



普通高等教育“十二五”规划教材
(电工电子课程群改革创新系列)

电 工 学 (多学时)

主 编 刘曼玲 姜 霞
副主编 张晓丽 吴显金
主 审 邹逢兴



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

普通高等教育“十二五”规划教材

电 工 学

(多学时)

主 编 刘曼玲 姜 霞

副主编 张晓丽 吴显金

主 审 邹逢兴



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书涵盖电工、模拟电子技术和数字电子技术,适用学时数在60~70学时左右(含实验)。全书共12章,主要内容包括电路的基本概念与元器件、电路的基本定律与定理、正弦交流电路的相量分析法、一阶电路的暂态分析、变压器、三相异步电动机与继电器控制系统、半导体器件、信号放大与运算电路、组合逻辑电路与时序逻辑电路的分析与设计。

本书侧重基础、化繁为简,基本概念与理论阐述清晰、通俗易懂,计算、分析、设计和应用实例与所学内容紧密相关。书内设有问题引导、思考与讨论、知识链接,在主要知识点的叙述后均附有小结。在知识链接中,增设了与教材内容相关的科学家、电学历史、最新成果、关联知识点的拓展等。书后附有部分习题参考答案,方便教师教学和学生课后自学。

本书可作为高等院校非电类专业电工与电子技术基础课程的教材,也可作为自学与相关工程技术人员参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电工学:多学时 / 刘曼玲,姜霞主编. — 北京:
中国水利水电出版社, 2014.8
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5170-2194-0

I. ①电… II. ①刘… ②姜… III. ①电工学—高等
学校—教材 IV. ①TM

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第136900号

策划编辑:雷顺加

责任编辑:宋俊娥

封面设计:李 佳

书 名	普通高等教育“十二五”规划教材 电工学(多学时)
作 者	主 编 刘曼玲 姜 霞 副主编 张晓丽 吴显金 主 审 邹逢兴
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@263.net (万水) sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 68367658 (发行部)、82562819 (万水) 北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	北京蓝空印刷厂
规 格	170mm×227mm 16开本 24.75印张 460千字
版 次	2014年8月第1版 2014年8月第1次印刷
印 数	0001—4000册
定 价	38.50元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换
版权所有·侵权必究

普通高等教育“十二五”规划教材

(电工电子课程群改革创新系列)

编审委员会名单

主 任：施荣华 罗桂娥

副主任：张静秋 宋学瑞

成 员：(按姓氏笔画排序)

王力为 刘子建 刘曼玲 吕向阳 寻小惠

吴显金 宋学瑞 张亚鸣 张晓丽 张静秋

李 飞 李力争 李中华 陈 宁 陈明义

陈革辉 罗 群 罗桂娥 罗瑞琼 姜 霞

胡燕瑜 彭卫韶 覃爱娜 谢平凡 赖旭芝

秘 书：雷 皓

主 审：邹逢兴

序

电能的开发及其广泛应用成为继蒸汽机的发明之后,近代史上第二次技术革命的核心内容。20世纪出现的大电力系统构成工业社会传输能量的大动脉,以电、磁、光为载体的信息与控制系统则组成了现代社会的神经网络。各种新兴电工电子材料的开发和应用丰富了现代材料科学的内容,它们既得益于电工电子技术的发展,又为电工电子技术的进步提供物质条件。

电工电子技术的迅猛发展和广泛应用,可以说“无所不用,无处不在”,日益渗透到其他科学领域,促进其发展,在我国现代化建设中具有重要的作用。电工电子技术成为每一名工科学生的必修课程。

为了满足高校不同专业的学生对电工电子技术知识和技能的不同要求,在共性和差异之间找到平衡点,经过多年的探索,中南大学电工电子教学与实验中心构建了一套“多类别模块化组合式”的电工电子系列课程体系。根据中南大学课程群建设的总体规划,并结合现代电工电子技术发展的趋势与当今电工电子的应用环境,我们与中国水利水电出版社合作出版电工电子系列教材。计划首次出版10本,包括理论教材和实践教材两类。

理论教材按照不同专业分4个层次共7本:

电气信息类:电路理论,模拟电子技术,数字电子技术;

机制能动类:电工技术,电子技术;

材料化工类:电工学(多学时);

工程管理类:电工学(少学时)。

实践教材按照不同教学环节共3本:

电路与电子技术实验教程;

电子技术课程设计教程;

电工电子实习教程。

本系列教材的特色可以归纳为以下几点:

1. 对于相同的教学内容,不同层次的理论教材中,教学深度、广度和表述方法不同,以期符合不同的教学要求,满足对不同专业学生的教学需要。

2. 注重基础知识的提炼与更新,注重工程性内容的引入,让学生既有扎实的理论基础,又能联系实际,培养学生的工程概念和能力。

3. 紧跟科技发展的步伐,注重教学内容的关联性和完整性。具体体现在降

低教学难度，注重介绍基本内容、基本方法和典型应用电路，尤其是集成电路的应用。

4. 引入仿真工具，对常用基本电路进行仿真分析，建立理论与实践沟通的桥梁。减少重要结论的推导和证明，将学生的注意力吸引到对电路结构的认识、元件参数的选择、性能指标的测试和实际制作上来。

目前我国高校的教育和教学模式还有赖于改革和完善，各专业的培养方案和课程建设也还在不断地探索中。本系列教材在满足本校教学要求的同时，也希望得到广大师生的批评、建议和鼓励。

中南大学电工电子课程群改革创新系列教材编委会

2013 年 12 月 18 日

前 言

电工学是高等院校非电类专业的一门技术基础课。通过本课程的学习,可使
学生熟悉电工、模拟电子技术和数字电子技术的基本概念、基本理论及应用与
发展,掌握与电学有关的分析与设计方法及其基本技能,为学好相关后续课程和
从事相关工程技术奠定比较坚实的基础。

为了解决电工学内容多与学时少的矛盾,根据电子技术发展快和不同专业对
电学的要求,该教材的重点放在重基础、重应用、重技能等方面,在保证便于教
学、培养能力与扩大信息的前提下,将内容、叙述、例题、习题、应用等化繁为
简,提高教材的实用性和趣味性。本书的主要特点有:

(1) 简化教材公式中的推导过程,减少例题和习题的计算量,侧重基本概念、
基本分析方法与设计方法。

(2) 为了提高学生的感性认识,对常用电工、电子元器件都配有实物图,并
对主要的器件和概念标注英文,方便学有余力的学生能方便地使用国外电子仿真
软件(Multisim 或 Proteus)与设计软件(Protel)。

(3) 书内设有问题引导、思考与讨论,帮助学生重视和理解所学课程的难点
之处;另主要知识点叙述后附有小结,使学生概念清晰,便于综合。

(4) 在知识链接中,增设了与教材内容相关的科学家、电学历史、最新成果
和关联知识点的拓展等,旨在符合学生的学习习惯和心理,提高教材的可读性和
信息量,激发学生的学习热情,明白做人的道理、知识与技能之间的联系。

(5) 在部分章节添加了辅修内容(自学),其知识点与本章紧密相关,教师
可根据教学课时的多少而灵活决定是否增删。

(6) 教材每章均附有与生活、生产相关的应用实例,注重低碳、环保和节能
理念的引入,提高学生的学习兴趣。

(7) 对于元器件和集成电路的介绍,主要侧重外部特性和使用方法,忽略学
生不容易理解和掌握的内部工作原理和结构。

本书共分 12 章。第 1 章为直流电路,主要介绍电路的组成与基本元件、电路
的基本定律与定理及其分析方法。第 2 章为正弦交流电路,介绍其基本概念、相
量法和相量图、功率计算和提高功率因素的方法。第 3 章为三相交流电路,介绍
三相电路的分析方法和三相交流电路功率的计算。第 4 章为一阶电路,阐述其基
本概念,重点讨论一阶 RC、RL 电路暂态过程和分析一阶电路暂态过程的三要素

法。第5章为变压器,阐述变压器的工作原理与特性,介绍其电压变换、电流变换、阻抗变换和一些特殊变压器的使用。第6章为电动机与电气自动控制,阐述三相异步电动机的结构、工作原理,介绍常用低压控制电器及其功能,侧重叙述三相异步电动机的控制线路及其应用。第7章为半导体二极管及其应用电路,阐述半导体二极管的基本结构、伏安特性、主要参数和分析方法,介绍由二极管等构成的直流稳压电源和各部分的工作原理。第8章为双极型晶体管及其放大电路,阐述晶体管的结构、类型、伏安特性、电流放大原理和主要参数,重点介绍由晶体管组成的共发射极与共集电极放大电路的静态与动态分析方法。第9章为集成运算放大器,阐述集成运放的性能指标与传输特性,重点介绍由集成运放构成的比例、加法、减法、积分和微分等运算电路,简述集成运放的非线性使用——电压比较器。第10章为组合逻辑电路,阐述逻辑运算与逻辑门、逻辑函数的表示方法与逻辑函数的化简,介绍常见中规模集成电路——加法器、编码器、译码器和数据选择器的工作原理和应用,讨论组合逻辑电路的分析与设计方法。第11章为时序逻辑电路,阐述时序逻辑电路中的基本RS、JK、D触发器和数码寄存器的逻辑功能,重点介绍集成计数器芯片实现任意进制计数器的方法。*第12章为数一模和模一数转换器,介绍D/A转换器与A/D转换器的工作原理与实际应用。章节前标*表示自学内容,以适应不同专业学生的需要。

本书由中南大学电工电子教学与实验中心组织编写,刘曼玲、姜霞任主编,张晓丽、吴显金任副主编。其中,张晓丽与吴显金负责第1~5章和第12章的编写,刘曼玲和姜霞负责第6~11章的编写,全书最后由刘曼玲统稿和定稿。

本书在编写过程中,得到了中南大学信息科学与工程学院领导的支持,得到了电工电子教学与实验中心各位老师的帮助与关心,特别是罗桂娥、宋学瑞、张静秋老师不辞辛劳多次讨论、审阅了本书书稿,并提出了许多宝贵的意见。张亚鸣、刘子建、谢平凡、罗瑞琼、罗群、李力争、李中华、胡燕瑜、张婵娟、寻小惠、彭卫韶、朱利香、王力为、吕向阳、余笛、韩玉玮、曹宏宇、牛英杰、姜锡等老师查看了书稿的目录和编写内容,提出了许多有益的建议,在此表示诚挚的谢意。最后要感谢本书全部参编老师的认真、努力与合作。

国防科技大学邹逢兴教授担任本书的主审,邹教授在百忙之中精心审阅了全部书稿,提出了许多宝贵意见,对完善和提高教材质量起到了重要作用,在此向邹教授表示深深的谢意。

由于编者水平有限,书中不妥和错误之处在所难免,殷切期望读者批评指正!

编者

2014年5月于中南大学

目 录

序

前言

第1章 直流电路	1
1.1 电路和电路模型	1
1.1.1 电路的组成及作用	1
1.1.2 电路模型	2
1.2 电路的基本物理量	2
1.2.1 电流及其参考方向	3
1.2.2 电压及其参考方向	4
1.2.3 电功率和能量	5
1.3 电路基本元件	7
1.3.1 电阻元件	8
1.3.2 电容元件	11
1.3.3 电感元件	13
1.3.4 理想电源元件	16
1.3.5 受控电源	20
1.4 电路的工作状态	22
1.4.1 通路状态	22
1.4.2 开路状态	24
1.4.3 短路状态	24
1.5 基尔霍夫定律	25
1.5.1 基尔霍夫电流定律	26
1.5.2 基尔霍夫电压定律	27
1.6 电阻电路的等效变换	28
1.6.1 电阻的串联及其等效	29
1.6.2 电阻的并联及其等效	30
1.7 支路电流法	33
1.8 结点电压法	35
1.9 叠加定理	38

1.10 戴维宁定理	40
1.11 应用实例: 惠斯登电桥测温电路	44
本章小结	45
习题一	47
第2章 正弦交流电路	52
2.1 正弦量的三要素	52
2.1.1 幅值与有效值	53
2.1.2 角频率	54
2.1.3 初相位	54
2.2 相量法	56
2.2.1 复数	57
2.2.2 正弦量的相量表示法	60
2.2.3 单一参数元件的相量模型	64
2.3 正弦交流电路的分析	68
2.3.1 阻抗	69
2.3.2 正弦交流电路的一般分析方法	70
2.4 正弦交流电路的功率	76
2.4.1 瞬时功率	76
2.4.2 平均功率	77
2.4.3 无功功率	78
2.4.4 视在功率	79
2.5 功率因数的提高	83
2.5.1 功率因数提高的意义	83
2.5.2 提高功率因数的方法	83
2.6 应用实例: 移相器电路	86
2.7 辅修内容	88
2.7.1 串联谐振电路	88
2.7.2 并联谐振电路	89
2.7.3 应用实例: 调谐电路	90
本章小结	91
习题二	92
第3章 三相交流电路	96
3.1 三相交流电源	96
3.1.1 三相电源	96

3.1.2	三相电源的星形连接	98
3.1.3	三相电源的三角形连接	99
3.2	三相电路分析	101
3.2.1	负载星形连接的三相电路分析	102
3.2.2	负载三角形连接的三相电路分析	105
3.3	三相交流电路的功率	107
3.3.1	不对称三相电路的功率	107
3.3.2	对称三相电路的功率	108
3.4	应用实例：三相电路有功功率的测量	110
3.5	辅修内容	110
3.5.1	安全用电	110
3.5.2	节约用电	116
本章小结		117
习题三		118
第4章	一阶电路	121
4.1	一阶电路概述	121
4.1.1	暂态过程的概念	121
4.1.2	换路定则及初始值	123
4.2	一阶电路的分析方法	127
4.2.1	一阶电路的暂态分析	127
4.2.2	一阶电路的三要素法	130
4.3	一阶电路的响应	134
4.3.1	一阶电路的零输入响应	134
4.3.2	一阶电路的零状态响应	137
4.3.3	一阶电路的全响应	139
4.4	微分电路与积分电路	142
4.4.1	微分电路	142
4.4.2	积分电路	143
4.5	应用实例	144
4.5.1	日光灯	144
4.5.2	照相闪光灯装置	144
本章小结		146
习题四		146
第5章	变压器	152

5.1 交流铁心线圈电路	152
5.2 变压器的种类、结构及额定值	154
5.3 变压器的工作原理	156
5.3.1 变压器的电压变换作用	156
5.3.2 变压器的电流变换作用	157
5.3.3 变压器的阻抗变换作用	159
5.4 特殊用途变压器	161
5.4.1 自耦变压器	161
5.4.2 仪用互感器	162
5.5 应用实例: 汽车点火电路	164
5.6 辅修内容: 变压器极性判别	164
本章小结	166
习题五	167
第6章 电动机与电气自动控制	168
6.1 三相异步电动机	168
6.1.1 三相异步电动机的结构	168
6.1.2 三相异步电动机的工作原理	171
6.1.3 三相异步电动机的铭牌数据	174
6.2 常用低压控制电器	176
6.2.1 开关	177
6.2.2 熔断器	179
6.2.3 热继电器	180
6.2.4 交流接触器和中间继电器	181
6.2.5 时间继电器	183
6.3 三相异步电动机的控制线路	184
6.3.1 直接起动控制线路	185
6.3.2 正反转控制线路	187
6.3.3 顺序控制线路	189
6.4 应用实例: 电动机 Y- Δ 降压起动控制电路	190
本章小结	192
习题六	193
第7章 半导体二极管及其应用电路	195
7.1 半导体二极管	195
7.1.1 半导体的导电特性	195

7.1.2	二极管的结构和类型	197
7.1.3	二极管的伏安特性	199
7.1.4	二极管的主要参数	201
7.1.5	二极管电路的分析	202
7.1.6	特殊二极管	204
7.2	直流稳压电源	208
7.2.1	整流电路	209
7.2.2	滤波电路	213
7.2.3	稳压电路	216
7.3	应用实例: 单电源转换成双电源电路	218
	本章小结	218
	习题七	219
第 8 章	双极型晶体管及其放大电路	225
8.1	晶体管	225
8.1.1	晶体管的结构与类型	225
8.1.2	晶体管的放大原理	226
8.1.3	晶体管的伏安特性	228
8.1.4	晶体管的主要参数	231
8.2	共发射极放大电路	233
8.2.1	共发射极放大电路的组成	233
8.2.2	共发射极放大电路的工作原理	234
8.2.3	共发射极放大电路的静态分析	236
8.2.4	共发射极放大电路的动态分析	237
8.3	共集电极放大电路	245
8.3.1	共集电极放大电路的静态分析	245
8.3.2	共集电极放大电路的动态分析	245
8.4	多级放大电路	248
8.4.1	阻容耦合	248
8.4.2	直接耦合	249
8.5	应用实例: 触摸延时照明开关电路	250
8.6	辅修内容	251
8.6.1	差分放大电路	251
8.6.2	功率放大电路	253
	本章小结	256

习题八	257
第9章 集成运算放大器	262
9.1 集成运算放大器概述	262
9.1.1 集成运放的组成	262
9.1.2 集成运放的主要性能指标	264
9.1.3 集成运放的传输特性	265
9.1.4 集成运放的反馈	268
9.2 基本运算放大电路	271
9.2.1 比例运算电路	271
9.2.2 加法运算电路	274
9.2.3 减法运算电路	275
9.2.4 积分运算电路	276
9.2.5 微分运算电路	278
9.3 电压比较器	279
9.3.1 单限电压比较器	279
9.3.2 滞回电压比较器	280
9.3.3 窗口电压比较器	281
9.4 应用实例: 简单运放混音器	282
9.5 辅修内容	283
9.5.1 自激振荡	283
9.5.2 RC 正弦波振荡器	284
本章小结	285
习题九	286
第10章 组合逻辑电路	290
10.1 逻辑运算与逻辑门	290
10.1.1 基本逻辑运算与逻辑门	290
10.1.2 复合逻辑运算与复合门	293
10.2 逻辑代数与逻辑函数的化简	295
10.2.1 逻辑代数的基本公式和常用公式	296
10.2.2 逻辑函数的表示方法	297
10.2.3 逻辑函数的化简	300
10.3 常用组合逻辑器件	301
10.3.1 加法器	302
10.3.2 编码器	304

10.3.3 译码器	306
10.3.4 数据选择器	311
10.4 组合逻辑电路的分析	315
10.5 组合逻辑电路的设计	317
10.6 应用实例: 皮带顺序控制电路	322
10.7 辅修内容	323
10.7.1 TTL 与 CMOS 集成逻辑门	323
10.7.2 集成逻辑门的使用注意事项	324
本章小结	324
习题十	325
第 11 章 时序逻辑电路	329
11.1 触发器	329
11.1.1 RS 触发器	329
11.1.2 边沿 JK 触发器	333
11.1.3 维持阻塞型 D 触发器	335
11.1.4 T 和 T' 触发器	337
11.2 寄存器	339
11.2.1 数码寄存器	339
11.2.2 锁存器与移位寄存器	341
11.3 计数器	344
11.3.1 二进制计数器	344
11.3.2 十进制计数器	348
11.3.3 任意进制计数器	349
11.4 应用实例: 数字钟	352
本章小结	353
习题十一	354
*第 12 章 数—模和模—数转换器	359
12.1 D/A 转换器	359
12.1.1 倒 T 形电阻网络 D/A 转换器	360
12.1.2 D/A 转换器的主要技术指标	361
12.2 A/D 转换器	362
12.2.1 采样和保持	362
12.2.2 量化与编码	363
12.2.3 逐次逼近型 A/D 转换器的工作原理	363

12.2.4 A/D 转换器的主要技术指标.....	364
12.3 应用实例：温度测量.....	365
本章小结.....	367
习题十二.....	368
部分习题参考答案.....	369
参考文献.....	378

第 1 章 直流电路



本章首先介绍电路模型、电压与电流的参考方向、电路的元器件及作用，然后阐述电路的基本定律——欧姆定律与基尔霍夫定律，最后介绍常用的电路分析方法：支路电流法、叠加定理和戴维宁定理。

1.1 电路和电路模型

从 19 世纪六、七十年代开始，出现了一系列电器发明。美国科学家富兰克林发现了“闪电就是电”和避雷针，1800 年意大利物理学家伏特发明了世界上第一块电池，揭开了人类利用电能的序幕。随着发电机和电动机的相继问世，电力开始用于带动机器，成为补充和取代蒸汽动力的新能源。电动机的发明，实现了电能和机械能的互换，随后，电灯、电车、电钻、电焊机等电气产品如雨后春笋般地涌现出来，人类跨入了一个“电气时代”。

电能主要来自其他形式能量的转换，包括水能、热能、风能、光能、生物能、原子能及化学能等，它能以有线或无线的形式作远距离传输并转换成其他所需的能量形式。自 20 世纪 80 年代以来，太阳能和风能作为可再生的绿色能源，在工业化国家得到了广泛的应用，在提倡低碳环保的今天，我国的太阳能和风能的利用率也在逐年提升。

1.1.1 电路的组成及作用

电路 (electric circuit) 指电流流通的路径，它是由某些电气设备和电路器件按一定方式组合而成的。根据电路的功能可将电路分为两大类：一是实现电能的传输和转换，如电力系统的输配电；二是实现信号的传递和处理，如手机信号的传送与通信。

电路一般由三个部分组成：电源、负载和中间环节。电源 (source) 是产生电能和信号的设备，它将其他形式的能量转换成电能；负载 (load) 是消耗电能的用电设备，它将电能转换成其他形式的能量；中间环节是电源与负载之间的连