



普通高等教育“十五”国家级规划教材

电 工 学

第 六 版

上 册

电 工 技 术

秦 曾 煌 主 编

高等教育出版社



普通高等教育“十五”国家级规划教材

TM1-43
Z2-6
VI

电 工 学

第 六 版

上 册

电 工 技 术

秦 曾 煌 主 编

高等教育出版

内容简介

本书是普通高等教育“十五”国家级规划教材。本书主要是根据教育部(前国家教育委员会)1995年颁发的高等工业学校“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,在第五版的基础上作了精选、改写、调整、补充而修订编写的。全书分上、下两册出版。上册是电工技术部分;下册是电子技术部分。各章均附有习题。另编有《电工学(第六版)学习辅导与习题选解》,作为与本书配套的教学参考书。本书可作为高等学校工科非电类专业上述两门课程的教材,也可供社会读者阅读。

本书(第六版)由哈尔滨工程大学张保郁教授审阅。

本书第三版于1987年获全国优秀教材奖,第四版于1997年获国家级教学成果二等奖和国家级科学技术进步三等奖,第五版于2002年获全国普通高等学校优秀教材二等奖。

图书在版编目(CIP)数据

电工学上册,电工技术 / 秦曾煌主编. —6版. —北京:高等教育出版社,2004.1

ISBN 7-04-013007-6

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(2003)第 085273 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 高等教育出版社印刷厂

开 本 787×960 1/16
印 张 25.25
字 数 470 000

版 次 1964年4月第1版
2004年1月第6版
印 次 2004年4月第2次印刷
定 价 28.90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

第六版序言

自1962年编写本书第一版以来,已经历了四十多年。在此期间,电工技术,特别是电子技术发生了巨大的变化。新技术、新器件、新应用层出不穷,日新月异;教学内容和体系的改革不断深入。这都促使本教材随着不断修订提高,日臻完善,以适应时代的需要。

本教材是按照教育部(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,在第五版的基础上总结提高,修订编写的,在内容处理上作了精选、改写、调整和补充,更适应教学要求和非电类专业需要。

(1)“基本放大电路”、“电子电路中的反馈”、“电力电子技术”、“门电路和组合逻辑电路”、“触发器和时序逻辑电路”、“存储器和可编程逻辑器件”这六章,以及部分内容,如正弦量的相量表示法、电位的计算、变压器绕组的极性和功率放大电路等均作了改写,或加强了基础性、应用性和先进性,或叙述更为简洁,符合认知规律。

(2)删去了导纳、二阶电路暂态分析及非正弦周期电流电路的计算等内容和一些偏难的例题和习题,更适应非电类专业的要求。

(3)加强了理论联系实际和元件-电路-系统这一应用体系,使元器件和单元电路更结合实际应用,增加了一些应用举例和实用电路。

(4)新增加了现代通信技术、直线异步电动机、开关型稳压电源、光电器件和电力电子器件等内容,以扩大知识面。

(5)习题中增加了少量设计性题目。

(6)引入EWB仿真软件,因其界面直观,操作方便,并与实验操作一致,适用于本课程的学习。

由于非电类专业甚多,对电工学的要求不一,学时也有差异,为了使教材具有灵活性,将本书内容分为三类:

(1) 基本内容

此即为教学基本要求所规定的内容。

(2) 非共同性基本内容(标以“△”号)

如直流电动机、同步电动机、控制电机、电力电子技术等章节,仅对部分专业讲授。

(3) 参考内容(标以“*”号,用小号字排)

一般指加深加宽内容,如受控源电路、电阻的 $Y-\Delta$ 变换、三相桥式整流电路以及各章的应用举例,作为学生参考用。

此外,“电工测量”一章可结合实验进行教学;“工业企业供电与安全用电”和“现代通信技术”两章作为本课程的基本知识,可让学生自学。以上三章均不计入学时内。有些内容可在教师指导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,以提高教学质量和教学效率。

本书是高等教育出版社“高等教育百门精品课程教材”之一,和与其配套的多媒体教材形成了较完整的立体化教学包。与其配套的教材有:^①

- (1)《电工学(第六版)学习辅导与习题选解》秦曾煌主编;
- (2)《电工学(第六版)练习思考与习题全解》姜三勇 秦曾煌主编;
- (3)《电工学简明教程》秦曾煌编;
- (4)《电工学实验》哈尔滨工业大学 韩明武主编;
- (5)《电工学》(上、下册)CAI 中国矿业大学 王香婷主编;
- (6)《电工学简明教程》CAI 大连海事大学、北京理工大学 于双和主编;
- (7)电工技术网络课程 北方交通大学 张晓冬主编;
- (8)电子技术网络课程 大连海事大学 于双和主编;
- (9)电工学题库。

本书(第六版)由哈尔滨工程大学张保郁教授审阅,提出了宝贵意见和修改建议;本书前五版还得到许多教师和广大读者的关怀,他们提出了大量建设性意见,在此深表谢忱。

本书第11章“可编程控制器及其应用”和附录“EWB仿真软件”由姜三勇同志编写,第22章“存储器和可编程逻辑器件”由丁继盛同志编写,第24章“现代通信技术”由沙学军同志编写。他们对本书的支持,深表谢意。曾参加本书第二版中册编写的有吴项、魏富珍、柳焯、郭文安和问延棣同志。

由于编者能力有限,见解不多,本书有些内容难免不够妥善,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。

秦曾煌

于哈尔滨工业大学

2003年5月

(时年八十)

^① 均系高等教育出版社出版发行。

第一版序言

1962年5月，教育部召开了高等工业学校教学工作会议，会上审订了机械制造类专业适用的“电工学教学大纲(试行草案)”。这份教学大纲所规定的教学总学时为150学时，其中讲课100学时；在内容方面与1956年所制订的大纲相比，出入较大。因此，编者按照新教学大纲的内容、分量和安排系统，并根据十年来的教学经验，将目前所用的讲义加以修订补充，编成此书。本书经高等工业学校电工学及电工基础课程教材编审小组审阅后，修改定稿，可作为高等工业学校机械制造类专业电工学课程的教材。

电工学是一门非电专业的技术基础课程，它的主要任务是为学生学习专业知识和从事工程技术工作打好电工技术的理论基础，并使他们受到必要的基本技能的训练。为此，在本书中对基本理论、基本定律、基本概念及基本分析方法都作了尽可能详尽的阐述，并通过实例、例题和习题来说明理论的实际应用，以加深学生对理论的掌握和理解，以及了解电工技术的发展与生产发展之间的密切关系。

本书注意到与普通物理课的分工，避免了不必要的重复。至于部分内容，例如电路的基本物理量、欧姆定律、电路的参数、磁场的基本物理量及铁磁物质的磁性能等，虽然已在普通物理课程中讲过，但是为了加强理论的系统性和满足电工技术的需要，仍列入本书中，使学生在温故知新的基础上，对这些内容的理解能进一步巩固和加深，并能充分地应用和扩展这些内容。

本书也注意到与后续专业课的分工，书中一般不讨论综合性的用电系统和专用设备，而只研究用电技术的一般规律和常用的电气设备、元件及基本电路。

本书中用小号字排的部分内容教师在讲授时可灵活掌握，一般应视专业的需要、学时的多少和学生的实际水平而决定取舍。有些内容可让学生通过自学掌握，不必全在课堂讲授。本书各章习题的数目比教学大纲所规定的多一些，这样可使教师选择习题时比较灵活，同时也可满足部分学习成绩较好的学生希望多做一些习题的要求。为了照顾某些动力机械制造专业的需要，对同步电机一章的内容介绍较多，其他专业可按其需要选择其中部分内容讲授。

本书所用的图形符号是符合中华人民共和国第一机械工业部所颁布的电工专业标准(草案试行)电(D)42-60《电气线路图上图形符号》的规定的。至于文字符号则以国际通用符号为主，仅对某些物理量的注脚(例如额定电压 U_0 、短

路电流 I_D 、起动转矩 M_Q 、励磁电流 I_L 等)和线路图上的部分文字符号(例如发电机 F、电动机 D、接触器 C 等)参考了上述标准试用了汉语拼音符号(见附录二)。

本书承西安交通大学袁旦庆同志仔细审阅,指出错误,提出修改建议;哈尔滨工业大学电工学教研室对本书内容的安排和部分章节的内容进行过讨论,提出了宝贵意见;并承哈尔滨工业大学绘图室描绘了插图,在此对他们表示衷心的感谢。

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。

秦曾煌
于哈尔滨工业大学
1962年12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) 58581897/58581698/58581879/58581877

传 真：(010) 82086060

E - mail：dd@hep.com.cn 或 chenrong@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

购书请拨打电话：(010)64014089 64054601 64054588

策划编辑	金春英
责任编辑	金春英
封面设计	于文燕
责任绘图	朱 静
版式设计	胡志萍
责任校对	金春英
责任印制	韩 刚

目 录

绪论	1
----------	---

上册 电工技术

第 1 章 电路的基本概念与基本定律	7
1.1 电路的作用与组成部分	7
1.2 电路模型	8
1.3 电压和电流的参考方向	9
1.4 欧姆定律	10
1.5 电源有载工作、开路与短路	13
1.5.1 电源有载工作	13
1.5.2 电源开路	16
1.5.3 电源短路	16
1.6 基尔霍夫定律	19
1.6.1 基尔霍夫电流定律	19
1.6.2 基尔霍夫电压定律	20
1.7 电路中电位的概念及计算	23
习题	26
第 2 章 电路的分析方法	30
2.1 电阻串并联连接的等效变换	30
2.1.1 电阻的串联	30
2.1.2 电阻的并联	31
*2.2 电阻星形联结与三角形联结的等效变换	34
2.3 电源的两种模型及其等效变换	36
2.3.1 电压源模型	36
2.3.2 电流源模型	37
2.3.3 电源两种模型之间的等效变换	38
2.4 支路电流法	45
2.5 结点电压法	48
2.6 叠加定理	50
2.7 戴维宁定理与诺顿定理	53

2.7.1 戴维宁定理	54
2.7.2 诺顿定理	57
* 2.8 受控电源电路的分析	59
2.9 非线性电阻电路的分析	62
习题	66
第 3 章 电路的暂态分析	74
3.1 电阻元件、电感元件与电容元件	74
3.1.1 电阻元件	74
3.1.2 电感元件	75
3.1.3 电容元件	76
3.2 储能元件和换路定则	76
3.3 RC 电路的响应	78
3.3.1 RC 电路的零输入响应	78
3.3.2 RC 电路的零状态响应	81
3.3.3 RC 电路的全响应	84
3.4 一阶线性电路暂态分析的三要素法	86
3.5 微分电路与积分电路	90
3.5.1 微分电路	90
3.5.2 积分电路	91
3.6 RL 电路的响应	92
3.6.1 RL 电路的零输入响应	92
3.6.2 RL 电路的零状态响应	94
3.6.3 RL 电路的全响应	95
习题	96
第 4 章 正弦交流电路	101
4.1 正弦电压与电流	101
4.1.1 频率与周期	102
4.1.2 幅值与有效值	103
4.1.3 初相位	104
4.2 正弦量的相量表示法	106
4.3 单一参数的交流电路	109
4.3.1 电阻元件的交流电路	109
4.3.2 电感元件的交流电路	111
4.3.3 电容元件的交流电路	114
4.4 电阻、电感与电容元件串联的交流电路	117

4.5 阻抗的串联与并联	125
4.5.1 阻抗的串联	125
4.5.2 阻抗的并联	126
* 4.6 复杂正弦交流电路的分析与计算	129
4.7 交流电路的频率特性	131
[△] 4.7.1 滤波电路	131
4.7.2 谐振电路	135
4.8 功率因数的提高	141
4.9 非正弦周期电压和电流	144
习题	148
第 5 章 三相电路	156
5.1 三相电压	156
5.2 负载星形联结的三相电路	159
5.3 负载三角形联结的三相电路	164
5.4 三相功率	165
习题	167
第 6 章 磁路与铁心线圈电路	170
6.1 磁路及其分析方法	170
6.1.1 磁场的基本物理量	170
6.1.2 磁性材料的磁性能	172
6.1.3 磁路的分析方法	174
6.2 交流铁心线圈电路	178
6.2.1 电磁关系	178
6.2.2 电压电流关系	179
6.2.3 功率损耗	180
* 6.2.4 等效电路	181
6.3 变压器	183
6.3.1 变压器的工作原理	183
6.3.2 变压器的外特性	190
6.3.3 变压器的损耗与效率	190
6.3.4 特殊变压器	191
6.3.5 变压器绕组的极性	193
6.4 电磁铁	194
习题	197
第 7 章 交流电动机	200

7.1	三相异步电动机的构造	200
7.2	三相异步电动机的转动原理	202
7.2.1	旋转磁场	203
7.2.2	电动机的转动原理	206
7.2.3	转差率	207
7.3	三相异步电动机的电路分析	207
7.3.1	定子电路	208
7.3.2	转子电路	208
7.4	三相异步电动机的转矩与机械特性	211
7.4.1	转矩公式	211
7.4.2	机械特性曲线	211
7.5	三相异步电动机的起动	215
7.5.1	起动性能	215
7.5.2	起动方法	216
7.6	三相异步电动机的调速	220
7.6.1	变频调速	220
7.6.2	变极调速	221
7.6.3	变转差率调速	222
7.7	三相异步电动机的制动	222
7.7.1	能耗制动	222
7.7.2	反接制动	223
7.7.3	发电反馈制动	224
7.8	三相异步电动机的铭牌数据	224
7.9	三相异步电动机的选择	228
7.9.1	功率的选择	228
7.9.2	种类和类型的选择	231
7.9.3	电压和转速的选择	232
△7.10	同步电动机	232
7.11	单相异步电动机	234
7.11.1	电容分相式异步电动机	234
7.11.2	罩极式异步电动机	235
*7.12	直线异步电动机	236
	习题	238
△第8章	直流电动机	240
8.1	直流电机的构造	240

8.2	直流电机的基本工作原理	242
8.3	直流电动机的机械特性	244
8.4	并励电动机的起动与反转	246
8.5	并励(他励)电动机的调速	248
8.5.1	改变磁通 Φ (调磁)	248
8.5.2	改变电压 U (调压)	250
	习题	251
Δ 第 9 章	控制电机	252
9.1	伺服电机	252
9.1.1	交流伺服电机	252
9.1.2	直流伺服电机	255
9.2	测速发电机	257
9.2.1	交流测速发电机	257
9.2.2	直流测速发电机	259
9.3	步进电机	261
9.4	自动控制的基本概念	264
	习题	267
第 10 章	继电器接触器控制系统	268
10.1	常用控制电器	268
10.1.1	组合开关	268
10.1.2	按钮	268
10.1.3	交流接触器	270
10.1.4	中间继电器	271
10.1.5	热继电器	271
10.1.6	熔断器	272
10.1.7	自动空气断路器	273
10.2	笼型电动机直接起动的控制线路	273
10.3	笼型电动机正反转的控制线路	276
10.4	行程控制	278
10.5	时间控制	279
* 10.6	应用举例	283
10.6.1	加热炉自动上料控制线路	284
10.6.2	C620-1 型普通车床控制线路	284
	习题	286
第 11 章	可编程控制器及其应用	289

11.1	可编程控制器的结构和工作方式	289
11.1.1	可编程控制器的结构及各部分的作用	289
11.1.2	可编程控制器的工作方式	292
11.1.3	可编程控制器的主要技术性能	293
11.1.4	可编程控制器的主要功能和特点	295
11.2	可编程控制器的程序编制	297
11.2.1	可编程控制器的编程语言	297
11.2.2	可编程控制器的编程原则和方法	298
11.2.3	可编程控制器的指令系统	302
11.3	可编程控制器应用举例	319
11.3.1	三相异步电动机Y- Δ 换接起动控制	320
11.3.2	加热炉自动上料控制	322
* 11.3.3	三层楼电梯随机控制系统	323
* 11.4	FPI系列与OMRON C系列可编程控制器基本指令对照	326
	习题	330
第12章	工业企业供电与安全用电	334
12.1	发电和输电概述	334
12.2	工业企业配电	336
12.3	安全用电	337
12.3.1	电流对人体的危害	337
12.3.2	触电方式	338
12.3.3	接地和接零	339
12.4	节约用电	343
	习题	343
第13章	电工测量	344
13.1	电工测量仪表的分类	344
13.2	电工测量仪表的型式	347
13.2.1	磁电式仪表	347
13.2.2	电磁式仪表	349
13.2.3	电动式仪表	350
13.3	电流的测量	351
13.4	电压的测量	352
13.5	万用表	353
13.5.1	磁电式万用表	353
13.5.2	数字式万用表	355

13.6 功率的测量	357
13.6.1 单相交流和直流功率的测量	357
13.6.2 三相功率的测量	357
13.7 兆欧表	359
13.8 用电桥测量电阻、电容与电感	361
13.8.1 直流电桥	361
13.8.2 交流电桥	361
[△] 13.9 非电量的电测法	363
13.9.1 应变电阻传感器	364
13.9.2 电感传感器	365
13.9.3 电容传感器	366
13.9.4 热电传感器	367
13.9.5 霍尔传感器	370
习题	371
附录	374
附录 A 国际单位制(SI)的词头	374
附录 B 常用导电材料的电阻率和电阻温度系数	374
部分习题答案	375
中英名词对照与索引	385

绪 论

1. 电工学课程的作用和任务

电工学是研究电工技术和电子技术的理论和应用的技术基础课程。电工和电子技术发展十分迅速，应用非常广泛，现代一切新的科学技术无不与电有着密切的关系。因此，电工学是高等学校工科非电类专业的一门重要课程。作为技术基础课程，它应具有基础性、应用性和先进性。

基础是指基本理论、基本知识和基本技能。所谓基础性，电工学应为后续专业课程打基础；应为学生毕业后从事有关电的工作打基础，也就是为自学、深造、拓宽和创新打基础。

非电类专业学生学习电工学重在应用，他们应具有将电工和电子技术应用于本专业和发展本专业的一定能力。为此，课程内容要理论联系实际应用，从国情实际出发；要培养他们分析和解决实际问题的能力；要重视实验技能的训练。

课程内容必须具有先进性，这是不言而喻的。电工学课程的内容和体系应随着电工和电子技术的发展和工科非电类专业的教学需要而不断更新和改革。

2. 电工和电子技术发展概况

现在，人们已经掌握了大量的电工和电子技术方面的知识，而且电工和电子技术还在不断地发展着。这些知识是人们长期劳动的结晶。

我国很早就已发现电和磁的现象，在古籍中曾有“慈石召铁”和“琥珀拾芥”的记载。磁石首先应用于指示方向和校正时间，在《韩非子》和东汉王充著的《论衡》两书中提到的“司南”就是指此。以后由于航海事业发展的需要，我国在 11 世纪就发明了指南针。在宋代沈括所著的《梦溪笔谈》中有“方家以磁石磨针锋，则能指南，然常微偏东，不全南也”的记载。这不仅说明了指南针的制造，而且已经发现了磁偏角。直到 12 世纪，指南针才经由阿拉伯人传入欧洲。

在 18 世纪末和 19 世纪初的这个时期，由于生产发展的需要，在电磁现象方面的研究工作发展得很快。库仑(C. A. Coulomb)在 1785 年首先从实验确定了电荷间的相互作用力，电荷的概念开始有了定量的意义。1820 年，奥斯特(H. C. Oersted)从实验发现了电流对磁针有力的作用，揭开了电学理论新的一页。

同年，安培(A. M. Ampere)确定了通有电流的线圈的作用与磁铁相似，这就指出了磁现象的本质问题。有名的欧姆定律是欧姆(G. S. Ohm)在1826年通过实验而得出的。法拉第(M. Faraday)对电磁现象的研究有特殊贡献，他在1831年发现的电磁感应现象是以后电工技术的重要理论基础。在电磁现象的理论与实用问题的研究上，楞次(Э. X. Ленц)发挥了巨大的作用，他在1833年建立了确定感应电流方向的定则(楞次定则)。其后，他致力于电机理论的研究，并阐明了电机可逆性的原理。楞次在1844年还与英国物理学家焦耳(J. P. Joule)分别独立地确定了电流热效应定律(焦耳-楞次定律)。与楞次一道从事电磁现象研究工作的雅可比(B. C. Якоби)在1834年制造出世界上第一台电动机，从而证明了实际用电能的可能性。电机工程得以飞跃地发展是与多里沃-多勃罗沃尔斯基(М. О. Д. оливо-Добровольский)的工作分不开的。这位杰出的俄罗斯工程师是三相系统的创始者，他发明和制造出三相异步电动机和三相变压器，并首先采用了三相输电线。在法拉第的研究工作基础上，麦克斯韦(C. Maxwell)在1864年至1873年提出了电磁波理论。他从理论上推测到电磁波的存在，为无线电技术的发展奠定了理论基础。1888年，赫兹(H. R. Hertz)通过实验获得电磁波，证实了麦克斯韦的理论。但实际利用电磁波为人类服务的还应归功于马可尼(G. Marconi)和波波夫(A. C. Попов)。大约在赫兹实验成功七年之后，他们彼此独立地分别在意大利和俄国进行通信试验，为无线电技术的发展开辟了道路。

人类在向自然界斗争的过程中，不断总结和丰富着自己的知识。电子科学技术就是在生产斗争和科学实验中发展起来的。1883年美国发明家爱迪生(T. A. Edison)发现了热电子效应，随后在1904年弗莱明(Fleming)利用这个效应制成了电子二极管，并证实了电子管具有“阀门”作用，它首先被用于无线电检波。1906年美国的德福雷斯(De Forest)在弗莱明的二极管中放进了第三个电极——栅极而发明了电子三极管，从而建树了早期电子技术上最重要的里程碑。半个多世纪以来，电子管在电子技术中立下了很大功劳；但是电子管毕竟成本高，制造繁，体积大，耗电多，从1948年美国贝尔实验室的几位研究人员发明晶体管以来，在大多数领域中已逐渐用晶体管来取代电子管。但是，我们不能否定电子管的独特优点，在有些装置中，不论从稳定性、经济性或功率上考虑，还需要采用电子管。

集成电路的第一个样品是在1958年见诸于世的。集成电路的出现和应用，标志着电子技术发展到了一个新的阶段。它实现了材料、元件、电路三者之间的统一；同传统的电子元件的设计与生产方式、电路的结构形式有着本质的不同。随着集成电路制造工艺的进步，集成度越来越高，出现了大规模和超大规模集成电路(例如可在一块 6 mm^2 的硅片上制成一个完整的计算机)，进一步显