

黄大刚 刘毅平 朱连津 编著

电路基础实验



清华大学出版社

黄大刚 刘毅平 朱连津 编著

电路基础实验

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书为电路基础实验教材。全书分为两部分：第一部分为电路实验基础知识，第二部分为电路实验。第一部分包括3章。首先重点介绍学习电路实验课的意义、常识，并对学生提出基本要求；然后论述电路实验的预备知识；继而介绍电路实验中常用的几种仪器，讨论仪器的基本性能和基本操作方法。第二部分包括42个实验，可供不同专业根据教学实际需求选用。每个实验都包括两部分内容，前面是必做的验证性实验，后面是选做的设计性实验。

本书实用性较强，可供各类高等院校作为低年级理工科学生电路基础课程的实验教材。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签，无标签者不得销售。

版权所有，侵权必究。侵权举报电话：010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电路基础实验/黄大刚,刘毅平,朱连津编著. —北京:清华大学出版社,2008.11
ISBN 978-7-302-17319-9

I. 电… II. ①黄… ②刘… ③朱… III. 电路—实验—教材 IV. TM13-33
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 047681 号

责任编辑:陈国新 孙建春

责任校对:梁 毅

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

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

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京市昌平环球印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:13.5 字 数:336 千字

附光盘 1 张

版 次:2008 年 11 月第 1 版

印 次:2008 年 11 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:23.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:022279-01

目 录

第一部分 电路实验基础知识

第 1 章 绪论	3
1.1 学习本课程的意义和本教材的特点	3
1.1.1 学习本课程的意义	3
1.1.2 本教材的特点	3
1.2 安全用电常识	3
1.2.1 人身安全	4
1.2.2 用电设备安全	5
1.3 安全操作规程	5
1.4 学生实验守则	6
第 2 章 预备知识	8
2.1 测量的基本概念	8
2.2 误差来源、分类及减小误差的途径	9
2.2.1 误差来源	9
2.2.2 误差分类	10
2.2.3 对不同误差的描述	10
2.2.4 减小误差的主要途径	11
2.3 有效数字和误差的表示方法	12
2.3.1 有效数字	12
2.3.2 有效数字的取舍原则	12
2.3.3 有效数字的运算	12
2.3.4 采样点的选取	13
2.3.5 测量次数的确定	13
2.3.6 误差的表示方法	14
2.4 实验数据处理与运算	14

2.4.1	原始数据的记录	14
2.4.2	数据的整理	15
2.4.3	数据的进一步处理	16
2.5	实验报告	18
第3章	常用电子仪器使用常识	22
3.1	万用表	22
3.1.1	指针表与数字表对比	22
3.1.2	典型的指针式万用表——M500 型	22
3.1.3	典型的数字式万用表——VC97 型	24
3.2	电阻箱	26
3.2.1	使用方法	26
3.2.2	注意事项	26
3.3	功率表	27
3.3.1	主要性能指标	27
3.3.2	注意事项	27
3.4	交流毫伏表	28
3.4.1	主要性能指标	29
3.4.2	使用方法	29
3.4.3	注意事项	30
3.5	直流稳压电源	30
3.5.1	工作原理介绍	30
3.5.2	主要性能指标	31
3.5.3	使用方法	31
3.6	函数信号发生器	32
3.6.1	A 路主要技术指标	32
3.6.2	B 路主要技术指标	33
3.6.3	常用功能的操作方法	33
3.7	示波器	34
3.7.1	按键、开关和旋钮	35
3.7.2	示波器探头	36
3.7.3	基本操作方法	36
3.8	兆欧表	36
3.8.1	工作原理	37
3.8.2	使用方法	37
3.8.3	注意事项	38

第二部分 电路实验

实验 1 万用表的使用	41
实验 2 在电压、电流测量中减小测量误差的研究	46
实验 3 减小测量随机误差实验	50
实验 4 电子元件伏安特性的测定	53
实验 5 电压源与电流源的等效变换	57
实验 6 直流稳压电源实验	62
实验 7 电阻 Y 形连接与 Δ 形连接的等效变换	66
实验 8 电压源、电流源的串联、并联及等效变换	70
实验 9 基尔霍夫定律的验证	73
实验 10 叠加原理和互易定理的验证	76
实验 11 替代定理的验证	79
实验 12 戴维宁定理和诺顿定理的验证	82
实验 13 特勒根定理的验证	86
实验 14 对偶原理的验证	89
实验 15 集成运算放大器的若干基本应用	91
实验 16 受控源特性的研究	96
实验 17 一阶电路过渡过程实验	101
实验 18 RC 选频网络实验	105
实验 19 二阶电路过渡过程实验	108
实验 20 研究 LC 元件在直流电路和交流电路中的特性实验	112
实验 21 研究正弦交流电路中 RLC 元件特性的实验	117
实验 22 RL 和 RC 串联电路实验	121
实验 23 相位差测量实验	125
实验 24 三表法测量电路交流参数	129
实验 25 电压表法测量交流电路等效参数	133

实验 26	功率测量和最大功率传输实验	136
实验 27	改善功率因数实验	140
实验 28	串联谐振电路实验	143
实验 29	并联谐振电路实验	147
实验 30	互感电路实验	150
实验 31	单相变压器实验	155
实验 32	三相交流电路	160
实验 33	三相异步电动机的连接和启动	165
实验 34	异步电动机继电接触控制的基本电路实验	170
实验 35	三相异步电动机的时间控制电路实验	176
实验 36	三相异步电动机顺序控制实验	179
实验 37	三相异步电动机能耗制动控制实验	182
实验 38	周期信号有效值和平均值的测量	185
实验 39	二端口网络实验	188
实验 40	二端口电路连接实验	193
实验 41	负阻抗变换器	197
实验 42	回转器	202
参考文献		208



第一部分

电路实验基础知识

第1章 绪 论

1.1 学习本课程的意义和本教材的特点

1.1.1 学习本课程的意义

电路基础实验是一门独立的基础实验课程,其主要任务是使学生在学习电子电路方面的理论课程之后,通过实验加深对所学概念、理论、分析方法的理解,学习一些基本的实验方法,掌握电路实验的基本技能,提高运用所学理论独立分析和解决实际问题的能力,培养安全用电的意识,养成良好的实验习惯,为后续课程的学习、毕业设计,乃至毕业后的科研和工作奠定坚实的基础。

1.1.2 本教材的特点

1. 适合不同层次的学生使用

每个实验都分成两部分。前面是验证性实验,也是必做实验,给出具体的方法和步骤;后面是选做实验,需要由学生自己设计实验方案,供实验能力强、预习充分的学生选用。

2. 内容丰富

本书精选 42 个实验,供不同专业根据自己的需要选用。其中一部分是经典实验,是从相关参考书中选编、改写到本书的;另一部分是新增实验,还需要在教学实践中不断改进和完善。

本书实验内容的总课时远远超出规定的课时,指导教师可以根据实际情况将本书划分为若干单元,根据其难易程度给出每个实验的分值,供学生选做。

3. 注重通用性

尽量选用通用器材,每个实验中的实验仪器和器材都没有给出具体型号,学生填写实验报告时应按照实际使用的仪器和器材注明详细名称、规格、型号、数量、参数等;实验内容和实验方法尽可能与理论课中的基本概念、经典理论、通用公式相关。

1.2 安全用电常识

随着科学技术的飞速发展,种类繁多的电气设备和家用电器得到越来越广泛的应用。电给人类带来便利,在加快人们生活和工作节奏的同时,也给人类带来了用电安全问题。了

解用电安全常识,是安全用电的前提。安全用电包括人身安全、用电设备安全和供电系统安全,其中供电系统安全问题属于专业性比较强的问题,不在本书讨论的范围之内。

1.2.1 人身安全

1. 人体触电

人体触及带电体,流过人体的电流造成人体受伤或死亡的现象为人体触电。根据人体受伤害的程度,可将触电分为电击和电伤。

当人体触电后,流过人体的电流使人的内部器官受到伤害时,称为电击。如果触电者不能迅速摆脱带电体,则有可能造成死亡事故。

电弧产生强光,会对人眼产生伤害;电弧产生的高温会灼伤皮肤;电弧或瞬时的大电流会使金属迅速熔化,飞溅的金属颗粒会烫伤人眼或皮肤。这些因用电造成人体体表器官的局部伤害称为电伤。

2. 安全电压

发生触电事故时,人体受伤害的程度与人体触电部位、触电时间、电流大小、频率、触电者的身体情况等因素有关。超过 100mA 的电流流过心脏或中枢神经系统时,会在短时间内使人的心脏停止跳动。低频电流比高频电流对人体伤害严重。

人体电阻通常为 $1\sim 100\text{k}\Omega$,在出汗或潮湿环境中,会降到几百欧。大量实验证明,人体接触 36V 以下的电压时,流过人体的电流不超过 50mA。因此规定在一般工作环境中,安全电压为 36V;在空气潮湿、地面导电的环境中,安全电压为 24V;在空气潮湿、有导电粉尘的环境中,安全电压为 12V;在恶劣环境中的安全电压为 6V。

3. 触电形式

常见的触电形式有单线触电、双线触电和跨步触电。

人体某一部位接触带电体,电流通过人体流入大地,这种触电形式通常称为单线触电。最为常见的是单手接触相线,加在人体的电压是 220V,电流流过心脏,很容易造成触电死亡事故。

当人体的不同部位分别接触同一电源的两条不同电压或不同相位的导线时,电流从一条导线经过人体流到另一条导线,这种触电形式称为双线触电。最常见的是双手分别接触两条相线,380V 电压加在两手之间,大部分电流经过心脏,心脏将很快停止跳动。

当高压电线接触地面时,在地面的一定范围内产生电压降。人在此区域行走时,两脚之间存在一定的电压,这一电压称为跨步电压。人体距离高压电线接地点越近,跨步电压越大。

如果遇到高压电线掉落,应停止行走,双脚并拢跳跃,尽快远离危险区。

4. 触电急救

遇到有人触电,应及时实施正确的救助,最大限度地挽救生命。

(1) 迅速切断电源或按下急停开关。在无法切断电源的情况下,必须用绝缘物体挑开有电的导体。

(2) 拨打 120 急救电话,同时将触电者抬到通风处静卧。

(3) 对于呼吸和心跳异常的触电者,必须实施人工呼吸。具体方法为:使触电者仰卧,鼻孔向上,头后仰,保持呼吸道通畅;松开衣扣,减小呼吸的阻力;捏住鼻孔,口对口吹气;放开鼻孔,做胸外挤压。人工呼吸和胸外挤压交替进行。

1.2.2 用电设备安全

为了确保用电设备正常运转,必须按设备工作要求供电。

(1) 合理使用导线。导线的额定电流与导线截面(有效横截面积)、材料、绝缘层、使用环境等有关。额定电流过大,浪费材料,施工困难;额定电流小于实际工作电流,导线发热,有引发火灾的危险。具体选用哪种导线,可以查阅电工手册。

(2) 合理使用熔断体。为了确保电路安全,在电路中串联熔断体,当工作电流超过熔断体的额定电流时,熔断体发热、熔断,对电路起保护作用。最常见的熔断体是保险丝。选用熔断体时,需要了解额定电流。若熔断体的额定电流过大,对电路起不到保护作用;若熔断体的额定电流过小,熔断体会在电路正常工作时熔断,使电路无法正常工作。因此,必须合理选用熔断体。

(3) 正确使用电源。一般民用电器的额定工作电压是 220V,动力电的额定工作电压是 380V;机床上的照明电压为 36V,有些进口设备的供电电压按本国的民用电网电压设计为 110V,使用前一定要选择正确的供电电压。应注意,有些小电器使用安全电压或更低的电压供电,有的电器用交流电源,有的电器用直流电源,不能用错!

(4) 正确接线。应严格按使用说明书接线,保护绝缘层,防止漏电,按规定将设备外壳接保护地,不允许用接零代替接保护地。如有必要,可以根据实际情况在电源部分安装漏电保护器、过流保护器、过压保护器、欠压保护器等。

(5) 照明开关的正确连接。照明开关一定与相线连接,关闭照明开关后不允许光源带电。

1.3 安全操作规程

本课程中的一些实验将使用非安全电压,如果人体接触非安全电压后有可能危及生命。学生作为初学者,对仪器、实验台、元器件的性能都不熟悉,必须严格遵守以下安全操作规程。

(1) 严禁随意合闸。随意合闸后有可能危及操作者本人和他人的生命,有可能损坏实验仪器或元器件,所以,必须按要求合闸。

(2) 严禁带电操作。接线、改线、拆线前必须切断电源。

(3) 必须按规定使用导线。使用非安全电压做实验时,必须用安全导线。

(4) 检查无误后方可通电。初次接线或改动线路后,必须自检、互检,确保电路连接正确后再通电。

(5) 发现异常,立即断电。通电后应随时监视仪器和电路的工作状况,一旦发现异常声音、异常气味、元件温度异常等情况,必须立即切断实验台总开关,并找出产生异常的原因。

(6) 通电时不得用手或导电物体接触电路中的裸露金属部分。

(7) 不得私自打开、更换实验台上的熔断器(保险)。

(8) 养成单手操作的习惯。防止误操作或开关发生故障时发生触电事故。

(9) 电路中不允许留下悬空的线头。一定要选用足够长的导线连接电路。

(10) 同组同学相互监督。一旦发生违章操作的事故,同组的每一个人都有责任。

(11) 一旦发现有人触电,应立即切断电源。若无法切断电源,必须用绝缘工具断开带电的导线,防止发生二次触电事故。

(12) 保持实验台整洁。实验台上不允许放置与实验无关的水杯、书包、钥匙、手机等物品。

(13) 不要在实验台附近饮水,不要在实验室内进食。

(14) 不要在实验室喧哗。

(15) 关闭移动通信工具。

(16) 电流表和功率表的电流线圈必须与负载串联,用万用表测量电阻前必须切断所有的电源。

(17) 先用大量程测量。测量前难以确定被测量的范围时,必须先将测量仪表调到最大量程,然后再根据初测结果选用合适的量程。

(18) 发现紧急情况,按下急停开关。按下急停开关后,将立即切断实验室的总电源,所有实验台都停电,因此,只允许在紧急情况下按下急停开关。

1.4 学生实验守则

为了在实验中培养学生良好的习惯,使每一个学生都自觉用严谨、科学的态度对待每一个实验数据,同时确保人身和设备安全,特制定本实验守则。

(1) 课前认真预习,明确实验目的,正确理解实验原理,熟悉实验步骤,了解实验仪器的使用方法和注意事项。

(2) 按时出勤,遇到特殊情况应在课前请假,并在事后及时找指导教师预约补做实验的时间。

(3) 课上按要求连接电路,检查无误后,方可通电观察和测量。

(4) 正确记录实验结果,包括所用仪器的名称、规格、型号、实验现象、数据、单位、误差、实验过程中出现的故障及排除故障的方法等。

(5) 严格按照安全操作规程操作。

(6) 接通电源后,若发现有冒烟、元件发烫、焦糊气味等异常现象,应立即关断电源,保护现场,报告指导教师,待查明原因并妥善处理,经指导教师同意后方可继续进行实验。

(7) 仔细观察实验现象,并用所学的理论知识作出合理的解释。

(8) 遇到自己无法理解的实验现象,要及时同指导教师共同探讨。

(9) 完成实验后,立即切断实验台的总开关,整理好实验器材,包括将实验仪器和元器件放回原处,按要求将仪器上的旋钮和按钮调整到规定的位置,按相同颜色和规格将导线分

类整理,搞好本实验台及附近的卫生,方可离开实验室。

- (10) 各组使用自己实验台上的器材,未经指导教师允许,不得互相借用。
- (11) 保持实验台整洁,不得在实验台面板或仪器面板上做标记。
- (12) 不在实验室进食,保持实验环境整洁。
- (13) 课后独立、认真、如实地填写实验报告,不得编造、修改原始数据。
- (14) 按规定时间认真完成并提交实验报告。
- (15) 只在规定区域进行实验,严禁乱搬乱动与本次实验无关的仪器。
- (16) 遇到意外情况,听从指导教师的指挥。

第2章 预备知识

2.1 测量的基本概念

实验离不开测量,测量不可避免地存在误差。为了得到准确的实验结果,必须首先了解有关测量的基本概念,理解误差的含义、来源、分类、表示方法和处理方法,这样才能根据具体情况找出减小误差的实验方法,从而提高实验数据的精度。

1. 测量

测量是将未知物理量与作为标准单位的物理量进行比较,得到二者倍率关系的过程。例如,某未知电压与作为标准电压的 1V 电压比较,未知电压是标准电压的 12.3 倍,则被测的未知电压就是 12.3V。

2. 被测量

被测量就是被测量的量。

3. 量值

一个物理量的量值包括数值和计量单位。例如,1.23mA 其数值是 1.23,计量单位是 mA。

4. 真值

一个物理量本身的、客观存在的量值。

5. 测量值

用某种测量方法,通过测量仪器获得物理量的量值称为测量值。测量值的大小与测量方法、测量仪器、测量者有关。

6. 误差

一个物理量的测量值与其真值之差称为绝对误差。绝对误差与真值之比定义为相对误差。真值是客观存在的。由于测量过程中不可避免地存在测量误差,所以,真值永远不可能得到。相对误差通常是用绝对误差与理论值之比或绝对误差与测量值之比得出的近似结果。

7. 额定值

额定值是制造者为设备或仪器规定工作条件后,某物理量的指定量值。例如,普通白炽灯的额定工作电压是 220V,某仪器在 220V 供电电压下的额定功率是 25W 等。

8. 读数和示值

在仪器刻度盘或显示器上直接读到的示值是测量仪器的指示值或记录值,示值包括读数和单位。

例如,某电流表满刻度值是 100mA,分为 100 等分(即 100 分度),若指针指在中间位置,则读数为 50,即示值为 50mA。

2.2 误差来源、分类及减小误差的途径

测量中产生误差是必然的。实践证明,根据实际情况将误差分类,找出其规律,就有可能减小误差。

2.2.1 误差来源

1. 方法误差

由于测量方法不完善、物理模型或计算公式存在某些近似、使用的经验公式与实际情况存在某种程度的偏差等,造成测量结果与真值不吻合,这类误差称为方法误差。

例如,用伏安法测量某元件的电阻值,有电流表外接法和电流表内接法之分,如图 1-2-1 所示。用电流表外接法测量得到的电流是通过被测元件的电流和通过电压表的电流之和,而不仅仅是流过被测元件的电流,因此,测量电流值的结果偏大,计算出来的电阻偏小;用电流表内接法测量时,得到的电压是降在被测元件上的电压与降在电流表上的电压之和,电压值永远大于被测元件两端的电压,因此,电阻的测量结果偏大。

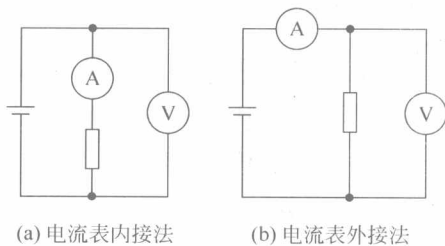


图 1-2-1 伏安法测量电阻的两种方法

2. 仪器误差

仪器误差是仪器本身不完善产生的测量误差。

例如,用示波器测量某信号的电压峰峰值,由于示波器探头衰减倍率存在误差,致使测量值产生误差,而且误差的大小和方向都可以找到规律。

3. 使用误差

使用误差指在测量过程中因操作不当或人为因素引起的误差。

例如,在使用指针式功率表测量功率时,按设计要求,功率表应该水平放置,但放置功率表的桌面往往与水平面存在一定的夹角,从而使测量结果产生误差。

4. 环境的影响

电磁干扰、振动、加速度、温度、湿度、气压、辐射等都有可能影响测量结果。

例如,在强电磁干扰的环境中用示波器测量某信号,可以明显地看到扫描线变粗的现象。

2.2.2 误差分类

误差的分类方法有多种。电路实验中经常按误差的性质分类,可分为系统误差、随机误差和疏失误差。

1. 系统误差

在相同条件下用同一方法多次测量同一个物理量,误差的大小和符号保持不变,或在测试条件发生变化时,误差按一定规律变化,这种误差称为系统误差。

方法误差、仪器误差和使用误差都有可能是系统误差。

由于系统误差遵循某种确定的规律,一般可以通过进一步的实验或分析找出规律,采取相应的措施,减小或消除系统误差。

例如,通过长导线测量安装在远方的线性电阻,所有测量值都偏大一个固定的数值。测量长导线的电阻后发现,导线的电阻是影响测量结果的主要因素。解决的方法是,用伏安法测量一组数据,根据线性电阻的伏安特性曲线是一条直线并通过原点的特性,将测量值在 $u-i$ 平面内拟合成直线,若该直线不通过原点,则说明存在系统误差,可以将该直线平移,使之通过原点,再通过修正后的伏安特性曲线确定被测电阻。

2. 随机误差

在相同条件下用同一种方法多次测量同一个物理量,每次测量值的大小和符号不确定,并且是无规律的,但是,就大量重复测量而言,误差又是服从某种统计规律的,这类误差称为随机误差,有时也称为偶然误差。

3. 疏失误差

在相同条件下用同一种方法多次测量同一个物理量,个别测量结果明显远离其他测量结果,就个别测量结果而言,表现为偶然性,就整体测量结果而言,不符合任何统计规律,从误差来源分析,源于读数或记录数据时的疏失,因此称为疏失误差,有时也称为粗大误差。

2.2.3 对不同误差的描述

为了方便地表述测量结果的特性,引入与误差相关的 3 个概念,即准确度、精密度和精确度。

1. 准确度

在一定条件下,用相同的测量方法对某一物理量进行多次测量,其结果与真值之间的差异程度称为测量的准确度。准确度通常取决于系统误差的大小,用系统误差的界线 Δx 与测量值 x 的比值来度量, $\frac{\Delta x}{x}$ 越小,准确度越高。