



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

电工电子技术

(第二版)

史仪凯 主编



科学出版社

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电工电子技术

(第二版)

史仪凯 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是在第一版的基础上总结提高、完善修订而成,全书共 14 章。对第一版多处内容进行了精选、改写、补充和调整,并配套出版有电子教案、网络课程、作业集和学习指导等立体化配套教材。本书可作为高等学校工科非电类专业本科生和专科生“电工学”课程的教材,也可供科技人员阅读。

本书第一版为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,2011 年获陕西省普通高等教育优秀教材一等奖,2012 年被评为“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术/史仪凯主编.—2 版.—北京:科学出版社,2014.8

(“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材·普通高等教育“十一五”国家级规划教材)

ISBN 978-7-03-041617-9

I. ①电… II. ①史… III. ①电工技术-高等学校-教材②电子技术-高等学校-教材 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 185220 号

责任编辑:余 江 / 责任校对:韩 杨

责任印制:阎 磊 / 封面设计:迷底书装

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>

保定市中西美凯印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 8 月第 一 版 开本:720×1000 B5

2014 年 8 月第 二 版 印张:25

2014 年 8 月第九次印刷 字数:490 000

定价:49.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

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。现任西北工业大学国家级“电工学精品课程”和国家级“电工学课程教学团队”负责人。兼任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。主讲本科生和研究生课程 10 余门。先后主持国家自然科学基金、省部级基金课题 10 余项,国家和省部级教学研究课题 10 余项。已培养博士、硕士研究生 90 多人。主编(著、译)出版教材和著作 20 余部。在国内外学术刊物和国际会议发表论文 300 余篇,其中被 SCI、EI、ISTP 收录 100 余篇,申请授权和受理国家发明专利 20 余项。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 10 余项、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

本教材是普通高等教育“十一五”国家级规划教材“电工学立体化教材”项目的成果之一,2012年又被遴选为“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。本书是电工学(少学时)教材,参考学时为60~80学时,也是根据电工学(少学时)课程的特点、作用 and 任务,以及编者多年从事电工学课程教学和教改的经验体会,在第一版的基础上不断总结提高和修订完善而成。

本次新修订指导原则是:强化基础性,精选课程的基础内容,叙述上既要简明扼要,又要符合学生认识规律,使学生通过基础内容的学习掌握基本理论、知识和技能,不断提高自学能力和创新意识,为后续课程学习和今后从事工程技术工作打好电工电子技术的理论基础;突出应用性,电工电子技术是一门实践性和应用性很强的技术基础课,教材不仅涉及知识面广,而且有着广阔的工程背景,化解难教、难学的被动教学局面,关键在于突出“应用”,使学生“学懂”和“会用”,教材内容的安排力求与工程实践紧密结合,通过教学使学生掌握所学知识的具体应用,提高学生分析和解决问题的能力;体现先进性,随着电工电子技术的快速发展,新知识、新技术和新器件不断涌现,教材内容必须不断更新,力求在结构体系上与教学要求相吻合,内容阐述上要体现一个“新”字,以新理论、新方法和新内容激励学生的学习兴趣,提高学生的科学思维 and 创新能力。

本书主要作以下修订:

(1) 结构体系上分电工技术、电子技术、电工电子应用技术三个模块,其中第三个模块主要章节有变压器和电动机、电气自动控制技术、电工电子 EDA 仿真技术和现代通信技术,可满足电工学少学时不同专业需求,根据要求灵活选择。

(2) 内容处理上进行了整合优化,如将单相、三相、非正弦周期交流电路和安全用电内容安排在“正弦交流电路”一章介绍;将继电接触器控制和 PLC 控制内容安排在“电气自动控制”一章介绍;又将反馈、正弦波振荡内容安排在“集成运算放大器”一章介绍等。使学生在了解反馈概念的同时,易于掌握正反馈、负反馈的分析判别和具体应用。

(3) 改写了“半导体器件”、“基本放大电路”、“集成运算放大器”、“门电路与组合逻辑电路”和“触发器与时序逻辑电路”等部分章节内容,如“双稳态触发器”一节中在分析基本 RS 触发器的四种逻辑状态后,其他触发器不再介绍各种状态的具体翻转情况,直接给出逻辑电路、符号、逻辑功能和状态表。将双稳态触发器视为逻辑器件介绍,使学生更加容易掌握触发器的性能和应用中的注意事项。

(4) 增加了电工电子相关内容具体应用举例,如在“门电路与组合逻辑电路”和“触

发器与时序逻辑电路”等章中分别编写了“应用举例”一节;“模拟量与数字量的转换”一章中简要介绍了“数据采集系统”;使学生了解所学内容在工程实践中的具体应用。

(5) 引入了部分新内容,以拓宽学生知识面。如开关稳压电路、数据采集系统、超声波电动机、电动机软启动、EDA 仿真和现代通信技术等。

(6) 补充了部分“练习与思考”和“习题”,删去部分偏难的习题和例题,补充部分应用性习题和例题。

(7) 依据国家标准统一了图形和文字符号。

(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。

在普通高等教育“十一五”国家级规划教材“电工学立体化教材”项目的支持下,完成与本教材配套的立体化教材有:

- (1) 《电工技术》(电工学Ⅰ)(第二版),史仪凯主编;
- (2) 《电子技术》(电工学Ⅱ)(第二版),史仪凯主编;
- (3) 《电工电子应用技术》(电工学Ⅲ)(第二版),史仪凯主编;
- (4) 《电工学(Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ)(第二版)学习指导》,史仪凯主编;
- (6) 《电工电子技术学习指导》,袁小庆主编;
- (7) 《电工技术网络课程》,史仪凯、袁小庆主编;
- (8) 《电子技术网络课程》,史仪凯、袁小庆主编;
- (9) 《电工电子应用技术网络课程》,李志宇、赵敏玲主编;
- (10) 《电工技术(第二版)》电子教案,史仪凯主编;
- (11) 《电子技术(第二版)》电子教案,向平主编;
- (12) 《电工电子应用技术(第二版)》电子教案,赵妮主编;
- (13) 《电工电子技术》电子教案,袁小庆主编;
- (14) 与电工学四部文字教材配套的作业集。

本书由西北工业大学史仪凯主编和统稿,袁小庆任副主编。其中第1章、第12章和第14章由史仪凯编写;第2章和第13章由赵妮编写;第3章和第6章由袁小庆编写;第4章由邓瑶编写;第5章由赵敏玲编写;第7章由刘雁编写;第8章由向平编写;第9章由卢健康编写;第10章由李志宇编写;第11章由王引卫编写;附录和部分习题解答由张华编写。

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;尤其是得到了教育部、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、同学和广大读者提出宝贵的批评意见。

史仪凯

2014年5月于西北工业大学

目 录

第二版前言

第 1 章 电路概念与分析方法	1
1.1 电路和电路模型	1
1.1.1 电路组成	1
1.1.2 电路模型	2
1.2 电流和电压的参考方向	2
1.2.1 电流参考方向	2
1.2.2 电压参考方向	3
1.2.3 电功率	3
1.3 无源电路元件	5
1.3.1 电阻元件	5
1.3.2 电感元件	6
1.3.3 电容元件	7
1.4 有源电路元件	8
1.4.1 独立电源	8
1.4.2 独立电源等效变换	11
1.4.3 受控电源	12
1.5 基尔霍夫定律	15
1.5.1 基尔霍夫电流定律	15
1.5.2 基尔霍夫电压定律	16
1.6 支路电流法	20
1.7 叠加原理	23
1.8 结点电压法	25
1.9 戴维南定理	27
1.10 电路中电位的计算	29
本章小结	31
习题	32
第 2 章 电路的暂态分析	35
2.1 换路定则和初始值的确定	35
2.1.1 换路定则	35
2.1.2 初始值确定	36

2.2	一阶电路暂态过程分析方法	38
2.2.1	经典法	38
2.2.2	三要素法	39
2.2.3	一阶电路暂态过程的三种响应	40
* 2.3	一阶电路的脉冲响应	46
2.3.1	微分电路	46
2.3.2	积分电路	48
	本章小结	48
	习题	49
第3章	正弦交流电路	52
3.1	正弦交流电压和电流	52
3.1.1	频率	52
3.1.2	有效值	53
3.1.3	初相位	53
3.1.4	正弦量的相量表示法	55
3.2	单一元件正弦交流电路	58
3.2.1	电阻元件交流电路	58
3.2.2	电感元件交流电路	60
3.2.3	电容元件交流电路	62
3.3	RLC 串联交流电路	64
3.3.1	电压和电流的关系	64
3.3.2	功率关系	67
3.4	阻抗串联和并联	69
3.4.1	阻抗串联	69
3.4.2	阻抗并联	69
3.5	电路中的谐振	71
3.5.1	串联谐振	71
3.5.2	并联谐振	73
3.6	功率因数的提高	74
3.6.1	提高功率因数的意义	74
3.6.2	提高功率因数的措施	75
3.7	三相正弦交流电路	76
3.7.1	三相电压	76
3.7.2	三相电路中负载连接	78
3.7.3	三相电路的功率	81
3.8	非正弦周期交流电路	83

3.9 安全用电常识	84
3.9.1 触电方式	84
3.9.2 触电防护	85
3.9.3 保护接地和接零	86
3.9.4 电气防火和防爆	87
本章小结	88
习题	89
第4章 半导体器件	93
4.1 半导体基础知识	93
4.1.1 本征半导体和掺杂半导体	93
4.1.2 PN结	94
4.2 半导体二极管	96
4.2.1 基本结构	96
4.2.2 伏安特性	96
4.2.3 主要参数	97
4.2.4 特殊二极管	98
4.3 晶体管	100
4.3.1 基本结构	100
4.3.2 放大作用	101
4.3.3 特性曲线	103
4.3.4 主要参数	105
4.4 绝缘栅场效应管	106
4.4.1 基本结构	106
4.4.2 工作原理	107
4.4.3 特性曲线	108
4.4.4 主要参数	109
本章小结	109
习题	110
第5章 基本放大电路	112
5.1 电压放大电路	112
5.1.1 电路组成和工作原理	112
5.1.2 静态分析	113
5.1.3 动态分析	115
5.1.4 静态工作点的稳定	120
5.2 射极输出器	122
5.2.1 静态分析	123

5.2.2	动态分析	123
5.2.3	射极输出器应用	125
* 5.3	场效应管放大电路	126
5.3.1	静态分析	127
5.3.2	动态分析	127
5.4	多级放大电路	129
5.4.1	级间耦合	129
5.4.2	分析计算	130
5.5	差分放大电路	132
5.5.1	静态分析	132
5.5.2	动态分析	133
5.5.3	输入和输出方式	136
5.6	功率放大电路	137
5.6.1	要求和特点	137
5.6.2	OCL 互补对称功率放大电路	138
5.6.3	OTL 互补对称功率放大电路	139
本章小结		140
习题		141
第 6 章	集成运算放大器	144
6.1	集成运算放大器简介	144
6.1.1	组成原理	144
6.1.2	主要参数	146
6.1.3	传输特性和分析方法	147
6.2	集成运算放大电路中的反馈	149
6.2.1	反馈基本概念	149
6.2.2	反馈类型和判断	151
6.2.3	具体负反馈电路分析	153
6.2.4	负反馈对放大电路性能影响	157
6.3	集成运算放大器线性应用	159
6.3.1	比例运算电路	159
6.3.2	加法和减法运算电路	161
6.3.3	积分和微分运算电路	163
6.4	集成运算放大器非线性应用	165
6.4.1	电压比较电路	165
6.4.2	矩形波产生电路	167
6.4.3	RC 正弦波振荡电路	168

6.5 运算放大器使用时应注意问题	171
6.5.1 选件和调零	171
6.5.2 消振和保护	172
本章小结	174
习题	174
第7章 直流稳压电源	178
7.1 不可控整流电路	178
7.2 滤波电路	180
7.3 稳压电路	182
7.3.1 简单稳压电路	182
7.3.2 集成稳压电路	183
7.3.3 开关稳压电路	185
7.4 可控整流电路	187
7.4.1 晶闸管	188
7.4.2 可控整流电路	190
本章小结	192
习题	192
第8章 门电路与组合逻辑电路	194
8.1 数字信号和数制	194
8.1.1 数字信号	194
8.1.2 数制	195
8.2 逻辑门电路	197
8.2.1 基本逻辑门电路	197
8.2.2 TTL 集成门电路	200
8.2.3 CMOS 集成门电路	203
8.3 组合逻辑电路分析和综合	204
8.3.1 逻辑代数基本定律	204
8.3.2 逻辑函数表示方法	206
8.3.3 逻辑函数化简	207
8.3.4 组合逻辑电路分析	208
8.3.5 组合逻辑电路综合	209
8.4 集成组合逻辑电路	210
8.4.1 加法器	210
8.4.2 编码器	211
8.4.3 译码器和数码显示	213
* 8.5 半导体存储器和可编程逻辑器件	217

8.5.1	只读存储器	217
8.5.2	可编程只读存储器	219
8.5.3	可编程逻辑阵列	220
8.5.4	可编程阵列逻辑	221
* 8.6	应用举例	221
8.6.1	产品判别电路	221
8.6.2	多路故障检测电路	222
8.6.3	公用照明延时开关电路	222
本章小结		223
习题		224
第9章 触发器与时序逻辑电路		227
9.1	双稳态触发器	227
9.1.1	RS 触发器	227
9.1.2	JK 触发器	230
9.1.3	D 触发器	231
9.2	寄存器	233
9.2.1	数码寄存器	233
9.2.2	移位寄存器	233
9.3	计数器	237
9.3.1	二进制计数器	237
9.3.2	十进制计数器	240
9.3.3	集成计数器	241
9.4	555 定时器与应用	244
9.4.1	555 定时器	244
9.4.2	555 定时器应用	246
* 9.5	应用举例	249
9.5.1	四人抢答电路	249
9.5.2	多路彩灯控制电路	250
本章小结		251
习题		252
*第10章 模拟量与数字量的转换		255
10.1	D/A 转换器	255
10.1.1	T 型电阻网络 DAC	255
10.1.2	倒 T 型电阻网络 DAC	257
10.1.3	集成电路 DAC	258
10.2	A/D 转换器	259

10.3 数据采集系统·····	262
10.3.1 多通道共享 S/H 和 A/D 系统 ·····	262
10.3.2 多通道共享 A/D 系统 ·····	263
10.3.3 多通道 A/D 系统 ·····	263
本章小结·····	264
习题·····	264
第 11 章 变压器与电动机 ·····	265
11.1 磁路·····	265
11.1.1 磁性材料的磁性能 ·····	265
11.1.2 磁路分析方法 ·····	267
11.2 变压器·····	270
11.2.1 变压器工作原理 ·····	270
11.2.2 变压器特性和额定参数 ·····	274
11.2.3 特殊变压器 ·····	277
11.3 三相异步电动机·····	279
11.3.1 结构和原理 ·····	279
11.3.2 电磁转矩和机械特性 ·····	284
11.3.3 使用 ·····	287
11.4 单相异步电动机·····	292
* 11.5 直流电动机 ·····	294
* 11.6 控制电动机 ·····	297
11.6.1 交流伺服电动机 ·····	297
11.6.2 步进电动机 ·····	299
* 11.7 超声波电动机 ·····	302
本章小结·····	304
习题·····	305
第 12 章 电气自动控制技术 ·····	308
12.1 常用控制电器·····	308
12.1.1 刀开关和熔断器 ·····	308
12.1.2 自动空气断路器 ·····	310
12.1.3 主令电器 ·····	310
12.1.4 交流接触器 ·····	312
12.1.5 热继电器 ·····	313
12.1.6 时间继电器 ·····	314
12.2 三相异步电动机基本控制电路·····	315
12.2.1 直接启停和点动控制 ·····	315

12.2.2	正反转和行程控制	318
12.2.3	时间和顺序控制	322
12.3	可编程序控制器	324
12.3.1	组成和原理	325
12.3.2	程序设计方法	329
12.4	可编程序控制器应用举例	333
12.4.1	三相异步电动机正反转控制	333
12.4.2	三相异步电动机 Y- Δ 启动控制	336
	本章小结	337
	习题	337
*第 13 章	电工电子 EDA 仿真技术	341
13.1	Multisim 10 主窗口和工具库	341
13.1.1	主窗口	341
13.1.2	元器件库	342
13.1.3	测试仪器	344
13.2	仿真电路的创建	347
13.2.1	界面设置	347
13.2.2	元器件操作和仪器调用	348
13.2.3	仪器的调用及连接	349
13.3	电路仿真分析	349
13.3.1	RC 电路仿真	350
13.3.2	电压比较电路仿真	351
13.3.3	集成计数器功能仿真	352
	本章小结	352
	习题	352
*第 14 章	现代通信技术	353
14.1	通信系统分类	353
14.2	光纤通信技术	358
14.3	卫星通信技术	361
14.3.1	卫星通信特点	361
14.3.2	卫星通信分类	362
14.3.3	卫星通信系统	363
14.4	移动通信技术	364
14.4.1	公用移动电话系统	365
14.4.2	无绳电话系统	366
14.4.3	专用移动通信系统	366

14. 4. 4 CDMA 367

14. 4. 5 3G 移动通信 368

本章小结..... 369

习题..... 369

部分习题答案..... 370

参考文献..... 377

附录 A 电阻器、电容器的标称系列值 378

附录 B 半导体器件型号命名方法 379

附录 C 半导体集成器件型号与命名 382

附录 D 常用半导体集成器件参数 383

附录 E TTL 门电路、触发器和计数器部分型号 384

第 1 章 电路概念与分析方法

电路元件和基本定律是电路分析计算的基础。本章首先讨论电路的组成和各量的参考方向;其次扼要介绍电路无源和有源元件,以及电路基本定律;最后重点介绍几种常用的电路分析方法,如支路电流法、结点电压法、叠加原理和戴维南定理等。

1.1 电路和电路模型

1.1.1 电路组成

电路就电流所通过的路径,由电气设备和电路元件按一定方式连接而成。按功能不同电路可分为许多种,但电路的结构主要由电源、负载和中间环节三部分组成,如图 1.1.1 所示。电源是提供电能的装置。电源可将其他形式的能量转换成电能,如电池是将化学能转换成电能,发电机是将水能、热能、机械能、原子能等转换成电能。负载是取用电能的用电设备。负载可将电能转换成其他形式的能量,如灯泡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等。中间环节是连接电源与负载的部分。中间环节包括输电线和开关,具有控制和保护电路等作用。

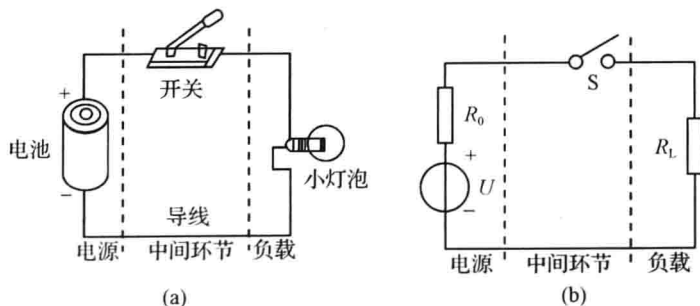


图 1.1.1 电路的组成和电路模型

(a) 电路组成; (b) 电路模型

根据实际电路的功能和作用,大致可将电路分为两大类。一类为电能的传输和转换,如发电、供电系统、电力拖动、电气照明等,通常也称这种电路为电力电路;另一类为信号的传输和处理,如各种电信号的产生、放大、整形、数字信号的运算和处理、存储等,通常也称这种电路为电子电路。

1.1.2 电路模型

实际电路是由几种电气装置或电路元件组成的,如发电机、变压器、电动机、电池,以及电阻、电感和电容等,这些电路元器件所表现出的电磁现象和能量转换特征较为复杂。例如,在图 1.1.1(a)所示的电池与小灯泡连接的电路中,接通电路时不仅会消耗电能(具有电阻性质),还会产生磁场(具有电感性质),若导线间存在分布电容,则还有电容性质。各种性质交织在一起,其表现程度也就不相同。因此,为研究电路的普遍规律,没有必要也不可能探讨一个个实际电路,为了对实际电路进行分析计算和数学描述,通常将实际元件理想化。由理想电路元件组成的电路称为电路模型,简称电路,如图 1.1.1(b)所示。值得注意的是,我们以后研究的电路都是指电路模型,而不是实际电路。

所谓的理想电路元器件,就是指在一定条件下突出主要的电磁性质,忽略次要因素,将实际的元件抽象为仅含有一种参数的电路元件。例如由导线绕制的线圈,在直流条件下,忽略其电感和分布电容,将其用电阻元件表征;在交流条件下,电路实际元件则用电阻元件和电感元件串联表征。

1.2 电流和电压的参考方向

无论电能的转换和传输,还是信号的传递和处理,都是通过电流、电压和电动势来实现的。在简单电路分析时,可根据电源极性较容易分析电路元件上电流和电压的实际方向。但是,当电路较为复杂时,往往很难判断电流的实际方向,尤其是较为复杂的交流电路。由于交流电路中电流和电压的实际方向随时间变化,难以在电路中标注。因此,引入了参考方向(也称正方向)的概念,这是分析和计算电路的基础。

1.2.1 电流参考方向

习惯上规定正电荷运动的方向或负电荷运动的相反方向为电流的实际方向。但在分析计算较为复杂的电路时,往往难以事先判定某一支路中电流的实际方向,故在分析和计算电路时,可任意选定某一方向作为电流的参考方向。所选电流的参考方向是任意假定的,并不一定与电流的实际方向一致。当电流的实际方向与所选定的参考方向一致时,则电流为正值($I > 0$),如图 1.2.1(a)所示;当电流的实际方向与所选定参考方向相反时,则电流为负值($I < 0$),如图 1.2.1(b)所示。图中实线代表电流的参考方向,虚线代表电流的实际方向。电流的参考方向也可以用箭头(“→”)表示。因此,分析和计算电路时,在参考方向选定后,电流的值才有正负之分。

电流的单位为安[培](A)、毫安(mA)和微安(μA)。 $1\text{mA} = 10^{-3}\text{A}$, $1\mu\text{A} = 10^{-6}\text{A}$ 。