



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材



“教育部电子信息科学与电子信息类基础课程教学指导分委员会”组织

电工电子实验系列教材

电路 实验教程

第3版

主编 姚纓英

高等教育出版社



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材



“教育部电子信息科学与电子信息类基础课程教学指导分委员会”组织

电工电子实验系列教材

电 路 实 验 教 程

第3版

主编 姚纓英

高等教育出版社·北京

内容简介

本书为“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。本书参照高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会制定的“电路类课程教学基本要求”中关于实验教学的内容,系统介绍了实验基础知识、常用元器件和仪器仪表的基本知识、电路基本电量的测量方法和测量误差处理,介绍了仿真软件 Multisim 和 MATLAB 在虚拟电路实验中的应用。实验内容和实验形式更为丰富,“基础规范型实验”在基本要求之外,增加了“拓展性研究”内容。尤其是“研究探索型实验”,通过实验内容的组织以及实验现象的展示,启发和引导学生积极思考和探索,并对实验理论、实验方法、实验手段以及实验现象分析等展开研究。本书还补充了不确定度及其评定方面的相关知识。增加了“实验设计与典型实验案例分析”,从实验设计的角度,以案例分析的方式阐述电路原理实验中涉及的“实验方案制定及评估、实验条件与实验的准确度以及实验数据分析与处理”等关键问题。

本书注重培养学生进行基本实验设计的能力,学习掌握实验技术指标选择、简单原理设计及数据和参数的选取、实验结果和误差的分析及处理、实验方法的改进和误差综合及消减的方法。

本书可供普通高等学校电子与电气信息类专业作为电路实验教材使用,也可作为大学高年级学生课程设计及相关专业技术人员参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电路实验教程 / 姚纓英主编. -- 3 版. -- 北京 :

高等教育出版社, 2017. 2

ISBN 978-7-04-047346-9

I. ①电… II. ①姚… III. ①电路-实验-高等学校-教材 IV. ①TM13-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 021774 号

策划编辑	王勇莉	责任编辑	韩 颖	封面设计	李卫青	版式设计	王艳红
插图绘制	杜晓丹	责任校对	杨凤玲	责任印制	尤 静		

出版发行	高等教育出版社	网 址	http://www.hep.edu.cn
社 址	北京市西城区德外大街 4 号		http://www.hep.com.cn
邮政编码	100120	网上订购	http://www.hepmall.com.cn
印 刷	北京佳信达欣艺术印刷有限公司		http://www.hepmall.com
开 本	787mm×960mm 1/16		http://www.hepmall.cn
印 张	27.75	版 次	2006 年 8 月第 1 版
字 数	500 千字		2017 年 2 月第 3 版
购书热线	010-58581118	印 次	2017 年 2 月第 1 次印刷
咨询电话	400-810-0598	定 价	49.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 47346-00

总 序

如何通过实践环节来培养工科大学生的创新意识以及如何更好地开展实验教学等问题已成为当前高等院校工科专业教学改革的热点与难点问题。“教育部关于启动高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作的通知”(教高[2003]1号文件)中明确指出:“理论教学与实践教学并重。要高度重视实验、实习等实践性教学环节,通过实践培养和提高学生的创新能力。要大力改革实验教学的形式和内容,鼓励开设综合性、创新性实验和研究型课程。”但是,目前实验教材的现状却不容乐观,正式出版的实验教材品种很少;多数院校的实验教材都是校内讲义,验证性实验内容偏多,综合性、设计性实验内容很少,不利于学生能力培养;优秀实验教材不多,与理论教材相比尤其明显。这样,众多学校很难选到合适的优秀实验教材。

鉴于上述情况,“教育部高等学校电子信息与电气信息类基础课程教学指导分委员会”与高等教育出版社共同策划组织了示范性电工电子实验系列课程教材的建设项目,该项目以国家电工电子教学基地院校为基础,发挥这些院校在理论教学和实践教学方面的示范作用,组织编写电工电子实验系列教材。

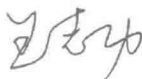
2003年12月在云南大学召开了“电工电子实验系列课程教学与教材建设研讨会”,成立了“电工电子实验系列教材编审委员会”(见附件)。30余所院校的参会代表围绕电工电子实践教学所涉及的知识点进行了充分研讨,确定了电工电子实践教学基本要求,为实验教材的编写提供参考依据。通过研讨达成了以下共识:(1)实验教学是非常重要的教学环节,是学生学习科技知识的重要手段。学生应能通过实验获取科学知识、验证相关理论,培养创新能力。(2)从培养学生能力的角度,实验一定要单独设课,而且要有不同于理论课程的实验课程体系。要改变依附于某一理论课程的原有模式。(3)实验能力培养包括实验设计、测试与仪器使用、仿真、简单故障排除、数据分析、实验报告与总结、查阅器件手册等方面的能力。(4)实验教学应按基础性、设计性、综合性等不同层次、循序渐进地提出要求。

2004年4月14~15日在华中科技大学召开了由全体编审委员会成员参加的教材评审会。本着保证水平、突出特色、宁缺毋滥的原则,编审委员会成员对东南大学、华中科技大学、西安交通大学、哈尔滨工业大学、西安电子科技大学、上海交通大学、浙江大学等15所院校申报的38种实验教学改革成果教材进行了评审。评出首

批入选的教材有:东南大学、西安交通大学的两套实验系列教材,上海交通大学、哈尔滨工业大学和浙江大学的3种电路课程实验教材,华中科技大学、浙江大学和南京航空航天大学3种电子技术课程实验教材,北京交通大学的信号处理课程实验教材,西安电子科技大学的电磁场课程实验教材,上海交通大学、西安交通大学、厦门大学和计量学院的4种非电类电工学课程实验教材。

希望这些优秀实验系列教材的出版能推动各高校的实验教学改革,真正达到培养学生创新能力的目的。

教育部高等学校电子信息与电气信息类基础课程
教学指导分委员会主任



2004年6月

第3版前言

浙江大学电工电子基础教学中心自2007年始进行国家级实验教学示范中心建设和创新人才“爱迪生实验班”培养,积累了创新性实验教学方面的丰富经验,特别是2011年之后,大面积开展探究性实验和研究性学习,实验教学的形式和内容均有很大变化。《电路实验教程》(第3版)参照高等学校电子、电气信息类专业电路实验的教学基本要求,在总结浙江大学研究探索性学习以及电路实验教学改革的基础上编写而成。对上下两篇共9章的架构进一步梳理和补充形成“仿真实验”8个、“基础规范型实验”16个、“研究探索型实验”9个和“综合设计型实验”7个。第3版更注重实验内容的层次化和可拓展性,加强了仿真实验的覆盖面和深度,强化仿真软件在研究探索过程中的作用,例如,半导体器件特性仿真;方波发生器性能与器件参数关系的研究;基于MATLAB实现计算机辅助电路分析;基于Multisim实现互感、变压器和非线性电感等。对第2版中的研究探索型实验和综合设计型实验做了进一步细化和完善,对于使用者的自主学习以及思考和探索可产生良好的帮助。全面更新了附录。

本书特点如下:

1. 内容丰富,结构易于取材

上篇——电路实验技术基础由六章组成。第1章讲述电路实验的意义、基本要求以及实验基础知识;第2章介绍常用元器件的基本知识以及仪器仪表的基本原理和使用方法;第3章讨论基本测量方法;第4章介绍实验中测量误差的表示与估计方法、不确定度及其评估方法以及测量数据的处理和描述。第5章介绍Multisim和MATLAB在虚拟电路实验中的应用以及8个仿真实验。第6章详细介绍了与实验设计有关的知识,包括实验方案的制定、实验器件与设备的选择以及实验数据分析与处理。下篇——电路实验内容包括三章,第7章为基础规范型实验,强调基本实验方法和技能操作;第8章是研究探索型实验,通过实验内容的组织以及实验现象的展示,启发和引导学生积极思考和探索,并对实验理论、实验方法、实验手段以及实验现象分析等展开研究;第9章为综合设计型实验,涉及理论研究和电路设计以及综合利用各种分析测试手段解决问题。附录介绍了常用仪器仪表的技术性能和参数。

2. 强化实验方案设计

在第6章中,从实验设计的角度,以案例分析的方式阐述电路原理实验中涉及的“实验方案制定及评估、实验条件与实验的准确度以及实验数据分析与处理”等关键问题。在各种层次的实验项目中均强调实验方案和线路参数的自拟定过程。

3. 实验内容层次化,实验形式丰富,易于拓展和深究

丰富了仿真实验的内容,实验项目中凸显研究和探究性任务,在加强基本技能和基本测量方法训练的基础上,更加突出综合技能的培养和解决实际问题能力的训练。

修订工作由姚缨英、王旂、于于、孙盾、童梅承担,具体分工如下:姚缨英负责第1章、第4章、第6章、新增仿真实验7、8;于于负责第2章、第3章、第5章第一节和附录;童梅编写第5章第二节以及第三节中仿真实验2、3;仿真实验4由童梅、孙盾编写;王旂负责第7章以及新增仿真实验5、6;孙盾编写第8章研究专题1、第9章综合设计3和综合设计5。第8章和第9章其余部分由姚缨英编写和修订。全书由姚缨英整理和定稿。

在本书修订的过程中吸取了浙江大学电路实验教学以及电工电子基础课程教学的宝贵经验,得到电路原理及实验教学老师们的悉心帮助,参考了国内外有关高校电路原理和实验教学的成果,并得到老师们的关心与帮助,对以上老师们的帮助和支持,作者一并深表谢意。

由于作者水平所限,书中难免存在错误及不妥之处,恳请读者批评指正。

作者 email:yingying_yao@zju.edu.cn

作 者

2016年8月于浙江大学

第2版前言

本书参照教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会制定的“电路类课程教学基本要求”中关于实验教学的内容,在总结浙江大学电路实验教学改革的基础上编写而成。2006年,本书第1版作为教育部高等学校电子信息与电气信息类基础课程教学指导分委会组织的电工电子实验系列课程教材出版,并于2008年确定为普通高等教育“十一五”国家级规划教材再次印刷。本次修订更注重基本内容的讲解以及实验内容的层次化,对原有的23个实验所组成的“基本实验、仿真实验和综合实验”架构进一步梳理和补充,形成4个“仿真实验”、16个“基础规范型实验”、9个“研究探索型实验”和7个“综合设计型实验”。实验类型的细分和规范,特别是“研究探索型实验”对于使用者的自主学习以及思考和探索有良好的帮助。与第1版相比,本版实验内容和实验形式更为丰富,在加强基本技能、基本测量方法训练的基础上,更加突出综合技能的培养和解决实际问题能力的训练。本书补充了不确定度及其评定方面的相关知识;增加了一章,第六章“实验设计与典型实验案例分析”,从实验设计的角度,以案例分析的方式阐述电路原理实验中涉及的实验方案的制定、实验器件与设备的选择以及实验数据的选择及其分析与处理等关键问题。

本书仍分为上、下两篇,共九章。上篇电路实验技术基础由六章组成:第1章讲述电路实验课开设的意义、内容、基本要求以及实验基础知识;第2章介绍常用元器件的基本知识、电子仪器和测量仪表的基本原理和使用方法;第3章讨论电路基本电量的测量方法以及电路的时域测量和频域测量;第4章介绍实验中测量误差的表示与估计方法、不确定度及其评估方法、测量数据的处理和描述;第5章介绍两个仿真软件 Multisim 和 MATLAB 在虚拟电路实验中的应用以及4个仿真实验;第6章详细介绍与实验设计有关的知识,包括实验方案的制定、实验器件与设备的选择以及实验数据的选择及其分析与处理。下篇电路实验内容,包括三章:第7章为基础规范型实验,强调基本实验方法和技能操作;第8章是研究探索型实验,通过实验内容的组织以及实验现象的展示,启发和引导学生积极思考和探索,并对实验理论、实验方法、实验手段以及实验现象分析等展开研究;第9章为综合设计型实验,涉及理论研究、电路设计以及综合利用各

种分析测试手段解决问题。附录介绍了常用仪器仪表的技术性能和参数。

本书由姚纓英主编,具体分工如下:第1章由姚纓英编写;第2章、第3章由干于编写;第4章由姚纓英编写;第5章:5.1节由干于、姚纓英编写,5.2节以及5.3节中仿真实验2、3由童梅编写,仿真实验4由童梅、孙盾编写;第6章由姚纓英编写;第7章由王旂、干于编写,新增添实验由姚纓英编写;第8章研究专题1、第9章综合设计3和综合设计5由孙盾编写;第8章和第9章其余部分由姚纓英编写;附录由干于编写;文稿的校核由王旂完成;聂曼协助完成了部分实验测试和图片绘制。全书由姚纓英整理和定稿。

上海交通大学陈洪亮教授十分细致地审阅了全部书稿,并提出许多宝贵的意见和建议,在此表示衷心感谢。

在编写本书的过程中吸取了浙江大学电路实验教学以及电工电子基础课程教学的宝贵经验,得到了从事电路原理及实验教学的老师们的悉心帮助;参考了国内外有关高校电路原理和实验教学的成果,并得到老师们的关心与帮助。对以上老师们的帮助和支持,作者一并深表谢意。

由于作者水平所限,书中错误及不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2011年3月于浙江大学

第1版前言

本书是针对电类专业本科生电路实验课程编写的教学用书。

“电路原理”已经建立严谨的理论体系,其分析方法、解题技巧也日趋完备,而且计算机辅助分析(CAD)、电路仿真、计算机自动化设计等近代应用技术也已越来越多地应用于面向工程的电路问题。必须指出,在工程实践中,大量电路分析、设计以及现场调试方面的基本应用,要求学生在掌握理论知识的同时必须建立实际元器件性能的相关概念,掌握基本电工测量仪器、仪表的使用,掌握基本电工测量的方法和知识,掌握基本实验设计技术以及现代电路计算机仿真工具和测试手段,并具备对实验结果分析、处理以及总结的能力。而电路实验课程正是担当这一重任的第一门面向电类工程技术的实验基础课。

随着科学技术的进步,对工程技术人才培养的要求越来越注重其综合处理实际问题的能力。同时,实验室硬件配置的不断更新,软件环境的进一步改善,电源、信号系统和基本测量仪表不仅具有高过载能力和可靠的安全保护,而且还采用了数字化控制,可以实现计算机实时控制和测量,所以充分利用计算机进行辅助分析、数据处理以及虚拟化设计已迫在眉睫。因此,电路实验教学除了帮助学生验证、消化和巩固基本理论,培养学生的基本实验技能外,更重要的是培养学生学习和运用电路理论处理实际问题的能力以及相应的创新精神。具体来说,通过电路实验,使学生了解基本电工测量仪器、仪表的原理及使用,掌握基本电路电量和参量的测量方法,能够独立完成实验基本操作,并进一步提高实验技能;巩固并且利用所学的理论知识,分析实际工程中遇到的问题,培养研究能力和实际工作能力;了解现代电路设计手段和工具,提高应用计算机以及相关软件的能力,例如,利用 Multisim 或 MATLAB 软件进行计算机虚拟电路实验。本书作为电路实验教学的指导教材,除了在初始阶段给出具体的实验项目和内容外,特别注重提供与实验技能和实际工程研究相关的基本知识和训练,注重培养学生进行基本实验设计的能力,学习实验技术指标的选择、简单原理设计及数据和参数的选取、实验结果和误差的分析及处理、实验方法的改进和误差综合及消减的方法。

本书的宗旨是将电路实验由单一的验证原理和掌握实验操作技术拓展为一门综合技能训练的实践,成为学生获得实验技能和科学研究方法基本训练的重要环节。本书作为电类实验技术的入门教材,是一本致力于从理论过渡到实践的指导书。强调理论在实验中的指导作用;侧重于基本技能、基本测量方法的掌握;突出综合技能的培养和解决实际问题能力的训练。

本书分为上、下两篇,共八章。上篇——电路实验技术基础由五章组成。第1章讲述电路实验课开设的意义、内容和基本要求以及实验基础知识;第2章介绍常用元器件的基本知识、电子仪器和测量仪表的基本原理和使用方法;第3章讨论电路基本电量的测量方法以及电路的时域测量和频域测量;第4章介绍实验中测量误差的表示和估计方法以及测量数据的处理和描述;第5章介绍两个仿真软件 Multisim 和 MATLAB 在虚拟电路实验中的应用。下篇——电路实验内容包括三章,第6章为基本实验,强调实际操作;第7章为仿真实验,学习使用仿真软件和电路实验的设计;第8章为综合实验专题,涉及理论研究和电路设计以及综合利用各种分析测试手段解决问题。附录介绍常用仪器、仪表的技术性能和参数。综上所述,编入本书的电路实验除了面向基本电工测量仪器、仪表的原理和使用、基本电路电量和参量的测量、电路理论验证类实验外,还编排了基于电路仿真软件和虚拟电路实验软件的分析设计类实验以及从工程实践中提取出的研究性综合实验专题,并在整个实验教学过程中,采用计算机辅助设计、虚拟实验和数据处理,使学生得到系统的训练以达到培养动手能力、独立工作能力和正确处理工程问题能力的目的。

本书参照高等学校电子、电气信息类专业电路实验的教学基本要求,在浙江大学电路实验教学改革的基础上编写而成,内容不仅包含电路实验的基础知识和基本技术、基本测量方法和仪器使用,而且引进了计算机辅助分析和设计,并按照基础实验、仿真实验和综合设计实验循序渐进地展开。全书由姚纓英、干于、王旂、童梅、孙盾编写,其中第1章、第4章、第7章中仿真实验1、第8章综合实验专题1、2、3、4及6由姚纓英编写;第2章、第3章以及附录由干于编写;第5章第1节由干于、姚纓英编写;第6章由王旂、干于编写;第5章第2节、第7章中仿真实验2、3由童梅编写;仿真实验4由童梅、孙盾编写;第8章中综合实验专题5由孙盾编写。全书由姚纓英任主编,负责统稿。

本书由上海交通大学陈洪亮教授审阅。在本书交付出版前,陈教授仔细审阅了全稿,提出了许多宝贵意见和建议。本书在编写过程中,得到钱克猷老师和

电路原理及实验教学众多老师的悉心帮助,并吸取了浙江大学电路实验教学的宝贵经验。另外还得到国内有关高校电路原理和实验教学老师们的关心与帮助,并为本书提出了不少宝贵的意见。对以上老师们的帮助与支持,作者一并深表谢意。

由于我们水平所限,书中错误及不妥之处,恳请读者批评指正。

作 者

2006年3月于浙江大学

目 录

上篇 电路实验技术基础

第 1 章	电路实验综述	3
1.1	电路实验概况	3
1.2	电路实验基本知识	5
第 2 章	电路实验基本元器件及仪表的一般知识	12
2.1	常用电路元器件	12
2.2	常用电子仪器的一般知识	26
2.3	电工测量仪表的一般知识	40
第 3 章	电路基本测量方法	42
3.1	测量的基本概念	42
3.2	电路基本电参数的测量	45
3.3	电路基本电量的测量	52
第 4 章	实验中的误差及数据处理	58
4.1	测量误差的基本知识	58
4.2	测量误差的分析与综合	65
4.3	测量不确定度与实验结果的评定	77
4.4	测量数据的处理	85
第 5 章	计算机虚拟电路实验	91
5.1	电路实验的 Multisim 仿真	92
5.2	MATLAB 与计算机辅助电路分析	110
5.3	计算机虚拟电路实验案例分析——仿真实验	128

第 6 章	实验设计与典型实验案例分析	185
6.1	实验方案的制定	185
6.2	实验器件与设备的选择	210
6.3	实验数据的选择及其分析与处理	214

下篇 电路实验内容

第 7 章	基础规范型实验	221
实验 1	直流电压、电流和电阻的测量	221
实验 2	仪表内阻对测量结果的影响和修正	224
实验 3	电路元件特性曲线的伏安测量法和示波器观测法	229
实验 4	电路定理研究的设计性实验	235
实验 5	含源一端口网络等效参数和外特性的测量	239
实验 6	一阶 RC 电路的暂态响应	243
实验 7	二阶 RLC 电路的暂态响应	250
实验 8	交流电量电压、电流、功率的测量	256
实验 9	交流电参数电阻、电容和电感的示波器测量法	260
实验 10	运算放大器与受控源的特性测试	264
实验 11	磁耦合线圈同名端的判别及其参数的电子测量法	269
实验 12	单相变压器的特性测试	273
实验 13	三相电路的相序、电压、电流及功率测量	276
实验 14	双口网络的等效参数、频率特性与连接	280
实验 15	非正弦信号与无源滤波器	285
实验 16	用仿真线模拟均匀传输线的稳态和动态响应	289
第 8 章	研究探索型实验	295
研究专题 1	直流电路综合探索实验	295
研究专题 2	电压三角形法测参数的误差分析	298
研究专题 3	三表法测参数的误差估计与补偿	303
研究专题 4	无功补偿与功率因数的提高	310
研究专题 5	调谐电路功效的研究	316
研究专题 6	耦合电感等效参数的电工测量法与传递误差	321
研究专题 7	耦合谐振电路特性的研究	325

研究专题 8 单相变压器的等效电路模型及其参数测定	334
研究专题 9 黑箱中电路结构与参数的回归	338
第 9 章 综合设计型实验	343
综合设计 1 简易波形分解与合成仪设计	343
综合设计 2 阻抗匹配与最大功率传输	358
综合设计 3 有源元件应用系统综合设计	363
综合设计 4 混沌发生器设计	373
综合设计 5 由单相电压转变为三相电压的裂相电路设计	376
综合设计 6 波形产生和波形变换器	381
综合设计 7 整流滤波与稳压电路设计	390
附录 A MES-1 电工教学实验台使用说明书	394
附录 B MES-2 电工教学实验台使用说明书	398
附录 C MY61 数字万用表使用说明书	402
附录 D 双通道函数/任意波形发生器	409
附录 E DS1000U 系列数字示波器简介	414
参考文献	423



上篇

电路实验技术基础

