



高等学校精品规划教材

电工电子技术简明教程

马宏忠 李东新 编

DIANGONG DIANZI JISHU JIANMING JIAOCHENG



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

高等学校精品规划教材

电工电子技术简明教程

马宏忠 李东新 编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

全书共 18 章, 主要有: 电路基本概念与基本定律、电路的分析方法、正弦交流电路、三相交流电路、电路的过渡过程、变压器、电动机、电气控制、电气设备、电工测量与仪表、安全用电与节约用电、半导体二极管和三极管、基本放大电路、集成运算放大器及应用、电源电路、组合逻辑电路、时序逻辑电路、模拟量与数字量的转换等内容。各章前有提要, 章后有小结及习题, 书末附有部分习题答案。

本书可作为高等学校非电类本科生的教材, 也可作为大专及成人教育的教材或参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

电工电子技术简明教程/马宏忠, 李东新编. —北京:
中国水利水电出版社, 2005
高等学校精品规划教材
ISBN 7-5084-2883-8

I. 电... II. ①马... ②李... III. ①电工技术—高等学校—教材②电子技术—高等学校—教材
IV. TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 050417 号

书 名	高等学校精品规划教材 电工电子技术简明教程
作 者	马宏忠 李东新 编
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales @ waterpub.com.cn 电话: (010) 63202206 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 21.75 印张 516 千字
版 次	2005 年 8 月第 1 版 2005 年 8 月第 1 次印刷
印 数	0001—5000 册
定 价	34.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

序

电工电子技术是工科各专业的基础课程，随着电类学科的发展和科学技术的进步，电工电子技术已经在科学研究和工程实践的各个领域得到广泛的应用。高等院校的很多专业均开设电工学类课程。除工科类专业外，理科类专业，甚至管理类专业、金融类专业、师范类专业等也纷纷开设电工学类课程。因此，迫切需要概念清楚、实用性强、与工程实际联系密切、并能反映电工技术新发展的电工电子简明教材。

目前，国内高校工科非电类专业的电工教材多数分为《电工技术》和《电子技术》两册，电路、电机和电子技术内容相对独立。马宏忠教授、李东新副教授主编的这本电工电子技术简明教程适应技术和社会的发展需求。在新体系下，教材编写着重基本概念，并力求结合工程应用，各章的展开均以此为出发点，同时依据这一原则来处理各章节内容及相互间的关系。本书吸取国内外部分教材的优点，将电路、电机、测量与仪表、控制、模拟电子技术、数字电子技术等方面的基本内容结合在一起，并作适当简化，合并成一本简明教材。

本书内容丰富、信息量大，并注意妥善处理传统内容与新知识、新技术之间的关系，删去了一些不必要的低起点的重复内容和相对陈旧的知识，较大幅度地压缩了电子器件及集成电路内部导电机理以及分立元件电路等的分析计算，同时增加了理论和应用技术方面的新内容，拓宽了本教材的适用面。

本书内容深入浅出，通俗易懂，对高等学校工科非电类各专业不失为一本概念清楚且工程应用性强的好教材。高校理科类及其他学科类也可采用或部分采用本书作为教材或教学参考书。

清华大学电机工程及应用电子技术系 王祥珩

2005年4月于清华园

前 言

本书是根据教育部最新制定的“电工技术（电工学Ⅰ）”和“电子技术（电工学Ⅱ）”课程教学基本要求组织编写的，主要面向高等学校本科非电类各专业学生。在编写时吸取了一些兄弟大学及本校的许多优秀教师的教学经验。本教材主要特点如下：

(1) 在内容选取上能尽可能地反映国内外电工电子领域的最新成果与学科发展前沿。考虑学时的限制和非电专业的特点，在增加一些新内容的同时，压缩或删除一些应用越来越少的内容。如增加可编程控制器，删除直流电机方面的内容。

(2) 对基本概念、基本定理、基本分析方法均作了比较详细的阐述，并辅以例题和习题加深对电工电子技术中重要内容的理解。

(3) 因为选用本教材的专业的后续课程中，电气工程类课程很少，因此，本书注意实用性，尽可能多地阐述电工电子的实用知识，而压缩理论太强的专业内容。

(4) 本书每章前有提要，章后有小结；全书配有典型例题分析和经过精心选择的习题，并附有部分习题答案，对学习巩固提高、拓宽思路大有好处，也有利于学生自主学习能力和实践、创新精神的培养。

全书共 18 章，包括电工技术和电子技术两大部分。电工技术的主要内容有直流电路、交流电路、变压器、电动机、电工测量技术、电工仪表、低压电器和安全用电等内容。电子技术主要有基本电子元件、基本放大器、稳压器、电力电子技术、组合逻辑电路、时序逻辑电路、模拟量与数字量的转换等内容。

本书参考学时为 48~72 学时，各章讲课学时安排建议如下（供参考）：

- | | |
|----------------|---------|
| 1. 电路基本概念与基本定律 | 3~4 学时。 |
| 2. 电路的分析方法 | 4~5 学时。 |
| 3. 正弦交流电路 | 5~6 学时。 |
| 4. 三相交流电路 | 2~4 学时。 |
| 5. 电路的过渡过程 | 2~4 学时。 |
| 6. 变压器 | 4~5 学时。 |
| 7. 电动机 | 4~6 学时。 |
| 8. 电气控制 | 2~3 学时。 |
| 9. 电气设备 | 2~3 学时。 |
| 10. 电工测量与仪表 | 2 学时。 |
| 11. 安全用电与节约用电 | 2 学时。 |
| 12. 半导体二极管和三极管 | 3~4 学时。 |
| 13. 基本放大电路 | 4~5 学时。 |

- | | |
|----------------|---------|
| 14. 集成运算放大器及应用 | 4~5 学时。 |
| 15. 电源电路 | 2~3 学时。 |
| 16. 组合逻辑电路 | 4~5 学时。 |
| 17. 时序逻辑电路 | 3~4 学时。 |
| 18. 模拟量与数字量的转换 | 2 学时。 |

书中打星号的内容为选讲内容，可根据专业不同和学时多少决定取舍。

本书第 1 章~第 11 章由河海大学工程学院马宏忠执笔，第 12 章~第 18 章由李东新执笔，全书由马宏忠统稿。在编写过程中，李玉芬、谢卫芳等做了大量的文字校对以及插图整理等工作。

本教材由清华大学王祥珩教授主审，他以严谨的科学态度和高度负责的精神，认真地审阅了全部书稿，并提出了许多宝贵意见，对提高本教材的质量起了重要作用。本教材的编写还得到了中国水利水电出版社王春学主任的大力支持与帮助，在此对他们的辛勤劳动表示感谢。

由于编者的水平有限，教材中一定存在不少缺点和不足，恳请读者给予批评指正。

作者

2005 年 4 月

目 录

序
前言

第 1 章 电路基本概念与基本定律	1
1.1 电路的作用与组成	1
1.1.1 电路的作用	1
1.1.2 电路的组成	2
1.1.3 理想电路	2
1.2 电路中的参考方向	2
1.2.1 电流的参考方向	2
1.2.2 电压与电势的参考方向	3
1.2.3 关联方向	3
1.3 欧姆定律与电阻元件	3
1.4 开路、短路和通路	5
1.4.1 通路 (有载状态)	5
1.4.2 开路状态	6
1.4.3 短路状态	7
1.5 理想电源	7
1.5.1 理想电压源	7
1.5.2 理想电流源	8
1.5.3 电压源与电流源的等效变换	8
1.6 受控电源	10
1.7 基尔霍夫定律	10
1.7.1 基尔霍夫电流定律	11
1.7.2 基尔霍夫电压定律	12
1.8 电路中电位的概念及计算	13
小结	14
习题	15
第 2 章 电路的分析方法	19
2.1 简单电阻电路的等效变换	19
2.1.1 电阻的串联	19
2.1.2 电阻的并联	20

2.1.3 电阻的混联	21
2.2 电阻星形、三角形连接的等效变换	23
2.3 支路电流法	25
2.4 节点电压法	27
2.5 叠加原理	29
2.6 等效电源定理 (戴维南定理与诺顿定理)	31
2.6.1 戴维南定理	32
2.6.2 诺顿定理	33
* 2.7 非线性电阻	33
小结	35
习题	36
第3章 正弦交流电路	41
3.1 正弦交流电的基本概念	41
3.1.1 频率与周期	42
3.1.2 交流电幅值和有效值	42
3.1.3 相位、初相位和相位差	43
3.2 正弦交流电的表示法	44
3.3 电感元件与电容元件	47
3.3.1 电感元件	47
3.3.2 电容元件	49
3.4 纯电阻、纯电感、纯电容单相正弦交流电路	50
3.4.1 纯电阻交流电路	50
3.4.2 纯电感交流电路	52
3.4.3 纯电容交流电路	53
3.5 RLC 串联交流电路	55
3.5.1 电压、电流关系	55
3.5.2 RLC 串联电路的功率	57
3.5.3 复阻抗的串联	59
3.6 并联交流电路	61
3.7 正弦电路的功率因数	62
* 3.8 交流电路中的谐振	64
3.8.1 串联谐振	65
3.8.2 并联谐振	66
小结	68
习题	69
第4章 三相交流电路	74
4.1 三相交流电源	74

4.1.1	三相正弦交流电的产生	74
4.1.2	三相电源的连接	75
4.2	三相负载的连接	76
4.2.1	三相负载的星形连接	77
4.2.2	三相负载的三角形连接	80
4.3	三相功率	82
	小结	83
	习题	84
第 5 章	电路的过渡过程	87
5.1	稳态与暂态	87
5.2	换路定律与电流电压的初值	88
5.3	一阶 RC 电路的过渡过程	90
5.3.1	一阶 RC 电路过渡过程的微分方程和三要素公式	90
5.3.2	一阶 RC 电路过渡过程的分析	93
5.4	RC 微分电路和积分电路	96
5.4.1	微分电路	97
5.4.2	积分电路	98
5.5	一阶 RL 电路的过渡过程	99
5.5.1	一阶 RL 电路的零状态响应	99
5.5.2	一阶 RL 电路的零输入响应	101
	小结	104
	习题	104
第 6 章	变压器	108
6.1	磁路	108
6.1.1	磁场的基本物理量	108
*6.1.2	磁性物质的磁性能	109
6.1.3	磁路欧姆定律	110
6.1.4	磁路与电路对照	111
6.2	铁心线圈电路	112
6.2.1	直流铁心线圈电路	112
6.2.2	交流铁心线圈电路	112
6.3	变压器分类与结构	114
6.3.1	变压器的类别	115
6.3.2	变压器的基本构造	115
6.4	变压器的工作原理	116
6.4.1	变压器空载运行	116
6.4.2	变压器的负载运行	117

6.5	变压器的外特性及技术参数	120
6.5.1	变压器的外特性和电压调整率	120
6.5.2	变压器的效率	120
6.5.3	变压器的技术数据	121
6.6	三相变压器与自耦变压器	122
6.6.1	三相变压器	122
6.6.2	自耦变压器	122
6.7	互感器	123
6.7.1	电流互感器	123
6.7.2	电压互感器	124
	小结	124
	习题	125
第7章	电动机	127
7.1	三相异步电动机的基本结构	127
7.1.1	定子	127
7.1.2	转子	128
7.2	三相异步电动机的工作原理	129
7.2.1	异步电动机的模型	129
7.2.2	旋转磁场	130
7.2.3	电动机的转动原理	133
7.2.4	转差率	133
7.2.5	功率关系	134
7.3	三相异步电动机的机械特性	135
7.3.1	电磁转矩表达式	135
7.3.2	固有特性	135
7.3.3	人为特性	138
7.4	三相异步电动机的起动	139
7.4.1	鼠笼式电动机的起动	139
7.4.2	绕线式异步电动机的起动	142
7.5	三相异步电动机的调速	143
7.5.1	变频调速 (改变电源频率 f_1)	143
7.5.2	变极调速	143
7.5.3	改变转差率调速	144
7.6	三相异步电动机的额定值与选择	144
7.6.1	三相异步电动机的额定值	144
7.6.2	三相异步电动机的选择	145
7.7	单相异步电动机	147
7.7.1	脉振磁场	147

7.7.2	工作原理	147
7.7.3	起动方法	148
7.8	同步电动机	148
	小结	149
	习题	150
第8章	电气控制	154
8.1	常用低压控制电器	154
8.1.1	开关电器与熔断器	154
8.1.2	主令电器	157
8.1.3	执行电器	158
8.2	三相异步电动机直接起动—停止控制电路	161
8.2.1	三相异步电动机点动控制电路	163
8.2.2	三相异步电动机直接起动—停止控制电路	163
8.3	三相异步电动机正、反转控制电路	164
8.4	顺序控制	165
8.5	时间控制异步电动机星—三角起动控制电路	166
8.6	行程控制	167
* 8.7	可编程序控制器 (PLC) 简介	168
8.7.1	PLC 的组成	169
8.7.2	PLC 的工作方式	170
8.7.3	PLC 的梯形图及基本指令	170
8.7.4	应用实例	173
	小结	175
	习题	175
第9章	电气设备	177
9.1	电力系统的概述	177
9.1.1	电力系统的构成	177
9.1.2	各种发电厂简介	178
9.1.3	电力网	179
9.1.4	用户与用电负荷分级	181
9.1.5	电力系统的电压等级	181
9.2	发电厂变电所的主电气设备	182
9.2.1	发电厂、变电所的主要电气设备	182
9.2.2	断路器	183
9.2.3	隔离开关	187
9.2.4	高压熔断器	188
	小结	189

习题	190
第 10 章 电工测量与仪表	191
10.1 电工仪表的基本知识	191
10.1.1 电工仪表的分类	191
10.1.2 准确度	191
10.1.3 对电工指示仪表的主要技术要求	192
10.2 常用电工仪表的结构形式、工作原理、特点和主要用途	193
10.2.1 磁电系(永磁动圈式)仪表	193
10.2.2 电磁系测量机构	194
10.2.3 电动式仪表	196
10.2.4 感应式仪表	196
10.2.5 静电式仪表	197
10.2.6 流比计(比率计)	198
10.3 电流、电压的测量	198
10.3.1 电流的测量	198
10.3.2 电压的测量	199
* 10.3.3 特殊电流电压的测量	199
10.4 功率表、功率的测量	201
10.4.1 单相交流功率和直流功率的测量	201
10.4.2 三相功率的测量	201
10.5 兆欧表	203
10.5.1 兆欧表的结构原理	203
10.5.2 兆欧表的正确使用	204
10.6 钳形电流表	204
10.6.1 结构原理	205
10.6.2 使用方法	205
10.7 万用表	205
10.7.1 磁电式万用表(指针万用表)	206
10.7.2 数字式万用表	207
10.8 用电桥测量电阻、电容与电感	208
10.8.1 直流电桥	208
10.8.2 交流电桥	208
小结	210
习题	210
第 11 章 安全用电与节约用电	213
11.1 安全用电	213
11.1.1 电流对人体的作用	213

11.1.2	触电方式	213
11.2	触电急救与防护措施	214
11.2.1	触电急救	214
11.2.2	防护措施	215
11.2.3	漏电保护器	215
11.3	接地和接零	215
11.4	节约用电	218
	小结	219
	习题	219
第 12 章	半导体二极管和三极管	220
12.1	半导体的基本知识	220
12.1.1	本征半导体	220
12.1.2	杂质半导体	220
12.1.3	PN 结	221
12.2	半导体二极管	222
12.2.1	结构	222
12.2.2	伏安特性	222
12.2.3	主要参数	223
12.3	稳压二极管	224
12.4	半导体三极管	225
12.4.1	基本结构	225
12.4.2	电流的分配及放大作用	225
12.4.3	伏安特性曲线	227
12.4.4	主要参数	228
	小结	229
	习题	230
第 13 章	基本放大电路	233
13.1	放大电路的工作原理	233
13.2	放大电路的静态分析	235
13.2.1	静态工作点的确定	235
13.2.2	截止失真和饱和失真	236
13.3	放大电路的动态分析	237
13.3.1	放大电路的主要性能指标	237
13.3.2	放大电路的微变等效电路	238
13.3.3	分压偏置共射放大电路	240
13.4	射极输出器	242
13.4.1	电路的静态分析	242

13.4.2	电路的动态分析	242
13.5	多级放大电路	243
13.6	差动放大电路	244
13.6.1	工作原理	244
13.6.2	输入和输出形式	246
13.7	功率放大电路	247
13.7.1	乙类互补对称功率放大电路	248
13.7.2	甲乙类互补对称功率放大电路	248
小结	249
习题	250
第 14 章	集成运算放大器及应用	252
14.1	集成运算放大器简介	252
14.1.1	集成运算放大器的组成	252
14.1.2	电压传输特性	253
14.1.3	理想运算放大器	254
14.2	基本运算电路	255
14.2.1	比例运算电路	255
14.2.2	加减法运算电路	256
14.2.3	积分微分运算电路	257
14.3	正弦波振荡电路	259
14.3.1	正弦波振荡的基本原理	259
14.3.2	起振条件	260
14.3.3	选频网络	260
14.4	电压比较器	261
14.4.1	基本电压比较器	261
14.4.2	滞回电压比较器	262
小结	262
习题	263
第 15 章	电源电路	266
15.1	直流稳压电源	266
15.1.1	单相桥式整流电路	266
15.1.2	电容滤波电路	267
15.1.3	串联型稳压电路	268
15.1.4	集成稳压电路	269
15.2	变流电子电路	271
15.2.1	晶闸管	271
15.2.2	可控整流电路	273

小结	274
习题	275
第 16 章 组合逻辑电路	277
16.1 基本逻辑代数运算	277
16.1.1 逻辑代数基本运算规则	277
16.1.2 逻辑函数的表示和化简	278
16.2 逻辑门电路	279
16.2.1 与门电路	279
16.2.2 或门电路	280
16.2.3 非门电路	280
16.2.4 其他常用门电路	281
16.3 组合逻辑电路的分析	284
16.4 组合逻辑电路的设计	285
16.4.1 加法器	285
16.4.2 编码器	287
16.4.3 译码器	289
16.5 应用举例	291
16.5.1 故障报警电路	291
16.5.2 两地控制一灯的电路	291
小结	292
习题	293
第 17 章 时序逻辑电路	296
17.1 双稳态触发器	296
17.1.1 基本 RS 触发器	296
17.1.2 同步 RS 触发器	297
17.1.3 主从 JK 触发器	300
17.1.4 D 触发器	302
17.1.5 T 触发器	303
17.2 计数器	304
17.2.1 二进制计数器	304
17.2.2 十进制计数器	306
17.3 寄存器	307
17.3.1 数码寄存器	307
17.3.2 移位寄存器	308
小结	310
习题	310
第 18 章 模拟量与数字量的转换	313

18.1 D/A 转换器	313
18.2 A/D 转换器	315
18.3 数字电路的应用举例	316
18.3.1 常见的 D/A 与 A/D 转换器应用系统举例	317
18.3.2 数字钟	317
小结	318
习题	318
部分习题参考答案	319
电工常用中英文词汇	325
参考文献	331

第 1 章 电路基本概念与基本定律

本章主要讨论电路模型、电压和电流的参考方向、基尔霍夫定律、电路中的基本元件、简单的电阻电路等方面的问题。这些内容都是分析与计算电路的基础。有些内容虽然在物理课中讲过，但是为了加强理论的系统性和满足电工技术的需要，仍列入本章中，以便使读者对这些内容的理解能进一步巩固和加深。

基尔霍夫定律是电路的基本定律，包括电流定律与电压定律，它与简单电阻电路的计算一样是分析与计算电路的基础，也是本章的重点内容。

1.1 电路的作用与组成

1.1.1 电路的作用

为了某种需要由某些电气设备或器件按一定方式连接组合起来，构成电流的通路，这种通路称为电路。

图 1-1-1 (a) 所示为一个常用的手电筒的实际电路，它由一个电源（干电池）、一个负载（小灯泡）、三根连接导线及一个开关构成，其电路模型如图 1-1-1 (b) 所示，干电池用电压源 U_s 和电阻元件 R_s 的串联组合来表示，电阻元件 R 表示小灯泡，而连接导线在电路模型中用相应的理想导线或线段来表示，其电阻为 0。

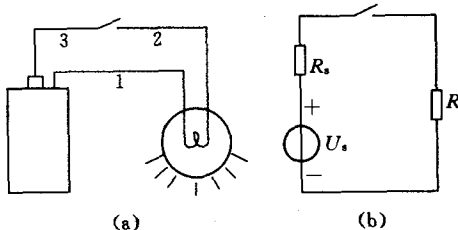


图 1-1-1 手电筒电路与电路模型

(a) 手电筒实际电路；(b) 手电筒电路模型

实际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 1-1-2 所示。它的作用是实现电能的传输和转换，这类电路一般电压较高，电流和功率较大，习惯上常称为“强电”电路。对这类电路最关心的是损耗小，效率高。

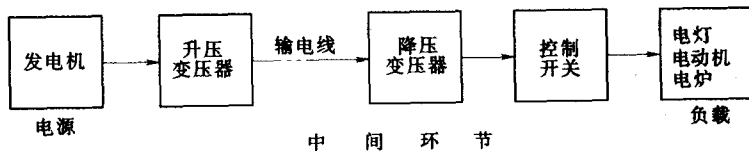


图 1-1-2 电力系统示意图

在电子线路和非电量测量中，会遇到另一类以传递信号为主要目的的电路，如图 1-1-3 话筒经放大器到扬声器的电路。这类电路通常电压较低，电流和功率较小，习惯上