



普通高等教育“十五”国家级规划教材

电工电子学

第二版

浙江大学电工电子基础教学中心电工学组 编

叶挺秀 张伯尧 主编



高等教育出版社

HIGHER EDUCATION PRESS



普通高等教育“十五”国家级规划教材

TM1-43
Z42-2

电工电子学

第二版

浙江大学电工电子基础教学中心电工学组 编

叶挺秀 张伯尧 主编



高等教育出版社

HIGHER EDUCATION PRESS

内容简介

本书是教育部“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”的研究成果,是面向 21 世纪课程教材和普通高等教育“十五”国家级规划教材。

本书将电工技术和电子技术相互贯通,对传统内容进行压缩,着重加强电子技术的应用及一些新技术的介绍,内容包括电路和电路元件、电路分析基础、分立元件基本电路、数字集成电路、集成运算放大器、波形产生和变换、测量和数据采集系统、功率电子电路、变压器和电动机、电气控制技术。

本书可作为高等学校非电类专业“电工学”课程的教材,也可供其他工科专业选用和社会读者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子学/叶挺秀,张伯尧主编;浙江大学电工电子基础教学中心电工学组编. —2 版. —北京:高等教育出版社,2004.7 (2005 重印)

ISBN 7-04-014521-9

I. 电... II. ①叶...②张...③浙... III. ①电工学—高等学校—教材②电子学—高等学校—教材 IV. ①TM1②TN01

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 046386 号

策划编辑 金春英 责任编辑 曲文利 封面设计 于文燕 责任绘图 朱 静
版式设计 胡志萍 责任校对 杨雪莲 责任印制 孔 源

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
经 销	北京蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
印 刷	北京铭成印刷有限公司		http://www.landaco.com.cn
开 本	787×960 1/16	版 次	1999 年 9 月第 1 版
印 张	27.25		2004 年 7 月第 2 版
字 数	510 000	印 次	2005 年 8 月第 2 次印刷
		定 价	31.10 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 14521-00

第一版前言

《电工电子学》是浙江大学电气技术与电工学教研室在近几年开展面向 21 世纪课程教学内容和课程体系改革的研究,进行教学改革和编写《电路和电子技术》、《电工学(I)(II)》、《应用电子学》等教材的基础上,为进一步适应高等学校非电类专业教学改革和当代科技发展的需要而编写的一本新教材。

本教材以原国家教育委员会高等教育司 1995 年颁布的高等学校工科本科基础课程“电工技术(电工学 I)课程教学基本要求”和“电子技术(电工学 II)课程教学基本要求”作为编写的基本依据。但是考虑到电子信息技术的迅速发展及其在非电类专业越来越广泛的应用,因此编写时对教材内容作了适当拓宽,在数字电子技术、电力电子技术、非电量电测技术、电气控制技术等方面增加了一些新的内容。教材内容在满足课程教学基本要求的前提下,对现有教学内容进行了精选,并注意加强知识的综合和系统的概念,力求保证基础、体现先进、加强应用,处理好基础性、先进性和应用性的关系。

目前国内高等学校工科非电类专业的电工学教材,多数分为《电工技术》和《电子技术》两册,电路、电机、模拟电子技术和数字电子技术的内容相对独立。作为一种探索,本教材将电路和电子技术、模拟电子技术和数字电子技术、电子技术和测量、控制等内容作适当交叉和结合,形成一个和现行教材有较大差别的内容体系,并合并为一册出版,定名为《电工电子学》。全书包括电路和电路元件、电路分析基础、分立元件基本电路、数字集成电路、集成运算放大器、波形产生和变换、测量和数据采集系统、功率电子电路、变压器和电动机、电气控制技术共 10 章。这个内容体系有以下一些特点:

(1) 电路和电子技术适当结合。在第 1 章电路元件中就介绍二极管、晶体管及它们的模型,于是在第 2 章中就可对含有这些元件的电路进行分析,为后面学习电子技术打下较好的基础。

(2) 适当加强数字电子技术,将模拟和数字电子技术的内容适当交叉。在第 3 章分立元件基本电路中既介绍基本放大电路,又介绍基本门电路。接着在第 4 章就讲述数字集成电路,并增加了可编程逻辑器件和半导体存储器等内容。在第 6、7 章中,则同时含有模拟和数字电子技术的内容。

(3) 加强知识的综合和应用系统的介绍。例如将测量和数据采集系统专门列为一章,从系统的基本组成出发,介绍了传感器、有源滤波、测量放大、模拟开关、取样保持、模数转换、数模转换等单元电路,最后给出非电量测量系

统的实例。在其他各章，也安排了一些带有综合性的应用实例。

(4) 适当反映近代电力电子技术的发展。增加了绝缘门极双极型晶体管、无源逆变、交流调压及变频、直流调压等内容，并将低频功率放大、直流稳压电源、半导体变流电路等内容安排为功率电子电路一章。

(5) 增加了电子控制方面的内容。在电气控制技术一章中增加了固态继电器、可编程序控制器、异步电动机的软起动及变频调速等，并将变压器、电动机及电气控制安排在电子技术之后，以便于对这些内容的介绍。

本教材力求概念准确、叙述清楚、篇幅适当，并有较丰富的例题和习题，以便于教与学。

本教材适用于“电工与电子技术（电工学）”课程 70~85 学时的讲课，加上实验，总学时为 100~120。当学时较少时可少讲或不讲拓宽的内容（超出课程教学基本要求的拓宽内容在节号或小节号前面标有 * 号）。各章讲课学时安排的建议如下（仅供参考）：

章 次	讲课学时
1. 电路和电路元件	7~8
2. 电路分析基础	12~13
3. 分立元件基本电路	6~7
4. 数字集成电路	11~13
5. 集成运算放大器	7~8
6. 波形产生和变换	4~5
7. 测量和数据采集系统	7~9
8. 功率电子电路	5~7
9. 变压器和电动机	5~7
10. 电气控制技术	6~8
合 计	70~85

由于本教材将电机和电气控制技术安排在最后，因此亦可用于“电路和电子技术”或“应用电子学”课程的教学。

本教材由浙江大学电气技术与电工学教研室组织编写，叶挺秀任主编，张伯尧任副主编。第 1 章由叶挺秀执笔，第 2、3 章由应群民执笔，第 4、8 章由贾爱民执笔，第 5 章和附录由张伯尧执笔，第 6、7 章由姜国均执笔，第 9、10 章由张兆祥执笔。教材编写时吸取了教研室很多教师在教学工作和教材编写中的好经验。

本教材由上海交通大学朱承高教授、清华大学王鸿明教授主审，上海交通大学孙月娥副教授、朱慧红副教授亦参加了部分审稿工作。他们以严谨的科学态度和高度负责的精神，认真地审阅书稿，提出了许多宝贵的修改意见，对保证和提高本教材的质量起了很好的作用。对他们的辛勤劳动和贡献，我们表示衷心的感谢。

本教材在编写过程中得到高等教育出版社胡淑华编审的许多帮助，得到浙江大学教务处、电机工程学系以及本教研室许多同志的关心与支持，在此向他们致以衷心的感谢。

由于编者的学识和水平有限，教材中必然存在不少缺点和疏漏，恳请使用本教材的教师、学生以及其他读者批评指正。

编 者

1999 年 1 月

第二版前言

《电工电子学》自 1999 年出版以来,已在国内不少高校使用,新的教材内容体系得到很多同行老师的关心和支持,有的老师还向我们反馈了使用效果及使用中发现的不足之处,使我们深受鼓舞与启发。

这次修订是在总结教材几年来使用情况的基础上进行的。考虑到第 1 版教材的内容体系与传统教材有较大差别,有些内容的安排处理仍有待于教学实践的检验或探索,故此次修订仍保留第 1 版的基本风格,章、节安排没有什么变化,修订的重点是对某些内容进行调整,有的加以精简或压缩,有的适当展开或补充,并对部分习题及例题加以调整,力求使教材更加好教好学。

和《电工电子学》配套使用的教材有:《电工电子学学习指导》(张伯尧、叶挺秀编,高等教育出版社 2002 年出版)、《电工电子学》CAI(杨振坤主编,高等教育出版社 2003 年出版)、《电工电子学实验》(张伯尧、贾爱民等编,浙江大学出版社 2004 年出版)。另外,《电工电子学(第二版)学习辅导与习题选解》将与本版教材同时出版。

本版教材由浙江大学电工电子基础教学中心电工学组组织编写,叶挺秀、张伯尧主编,各章的编者和第 1 版相同,电工学组的其他老师对教材修订提供了宝贵意见。

本版教材由上海交通大学朱承高教授主审,他仔细地审阅书稿,提出中肯意见,我们由衷感谢。

本版教材在修订过程中得到浙江大学教务部、电气工程学院以及电工电子基础教学中心有关领导和许多同志的关心与支持,在此表示衷心感谢。

对本版教材中存在的缺点和疏漏,恳请使用本教材的老师、同学及其他读者批评指正。

编 者

2004 年 1 月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

传 真：(010) 82086060

E - mail：dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010)58581118

目 录

第 1 章 电路和电路元件	1
1.1 电路和电路的基本物理量	1
1.1.1 电路	1
1.1.2 电路元件和电路模型	1
1.1.3 电流、电压及其参考方向	2
1.1.4 电路功率	4
1.2 电阻、电感和电容元件	5
1.2.1 电阻元件	5
1.2.2 电感元件	6
1.2.3 电容元件	7
1.2.4 实际元件的主要参数及电路模型	7
1.3 独立电源元件	9
1.3.1 电压源和电流源	9
1.3.2 实际电源的模型	10
1.4 二极管	12
1.4.1 PN 结及其单向导电性	12
1.4.2 二极管的特性和主要参数	14
1.4.3 二极管的电路模型	15
1.4.4 稳压二极管	17
1.5 双极晶体管	18
1.5.1 基本结构和电流放大作用	18
1.5.2 特性曲线和主要参数	20
1.5.3 简化的小信号模型	23
1.6 绝缘栅场效晶体管	25
1.6.1 基本结构和工作原理	25
1.6.2 特性曲线和主要参数	27
1.6.3 简化的小信号模型	29
习题	29
第 2 章 电路分析基础	34
2.1 基尔霍夫定律	34
2.1.1 基尔霍夫定律	34

2.1.2 支路电流法	36
2.2 叠加定理与等效电源定理	38
2.2.1 叠加定理	38
2.2.2 等效电源定理	40
2.3 正弦交流电路	44
2.3.1 正弦量的三要素	44
2.3.2 正弦量的相量表示法	46
2.3.3 电阻、电感、电容元件上电压与电流关系的相量形式	49
2.3.4 简单正弦交流电路的计算	52
2.3.5 交流电路的功率	57
2.3.6 RLC 电路中的谐振	60
2.4 三相交流电路	62
2.4.1 三相交流电源	62
2.4.2 三相电路的计算	64
2.5 非正弦交流电路	69
2.5.1 非正弦周期信号的分解	69
2.5.2 非正弦周期信号作用下线性电路的计算	70
2.6 一阶电路的瞬态分析	74
2.6.1 换路定律	74
2.6.2 RC 电路的瞬态分析	76
2.6.3 RL 电路的瞬态分析	83
习题	85
第3章 分立元件基本电路	95
3.1 共发射极放大电路	95
3.1.1 电路组成	95
3.1.2 静态分析	96
3.1.3 动态分析	98
3.1.4 静态工作点的稳定	104
3.1.5 频率特性	108
3.2 共集电极放大电路	110
* 3.3 共源极放大电路	114
3.3.1 静态分析	114
3.3.2 动态分析	115
3.4 分立元件组成的基本门电路	116
3.4.1 二极管与门电路	117
3.4.2 二极管或门电路	119

3.4.3 晶体管非门电路	120
习题	122
第4章 数字集成电路	128
4.1 逻辑代数运算规则	128
4.2 逻辑函数的表示和化简	130
4.2.1 逻辑函数的表示方法	130
4.2.2 逻辑函数的代数化简法	131
4.3 集成门电路	132
4.3.1 TTL 门电路	133
4.3.2 CMOS 门电路	137
4.4 组合逻辑电路	138
4.4.1 组合逻辑电路的分析和设计方法	139
4.4.2 加法器	140
4.4.3 编码器、译码器及数字显示	142
4.5 集成触发器	146
4.5.1 基本 RS 触发器	146
4.5.2 同步 RS 触发器和 D 锁存器	148
4.5.3 正边沿触发的 D 触发器	150
4.5.4 负边沿触发的 JK 触发器	150
4.6 时序逻辑电路	152
4.6.1 时序逻辑电路的分析方法	153
4.6.2 寄存器	154
4.6.3 计数器	157
* 4.7 半导体存储器	163
4.7.1 只读存储器 (ROM)	163
4.7.2 随机存取存储器 (RAM)	165
* 4.8 可编程逻辑器件 (PLD)	167
4.8.1 可编程只读存储器 (PROM)	167
4.8.2 可编程阵列逻辑 (PAL)	170
4.8.3 通用阵列逻辑 (GAL)	172
* 4.9 应用举例	173
4.9.1 9 位数字密码锁电路	173
4.9.2 带数字显示的七路抢答器	175
习题	177
第5章 集成运算放大器	186
5.1 集成运放的基本组成	186

5.1.1	概述	186
5.1.2	集成运放的输入级电路——差分放大电路	187
5.1.3	集成运放的输出级电路——互补对称电路	191
5.1.4	集成运放的工作原理和图形符号	191
5.2	集成运放的基本特性	192
5.2.1	集成运放的主要参数	192
5.2.2	集成运放的电压传输特性和电路模型	193
5.2.3	集成运放的理想特性	194
5.3	放大电路中的负反馈	195
5.3.1	反馈的基本概念	195
5.3.2	负反馈的四种类型	197
5.3.3	负反馈对放大电路性能的影响	199
5.4	集成运放在模拟信号运算方面的应用	202
5.4.1	比例运算电路	203
5.4.2	加、减运算电路	205
5.4.3	积分、微分运算电路	209
5.5	集成运放在幅值比较方面的应用	212
5.5.1	开环工作的比较器	212
*5.5.2	滞回比较器	214
*5.6	应用举例	216
习题		219
第6章	波形产生和变换	224
6.1	正弦波振荡电路	224
6.1.1	正弦波振荡电路的基本原理	224
6.1.2	RC 正弦波振荡电路	226
*6.1.3	LC 正弦波振荡电路	227
*6.1.4	石英晶体正弦波振荡电路	230
6.2	多谐振荡器	232
*6.2.1	用集成运放构成的多谐振荡器	232
6.2.2	用 555 集成定时器构成的多谐振荡器	234
6.3	单稳态触发器和施密特触发器	239
6.3.1	用 555 集成定时器构成的单稳态触发器	239
6.3.2	用 555 集成定时器构成的施密特触发器	242
习题		244
第7章	测量和数据采集系统	248
7.1	电量测量	248

7.1.1 常用电工测量仪表的分类	248
7.1.2 测量误差和仪表准确度	249
7.1.3 电流、电压和功率的测量	250
* 7.2 非电量电测法和数据采集系统的组成	252
7.2.1 非电量电测法	252
7.2.2 数据采集系统的组成	254
* 7.3 有源滤波和测量放大电路	255
7.3.1 有源滤波电路	255
7.3.2 测量放大电路	258
* 7.4 模拟开关和取样-保持电路	262
7.4.1 模拟开关	262
7.4.2 取样-保持 (S/H) 电路	265
7.5 数-模 (D/A) 转换器	268
7.5.1 T 型电阻 D/A 转换器	268
7.5.2 集成 D/A 转换器举例	269
7.6 模-数 (A/D) 转换器	271
7.6.1 逐次逼近型 A/D 转换器	272
* 7.6.2 双积分型 A/D 转换器	276
* 7.7 非电量测量系统举例	281
习题	286
第 8 章 功率电子电路	291
8.1 低频功率放大电路	291
8.1.1 概述	291
8.1.2 基本功率放大电路	293
8.1.3 集成功率放大器举例	296
8.2 直流稳压电源	298
8.2.1 单相桥式整流电路	298
8.2.2 滤波电路	300
8.2.3 串联型稳压电路	302
8.3 功率半导体器件和变流电路	306
8.3.1 晶闸管和绝缘门极双极晶体管	306
8.3.2 可控整流电路	310
* 8.3.3 交流调压和变频电路	312
* 8.3.4 直流调压电路	316
习题	318

第 9 章 变压器和电动机	322
9.1 磁路	322
9.1.1 铁磁材料的磁性能	322
9.1.2 简单磁路分析	324
9.2 变压器	326
9.2.1 变压器的用途和基本结构	326
9.2.2 变压器的工作原理	327
9.2.3 变压器的特性和额定值	331
*9.2.4 自耦变压器及仪用互感器	333
9.3 异步电动机	335
9.3.1 三相异步电动机的结构和工作原理	335
9.3.2 三相异步电动机的特性和额定值	341
9.3.3 三相异步电动机的使用	344
9.3.4 单相异步电动机	347
*9.4 直流电动机	349
*9.5 控制电机	353
9.5.1 步进电机	353
9.5.2 伺服电机	355
习题	357
第 10 章 电气控制技术	360
10.1 常用低压电器	360
10.1.1 刀开关和熔断器	360
10.1.2 自动开关	363
10.1.3 交流接触器	364
10.1.4 热继电器和时间继电器	366
10.1.5 按钮和行程开关	368
10.1.6 固态继电器	370
10.2 三相异步电动机继电-接触器控制电路	371
10.2.1 直接起动和正反转控制电路	371
10.2.2 时间控制和行程控制电路	373
*10.3 可编程控制器	375
10.3.1 可编程控制器的结构和工作原理	376
10.3.2 可编程控制器的基本指令和编程	381
10.3.3 可编程控制器应用举例	389
*10.4 异步电动机的电子控制	391

10.4.1	异步电动机的软起动	391
10.4.2	异步电动机的变频调速	393
10.5	安全用电	397
10.5.1	触电方式	397
10.5.2	保护接地和保护接零	398
10.5.3	电气防火和防爆	399
10.5.4	静电的防护	399
	习题	400
附录 A	电阻器和电容器的标称值	403
附录 B	半导体分立器件型号命名法	405
附录 C	部分半导体器件型号和参数	406
附录 D	半导体集成电路型号命名法	409
附录 E	部分半导体集成电路型号、参数和图形符号	410
附录 F	部分 Y 系列三相异步电动机的参数	413
	中英名词对照	414
	参考书目	419

第1章 电路和电路元件

电工和电子技术的应用离不开电路。电路由电路元件构成。本章介绍电路的基本概念和一些常用的电路元件,包括电阻元件、电感元件、电容元件、独立电源元件、二极管、双极晶体管和绝缘栅场效晶体管,介绍它们的基本特性和电路模型,为学习电路的分析方法及各种类型的电工电子电路打下必要的基础。

1.1 电路和电路的基本物理量

1.1.1 电路

电路是为了实现某种应用目的,将若干电工、电子器件或设备按一定的方式相互连接所组成的整体。例如常用的日光灯照明电路是由灯管、镇流器、启动器、开关和交流电源用导线相互连接而成的;收音机电路是用一定数量的晶体管(或集成电路器件)、电阻器、电感器、电容器、扬声器及直流电源等器件组成的。电路的基本特征是其中存在着电流的通路。由于电的应用很广泛,所以电路的具体形式是多种多样、千变万化的。

根据电路的作用,大体上可将电路分为两类。一类是用于实现电能的传输和转换。例如照明电路和动力电路分别将电能由电源传输至照明灯和电动机,并转换为光能和机械能。将电能转换为其他形式能量的元器件或设备统称为负载。因此这类电路必然包括电源、负载和连接导线三个基本组成部分,还常接有开关、测量仪表等。这类电路由于电压较高,电流和功率较大,习惯上常称为“强电”电路。另一类电路是用于进行电信号的传递和处理。以收音机电路为例,收音机的天线可以接收到从空中传来的载有声音信息的无线电波(这时天线相当于信号源),通过调节收音机中的可变电容器,就可以从天线所接收到的众多信号中选出一个需要的信号,再经过放大和处理,最后由扬声器将广播电台播出的声音信号重现出来。这类电路通常电压较低,电流和功率较小,习惯上也常称为“弱电”电路。

1.1.2 电路元件和电路模型

用于构成电路的电工、电子元器件或设备统称为实际电路元件,简称为实

实际元件。用实际元件构成的电路也称为实际电路。实际元件种类繁多，各具其特性和用途。

一个实际元件往往呈现多种物理性质。例如一个用导线绕成的线圈，不仅具有电感，而且具有电阻，线圈的匝与匝之间还存在分布电容。为了便于进行电路分析，常采用一些理想电路元件来表征实际元件的特性，称为实际元件的模型。理想电路元件（有时简称为电路元件）是对实际元件在一定条件下进行科学抽象而得到的，具有某种理想的电路特性。例如上述的线圈，如果忽略其电阻和电容，就成为理想电感元件。一个实际元件的性质，可以用一个理想元件或几个理想元件的组合来表示。根据与实际元件特性的近似程度，一个实际元件可以建立不同形式的模型。

将实际电路中的各种实际元件都由其相应的模型表示后，就构成实际电路的电路模型。也就是说，电路模型是由一些理想电路元件相互连接而构成的整体，是实际电路的一种等效表示，故有时也称为等效电路。建立电路模型给实际电路的分析带来很大方便，是研究电路问题的常用方法。

1.1.3 电流、电压及其参考方向

1. 电流及其参考方向

电路中带电粒子在电源作用下的有规则移动形成电流。金属导体中的带电粒子是自由电子，半导体中的带电粒子是自由电子和空穴，电解液中的带电粒子是正、负离子，因此电流既可以是负电荷，也可以是正电荷或者两者兼有的定向运动的结果。习惯上规定正电荷移动的方向为电流的实际方向。

电荷〔量〕对时间的变化率称为电流，即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.1.1)$$

式中，电荷 q 的单位为库〔仑〕(C)^①，时间 t 的单位为秒 (s)；电流 i 的单位为安〔培〕(A)。电流的单位有时也采用毫安 (mA)、微安 (μA) 或千安 (kA)， $1\text{ A} = 10^3\text{ mA} = 10^6\text{ }\mu\text{A} = 10^{-3}\text{ kA}$ 。

如果电流的大小和方向都不随时间变化，则称为直流电流 (direct current, 简称为 DC)，用大写字母 I 表示。如果电流的大小和方向都随时间变化，则称为交流电流 (alternating current, 简称为 AC)，用小写字母 i 表示。

在进行电路的分析计算时，为了列写与电流有关的表达式，必须预先假定电流的方向，称为电流的参考方向（也称为正方向），并在电路图中用箭头标出。如果电流的实际方向可以判定，通常就取其为参考方向；如果电流的实际

^① 方括号中的字，在不致引起混淆、误解的情况下，可以省略。圆括号中是单位的符号。下同。