

高等学校教材

电工学基本教程

第三版 上册
孙骆生 主编

Fundamental Course of

ELECTRICAL

ENGINEERING



高等教育出版社

内容简介

本书适用于高等院校、大专院校、高职、成人教育的非电类各专业。本书第一版 1987 年获国家教委优秀教材一等奖, 第二版 1999 年获国家教育部科技进步三等奖。第三版仍保持前两版的特色, 阐述问题比较充分, 有根有据, 深入浅出, 便于自学, 同时字数、内容限制在中等学时篇幅。上册(电工技术)共分 11 章, 主要内容包括: 电路的基本知识和基本定律、电路常用的分析方法、交流电路、三相交流电路和安全用电、电路的暂态分析、磁路和变压器、交流电动机、直流电动机、继电-接触器控制、可编程控制器、电工测量。

图书在版编目(CIP)数据

电工学基本教程. 上/孙骆生主编. —3 版. —北京: 高等教育出版社, 2003.7

ISBN 7-04-010662-9

I. 电... II. 孙... III. 电工学-教材 IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 024141 号

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 010-82028899

购书热线 010-64054588
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所
印 刷 河北新华印刷一厂

开 本 787×960 1/16
印 张 20.25
字 数 370 000

版 次 1984 年 7 月第 1 版
2003 年 7 月第 3 版
印 次 2003 年 7 月第 1 次印刷
定 价 23.40 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

第三版前言

本书第三版是按照教育部 1995 年颁发的《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,在第二版的基础上,总结教学和教改经验,进行全面修订和改编。主要的改进和更新如下:

1. 保持中等学时电工学基本教材的性质和篇幅,保持本书原有的特色,适当加强电工和电子电路基本分析能力的培养(如含受控源、含反馈电路的分析)和增加新技术(如可编程控制器、可编程逻辑器件、电力电子技术)及其应用的介绍,以适应科学技术发展和社会主义建设的需要。

2. 贯彻“少而精”原则,分“章”、扩“节”[全书从 15 章改编为 19 章,每章的节数减少,每一节(含小节)的内容较为完整和相对独立]。编好书后的“索引”,便于教师选讲、学生选学,以适应不同院校、不同专业(含文、经、管、商)、不同学时进行“模块化”教学的需求。

3. 根据 1996 年编写出版《电工学基本教程学习辅导》使用情况和经验,将每章习题前的“本章小结”改为习题后的“问题简答”,像辅导答疑时那样同读者“对话”,选讲课程的基本问题和较难的思考题与较典型的习题的答案,澄清常见的模糊概念,把“传道”、“授业”和“解惑”结合起来,让同学在学习负担不致过重的情况下把“基本要求”规定的知识和能力真正学到手。讲述的内容及问题根据各章具体情况安排。

4. 精选内容,理论联系实际,力求问题讲解充分到位,文字简明,结论有根有据,让同学感到具体、实在、不“玄”,便于自学;让教师感到好用。

5. 按国家标准的规定,修改订正全书的文字符号和图形符号。

本书第三版的章节划分和具体内容安排详见目录,其中标有“△”号的非共同性基本内容和标有“*”号的选讲内容是对高校本科非电类工程专业中等学时电工学课程而言的,不同院校,不同性质专业,按各自需要选讲。

本版教材由清华大学王鸿明教授审稿,他认真负责、逐章、逐节、逐句、详尽细致地审阅了书稿,提出了许多宝贵意见和修正、修改建议,在此表示衷心感谢。

本书第十章“可编程控制器”由陈岩同志编写;第十九章中“可编程逻辑器件”由张宏建同志编写。

多年教学和教材工作中,深感自己知识面不宽,精力有限,书中肯定有疏

漏、不妥乃至错误之处，恳切希望使用本书的教师、同学和读者提出批评和建议，以便继续改进。

孙骆生于北京工商大学

2003年1月27日

第二版前言

本书第二版是按照下述要求进行改写和修订的。

1. 符合高等学校工科电工学课程指导小组 1986 年制订、国家教育委员会批准的《高等工业学校电工技术(电工学 I)课程教学基本要求》和《高等工业学校电子技术(电工学 II)课程教学基本要求》的规定。书中内容能覆盖这两门课程的教学基本要求。

2. 保持原 120 学时类型电工学基本教材的性质, 精选内容、在篇幅和份量上能适用于上述两门课程按所规定的下限学时($55 + 55 = 110$ 学时)进行教学。

3. 保持本书第一版的特色, 继续在讲清基本概念、基本理论、基本分析方法、尽量联系实际应用、着重培养能力和便于自学上面下功夫。根据我院和外校在使用本书第一版过程中发现的问题和所提意见, 修改第一版中存在的缺点和不足之处。

4. 采用国家标准中规定的文字符号和图形符号。

这样, 书中就增补了一些内容, 如: 数字电子电路、电工测量、非线性电阻电路等; 还改变了一些内容的讲述系统和侧重点, 如: “交流放大电路”和“直流放大电路”两章改为“晶体管基本放大电路”和“集成运算放大器及其应用”(内含负反馈的系统讲解), 用零状态响应, 零输入响应和全响应讲解瞬变过程等; 相应的, 也删去和精简不少内容。例题、思考题、习题作了增补和删改。

本书仍由原主审北京航空航天大学(原北京航空学院)罗中仙教授和李郁芬教授负责审稿, 他们对本书修订稿进行了认真仔细的审阅, 逐章逐节提出了许多宝贵的修改意见, 在此对这两位老师和其他使用过或看过本书第一版并提出修改意见的老师们一并致以衷心的感谢!

我在进行全书的增补、改写和修订的工作中, 深感电工学课程涉及的面实在太宽, 各个部分的理论、应用和发展现状, 很难在短时间内一一搞清楚, 因此书中肯定存在不少不妥之处, 恳切希望使用本书的教师和同学以及其他读者提出批评和意见, 以便修改。

孙骆生于北京轻工业学院

1989 年 11 月

第一版前言

本书是根据 1980 年 6 月在成都召开的高等学校工科电工教材编审委员会扩大会议审订、教育部批准的高等工业学校 120 学时类型《电工学教学大纲(草案)》(四年制非电专业试用)编写的,经过电工教材编审委员会电工学教材编审小组评选,作为 120 学时类型电工学课程的基本教材。

本书分上、下两册。第一、四、五、十、十二章由北京轻工业学院孙骆生编写,第二、三章,第六、七、九、十三章,第八、十一章分别由东北工学院汤肇善、邹笃镭、裴新才编写,由孙骆生担任主编。

全书初稿经主审单位北京航空学院罗中仙、耿长柏、李郁芬三位同志审阅,并在电工学编审小组主持召开的西安评选会议上,按照 1980 年审订的 120 学时电工学教学大纲(草案)和 1982 年 11 月在南宁召开的电工学教学大纲讨论会提出的高等工业学校 120 学时《电工学教学大纲(草案)补充说明》的要求进行了认真的讨论,提出了修改意见,经编者修改、主编定稿后,最后由主审单位进行了复审。

参加本书审稿会的还有西安交通大学的袁旦庆、沙烽等同志。

审稿会上提出的修改意见,对于保证基本教材的质量十分宝贵,我们在此表示衷心感谢。

按照编审小组和审稿会的意见和要求,本书在编写和修改中,注意了加强基本概念、基本理论的讲解和反复运用,理论联系实际,精简次要内容,以便学生把基本内容学到手;在讲述方法上力求循序渐进,从具体到抽象,从特殊到一般,以便学生容易接受和进行自学;在体例安排上,主要章节有例题,主要段落后面有思考题,每章有一定分量的习题,以便学生搞清基本概念,掌握所讲理论,锻炼分析解决问题的能力(供选做的难题打有*号,有的习题只给出供自我检查、校核用的部分答案)。

由于我们水平有限,书中难免存在不少缺点和错误,殷切希望读者给予批评指正。

编者

1983 年 11 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) 82028899 转 6897 (010)82086060

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

高等教育出版社法律事务部

邮编：100011

购书请拨打读者服务部电话：(010)64054588

策	划	金春英
编	辑	王莉莉
封面设计		于文燕
责任绘图		朱 静
版式设计		马静如
责任校对		杨凤玲
责任印制		孔 源

目 录

上册 电工技术

第一章 电路的基本知识和基本定律	1
1-1 电路和电路图	1
一、电路的组成和作用	1
二、电路模型和电路图	3
1-2 简单电路的分析计算	5
一、简单电路和复杂电路	5
二、电路中主要物理量的表示方法	5
三、简单电路计算举例	9
1-3 电气设备的额定值和电路的几种状态	11
一、电气设备的额定值	11
二、电路的几种状态	12
1-4 基尔霍夫定律	13
一、基尔霍夫电流定律	13
二、基尔霍夫电压定律	15
1-5 复杂电路的基本分析方法	17
一、支路电流法	17
二、结点电位法	19
习题	21
问题简答	24
第二章 电路常用的分析方法	28
2-1 无源二端网络的分析计算	29
一、电阻的串并联及其应用	29
[△] 二、电阻星形联结与三角形联结的等效变换	33
2-2 电压源和电流源及其等效变换	35
一、电压源	35
二、电流源	37
三、电压源和电流源的等效变换	38

2-3	叠加定理	41
2-4	等效电源定理	43
	一、戴维宁定理	43
	△二、诺顿定理	47
	习题	50
	问题简答	55
第三章	交流电路	58
3-1	交流电的基本概念	58
	一、交流电的特征、周期和频率	58
	二、正弦交流电的三要素	59
	三、相位差	61
	四、有效值	62
3-2	正弦量的相量表示法	64
	一、正弦量的旋转矢量表示法	64
	二、正弦量的相量表示法	65
3-3	交流电路中基本理想元件的特性	69
	一、纯电阻元件	69
	二、纯电感元件	72
	三、纯电容元件	76
3-4	正弦交流电路的分析计算	81
	一、串联电路	81
	二、并联电路	85
	*三、复杂电路	88
3-5	正弦交流电路的功率和功率因数的提高	91
	一、瞬时功率和有功功率	91
	二、无功功率	92
	三、视在功率和功率三角形	93
	四、提高功率因数	94
3-6	交流电路的谐振	97
	一、串联谐振	97
	二、并联谐振	102
3-7	非正弦周期电流电路的基本分析方法	104
	本章附表	107
	习题	109
	问题简答	115

第四章	三相交流电路和安全用电	119
4-1	三相交流电源	119
	一、三相电动势	119
	二、三相电源的星形联结	121
4-2	三相负载的星形联结	122
	一、三相四线制电路	123
	二、三相三线制电路	125
4-3	三相负载的三角形联结	126
	一、三角形联结电路中的一般关系式	127
	二、对称负载的三角形联结电路	128
4-4	三相负载的功率	130
Δ 4-5	不对称三相负载电路的分析计算简介	131
	一、简单交流电路的组合	131
	二、无中性线的星形联结不对称负载电路	133
4-6	安全用电	134
	一、电流对人体的作用和伤害程度	135
	二、触电方式和安全电压	135
	三、保护接地和保护接零	136
	四、静电防护	141
	五、触电急救	141
	六、防火与防爆	141
	习题	142
	问题简答	145
第五章	电路的暂态分析	148
5-1	电路暂态过程概述	148
	一、阻容电路和阻感电路中暂态过程简述	149
	二、换路定理和暂态过程的初始值	150
	三、暂态过程中的激励和响应	153
5-2	阻容电路的暂态过程	154
	一、阻容电路对阶跃激励的零状态响应	154
	二、阻容电路的零输入响应	158
	三、阻容电路对阶跃激励的全响应	159
5-3	一阶电路暂态分析的三要素法	161
5-4	阻感电路的暂态过程	164
	一、阻感电路对阶跃激励的零状态响应	164

二、阻感电路的零输入响应	165
三、电感电路断路时的过电压现象和防护措施	167
[△] 四、阻感电路对正弦激励的响应	170
习题	171
问题简答	176
第六章 磁路和变压器	179
6-1 磁路的基本知识和基本定律	179
一、磁路的基本物理量	180
二、磁路的基本定律	181
6-2 交流铁心线圈	185
一、电压和电流、磁通的关系	185
二、功率损耗和电压、电流的关系	187
6-3 变压器的基本结构	188
6-4 变压器工作原理	190
一、空载运行和电压变换	190
二、负载运行和电流变换	192
三、阻抗变换	195
四、变压器绕组的极性	196
[△] 6-5 三相变压器	197
6-6 变压器的额定值	198
6-7 自耦变压器	199
习题	199
问题简答	202
第七章 交流电动机	205
7-1 三相异步电动机的结构	205
一、三相异步电动机定子的结构	205
二、三相异步电动机转子的结构	207
7-2 三相异步电动机的旋转磁场和转动原理	208
一、旋转磁场	208
二、转动原理	211
7-3 异步电动机的铭牌和技术数据	213
一、铭牌	213
二、技术数据	215
7-4 异步电动机工作状态概述	217
一、电路、磁路的工作状态	217

	二、电路、旋转磁场相联系的机械系统的工作状态	218
	三、电磁转矩与机械负载的关系	220
7-5	异步电动机的机械特性和运行特性	221
	一、机械特性	221
	二、运行特性	223
7-6	异步电动机的起动、反转和调速	224
	一、笼型异步电动机的起动	224
	二、笼型三相异步电动机的反转	225
	三、笼型异步电动机的调速	226
	△四、绕线式异步电动机的起动和调速	228
7-7	单相异步电动机	230
	一、电容分相式异步电动机	230
	二、罩极式异步电动机	231
△7-8	电动机的选择	232
	一、电动机电压的选择	232
	二、电动机转速的选择	233
	三、电动机容量的选择	233
7-9	同步电动机	234
	习题	235
	问题简答	237
△第八章	直流电动机	240
8-1	直流电动机的结构	240
8-2	直流电动机的转动原理	241
8-3	直流电动机工作状态概述	242
	一、电磁转矩和电枢电动势	242
	二、电枢电流与机械负载的关系	243
8-4	直流电动机的机械特性	244
	一、直流电动机按励磁方式的分类	244
	二、他励和并励电动机的机械特性	245
	三、串励电动机的机械特性	246
8-5	直流电动机的起动、反转和调速	247
	一、直流电动机的起动	247
	二、直流电动机的反转	247
	三、直流电动机的调速	248
	习题	249

第九章 继电 - 接触器控制	251
9-1 常用的低压控制和保护电器	251
一、刀开关	251
二、负荷开关	252
三、熔断器	253
四、按钮	254
五、交流接触器	255
六、中间继电器	257
七、热继电器	258
9-2 三相异步电动机的直接起动控制电路	260
9-3 三相异步电动机的正反转控制电路	263
9-4 行程控制	265
9-5 时间控制	266
一、时间继电器	267
二、时间控制电路举例	267
* 9-6 顺序联锁控制	268
习题	269
第十章 可编程控制器	271
10-1 可编程控制器的特点	271
10-2 可编程控制器的基本结构与工作原理	272
一、可编程控制器的基本结构	272
二、可编程控制器的工作原理	274
10-3 可编程控制器的编程语言	275
一、梯形图	275
二、指令语句表	276
10-4 可编程控制器的应用举例	283
一、三相异步电动机的起停控制	283
二、笼型异步电动机 Y- Δ 降压起动控制	285
三、产品的计数控制电路	286
习题	286
* 第十一章 电工测量	288
11-1 电工测量仪表的基本知识	288
一、电工测量指示(型)仪表的分类	288
二、电测指示仪表的误差和主要技术指标	288
三、电测指示仪表表盘符号	290

11-2	磁电式仪表	291
	一、磁电式仪表的测量机构和工作原理	291
	二、磁电式电流表和电压表	292
	三、摇表(兆欧表)	293
	四、万用表	295
11-3	电磁式仪表	297
	一、电磁式仪表的测量机构和工作原理	297
	二、电磁式电流表和电压表	298
11-4	电动式仪表	299
	一、电动式仪表的测量机构和工作原理	299
	二、电动式功率表	300
	三、三相电路功率的测量	301
	问题简答	302
	参考文献	304
	索引	305

第一章 电路的基本知识和基本定律

电在工农业生产、科学研究和日常生活等各方面的应用十分广泛，有的利用电能变换为其他能量(例如机械能)使生产设备运转，有的利用电信号进行通信或实现自动控制。无论是输送电能还是传递电信号，一般总要构成这样或那样的电路，因此学习电工技术和电子技术都要从掌握电路理论入手。电路基本理论是电工学课程的基础。

本章主要结合直流电路介绍一般电路(包括交流电路)所遵循的基本规律和有关的电路基本知识。电路遵循的基本规律包含着相对独立的两个方面的内容，一是组成电路的各个元件的特性，二是整个电路中各个元件相互之间必须服从的关系。前者决定于元件内部遵循的电磁学定律，由元件端电压和流过元件的电流之间的数学关系来描述，在这一章只介绍直流电源和电阻元件的特性；后者遵循基尔霍夫电流和电压定律，在这一章要介绍该定律的一般数学表达式、应用该定律分析计算电路的基本方法。

本章在物理电学的基础上进行讨论，电路的基本物理量和某些物理中有关内容不再从头论述，而侧重于讲解它们应用于电气工程中要注意的问题，尽量使理论联系实际并介绍工程中实用知识。

1-1 电路和电路图

一、电路的组成和作用

电路指的是由一些电气设备或元器件组成的，以备电流流过的通路。若工作时其中电流的大小和方向不随时间变化，就称为直流电路。

图 1-1 所示是蓄电池对白炽灯供电的电路，蓄电池是电源，它发出电能

(由化学能变换来的), 白炽灯是负载, 它消耗电能(变换为热能和光能)。它们由两根导线连接成闭合电路, 工作时, 电流(习惯上指正电荷的流动, 在导线中, 实际是电子沿相反方向的流动)从电源的正极流出, 经过负载, 流回到电源的负极, 电流的方向固定, 数值基本不变。这类电路的作用主要是以较高的效率传输电能和分配电能(有多个负载时)。

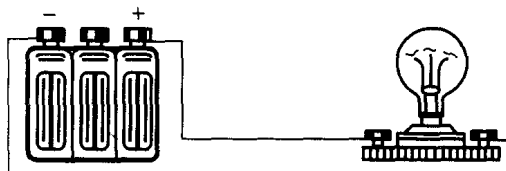


图 1-1 蓄电池对白炽灯供电电路

图 1-2 所示是用热电偶测量温度的电路, 左边的热电偶虽然能将热能变换为电能, 但数量很微小, 不能作为电源, 而所生温差电动势可以作为反映热端温度的信号, 因此是一种信号源, 右边的毫伏表是接受信号的负载, 它能指示温差电动势, 从而间接指示热电偶所测量的温度, 这类电路的作用主要是尽可能准确地传递信号和处理信号(例如数字式测温仪还要有电子电路将微弱信号放大并转换成数字信号进行显示)。

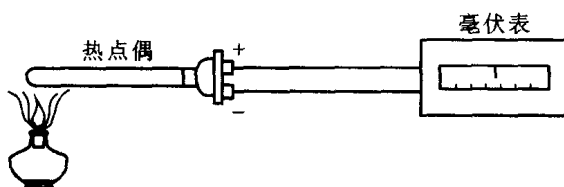


图 1-2 热电偶测温电路

上面是两个实际电路的举例, 随着电工技术的发展, 电路的形式和功能是多种多样的, 有的还十分复杂, 例如直流或交流的供电系统, 各种电子检测仪器的内部电路。但总的来说, 它们具有下述共同点:

(1) 电路的组成一般包括电源(或信号源)、负载和连接电源与负载的中间环节(最简单的就是连接它们的两根导线)三部分。

(2) 电路的作用主要有传输和变换电能与传递和处理电信号两个方面。

因此, 我们可以利用上述比较简单的电路来说明一般电路具有普遍意义的问题。实际使用的电路中, 还有开关设备和保护装置, 在分析电路工作原理时, 一般都不作专门讨论。

二、电路模型和电路图

上述实际电路的示意图画出了组成该电路的电气设备和元器件(称电路部件)的实物。在电力和电信工程上,通常按国家统一规定的各种电气设备和元器件的符号绘制电路图。例如:图 1-1 电路可以用图 1-3 (a) 电路图表示,左边为蓄电池,右边为白炽灯;图 1-2 电路可以用图 1-3 (b) 电路图表示,左边为热电偶,右边为毫伏表,这叫做工程图。

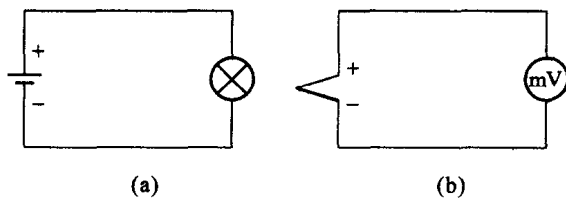


图 1-3 用电路部件符号绘制的电路图

在电路理论上,为了表征电路部件的主要物理性质,以便进行定量分析,通常将电路部件的实体用它的模型来代替。电路部件的模型由一些具有单一物理性质的理想电路元件构成。最基本的理想电路元件有五种,即:电阻元件、电感元件、电容元件、理想电压源和理想电流源,在电路图中,它们分别用图 1-4 (a)、(b)、(c)、(d)、(e) 所示符号表示。

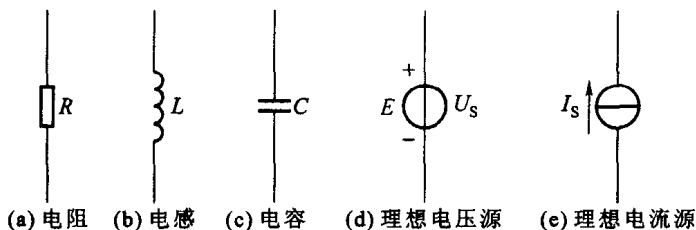


图 1-4 理想电路元件

前三种理想电路元件中,电阻元件消耗电能(变换为热能、光能),电感元件以磁场形式储存能量,电容元件以电场形式储存能量。它们的性质可分别用叫做电路参数的物理量来表示,电阻元件遵循欧姆定律,其端电压和流过的电流之比叫做电阻(符号为 R , $R = U/I$)。它既是这种元件的名称,又是表示其物理性质的电路参数,电阻单位为欧[姆](符号为 Ω),电感元件和电容元件的性质及其参数电感 L 和电容 C 的含义将在第三章交流电路中讨论。应当指出,实际的电路元件同理想的电路元件有区别,例如