

评阅意见:

成绩:老师签字

年月日

图 1.5 实验报告封面

将预习报告、经教师签字的原始实验数据及总结报告装订在一起按时送交教师批改，将实验报告封面上所需的实验信息填写完整。

总之，一个高质量的电路实验来自于充分的预习、认真的操作和全面的实验总结。

1.3 实验室安全用电规则

为保证实验的顺利进行，确保实验人员的人身安全和设备的安全，并收到预期效果，学生需自觉遵守以下规则。

- ① 爱护实验室设备，服从任课教师和实验室工作人员的管理。
- ② 实验中认真阅读仪器使用说明或向教师请教，在进行接线、拆线、改线时应首先确认电源处在关闭状态，严禁带电接线或拆线。
- ③ 接好线路后，要认真复查，通电实验前必须请教师查线，经教师允许后，方可通电进行实验。
- ④ 在实验中遇到意外情况时，要立即切断电源、保护现场，报告教师并在教师的指导

下查找和排除线路故障，当故障原因不明时不能重新通电实验。

- ⑤ 欲增加或改变实验内容，须事先征得教师同意。
- ⑥ 非本次实验所用的仪器、设备，未经教师允许不得动用。
- ⑦ 损坏了仪器、设备必须立即向教师报告。
- ⑧ 保持实验室整洁、安静。
- ⑨ 实验结束后，要拉下电闸，并将有关实验用品整理好。

## 第 2 章 电工技术实验

### 2.1 常用电工仪表的使用及测量误差的计算

#### 2.1.1 实验目的

- (1) 了解测量方法和误差来源。
- (2) 熟悉电工仪表测量误差的计算方法。
- (3) 掌握电压表、电流表的使用方法。

#### 2.1.2 预习内容及要求

- (1) 采用 100 mA 量程、0.5 级的电流表测量电流时，可能产生的最大绝对误差是多少？
- (2) 采用量程为 10 A 的电流表测试实际值为 8 A 电流时，仪表读数为 8.1 A，求测量的绝对误差和相对误差。

#### 2.1.3 实验原理

##### 1. 电工测量的测量方法

电工测量通常采用直接测量法和间接测量法。

##### 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。

直接测量法又分直接读数法和比较法两种。

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，误差最小为  $\pm 0.05\%$ 。

比较法是指测量时将被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，即可从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

为 $\pm 0.001\%$ ，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。

## 2. 测量误差

通过测量方法所得的结果，不可避免地会受到测量工具、测量方法、测量环境等因素的影响从而产生测量误差。寻找测量误差的来源、分析和研究其规律对减少误差、提高测量准确度是十分重要的。

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、随机误差和疏失误差。

### 1) 系统误差

系统误差又称为规则误差，这种误差在测量过程中保持恒定或按一定规律变化，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，叫做仪表的附加误差。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：

第一，绝对误差。用仪表测量时，仪表的指示值  $A_x$  与被测量的实际值  $A_0$  之差，叫做绝对误差，用  $\Delta$  表示，即

$$\Delta = A_x - A_0 \quad (2.1)$$

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。

第二，相对误差。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 100 mA 的电流时，绝对误差为 +1 mA，又若测量 10 mA 电流时，绝对误差为 +0.25 mA，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  $\Delta$  与被测量的实际值的比值的百分比，叫做相对误差，用  $\gamma$  表示，即

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\% \quad (2.2)$$

因为测量值  $A_x$  与实际值  $A_0$  相差不大，所以相对误差也可近似表示为

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_x} \times 100\% \quad (2.3)$$

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

$$\gamma_1 = \frac{\Delta_1}{A_{01}} \times 100\% = \frac{+1}{100} \times 100\% = +1\%$$

第二次测量中被测电流的相对误差为

$$\gamma_2 = \frac{\Delta_2}{A_{02}} \times 100\% = \frac{+0.25}{10} \times 100\% = +2.5\%$$

从计算结果可以看出，第一次测量的绝对误差虽然大，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) 方法误差。方法误差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全所带来的系统误差。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。

(3) 个人误差。这种误差是由于测量者个人因素产生的，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) 随机误差

随机误差又称为偶然误差，是由于一些偶发因素所引起的误差，其特点是在相同的测量条件下，其误差的数值和符号均具有不确定性，但其符合统计规律。例如，温度、外界电磁场、电源频率的偶然变化，即使采用同一仪表多次测量同一个量，也会得到不同的结果。

3) 疏失误差

疏失误差是指测量结果出现明显的错误，这类误差是由于实验者的疏忽造成读错或记错数据、操作有误等所引起的误差。

3. 仪表的准确度

通常称仪表的绝对误差  $\Delta$  与量程  $A_m$  的比值的百分数为基本误差，称最大基本误差即最大绝对误差  $\Delta_m$  与量程  $A_m$  的比值的百分数为仪表的准确度，即

$$\delta = \frac{\Delta_m}{A_m} \times 100\% \tag{2.4}$$

仪表的级别就是仪表准确度的等级。根据国家标准，指针式仪表在有效量程范围内和规定使用条件下测量时，其基本误差不得超过相应的准确度级别。国家规定电压表、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 2.1 所示。

表 2.1 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 |

2.1.4 实验仪器设备

- (1) 双路可调直流电源。
- (2) 电阻。
- (3) 直流电压表、电流表。
- (4) 实验用 9 孔插件方板、短接桥和连接导线。

2.1.5 实验内容及步骤

1. 伏安法测量电阻

如果测量出电阻两端的电压和流过电阻元件中的电流，根据欧姆定律，即可计算出电阻





表 2.3 实验数据计算值

|           | 平均值   |       | 相对误差       |            |
|-----------|-------|-------|------------|------------|
| 图 2.2 (a) | $I_1$ | $U_1$ | $\Delta_1$ | $\gamma_1$ |
|           |       |       |            |            |
| 图 2.2 (b) | $I_2$ | $U_2$ | $\Delta_2$ | $\gamma_2$ |
|           |       |       |            |            |

2.1.6 注意事项

- (1) 提前阅读所用仪表使用说明书，注意量程和功能的选择。
- (2) 使用过程中电压源切忌短路。

2.1.7 实验结果分析

- (1) 分析实验结果，总结各种测量方法的适用条件。
- (2) 计算并填写实验内容中的各表格。

2.2 电路元件的伏安特性测绘

2.2.1 实验目的

- (1) 掌握线性电阻、非线性电阻元件的伏安特性测试方法。
- (2) 学习测量电源外特性的方法。
- (3) 熟悉如何应用伏安法判别电阻元件类型。
- (4) 熟练掌握应用直流电压表、电流表测量电压、电流的方法。

2.2.2 预习内容及要求

- (1) 线性电阻与非线性电阻元件的概念是什么？电阻器与二极管的伏安特性有何区别？
- (2) 设某器件伏安特性曲线的函数表达式为  $I = f(U)$ ，试问在逐点绘制曲线时，其坐标变量应如何放置？
- (3) 稳压二极管与普通二极管有何区别？简述其用途。
- (4) 准备坐标纸。

2.2.3 实验原理

一个二端元件的特性，如果用作用于元件上的端电压  $U$  与流过该元件的电流  $I$  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，则这条曲线称为该元件的伏安特性曲线。

1. 电阻元件

线性电阻元件的伏安特性曲线是一条通过坐标原点的直线。如图 2.3 中的直线  $a$  所示，该直线的斜率正比于该电阻的元件电阻值。

非线性电阻元件的电阻值不是一个常数，图 2.3 中曲线  $b$  即为白炽灯的伏安特性曲线。在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。通过白炽灯的电流越大，其温度越高，电阻也越大。一般灯泡的“冷电阻”与“热电阻”的阻值可相差几倍至几十倍。

一般的半导体二极管是一个非线性电阻元件，其伏安特性曲线如图 2.3 中的曲线  $c$  所示。正向电流随正向电压的升高而急剧上升，而反向电压从零一直增加到几十伏时，其反向电流增加很小，可近似为零。可见，二极管具有单向导电性。反向电压过高将导致二极管击穿损坏。

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，但其反向特性不同，如图 2.3 中曲线  $d$  所示。在其反向电压开始增加时，反向电流几乎为零，但当反向电压增加到某一数值时（称为二极管的稳压值），电流将突然增加，其端电压将基本维持稳定。当外加反向电压继续增高时，其端电压仅有少量增加。

2. 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 2.4(a) 中实线所示。实际电压源的外特性曲线如图 2.4(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 2.4(b) 所示。图 2.4(a) 中角  $\theta$  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

$$U = U_s - R_s \cdot I$$

(2.5)

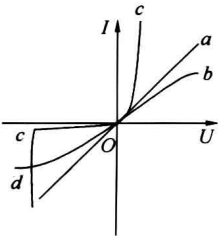
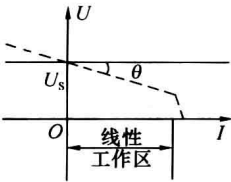
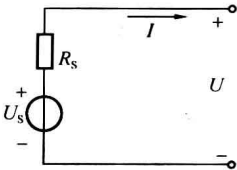


图 2.3 电阻伏安特性曲线



(a) 电压源外特性曲线

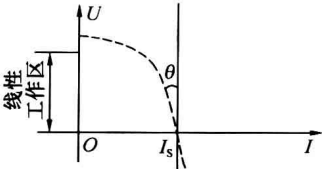


(b) 电压源电路模型

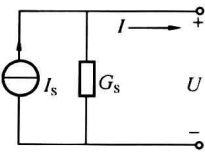
图 2.4 电压源外特性曲线和电路模型

3. 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 2.5(a) 中实线所示。实际电流源的外特性曲线如图 2.5(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  $G_s$  相并联的电路模型来表示，如图 2.5(b) 所示。



(a) 电流源外特性



(b) 电流源电路模型

图 2.5 电流源外特性和电路模型