



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电工技术

电工学 I (第二版)

史仪凯 主编



科学出版社
www.sciencep.com



“十二五”普通高等教育本科规划教材

电工技术

电工学 I (第2版)

王怀明 主编

机械工业出版社



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
国家级精品课程主干教材

电 工 技 术

(电工学 I)(第二版)

史仪凯 主编

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,也是2007年国家级精品课程“电工学”主干教材之一。全书共8章,主要内容包括电路的基本概念与基本定律、电路的分析方法、电路的暂态分析、单相正弦交流电路、三相正弦交流电路、非正弦周期电流电路、磁路与变压器、安全用电等。每章均附有大量的练习与思考、习题,书后附有试题和部分答案,便于教师教学和学生自学。

本书是在第一版基础上总结提高、不断完善修订而成的,根据编者多年从事教学研究和教学改革的实践体会,对教材内容和结构体系作了适当的整合。本书内容丰富,通俗易懂,应用性强,适用面广,可供不同非电类专业灵活选用。

本书还配有支持教学的多媒体电子教案和网络课程,可以免费提供给使用本书的教师。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术(电工学Ⅰ)/史仪凯主编. —2版. —北京:科学出版社,2008
(普通高等教育“十一五”国家级规划教材·国家级精品课程主干教材)

ISBN 978-7-03-022808-6

I. 电… II. 史… III. 电工学-高等学校-教材 IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 124699 号

责任编辑:段博原 余 江 / 责任校对:钟 洋
责任印制:张克忠 / 封面设计:耕者设计工作室

科 学 出 版 社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

铭浩彩色印装有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005年1月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2008年8月第 二 版 印张:19

2008年8月第三次印刷 字数:355 000

印数:7 501—11 000

定价:27.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(长虹))

主 编 简 介



史仪凯 西北工业大学机电学院教授、博士生导师、国家级教学名师。现任西北工业大学电工教学实验中心主任,国家级“电工学精品课程”负责人。兼任陕西省高等学校电工学研究会理事长、中国高等学校电工学研究会副理事长、教育部高等学校高职高专电气技术类专业教学指导委员会委员。

长期从事电工学、机械电子工程、电气工程教学和科研工作。主讲本科生、研究生课程 10 余门。先后主持国家自然科学基金、省部级基金课题等 20 余项,国家和省部级教学研究课题多项。已培养博士、硕士研究生 70 多人。主编(著、译)出版教材和著作 20 余部。在国内外学术刊物、会议发表论文 100 余篇,其中被 SCI、EI、ISTP 收录 30 多篇,申请授权和受理国家发明专利 9 项。先后获国家级教学成果二等奖 1 项、省部级教学成果和科技奖等 8 项、宝钢优秀教师奖 1 项。

联系地址:西安市友谊西路 127 号 西北工业大学 403 信箱

邮编: 710072

电话: 029—88494893

传真: 029—88494893

E-mail: ykshi@nwpu.edu.cn

第二版前言

本书主要根据教育部高等学校电子信息科学与工程类专业基础课程教学指导分委员会 2004 年修订的高等学校工科“电工技术(电工学 I)”课程的教学基本要求,在第一版的基础上总结提高、不断完善修订而成。参考学时为 40~60 学时。

本书遵循强化基础性、突出应用性和体现先进性的原则,对教材内容进行了认真的精心设计,力求使之更加符合教学要求,以及各非电类专业需要。对教材体系结构进行了科学的优化整合,力求使之更加符合学生的学习和认知规律,以及课程教学设计的客观规律。

(1) 将“电压源与电流源及其等效变换”和“受控源”内容安排在第 1 章(电路的基本概念与基本定律)介绍,便于学生对电路元件及其特点有一个比较全面的掌握,为后续电路连接和工作状态分析打下良好的基础。

(2) 在“戴维南定理与诺顿定理”一节中,通过例题应用电源等效互换介绍“诺顿定理”,既可帮助学生融会贯通,又节省了篇幅。

(3) 在“直流电路分析方法”后介绍“电路的暂态分析”(第 3 章)。

(4) 对“单相正弦交流电路”(第 4 章)中的“正弦交流电的概念”和“正弦量的相量表示法”等内容进行了重新改写。

(5) 在“磁路与变压器”(第 7 章)中新增加了“R 铁心变压器”内容。

(6) 将“电动机”、“电工测量”、“继电器控制”和“可编程序控制器及其应用”从本书中调整至《电工电子应用技术》一书中介绍。

(7) 对部分“练习与思考”、“习题”进行了修改和补充。

(8) 书中带“*”标号的章节属于加深、拓宽内容,教师可根据专业特点和学时取舍。

本书由西北工业大学史仪凯主编和统稿,田梦君任副主编。其中绪论、第 4 章、第 5 章由史仪凯编写,第 1 章、第 2 章由向平编写,第 3 章由田梦君编写,第 6 章由张海南编写,第 7 章由李启鹏编写,第 8 章由刘雁编写,附录、电工技术试题(卷)、部分习题解答由袁小庆编写。

本书由西安交通大学马西奎教授和西北工业大学张家喜教授审阅,提出了宝贵意见和修改建议;本书第一版还得到了许多教师和读者的关怀,他们提出了许多建设性意见,尤其是得到了科学出版社、西北工业大学的支持和关心。在此作者一

并致以诚挚的谢意。

由于编者水平所限,书中难免有疏漏和不妥之处,恳请使用本书的教师和同学,以及广大读者提出宝贵的批评意见。

史仪凯

2008年7月于西北工业大学

第一版前言

本书是根据教育部最新颁布的高等学校工科“电工学”课程教学基本要求,并在原《电工技术》(史仪凯主编,1994年出版)的基础上总结提高,重新修订编写的。本教材已被列入西北工业大学2002年校规划重点出版教材。参考学时为40~60学时。

本书编写的指导思想是,在内容上力求贯彻少而精的原则,既覆盖了教学基本要求所规定的全部内容,又增添了一些拓宽和加深的内容,可以满足非电类各专业根据具体需要进行取舍。在阐述上由浅入深,循序渐进,使之符合人们认识客观事物的规律,便于自学,适当反映了现代科学技术发展的新成就。在体系上注意各部分章节的有机联系,根据编者的教学实践和体会,对传统的体系结构作了适当的整合,加强了各主要部分内容的逻辑性,便于读者应用和科技创新能力的培养。在教学上配有多媒体电子教案,教师可以对电子教案进行修改,有利于教师组织课堂教学和提高教学质量。

本书由西北工业大学史仪凯主编和统稿,田梦君任副主编。其中绪论、第4章、第5章由史仪凯编写;第1章、第2章由向平编写;第3章由田梦君编写;第6章由张海南编写;第7章由李启鹏编写;第8章由刘雁编写;附录、电工技术试题(卷)、部分习题答案由袁小庆编写。

本书由西北工业大学陈麟章教授和张家喜教授审阅,并提出了宝贵意见和修改建议。在编写过程中,先后得到西北工业大学电工学课程组同志们的关心和支持。同时,作者借鉴了有关参考资料。在此,对主审、参考资料的作者,以及帮助本书出版的科学出版社、西北工业大学教务处和教材科一并致以诚挚的谢意。

由于编者水平所限,书中难免有疏漏和不妥之处,恳请使用本书的教师和同学,以及广大读者提出宝贵意见。

编 者

2004年2月于西北工业大学

目 录

第二版前言

第一版前言

绪论	1
第 1 章 电路的基本概念与基本定律	4
1.1 电路与电路模型	4
1.1.1 电路的组成和作用	4
1.1.2 电路模型	6
1.2 电流与电压的参考方向	6
1.2.1 电流的参考方向	7
1.2.2 电压的参考方向	7
1.2.3 电功率与电能	8
1.3 电压源与电流源及其等效变换	10
1.3.1 电压源	10
1.3.2 电流源	12
1.3.3 电压源和电流源的等效变换	14
*1.4 受控源	20
1.5 电路的基本连接方式	22
1.5.1 串联电阻分压作用	22
1.5.2 并联电阻分流作用	24
1.6 电源开路、短路与有载工作	28
1.6.1 电源开路	28
1.6.2 电源短路	29
1.6.3 电源有载工作	30
1.7 电路的基本定律	35
1.7.1 欧姆定律	35
1.7.2 基尔霍夫定律	37
1.7.3 电路中电位的计算	43
本章小结	46
习题	47

第2章 电路的分析方法	52
2.1 支路电流法	52
2.2 叠加原理	57
2.2.1 线性电路性质	57
2.2.2 叠加原理	58
2.3 戴维南定理与诺顿定理	63
2.3.1 戴维南定理	64
2.3.2 诺顿定理	68
2.4 结点电压法	69
2.5 非线性电阻电路	74
本章小结	78
习题	78
第3章 电路的暂态分析	83
3.1 电感与电容元件	83
3.1.1 电感元件	83
3.1.2 电容元件	85
3.2 换路定则与初始值的确定	87
3.2.1 换路定则	87
3.2.2 初始值的确定	87
3.3 一阶电路的零输入响应	90
3.3.1 RC 电路的零输入响应	90
3.3.2 RL 电路的零输入响应	94
3.4 一阶电路的零状态响应	98
3.4.1 RC 电路的零状态响应	98
3.4.2 RL 电路的零状态响应	100
3.5 一阶电路的全响应与三要素法	103
3.5.1 一阶电路的全响应	103
3.5.2 一阶线性电路的三要素法	104
3.6 一阶电路的脉冲响应	108
3.6.1 微分电路	108
3.6.2 积分电路	110
本章小结	111
习题	112
第4章 单相正弦交流电路	116
4.1 正弦交流电的概念	116

4.1.1 周期和频率	117
4.1.2 幅值和有效值	118
4.1.3 初相位	119
4.2 正弦量的相量表示法	122
4.3 单一元件的正弦交流电路	125
4.3.1 电阻元件交流电路	125
4.3.2 电感元件交流电路	128
4.3.3 电容元件交流电路	131
4.4 RLC 串联交流电路	134
4.4.1 电压和电流的关系	134
4.4.2 功率关系	140
4.5 RLC 并联交流电路	144
4.5.1 电压和电流的关系	144
4.5.2 功率关系	146
4.6 电路中的谐振	148
4.6.1 串联谐振	148
4.6.2 并联谐振	153
4.7 功率因数的提高	157
4.7.1 提高功率因数的意义	157
4.7.2 提高功率因数的措施	158
4.8 复杂交流电路的计算	161
本章小结	164
习题	166
第5章 三相正弦交流电路	172
5.1 三相正弦交流电源	172
5.1.1 三相交流电动势的产生	172
5.1.2 三相电源的连接	173
5.2 负载星形连接的三相电路	175
5.2.1 对称负载星形连接的三相电路	176
5.2.2 不对称负载星形连接的三相电路	177
5.3 负载三角形连接的三相电路	182
5.3.1 对称负载三角形连接的三相电路	182
5.3.2 不对称负载三角形连接的三相电路	184
5.4 三相电路的功率	185
5.4.1 有功功率	185

5.4.2 无功功率	186
5.4.3 视在功率	186
本章小结	188
习题	189
第 6 章 非正弦周期电流电路	191
6.1 非正弦周期信号的分解	192
6.2 非正弦周期信号的有效值、平均值与平均功率	196
6.2.1 有效值	196
6.2.2 平均值	197
6.2.3 平均功率	197
6.3 非正弦周期电流电路的计算	199
本章小结	202
习题	203
第 7 章 磁路与变压器	205
7.1 磁路	205
7.1.1 磁路的基本概念	205
7.1.2 磁路的欧姆定律	207
7.2 磁性材料的磁性能	210
7.2.1 高导磁性	211
7.2.2 磁饱和性	211
7.2.3 磁滞性	212
7.3 铁心线圈电路	214
7.3.1 直流铁心线圈电路	214
7.3.2 交流铁心线圈电路	214
7.3.3 直流和交流铁心线圈电路的比较	217
7.4 电磁铁	218
7.4.1 直流电磁铁	219
7.4.2 交流电磁铁	220
7.5 变压器	223
7.5.1 变压器的基本结构	223
7.5.2 变压器的原理和作用	225
7.5.3 变压器的特性和技术数据	231
7.6 变压器绕组的极性及其测定	235
7.6.1 变压器绕组的极性	235
7.6.2 变压器绕组极性的测定	236

7.7 其他类型变压器	239
7.7.1 自耦变压器	239
7.7.2 三相变压器	240
7.7.3 电压互感器	241
7.7.4 电流互感器	242
7.7.5 R 铁心变压器	243
本章小结	244
习题	246
第 8 章 安全用电	250
8.1 触电事故	250
8.1.1 触电方式	250
8.1.2 电流对人体的危害	251
8.1.3 安全电压	253
8.2 触电急救与防护措施	253
8.2.1 触电急救	253
8.2.2 防护措施	254
8.3 保护接地与保护接零	255
8.3.1 保护接地	255
8.3.2 保护接零	255
8.3.3 工作接地	256
8.3.4 家用电器的接地和接零	256
8.4 电气防火与防爆	257
8.4.1 用电防火和防爆	258
8.4.2 静电防火和防爆	258
8.4.3 雷电防火和防爆	259
8.5 节约用电	260
本章小结	261
习题	261
电工技术试题	262
部分习题答案	273
电工技术试题答案	279
中英名词对照	282
参考文献	287
附录 A 本书主要物理量符号及单位	288
附录 B 电阻器、电容器的标称系列值	289

绪 论

电工学(Electrical Engineering, 电气工程学)是一门研究电磁现象及其规律在工程上应用的学科。自从 18 世纪末以来,电工学在技术上、理论上的日益提高,推动着社会生产力和科学技术的不断发展。尤其是进入了 21 世纪的今天,无论是在工业、农业、国防建设和科学技术的各个方面,还是在人们日常生活的各个领域,电工学处处都起着十分重要的作用。

电能之所以得以如此广泛的应用,是因为它具有其他形态的能量无可比拟的优越性。主要表现在以下三个方面:第一,转换方便。电能可以很方便地转换成机械能(如电动机)、热能(如电炉)、光能(如电灯)、声能(如扬声器)、化学能等形式的能量。同样,原子能(如原子能发电)、化学能(如化学电池)、光能(如光电池)、热能(如火力发电)、水能(如水力发电)、风能(如风力发电)等其他形态的能量也可以方便地转换成电能。还可以利用传感器将各种非电量(如温度、流量、压力和位移等)转换成电量,以供测量和控制。第二,输送经济。电能可用比较简单的设备、很低的损耗方便地被输送到较远的地方。例如,可以在储藏有大量煤炭资源的地方兴建火力发电厂,在水力资源丰富的河川兴建水力发电厂,在风力资源丰富的地区兴建风力发电厂,并使发电厂尽可能接近能源基地,而通过远距离的输电线路将电能从发电厂输送到用电场所。我国 21 世纪的四大工程之一——“西电东送”,就是将西部(贵州、云南、广西和内蒙古等)丰富的电力资源送往东部(珠江三角洲、沪宁杭和京津唐等),其不仅可使工业建设的布局问题得到比较合理的解决,而且体现了资源的优化合理配置,提高社会生产整体的经济效益。第三,控制灵活。电能的充分利用可以达到高度的自动化。例如,实现工业生产过程的自动控制、最佳状态控制;将检测到的各种生产过程参数转换成一定的电信号,实现自动调节和自动管理。近年来,微电子学与电子计算机技术的迅速发展及其在各个技术领域中的广泛应用,带来了社会生产力和科学技术的新飞跃,迎来了新技术革命的浪潮,开创了人类社会的新纪元。

随着我国改革开放的不断深入发展,把我国建成具有中国特色的社会主义现代化强国,关键在于科学技术的现代化。电气化和自动化是衡量一个国家科学技术水平的主要标志之一。电工学是高等学校工科非电类专业的一门重要技术基础课程,作为技术基础课,它应具有一定的基础性、应用性和先进性。

本教材主要是根据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 2004 年修订的高等学校工科“电工技术(电工学 I)”和“电子技术(电工

学Ⅱ)”课程教学基本要求,在第一版基础上总结提高、不断完善修订而成的。根据作者多年从事电工学课程的教学体会和经验,对传统的教材结构体系和教学内容进行了较大幅度的整合和优化。本教材分为三册:《电工技术》(电工学Ⅰ)、《电子技术》(电工学Ⅱ)和《电工电子应用技术》(电工学Ⅲ)。第二版编写中主要考虑了以下几个方面。

(1) 强化基础性。电工学中的电路基本概念与定律、电路的分析方法、磁路与变压器、模拟电路、数字电路等是电工技术和电子技术的理论基础,在后续课程学习和今后从事技术工作中都将起着十分重要的作用。在新编教材中遵循教学基本要求和多年的教学实践经验,将这些基础理论内容安排在《电工技术》和《电子技术》中,保证基本理论、基本方法和基本技能内容的重点介绍,力求贯彻少而精原则,内容阐述上赋予了新的方法。

(2) 突出应用性。电工学是一门实践性很强的技术基础课。根据教育部“质量工程”对创新型人才培养的要求,非电类学生学习电工学的重点在于应用,使学生通过基本理论和知识学习,不断提高解决工程实践问题的能力和创新意识。为此,在《电工电子应用技术》中对部分内容进行了精选、整合与补充。注重新技术与工程实践结合,在拓宽学生知识面的同时,培养学生系统运用知识的能力。如将电动机→软起动→继电器接触器控制→PLC控制→变频调速等内容连成“一条线”,培养学生系统应用知识的能力。

(3) 体现先进性。第二版中恰当地引入反映电工学发展的新技术、新理论、新产品,如信息、通信、非电量检测、开关电源、超声波电动机等。力求在结构体系上与教学要求相吻合,内容阐述上体现一个“新”字,尽可能与工程实践相结合。不仅有利于拓宽学生知识面和激励课程学习兴趣,而且有利于启发学生将所学知识运用于解决实践问题和增强创新意识。

本教材采用模块化组合,参考内容的章节用“*”标记,可在教学中根据学时与专业要求灵活选择。因此,本教材可适用于不同的非电类专业灵活选用。教材具体内容和教学参考总学时如下。

《电工技术》的主要内容包括电路基本概念与定律、电路的分析方法、电路的暂态分析、单相正弦交流电路、三相正弦交流电路、非正弦周期电流电路、磁路与变压器、安全用电等。教学参考总时数为40~60学时。

《电子技术》的主要内容包括半导体二极管及其应用、三极管与基本放大电路、集成运算放大器及其应用、正弦波振荡电路、门电路与组合逻辑电路、触发器与时序逻辑电路、存储器与可编程逻辑器件、模拟量与数字量的转换等。教学参考总时数为40~60学时。

《电工电子应用技术》的主要内容包括交流电动机、直流电动机、继电器接触器控制系统、可编程序控制器、电气控制基础、电气电测技术、信号处理与数据采集系

统、现代通信技术、电子设计自动化(EDA)等。教学参考总时数为 40~60 学时。

使用本教材的具体建议是:多学时(120 学时)电工学课程教学任务,可安排在两个学期完成,其中第一学期讲授《电工技术》和《电子技术》中的“模拟电子技术”部分;第二学期讲授《电子技术》中的“数字电子技术”和《电工电子应用技术》部分;少学时(80 学时)电工学课程教学任务,可根据具体专业要求选择教学内容,在一个学期完成三门课程的讲授。

电工学课程是自然科学与电工电子工程领域间的桥梁,也是大学工科非电类专业基础课程与专业课程间的桥梁。对未来从事社会主义现代化建设的高级工程技术人员、高级工程研究和高级管理人员来说,必须学习掌握电工学课程的基本理论、基本知识和基本技能。我国现代化建设对人才要求的不断提高,要求学生应具有强烈的紧迫感和现实感,以及增强求职和竞争意识。因此,同学们应珍惜来之不易的大学学习机会,认真学好电工学及其他各门课程,努力提高自己的政治和业务素质,在国家的现代化建设事业中为我国科学技术的发展开拓新的领域。为了学好电工学课程,我们提出以下几点看法,供同学们参考。

首先,要有较强的自觉学习意识。课前应作适当的预习,课堂认真听讲,课后及时总结复习。抓住物理概念、基本理论、电路的工作情况和分析方法。努力提高自己的自学能力,养成独立思考的习惯。在加深理解的基础上,注意教材中各部分内容之间的联系,区分哪些是基本内容,哪些是前者的扩展或派生,找出来龙去脉,融会贯通。结合自己的学习和理解,做出阶段性的总结,切忌死记公式和结论,并且要多看有关的参考书。

其次,要独立认真完成作业。习题是用于检验基本理论和分析计算方法的掌握程度,锻炼和提高自己的独立分析问题和解决实际问题的能力。解题前,先对所学有关内容进行复习;解题过程中要自己判断和选择合理的方法,独立解题,并检查结果。书后所附部分答案仅供参考,切忌以乱套公式、凑答案的方法做习题。作业要书写整洁,电路图要标绘清楚,且要注明单位。

最后,要重视实验。电工学是一门实践性很强的技术基础课,实验课学时约占总学时的 30%。它不仅是培养理论联系实际、实践动手能力和科学作风的重要环节,而且是培养分析解决问题、启发科技创新思维和能力的主要途径。实验前应认真预习,熟悉有关理论内容,对实验电路、实验方法、实验仪器设备和实验预期结果等都应做到心中有数;实验过程中,必须正确连接电路、正确使用仪器仪表和正确读取实验数据,既要独立动手又要动脑;实验结束后,能正确处理实验所得数据,分析观察到的现象,独立完成实验报告。这是工程科技人员的基本功,千万不可等闲视之。

我们殷切希望学生通过本课程的学习和实践,不断提高自己运用基本理论分析问题和解决问题的能力以及实际动手能力。

第 1 章 电路的基本概念与基本定律

本章首先讨论电路的基本概念,其中包括电路的组成与作用、电路模型、电路中电压和电流的参考方向、电压源与电流源及其等效变换、电路的工作状态;其次讨论基尔霍夫两个定律以及电路中电位的概念和计算;最后简要阐述电路的基本连接方式。

本章讨论的基本概念和定律,虽然是从直流电路角度出发的,但只要加以适当扩展,也适用于后面将要讨论的交流电路及其他电路。

1.1 电路与电路模型

1.1.1 电路的组成和作用

电路是电流所通过的路径,由电路元件按一定方式组合而成。图 1.1.1(a)所示是一个简单的实际电路,它由供给电能的电源、取用电能的负载和中间环节(包括连接导线和开关)三部分组成。在电路中随着电流的流动,进行着不同形式能量之间的交换。

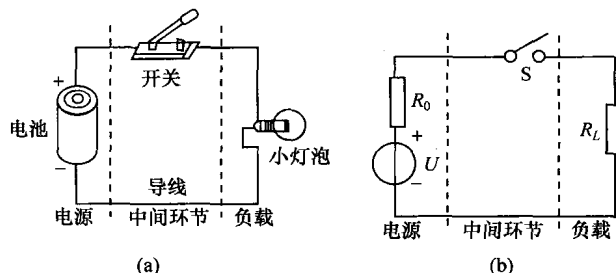


图 1.1.1 电路组成和电路模型

(a) 电路组成; (b) 电路模型

电源是将非电能转换成电能的装置。如干电池和蓄电池是将化学能转换成电能,而发电机是将水能、热能、机械能、原子能等转换成电能。所以,电源是电路中的能量来源,是推动电流运动的源泉,在其内部进行着由非电能到电能的转换。负载是将电能转换成非电能的用电设备。如电灯是将电能转换成光能,电炉是将电能转换成热能,电动机是将电能转换成机械能。所以负载是电路中取用电能的装置,在其内部进行着由电能到非电能的转换。