



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电工学简明教程

第二版

秦曾煌 主编



高等教育出版社

HIGHER EDUCATION PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电工学简明教程

第二版

秦曾煌 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

内容提要

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,也是“高等教育百门精品课程教材建设计划”精品项目——“电工学教学解决方案”项目的成果之一,与该项目的主教材秦曾煌主编的《电工学》(第六版)配套。该项目于2005年荣获国家级教学成果二等奖。

本书是在第一版的基础上总结、提高、修订编写的,上篇(电工技术)是电路—电机(含电机控制)的知识体系,改写了部分章节,使电路基础理论和电机应用技术的脉络更加清晰。下篇(电子技术),是器件—电路—系统的知识体系,改写并调整了多处,增加了知识性和趣味性的应用实例与设计,有利于学生建立系统的概念,掌握电子技术的理论知识,增强实践能力。每章的习题分为“选择题”、“基本题”和“拓宽题”三个层次,极富灵活性,对教师选留作业和学生自学非常有利。

本次修订再版,凝聚了编者几十年丰富的教学经验和编写教材的深刻体会。

本书适用于高等学校非电类专业少学时电工学课程的教材,也适用于高职高专及成人高等教育的非电类专业。

图书在版编目(CIP)数据

电工学简明教程/秦曾煌主编.—2版.—北京:高等教育出版社,2007.6

ISBN 978-7-04-021722-3

I. 电… II. 秦… III. 电工学—高等学校—教材
IV. TM1

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第056229号

策划编辑 金春英 责任编辑 唐笑慧 封面设计 于文燕
责任绘图 黄建英 版式设计 余杨 责任校对 刘莉
责任印制 陈伟光

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 涿州市星河印刷有限公司

开 本 787×960 1/16
印 张 29.75
字 数 540 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landraco.com>
<http://www.landraco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>
版 次 2001年12月第1版
2007年6月第2版
印 次 2007年8月第3次印刷
定 价 33.90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 21722-00

第一版前言

本教材是参照教育部(前国家教育委员会)1995年颁发的“电工技术(电工学Ⅰ)”和“电子技术(电工学Ⅱ)”两门课程的教学基本要求编写的,并参照编者主编的《电工学》(第五版)作了精选、改写和补充。

本书可作为高等学校非电类专业少学时电工学课程的教材,也适用于高等职业教育、高等专科学校及成人高等教育的非电类专业。该课程总学时约为80学时,其中讲课约为60学时。

本书重点是电路、三相异步电动机、继电接触器控制与可编程控制器、模拟电子电路和数字电子电路。“工业企业供电”和“计算机网络与现代通信技术”两章作为基本知识,是工科大专学生应该了解的内容,不计学时,可让学生自学。“电工测量”一章可结合实验进行教学。打*号的章节,一般应视专业的需要、学时的多少和学生的实际水平可供教师选讲或学生参考之用。有些内容可在教师指点之下让学生通过自学掌握,不必全在课堂讲授;并建议多使用现代教学手段,以提高教学质量和效率。

本书第6章“可编程控制器”由姜三勇同志编写,第16章“计算机网络与现代通信技术”由沙学军同志编写。他们对本书的支持,作者深表谢意。

本书由哈尔滨工程大学张宝郁教授审阅,提出了宝贵意见和修改建议,在此表示衷心感谢。

由于编者能力有限,见解不多,本书有些内容难免不够妥善,甚至会有错误之处。希望读者,特别是使用本书的教师和同学积极提出批评和改进意见,以便今后修订提高。

编者

2001年5月

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,也是“高等教育百门精品课程教材建设计划”精品项目——“电工学教学解决方案”项目的成果之一,与该项目的主教材秦曾煌主编的《电工学》(第六版)配套。该项目于2005年荣获国家级教学成果二等奖。

本教材(第二版)是在第一版的基础上总结、提高、修订编写的,并在内容处理上参考《电工学》(第六版)作了精选、改写、调整和补充,更适应少学时的教学要求和非电专业的需要,力求内容具有基础性、应用性和先进性。

电工技术部分对少学时电工学课程比较成熟,修改不大。例如,改写了部分章节(如电路暂态分析),使之条理清晰、重点突出;删去了偏难的习题和例题;修改了一些图形符号和文字符号,使之合乎国家标准。

在电子技术部分作了以下修改:

(1)“二极管和晶体管”一章:简化PN结形成的分析;强调晶体管的放大、饱和与截止三种工作状态;增加光电器件;编入自动关灯电路、光电耦合开关电路和声光报警电路,体现“管”、“用”结合,让学生在在学习之初就能理解晶体的控制作用及其应用。

(2)“基本放大电路”一章:简化微变等效电路的分析,但保留图解法,它是一种教学性内容,通过它能清楚地表明放大电路中各个交流分量的传输、相位和失真等现象和概念;将差分放大电路和场效晶体管放大电路改为选讲。

(3)“运算放大器”一章:对负反馈一节作了一些修改和补充,使之更系统和完整;将有源滤波器改为选讲内容;习题中编入设计火灾报警器电路一题,以训练学生使用运算放大器的能力。

(4)加强了数字电路部分:着重修改了各种门电路和触发器逻辑状态的转换及其功能分析,使学生对这种基础内容能深入理解和掌握;增加了组合逻辑电路的设计;对加法器、寄存器和计数器集成电路作了清晰分析并注意其应用;改写了定时器部分内容,使更易于理解其工作原理;保留倒T形,删去T形电阻网络D/A转换器。

(5)删去“计算机网络与现代通信技术”一章,因在电工学教学基本要求中无此内容。

本书在内容处理上考虑了下列几个方面:

(1)既要保留传统的基础内容,又要引入新技术和新器件,正确处理“继承与更新”的关系。

(2) 为了灵活使用教材,将一部分章节改为选讲或参考,视专业需要和学时多少而取舍;为了适应非电专业的需要和电工电子技术的发展,删去了一些过时的和非非电专业的基础内容;为了便于自学,力求叙述条理清楚、思路明确、文字流畅,并对可比性内容(例如 JK 触发器 00、01、10、11 四种情况,电路暂态分析的 RC 和 RL 电路,单相与三相电路等)着重讲清一种,比较其异同,其余由学生举一反三自行分析;为了加大讲授信息量和提高教学效率,建议多使用电子教案。正确处理“内容多与学时少”的关系。

(3) 编写教材应富有启发性,“提出问题,解决问题,得出结论,举例应用”,让学生带着问题学,勤于思考,以提高学习积极性和兴趣。例如每小节后的【练习与思考】极富启发性、概念性、思考性和实用性。正确处理“教与学”的关系。

(4) 非电专业学习电工学重在应用,在内容处理上应理论联系实际,多介绍电机电器和各种元器件的正确使用以及一些实际应用知识,正确处理“学与用”的关系。

关于电子设计自动化(EDA)技术在电工学课程中的应用,建议将 EWB 或 Multisim 常用仿真软件的使用方法编入实验教材或在实验教学中介绍和使用。

习题分为选择题、基本题和拓宽题三类,以与试题库配合。

本书适用于总学时约为 80 学时的电工学课程,其中讲课约为 60 学时。

本书第 6 章“可编程控制器”由姜三勇教授编写修订,其余部分由主编编写修订。

本书由哈尔滨工业大学丁继盛教授审阅,审者提出了宝贵意见和修改建议,在此深表谢忱。

由于编者能力有限,见解不多,本书有些内容的处理难免不够妥善。希望读者,特别是使用本书的教师和学生们积极提出批评和改进意见,以便今后修订提高。

编者

2007 年 1 月

目 录

上篇 电工技术

第 1 章 电路及其分析方法	1
1.1 电路的作用与组成部分	1
1.2 电路模型	2
1.3 电压和电流的参考方向	3
1.4 电源有载工作、开路与短路	6
1.4.1 电源有载工作	6
1.4.2 电源开路	8
1.4.3 电源短路	8
1.5 基尔霍夫定律	11
1.5.1 基尔霍夫电流定律	11
1.5.2 基尔霍夫电压定律	12
1.6 电阻的串联与并联	15
1.6.1 电阻的串联	15
1.6.2 电阻的并联	16
1.7 支路电流法	19
1.8 叠加定理	21
1.9 电压源与电流源及其等效变换	23
1.9.1 电压源	23
1.9.2 电流源	24
1.9.3 电压源与电流源的等效变换	25
1.10 戴维宁定理	28
1.11 电路中电位的计算	31
1.12 电路的暂态分析	33
1.12.1 电阻元件、电感元件和电容元件	33
1.12.2 储能元件和换路定则	35
1.12.3 RC 电路的暂态分析	36
1.12.4 RL 电路的暂态分析	40
习题	42
第 2 章 正弦交流电路	51

2.1 正弦电压与电流	51
2.1.1 频率与周期	51
2.1.2 幅值与有效值	52
2.1.3 初相位	54
2.2 正弦量的相量表示法	56
2.3 单一参数的交流电路	58
2.3.1 电阻元件的交流电路	58
2.3.2 电感元件的交流电路	60
2.3.3 电容元件的交流电路	63
2.4 电阻、电感与电容元件串联的交流电路	66
2.5 阻抗的串联与并联	71
2.5.1 阻抗的串联	71
2.5.2 阻抗的并联	72
2.6 电路中的谐振	75
2.6.1 串联谐振	76
2.6.2 并联谐振	77
2.7 功率因数的提高	79
2.8 三相电路	82
2.8.1 三相电压	82
2.8.2 三相电路中负载的连接方法	85
2.8.3 三相功率	90
2.9 非正弦周期电压和电流	91
习题	94
第3章 磁路和变压器	103
3.1 磁路及其分析方法	103
3.1.1 磁场的基本物理量	103
3.1.2 磁性材料的磁性能	105
3.1.3 磁路的分析方法	106
3.2 交流铁心线圈电路	107
3.3 变压器	109
3.3.1 变压器的工作原理	109
3.3.2 变压器的外特性	115
3.3.3 变压器的损耗与效率	116
3.3.4 特殊变压器	116
3.3.5 变压器绕组的极性	118
3.4 电磁铁	120
习题	122

第4章 电动机	126
4.1 三相异步电动机的构造	126
4.2 三相异步电动机的工作原理	128
4.2.1 旋转磁场	128
4.2.2 电动机的转动原理	131
4.2.3 转差率	131
4.3 三相异步电动机的电路分析	132
4.3.1 定子电路	132
4.3.2 转子电路	133
4.4 三相异步电动机的转矩与机械特性	135
4.4.1 转矩公式	135
4.4.2 机械特性曲线	135
4.5 三相异步电动机的起动	138
4.5.1 起动性能	138
4.5.2 起动方法	139
4.6 三相异步电动机的调速	143
4.6.1 变频调速	143
4.6.2 变极调速	144
4.6.3 变转差率调速	145
*4.7 三相异步电动机的制动	145
4.7.1 能耗制动	145
4.7.2 反接制动	146
4.8 三相异步电动机的铭牌数据	146
4.9 单相异步电动机	150
4.9.1 电容分相式异步电动机	150
4.9.2 罩极式异步电动机	151
*4.10 直流电动机	152
*4.11 控制电机	154
4.11.1 伺服电动机	154
4.11.2 步进电机	157
习题	160
第5章 继电接触器控制系统	164
5.1 常用控制电器	164
5.1.1 组合开关	164
5.1.2 按钮	165
5.1.3 交流接触器	165
5.1.4 中间继电器	166

5.1.5 热继电器	166
5.1.6 熔断器	167
5.1.7 低压断路器	168
5.2 笼型电动机直接起动的控制线路	169
5.3 笼型电动机正反转的控制线路	172
5.4 行程控制	173
5.5 时间控制	174
* 5.6 应用举例	177
5.6.1 加热炉自动上料控制线路	177
5.6.2 C620-1型普通车床控制线路	178
习题	180
第6章 可编程控制器	184
6.1 可编程控制器的结构和工作方式	184
6.1.1 可编程控制器的结构及各部分的作用	184
6.1.2 可编程控制器的工作方式	186
6.1.3 可编程控制器的主要技术性能	187
6.2 可编程控制器的程序编制	188
6.2.1 可编程控制器的编程语言	188
6.2.2 可编程控制器的编程原则和方法	190
6.2.3 可编程控制器的指令系统	194
* 6.3 应用举例	207
6.3.1 三相异步电动机Y- Δ 换接起动控制	207
6.3.2 加热炉自动上料控制	208
习题	210
第7章 工业企业供电与安全用电	215
7.1 发电、输电概述	215
7.2 工业企业配电	217
7.3 安全用电	218
7.3.1 电流对人体的危害	218
7.3.2 触电方式	219
7.3.3 接地和接零	220
7.4 节约用电	222
习题	222
第8章 电工测量	224
8.1 电工测量仪表的分类	224
8.2 电工测量仪表的型式	227

8.2.1 磁电式仪表	227
8.2.2 电磁式仪表	229
8.2.3 电动式仪表	230
8.3 电流的测量	231
8.4 电压的测量	233
8.5 万用表	234
8.5.1 磁电式万用表	234
8.5.2 数字式万用表	236
8.6 功率的测量	237
8.6.1 单相交流和直流功率的测量	238
8.6.2 三相功率的测量	238
8.7 兆欧表	240
习题	241

下篇 电子技术

第9章 二极管和晶体管	245
9.1 半导体的导电特性	245
9.1.1 本征半导体	245
9.1.2 N型半导体和P型半导体	246
9.1.3 PN结及其单向导电性	246
9.2 二极管	247
9.2.1 基本结构	247
9.2.2 伏安特性	247
9.2.3 主要参数	249
9.3 稳压二极管	250
9.4 晶体管	252
9.4.1 基本结构	252
9.4.2 电流分配和放大原理	254
9.4.3 特性曲线	255
9.4.4 主要参数	258
9.5 光电器件	260
9.5.1 发光二极管	260
9.5.2 光电二极管	261
9.5.3 光电晶体管	262
习题	263
第10章 基本放大电路	269

10.1 共发射极放大电路的组成	269
10.2 共发射极放大电路的分析	270
10.2.1 静态分析	271
10.2.2 动态分析	272
10.3 静态工作点的稳定	279
10.4 射极输出器	282
10.4.1 静态分析	282
10.4.2 动态分析	282
* 10.5 差分放大电路	285
10.5.1 静态分析	285
10.5.2 动态分析	287
10.6 互补对称功率放大电路	290
10.6.1 对功率放大电路的基本要求	290
10.6.2 互补对称放大电路	291
10.7 场效晶体管及其放大电路	292
10.7.1 绝缘栅场效晶体管	293
* 10.7.2 场效晶体管放大电路	296
习题	298
第 11 章 运算放大器	303
11.1 运算放大器的简单介绍	303
11.1.1 运算放大器的组成	303
11.1.2 主要参数	305
11.1.3 理想运算放大器及其分析依据	306
11.2 放大电路中的负反馈	308
11.2.1 反馈的基本概念	308
11.2.2 负反馈与正反馈的判别	309
11.2.3 负反馈的类型	309
11.2.4 负反馈对放大电路工作性能的影响	313
* 11.2.5 分立元件放大电路中的负反馈	316
11.3 运算放大器在信号运算方面的应用	317
11.3.1 比例运算	317
11.3.2 加法运算	320
11.3.3 减法运算	321
11.3.4 积分运算	322
11.3.5 微分运算	322
11.4 运算放大器在信号处理方面的应用	323
* 11.4.1 有源滤波器	324

11.4.2 电压比较器	326
11.5 运算放大器在波形产生方面的应用	329
11.5.1 RC 正弦波振荡电路	329
* 11.5.2 矩形波发生器	331
11.6 使用运算放大器应注意的几个问题	332
11.6.1 选用元件	332
11.6.2 消振	332
11.6.3 调零	332
11.6.4 保护	333
11.6.5 扩大输出电流	333
习题	334
第 12 章 直流稳压电源	342
12.1 整流电路	342
12.2 滤波器	345
12.2.1 电容滤波器(<i>C</i> 滤波器)	345
12.2.2 电感电容滤波器(<i>LC</i> 滤波器)	346
12.3 直流稳压电源	347
12.3.1 稳压二极管稳压电路	347
12.3.2 集成稳压电源	348
* 12.4 晶闸管和可控整流电路	351
12.4.1 晶闸管	351
12.4.2 可控整流电路	353
习题	355
第 13 章 门电路和组合逻辑电路	360
13.1 基本门电路及其组合	360
13.1.1 逻辑门电路的基本概念	360
13.1.2 分立元件基本逻辑门电路	362
13.1.3 基本逻辑门电路的组合	365
13.2 TTL 门电路	368
13.2.1 TTL 与非门电路	368
13.2.2 TTL 三态输出与非门电路	369
13.3 CMOS 门电路	372
13.3.1 CMOS 非门电路	372
13.3.2 CMOS 与非门电路	373
13.3.3 CMOS 或非门电路	373
13.4 组合逻辑电路的分析和设计	374
13.4.1 逻辑代数	374

13.4.2	组合逻辑电路的分析	377
13.4.3	组合逻辑电路的设计	378
13.5	加法器	380
13.5.1	半加器	381
13.5.2	全加器	381
13.6	编码器	383
13.6.1	二-十进制编码器	383
*13.6.2	优先编码器	385
13.7	译码器和数字显示	386
13.7.1	二进制译码器	386
13.7.2	二-十进制显示译码器	388
*13.8	半导体存储器和可编程逻辑器件	391
13.8.1	只读存储器的基本结构和工作原理	391
13.8.2	可编程只读存储器	394
13.8.3	可编程阵列逻辑	395
*13.9	应用举例	396
13.9.1	故障报警器	396
13.9.2	水位检测电路	396
	习题	398
第14章	触发器和时序逻辑电路	406
14.1	双稳态触发器	406
14.1.1	RS 触发器	406
14.1.2	JK 触发器	410
14.1.3	D 触发器	411
14.2	寄存器	413
14.2.1	数码寄存器	413
14.2.2	移位寄存器	413
14.3	计数器	415
14.3.1	二进制计数器	415
14.3.2	十进制计数器	417
14.4	由 555 定时器组成的单稳态触发器和无稳态触发器	422
14.4.1	555 定时器	422
14.4.2	由 555 定时器组成的单稳态触发器	424
14.4.3	由 555 定时器组成的多谐振荡器	425
*14.5	应用举例	426
14.5.1	数字钟	426
14.5.2	四人抢答电路	428

习题.....	429
第 15 章 模拟量和数字量的转换	438
15.1 数 - 模转换器	438
15.2 模 - 数转换器	441
习题.....	444
附录	445
附录 A 半导体分立器件型号命名方法	445
附录 B 半导体集成器件型号命名方法	446
附录 C 电阻器标称阻值系列	447
部分习题答案	448
参考文献	457

上篇 电工技术

第1章 电路及其分析方法

电路是电工技术和电子技术的基础。

本章首先讨论电路的基本概念和基本定律,如电路模型、电压和电流的参考方向、基尔霍夫定律、电源的工作状态以及电路中电位的概念及计算等。这些内容都是分析与计算电路的基础。

其次将扼要地讨论几种常用的电路分析方法,如支路电流法、叠加定理、电压源模型与电流源模型的等效变换和戴维宁定理等。

最后提出电路暂态的概念,介绍用经典法来分析电路的暂态过程。

1.1 电路的作用与组成部分

电路是电流的通路,它是为了某种需要由某些电工设备或元件按一定方式组合起来的。

电路的结构形式和所能完成的任务是多种多样的,最典型的例子是电力系统,其电路示意图如图 1.1.1(a)所示。它的作用是实现电能的传输和转换,其中包括电源、负载和中间环节三个组成部分。

发电机是电源,是产生电能的设备。它可以把热能、水能或核能转换为电能。电池也是常用的电源。

电灯、电动机、电炉等都是负载,是取用电能的设备,它们分别把电能转换为光能、机械能、热能等。

变压器和输电线是中间环节,是连接电源和负载的部分,它起传输和分配电能的作用。

电路的另一种作用是传递和处理信号,常见的例子如扩音机,其电路示意图如图 1.1.1(b)所示。先由话筒把语言或音乐(通常称为信息)转换为相应的电压和电流,它们就是电信号。而后通过电路传递到扬声器,把电信号还原为语言或音乐。由于由话筒输出的电信号比较微弱,不足以推动扬声器发音,因此中间

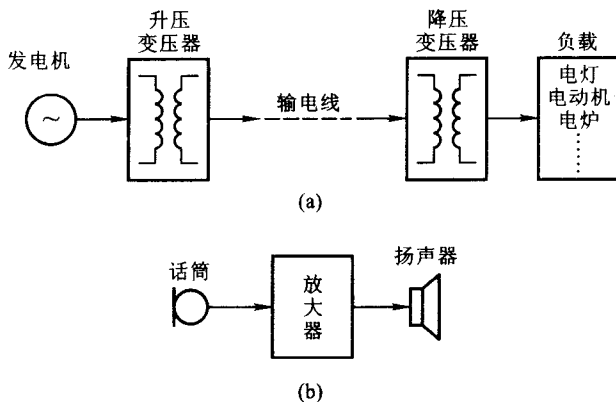


图 1.1.1 电路示意图

(a) 电力系统; (b) 扩音机

还要用放大器来放大。信号的这种转换和放大,称为信号的处理。

在图 1.1.1(b)中,话筒是输出信号的设备,称为信号源,相当于电源,但与上述的发电机、电池这种电源不同,信号源输出的电信号(电压和电流)的变化规律是取决于所加的信息的。扬声器是接收和转换信号的设备,也就是负载。

信号传递和处理的例子是很多的,如收音机和电视机,它们的接收天线(信号源)把载有音乐、语言、图像信息的电磁波接收后转换为相应的电信号,而后通过电路把信号传递和处理(调谐、变频、检波、放大等),送到扬声器和显像管(负载),还原为原始信息。

无论电能的传输和转换,或者信号的传递和处理,其中电源或信号源的电压或电流称为激励,它推动电路工作;激励在电路各部分产生的电压和电流称为响应。所谓电路分析,就是在已知电路结构和元件参数的条件下,讨论电路激励与响应之间的关系。

1.2 电路模型

实际电路都是由一些按需要起不同作用的实际电路元件或器件所组成,诸如发电机、变压器、电动机、电池、晶体管以及各种电阻器和电容器等,它们的电磁性质较为复杂。最简单的例如一个白炽灯,它除具有消耗电能的性质(电阻性)外,当通有电流时还会产生磁场,就是它还具有电感性。但电感微小,可忽略不计,于是可认为白炽灯是一电阻元件。

为了便于对实际电路进行分析和用数学描述,将实际元件理想化(或称模