



河海大学常州校区“十一五”规划实验系列教材之五

电路实践教程

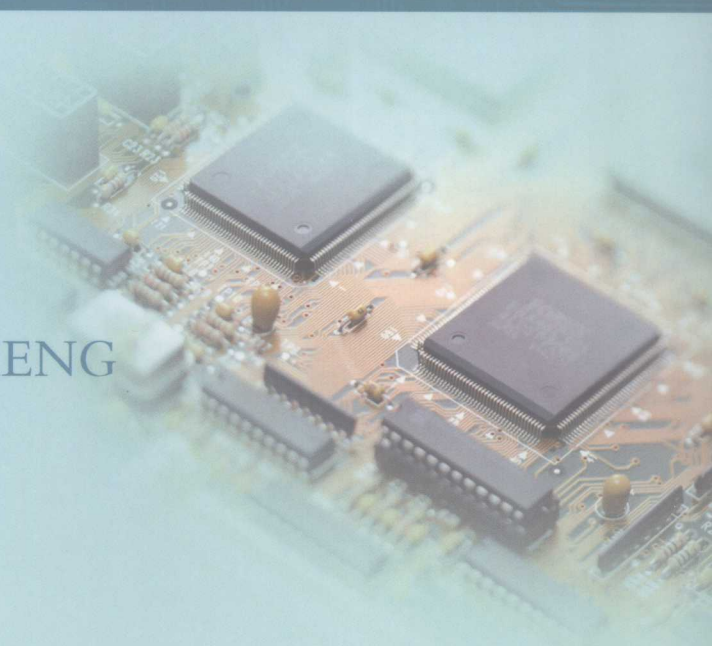
主 编◎宋凤琴

副主编◎张金波

参 编◎刘 翔 邓立华

DIANLU
SHIJIANJIAOCHENG

河海大学出版社



河海大学常州校区“十一五”规划实验系列教材之五

电路实践教程

主 编 宋凤琴

副主编 张金波

参 编 刘 翔 邓立华

河海大学出版社

“十一五”江苏省重点图书出版项目

图书在版编目(CIP)数据

电路实践教程 / 宋凤琴主编. —南京: 河海大学出版社,
2007. 7

ISBN 978-7-5630-2401-8

I. 电... II. 宋... III. 电路—实验—高等学校—教材
IV. TM13-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 112606 号

宋凤琴 主编

张全荣 副主编

吴江 校 对 杭永鸿 封面设计

书 名 / 电路实践教程

书 号 / ISBN 978-7-5630-2401-8/O·137

责任编辑 / 朱婵玲

特约编辑 / 张 伟

责任校对 / 吴 江

封面设计 / 杭永鸿

出 版 / 河海大学出版社

发 行 / 江苏省新华书店

地 址 / 南京市西康路 1 号(邮编:210098)

电 话 / (025)83737852(总编室) (025)83722833(发行部)

印 刷 / 江苏南洋印务集团

开 本 / 787 毫米×960 毫米 1/16

印 张 / 9.5

字 数 / 210 千字

版 次 / 2007 年 10 月第 1 版 2007 年 10 月第 1 次印刷

定 价 / 19.80 元

丛书编委会

主	任	周建方		
副	主	任	刘丹平	王 萍
编委会成员		赵占西	张根元	江 冰
		朱昌平	杨志明	刘晓农
		赵长青	赵 婵	秦卫明
		徐国清		

序

创新作为时代发展的要求和社会进步的动力,一直是人们所不断追求的。科技、文化等各领域的进步都要靠不断创新,而创新需要人才,特别是年轻英才的前赴后继。高校作为人才培养的摇篮,不仅要输出专业型、知识型人才,更要造就一大批综合型、创新型人才。河海大学作为教育部直属的重点大学,一直重视学生创新精神和创新能力的培养。常州校区根据学校“致高、致用、致远”的教育理念,推行理论教学、实践教学和科学研究“三元结合”的人才培养模式,始终坚持培养“宽基础、强素质、重实践、求创新”的人才,注重工程、注重实践,努力培养学生的学习能力、实践能力和创新精神。

2004年,校区顺利通过了江苏省高校基础课教学实验室评估。通过此次评估,校区全面贯彻“以评促建、以评促改”的方针,根据校区实际和特色,立足创新平台的构建,加强基础课实验室和专业实验室建设,并以此推动、提升实践教学质量,特别是实验教学质量,为学生开辟一片自主创造的天空。实验教学作为实践教学的重要环节,对培养理工科学生的创新能力和综合素质具有重要作用,因此,必须建立符合培养目标和时代特色的实验教学体系,促进创新平台、基地的系统化、共享化、资源化建设以及学生创新能力培养的体系化和特色化。

实验教材建设作为实验教学体系的重要组成部分,是提高实验教学质量的基础和必要条件。实验课程不仅为学生检验、判定理论知识提供条件,而且为学生发现新事物、探索新规律创造机会,其重点在于指导、

培养学生科学探究、实践研究的能力。在此探究过程中,除了教师的引导与学生自身的努力之外,实验教材有着不可忽视的指导、启发作用。实验教材不同于一般理论教材知识呈现、内容更新的传统框架模式,主要应体现实验过程的科学规范性、实验内容的基础性与学生自主创新空间的预设性,实现计划与创新,经典与现代,规范与自主的统一。

因此,基于河海大学人才培养的要求以及实验教材建设的重要性和必要性,常州校区与河海大学出版社合作,推出河海大学(常州校区)“十一五”规划实验系列教材6本,深化实验教材改革力度,作为向常州校区办学二十周年的献礼。

本套教材在注重实验内容的基础性和科学性的前提下,将更强调实验项目的设计性、综合性以及学生动手操作和探索能力空间的开拓。这也是我们编辑该套教材的初衷之所在。当然,由于实验条件的所限以及编者水平的不足,整套教材或许存在些许不尽如人意的地方,敬请广大教师、同行批评指正。

河海大学常州校区

教材编委会

二〇〇六年十一月

前言

《电路实践教程》是为配合高等学校计算机类、电子信息类、自动化工程类、电气工程类等专业的电路课程而编写的实验教学指导教材。

当今世界电子信息技术高速发展,市场竞争越来越激烈,就业压力不断增加,如何培养出适应市场需要的应用型人才成为各高等学校研究的课题。为了培养高素质的专业技术人才,在确保理论教学质量的的同时,必须十分重视和加强实践性教学环节。基于形势所需,同时也为了适应当前教学改革的需要,我们组织编写了本实验教材。

全书在安排上既考虑了与理论教学保持同步,又考虑了培养学生能力的循序渐进的过程。引入了电子电路仿真的内容,丰富了实验手段,并增加了设计型、综合型实验内容,注重实践教学的多样性,适用于不同层次高等学校的理工科学生,满足不同程度学生的学习要求。

全书共分五个部分:第一部分介绍了电路测试基本知识;第二、第三部分为电路硬件实验,其中包括基础验证型实验和设计综合型实验,实验内容涵盖了电路基础课程的主要知识点,通过实验可以巩固学生的电路理论知识,同时可以训练学生对电路知识的综合应用能力;第四部分为电路软件仿真实验,介绍了 Electronics Workbench 5.0 软件的使用及电路仿真实验;附录部分介绍了几种常用的电工仪表及电子仪器。

本书由宋凤琴主编,负责全书的总体策划,张金波任副主编。第一章和第二章由宋凤琴编写;第三章由张金波编写;第四章由宋凤琴和邓立华编写;附录部分由刘翔编写。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中错误和不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

内容简介

本书是配合电子、信息、通信等电类专业电路基础课教学而编写的实验指导教材。全书共分五个部分:第一部分介绍了电路测试基本知识;第二、第三部分为电路硬件实验,其中包括基础验证型实验和设计综合型实验,实验内容涵盖了电路基础课程的主要知识点,通过实验可以巩固学生的电路理论知识,同时可以训练学生对电路知识的综合应用能力;第四部分为电路软件仿真实验,介绍了 Electronics Workbench 5.0 软件的使用及电路仿真实验;附录部分介绍了几种常用的电工仪表及电子仪器。

本书可作为高等院校计算机类、电子信息类、自动化工程类、电气工程类专业“电路”或“电路基础”课程的实验教材,或供从事自动化、电气工程、计算机控制的技术人员参考和学习。

目录

第一部分 电路测试基本知识..... 001

- 第一节 实验须知 001
- 第二节 测量误差概述 003
- 第三节 测量中有效数字的处理 010
- 第四节 常用电工仪表的选用 013
- 第五节 安全用电知识 018
- 第六节 电路故障检测方法 024

第二部分 电路硬件实验(基础验证型)

- 026
- 实验一 线性与非线性元件的伏安特性 ... 026
- 实验二 基尔霍夫定律和叠加定理 030
- 实验三 交流参数的测试 034
- 实验四 日光灯电路及功率因数的提高 ... 038
- 实验五 互感电路的研究 042
- 实验六 示波器、信号发生器和交流毫伏表的
使用 046
- 实验七 R、L、C 串联电路频率特性 050
- 实验八 三相电路电压与电流的分析 054
- 实验九 三相电路有功功率、无功功率的测量
..... 059
- 实验十 一阶电路暂态过程观测 063

第三部分 电路硬件实验(设计综合型)

- 068
- 实验一 戴维南定理 068

目录

实验二 万用表的设计和组装	072
实验三 单向电源转换成三相电源的设计	080
实验四 小型变压器的设计	082
第四部分 电路软件仿真实验	084
实验一 Electronics Workbench 5.0 的使用	084
实验二 受控源特性的研究	094
实验三 二阶串联电路瞬态响应	097
实验四 无源二端口网络的测定	100
附录 常用电工、电子测量仪表	103
第一节 MF47 型万用电表	103
第二节 交流电流表、功率表	108
第三节 CA9000 型双踪示波器	112
第四节 CA1640 型函数信号发生器	132
第五节 CA2171 型晶体管毫伏表	138
参考文献	141

第一部分

电路测试基本知识

第一节 实验须知

1. 实验学生按学号顺序进行分组,在指定实验桌位上进行实验。
2. 每次实验前应预习实验指导书,复习有关理论,明确实验的目的、任务,了解实验的基本原理以及实验线路、方法、步骤,清楚实验中要观察哪些现象、记录哪些事项。
3. 实验开始前,了解本次实验的所有仪表、设备的使用方法。
4. 接好实验线路,经自查、互查无误后,再请指导老师复查,同意后方能合上电源。
5. 实验时,按要求操作,观察现象,记录读数,审查数据。全部实验项目完成后,先自己检查实验数据,再经教师复查。
6. 结尾工作:拆线、放好仪器、整理导线、桌面整洁,经教师同意方可离去。
7. 报告要求:文理通顺,简明扼要,字迹端正,图表清晰,结论正确,分析合理,讨论深入。

注意事项

1. 人身安全和设备安全

- (1) 切实遵守实验室的各项安全操作规程。
- (2) 不得擅自接通电源,不触及带电部分,遵守“先接线后合电源,先

断电源后拆线”的操作程序。

(3) 发现异常现象(声响、发热、焦臭等)应立即断开电源,保持现场,报告指导老师。造成仪器设备损坏者,需如实填写事故报告单。

(4) 注意仪器设备的量程和操作规程,不了解性能和用法时不得使用该设备。

2. 连接线路

(1) 选择设备

注意设备容量,参数要适当,工作电压、电流不能超过额定值。仪表种类、量程、准确度等级要合适。尽可能要求测量仪表对被测电路工作状态影响最小。

(2) 合理布局

原则是:安全、方便、整齐,防止相互影响。

(3) 正确连线

根据电路的结构特点,选择合理的接线步骤,一般是“先串后并”,“先分后合”,“先主后辅”。

接线前先弄清电路图上的节点与实验电路中各元件的接点的对应关系。

(4) 仔细调整

电路参数要调整到实验所需值,分压器、调压器等可调设备的起始位置放在最安全处,仪表指零要调好。

3. 操作时要注意:手合电源,眼观全局,先看现象,再读数据

读数前要弄清仪表及刻度,读数时要注意姿势正确,要求“眼、针、影成一线”。

记录要求完整清晰,力求表格化,做到一目了然。

4. 绘制图表、曲线

报告中的所有图表、曲线都要绘制清楚。

波形、曲线一律画在坐标图上。比例要适当,坐标轴上应注明物理量的符号和单位,标明比例和波形、曲线的名称。

5. 完成实验报告

第二节 测量误差概述

在任何测量中,由于受各种主观和客观因素的影响,使得测量结果不可能完全等于被测量的实际值,而只是它的近似值,我们把测量值与被测量的实际值之差叫做测量误差。

一、测量误差的分类

根据测量误差的性质和特征,测量误差可分为系统误差、偶然误差和疏忽误差。

1. 系统误差

系统误差是由于仪表的不完善,使用不恰当,或测量方法采用了近似计算公式以及受外界因素(如温度、电场、磁场)影响等原因引起的。它遵循一定的规律变化或保持不变。按照误差产生的原因又可分为:

(1) 基本误差。基本误差是仪表在正常使用条件下,由于结构上和制造中的缺陷而产生的误差,它为仪表所固有。其主要原因是仪表的活动部分在轴承中的摩擦、游丝的永久变形、零件位置安装不正确、刻度不准确等等。

(2) 附加误差。它是由于外界因素的变化而产生的。主要原因是仪表没有在正常条件下使用,例如温度和磁场的变化、放置方法不同等。

(3) 方法误差。因测量方法不完善或使用仪表的人在读数时因个人习惯不同而造成读数不准确,间接测量时使用近似计算公式等等,都可能造成误差,所有这些误差都叫做方法误差。

2. 偶然误差

这种误差是由于某些偶然因素所造成的。这些因素产生的原因或是由于目前还不知道,或者还无法掌握。例如同一电桥对同一电阻进行多次测量,其结果都可能不一样,有的偏大,有的偏小,看起来好像没有什么规律,但把多次测量结果综合起来看,仍然是有规律的,由数学理论可知它符合统计规律。

3. 疏忽误差

疏忽误差是由于测量中的疏忽所引起的。由于疏忽所引起的测量结果一般都严重偏离被测量的实际值,如读数错误、记录错误、计算错误或操作方法错误等所造成的误差。

二、减小或消除误差的方法

测量的目的就是要尽可能求出被测量的实际值,为达到此目的必须设法减小或消除测量误差。

1. 减小系统误差的方法

(1) 对仪表进行校正,在测量中引用更正值,减小基本误差。

(2) 按照仪表所规定的条件使用,减小附加误差。

(3) 采用特殊的方法测量,减小方法误差。例如替代法,在保持仪表读数不变的条件下,用等值的已知量去代替被测量,这样的测量结果就和测量仪表的误差、外界条件的影响无关。具体地说,比如用电桥测量电阻,先用电桥测量被测电阻,调节桥臂电阻使电桥平衡。然后以标准电阻箱代替被测电阻,调节标准电阻使电桥平衡,这时标准电阻箱上的读数就是被测电阻的阻值。

2. 减小偶然误差的方法

从统计学规律看,把同一测量重复多次,取其算术平均值作为被测量的值,即可减小偶然误差,测量次数越多,偶然误差越小;测量次数趋于无穷大,则偶然误差趋于零。

3. 消除疏忽误差的方法

由于疏忽误差是明显的错误,比较容易发现,测量后要进行详细的分析。凡是由于疏忽所测量的数据都应抛弃,因为它是不可信的。

三、测量误差的表示方法

1. 绝对误差

测量值 A_x 和被测量的实际值 A_0 之间的差值叫做绝对误差,用 Δ 表示,即

$$\Delta = A_x - A_0$$

在计算时,可用标准表的指示值作为被测量的实际值。

如:用一只标准电压表来鉴定甲、乙两只电压表时,读得标准表的指示值为 50 V。甲表读数为 51 V,乙表读数为 49.5 V,则它们的绝对误差为

$$\text{甲表的绝对误差} \quad \Delta_{\text{甲}} = A_x - A_o = 51 - 50 = +1(\text{V})$$

$$\text{乙表的绝对误差} \quad \Delta_{\text{乙}} = A_x - A_o = 49.5 - 50 = -0.5(\text{V})$$

可见,绝对误差有正负之分,正的表示测量值比实际值偏大,负的表示测量值比实际值偏小。另外,甲表偏离实际值较大,乙表偏离实际值较小,说明乙表的测量值比甲表准确。

所谓准确度,就是与实际值接近的程度。与实际值越接近,准确度就越高。从而可以看出,仪表的准确度越高,测量结果就越准确。

2. 相对误差

在测量不同大小的被测量时,不能简单地用绝对误差来判断其准确度,如:甲表测 100 V 电压时,绝对误差 $\Delta_{\text{甲}} = +1 \text{ V}$,乙表测 10 V 电压时,绝对误差 $\Delta_{\text{乙}} = +0.5 \text{ V}$,从绝对误差来看,甲表大于乙表。但从仪表误差对测量结果的相对影响来看,却正好相反,因为甲表的误差只占被测量的 1%,而乙表的误差却占被测量的 5%,即乙表误差对测量结果的相对影响更大,所以在工程上通常采用相对误差来衡量测量结果的准确度。相对误差就是绝对误差与被测量的实际值之比,通常用百分数来表示,即

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_o} \times 100\%$$

如:已知甲表测 100 V 电压时,其绝对误差为 $\Delta_{\text{甲}} = +2 \text{ V}$,乙表测 20 V 电压时,其绝对误差为 $\Delta_{\text{乙}} = -1 \text{ V}$,则它们的相对误差为

$$\text{甲表的相对误差} \quad \gamma_{\text{甲}} = \frac{\Delta}{A_o} \times 100\% = \frac{+2}{100} \times 100\% = +2\%$$

$$\text{乙表的相对误差} \quad \gamma_{\text{乙}} = \frac{\Delta}{A_o} \times 100\% = \frac{-1}{20} \times 100\% = -5\%$$

可以看出,甲表的准确度高于乙表的准确度。

四、仪表的准确度等级

仪表的基本误差是它本身所固有的。基本误差越小,测量所引起的这一方面的误差就越小,测量就越准确。

所谓仪表的准确度就是指仪表在正常工作条件下,仪表全量程范围内的最大绝对误差($|\Delta_m|$)与该量程(A_m)之比的百分数值,即

$$\pm K = \frac{|\Delta_m|}{A_m} \times 100\%$$

按国家标准规定,仪表的准确度共分为 7 级,如表 1-1 所示。

表 1-1 仪表的准确度分级

准确度等级	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5
基本误差(%)	± 0.1	± 0.2	± 0.5	± 1.0	± 1.5	± 2.5	± 5

如:用 0.5 级、0~10 V 的电压表和 0.2 级、0~100 V 的电压表测量 10 V 电压,问哪一块表测量的准确度高?

用 0.5 级、0~10 V 电压表测量,可能出现的最大绝对误差为

$$\Delta_m = \pm K \cdot A_m = \pm 0.5\% \times 10 = \pm 0.05(\text{V})$$

可能出现的最大相对误差

$$\gamma_m = \frac{\Delta_m}{A_o} \times 100\% = \frac{\pm 0.05}{10} \times 100\% = \pm 0.5\%$$

用 0.2 级、0~100 V 电压表测量,可能出现的最大绝对误差为

$$\Delta_m = \pm K \cdot A_m = \pm 0.2\% \times 100 = \pm 0.2(\text{V})$$

可能出现的最大相对误差

$$\gamma_m = \frac{\Delta_m}{A_o} \times 100\% = \frac{\pm 0.2}{10} \times 100\% = \pm 2\%$$

从计算结果可以看出,用 0.5 级、0~10 V 的电压表测量的准确度高。

由此看出,测量的准确度既取决于仪表的准确度,又取决于仪表的量程。被测量的值越接近满量程,测量准确度就越高。因而在测量时,除正确选择仪表的准确度等级外,还应正确选择仪表的量程。通常被测量值为满量程的 2/3 以上较为合适。

五、工程上对测量误差的估算

在任何测量过程中,误差总是存在的。因此在测量工作完成以后,不仅要确定测量结果的数值,而且还要确定测量结果的准确程度。在工程测量中,由于疏忽误差是一个错误的测量结果,当然应当舍去,因而在

误差估算中不加以考虑。在测量中所取的测量结果一般都是多次测量的算术平均值,偶然误差与系统误差相比较,偶然误差对测量结果的影响很小,故可略去不计,所以在工程测量中只考虑系统误差的影响。下面分别讨论直接测量和间接测量中系统误差的估算方法。

1. 直接测量中系统误差的估算方法

系统误差包含仪表的基本误差、附加误差和方法误差,所以测量中的最大误差等于上述误差之和。

(1) 仪表基本误差的估算方法。根据仪表的准确度等级和所选的量程来计算。设在测量中所使用的仪表准确度为 α 级,选用的量程为 A_m ,测量的读数为 A_x ,则测量结果可能出现的最大相对误差为

$$\gamma_m = \pm \frac{\alpha \cdot A_m}{A_x} \times 100\%$$

这里需要说明的是,前面我们说的相对误差是指绝对误差与被测量的实际值之比。这里我们用的是测量的读数 A_x ,而不是被测量的实际值 A_0 。由于被测量的实际值和仪表的指示值相差不大,所以在工程上,当不能确定实际值 A_0 时,常用仪表的指示值 A_x 近似地代替 A_0 进行计算。

如:现用一电流表测量电流,仪表的准确度为1.5级,量程为30 A,其读数为20 A,由于仪表结构不完善所引起的基

$$\gamma_m = \pm \frac{\alpha \cdot A_m}{A_x} \times 100\% = \pm \frac{1.5\% \times 30}{20} \times 100\% = \pm 2.25\%$$

(2) 仪表附加误差的估算方法。由于附加误差起源于工作条件的变化,所以保证仪表在规定的正常条件下使用,附加误差即可消除。如果仪表的使用不符合所规定的正常条件,则所引起的附加误差按表1-2计算。

例如在上例中,规定的工作温度为 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$,而测量时的工作温度为 30°C ,可见超出了所规定的温度范围,但小于 10°C 。由表1-2可知,在测量中所出现的附加误差等于基本误差,即 $\pm 2.25\%$ 。因而在这种情况下测量,总的最大误差为上述两种误差之和,即 $\pm (2.25 + 2.25)\% = 4.5\%$ 。

(3) 方法误差的估算方法。方法误差是由于测量方法不完善或因计算公式近似而引起的。如果需要考虑时,应根据具体情况进行分析计算。