

● 高等学校教材

电工学

● 秦曾煌主编

● 【第四版】
● 上册

电工技术



高等教育出版社

360712

7A11

Q 50-1

(4)1

高等学校教材

电 工 学

(第四版)

上 册

电 工 技 术

秦曾煌 主编

高等教育出版社

本书(第四版)是根据1987年国家教育委员会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修订的。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。每章均附有习题。可作为高等工业学校上述两门课程的教材,也可供工程技术人员参考。

本书(第四版)上册由大连理工大学蒋德川、唐介、赵宗武同志审阅。

本书责任编辑 刘秉仁

(京)112号

高等学校教材
电 工 学
(第·四·版)
上 册
电 工 技 术
秦曾煌 主编

高等教育出版社出版
新华书店北京发行所发行
北京第二新华印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 17 字数 410 000

1964年4月第1版 1990年 月第4版 1992年9月第6次印刷

印数 223 657—258 667

ISBN 7-04-002893-0/TM·148

定价 5.45 元

第四版序言

本书第一版是按照1962年高等教育部颁发的机械动力类《电工学教学大纲》编写的,于1964年出版;第二版是按照1977年教育部组织制订的机械动力类《电工学教材编写大纲》编写的,于1978年出版;第三版(即1981年修订本)是根据1980年教育部颁发的150学时《电工学教学大纲》修订的。这版是第四版,是根据1987年国家教育委员会颁发的“电工技术(电工学I)”与“电子技术(电工学II)”的教学基本要求修订的,可作为高等工业学校上述两门课程的教材。

“电工学”是非电专业的技术基础课程。通过本课程的学习,应使学生获得电工学必要的基本理论、基本知识和基本技能,了解电工事业发展的概况,为学习后续课程和专业知识,以及毕业后从事工程技术工作和科学研究工作打下理论基础和实践基础,并具有将电工、电子技术应用于本专业和发展本专业的一定能力。本书分电工技术和电子技术两部分。考虑到课程的基础性和应用性,主要讨论用电技术的基本理论和基本方法,以及专业常用的电子器件、机电器件及其基本电路与应用。书中对基本概念、基本理论、基本工作原理和基本分析方法都作了必要和适当的阐述,并通过实例、例题和习题来说明理论的实际应用,使学生对所学理论能更好地理解和掌握,以及了解电工、电子技术的发展与生产发展之间的密切关系。

本版与第三版比较,在电工技术部分增加了“受控电源”、“工业企业供电与安全用电”、“电工测量”及“三相异步电动机的选择”等章节;考虑到当前国内生产上的实际情况,对三相异步电动机及其继电器控制的基本电路仍保持一定份量,以满足非电专业

的需要。在电子技术部分,对分立元件电路和交流放大器的部分内容作了适当精简,加强了运算放大器和数字电路,并介绍了中规模集成电路。此外,考虑到电工、电子技术的不断发展和不同专业的用电需要,以及学时的多少和学生的实际水平等,教师对本书内容可作适当删减和补充,例如同步电机、直流电机和控制电机等是供不同专业选用的非共同性基本内容。至于讲授的先后次序和习题的选择,也完全由教师决定。有些内容可通过实验、电教片、习题或课外自学让学生掌握,不必全在课堂讲授。例题和“练习与思考”题是给学生课后复习巩固用的,一般不必讲授。

本书注意到与物理课的分工,避免了不必要的重复。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、磁性材料的磁性能及整流电路等,虽然都已在物理课程中讲过,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。

本书供“电工技术”和“电子技术”两门课程使用,学时(包括实验)分配如下:

电工技术 60~70 学时

电子技术 60~70 学时

实验学时不少于总学时的 25%,电工测量可以结合实验进行教学。

本书(第四版)由大连理工大学蒋德川、唐介、赵宗武同志仔细审阅,指出错误,提出修改意见;本书前三版还得到许多教师和读者的关怀,他们提出了宝贵意见和修改建议,在此深表谢忱。

参加本书第二版中册编写的有吴项、魏富真、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,

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

1988年11月

目 录

(带 * 号的章节为加深加宽内容)

绪论	1
----	---

上篇 电工技术

第一章 电路的基本概念与基本定律	8
1-1. 电路的作用与组成部分	8
1-2. 电路模型	10
1-3. 电路的基本物理量及其正方向	11
一、电流	11
二、电压与电动势	13
1-4. 欧姆定律	15
1-5. 电路的有载工作状态、开路与短路	18
一、有载工作状态	19
二、开路	23
三、短路	24
1-6. 克希荷夫定律	26
一、克希荷夫电流定律	26
二、克希荷夫电压定律	28
1-7. 电路中电位的概念及计算	33
习题	36
第二章 电路的分析方法	41
2-1. 电阻串并联接的等效变换	41
一、电阻的串联	41
二、电阻的并联	42
*2-2. 电阻星形联接与三角形联接的等效变换	48
2-3. 电压源与电流源及其等效变换	51
一、电压源	51

二、电流源	52
三、电压源与电流源的等效变换	54
2-4. 支路电流法	60
2-5. 节点电压法	64
2-6. 叠加原理	67
2-7. 戴维南定理与诺顿定理	71
一、戴维南定理	72
二、诺顿定理	75
2-8. 含受控电源电路的分析	78
2-9. 非线性电阻电路的分析	82
习题	86
第三章 正弦交流电路	94
3-1. 正弦电压与电流	94
一、频率与周期	95
二、幅值与有效值	96
三、初相位	98
3-2. 正弦量的相量表示法	102
3-3. 电阻元件、电感元件与电容元件	110
一、电阻元件	111
二、电感元件	111
三、电容元件	115
3-4. 电阻元件的交流电路	119
3-5. 电感元件的交流电路	122
3-6. 电容元件的交流电路	126
3-7. 电阻、电感与电容元件串联的交流电路	131
3-8. 阻抗的串联与并联	141
一、阻抗的串联	141
二、阻抗的并联	143
3-9. 复杂正弦交流电路的分析与计算	150
3-10. 交流电路的频率特性	154

一、 RC 串联电路的频率特性	154
二、串联谐振	159
三、并联谐振	164
3-11. 功率因数的提高	167
习题	171
第四章 三相电路	180
4-1. 三相电压	180
4-2. 负载星形联接的三相电路	184
4-3. 负载三角形联接的三相电路	193
4-4. 三相功率	194
习题	196
第五章 非正弦周期电流的电路	199
5-1. 非正弦周期量的分解	200
5-2. 非正弦周期量的有效值	206
5-3. 非正弦周期电流的线性电路的计算	208
5-4. 非正弦周期电流电路中的平均功率	214
习题	216
第六章 电路的暂态分析	220
6-1. 换路定则与电压和电流初始值的确定	221
6-2. RC 电路的响应	227
一、 RC 电路的零输入响应	227
二、 RC 电路的零状态响应	232
三、 RC 电路的全响应	238
6-3. 一阶线性电路暂态分析的三要素法	242
6-4. 微分电路与积分电路	245
一、微分电路	246
二、积分电路	249
6-5. RL 电路的响应	250
一、 RL 电路的零输入响应	250
二、 RL 电路的零状态响应	254

三、 RL 电路的全响应·····	256
*6-6. RLC 电路的零输入响应·····	259
习题·····	263
第七章 磁路与铁心线圈电路 ·····	269
7-1. 磁场的基本物理量·····	269
一、磁感应强度·····	269
二、磁通·····	270
三、磁场强度·····	271
四、磁导率·····	272
7-2. 磁性材料的磁性能·····	274
一、高导磁性·····	274
二、磁饱和性·····	275
三、磁滞性·····	276
7-3. 磁路及其基本定律·····	279
7-4. 交流铁心线圈电路·····	283
7-5. 变压器·····	290
一、变压器的工作原理·····	290
二、变压器的外特性·····	299
三、变压器的损耗与效率·····	300
四、特殊变压器·····	301
五、变压器绕组极性的测定·····	304
7-6. 电磁铁·····	307
习题·····	312
第八章 异步电动机 ·····	316
8-1. 三相异步电动机的转动原理·····	317
8-2. 三相异步电动机的极数与转速·····	320
8-3. 三相异步电动机的构造·····	323
8-4. 三相异步电动机的定子电路与转子电路·····	326
一、定子电路·····	326
二、转子电路·····	328

8-5. 三相异步电动机的转矩与机械特性	331
一、转矩公式	331
二、机械特性曲线	332
8-6. 三相异步电动机的起动	336
一、起动性能	336
二、起动方法	337
8-7. 三相异步电动机的调速	343
一、变极调速	343
二、变频调速	344
三、变转差率调速	344
8-8. 三相异步电动机的制动	345
一、能耗制动	345
二、反接制动	345
三、发电反馈制动	346
8-9. 三相异步电动机的铭牌数据	347
8-10. 三相异步电动机的选择	352
一、功率的选择	353
二、种类和类型的选择	355
三、电压和转速的选择	357
8-11. 单相异步电动机	358
习题	363
第九章 同步电机	366
9-1. 同步电机的构造	366
9-2. 同步发电机的工作原理	368
一、空载运行	368
二、电枢反应	369
三、外特性与调节特性	373
四、电压方程与相量图	374
五、转矩与功率	376
9-3. 同步发电机与电网并联运行时功率的调节	379

一、无功功率的调节	380
二、有功功率的调节	382
9-4. 同步发电机的励磁	383
9-5. 同步电动机的工作原理	385
9-6. 励磁电流对同步电动机运行情况的影响	389
习题	391
第十章 直流电机	393
10-1. 直流电机的构造	393
10-2. 直流电机的基本工作原理	395
10-3. 直流发电机	398
一、他励发电机	399
二、并励发电机	402
三、复励发电机	405
10-4. 并励电动机的机械特性	405
10-5. 并励电动机的起动与反转	409
10-6. 并励(他励)电动机的调速	411
一、改变磁通 Φ (调磁)	411
二、改变电压 U (调压)	413
习题	414
第十一章 控制电机	417
11-1. 伺服电动机	418
一、交流伺服电动机	418
二、直流伺服电动机	423
三、直流力矩电动机	425
11-2. 测速发电机	427
一、交流测速发电机	427
二、直流测速发电机	429
11-3. 自整角机	432
一、控制式自整角机	432
二、力矩式自整角机	436

11-4. 步进电动机	438
习题	443
第十二章 继电器控制系统	445
12-1. 常用控制电器	445
一、组合开关	445
二、按钮	446
三、交流接触器	447
四、中间继电器	449
五、热继电器	449
六、熔断器	450
七、自动空气断路器	451
12-2. 鼠笼式电动机直接起动的控制线路	452
12-3. 鼠笼式电动机正反转的控制线路	456
12-4. 行程控制	458
12-5. 时间控制	460
*12-6. 速度控制	464
*12-7. 应用举例	465
一、加热炉自动上料控制线路	465
二、横梁自动升降控制线路	467
习题	470
第十三章 工业企业供电与安全用电	473
13-1. 发电、输电概述	473
13-2. 工业企业配电	475
*13-3. 导线截面的选择	476
一、根据发热条件选择导线截面	476
二、根据容许电压损失选择导线截面	478
13-4. 接地和接零	480
一、工作接地	480
二、保护接地	481
三、保护接零	482

习题	483
第十四章 电工测量	484
14-1. 电工测量仪表的分类	485
14-2. 电工测量仪表的型式	488
一、磁电式仪表	489
二、电磁式仪表	491
三、电动式仪表	492
14-3. 电流的测量	494
14-4. 电压的测量	496
14-5. 万用表	497
一、磁电式万用表	497
二、数字式万用表	500
14-6. 功率的测量	501
一、单相交流和直流功率的测量	502
二、三相功率的测量	502
14-7. 兆欧计	505
14-8. 用电桥测量电阻、电容与电感	506
一、直流电桥	506
二、交流电桥	507
习题	509
附录	512
附录一 国际单位制(SI)、静电单位制(CGSE)和电磁单位制 (CGSM)之间的关系	512
附录二 国际单位制(SI)的词头	513
附录三 常用导电材料的电阻率和电阻温度系数	513
部分习题答案	514
中英名词对照	522

绪 论

1. 电能的应用及其与生产发展的关系

电工学是研究电能和技术领域中应用的技术基础课程。电能的应用范围是极其广泛的。现代一切新的科学技术的发展无不与电有着密切的关系。所谓电气化,就是要把整个国民经济转移到最先进的机器设备的基础上,在生产和生活中最广泛地应用电能。

电能的应用,在生产技术上曾引起了划时代的革命。在现代工业、农业及国民经济的其他各个部门中,逐渐以电力作为主要的动力来源。工业上的各种生产机械(如机床、起重机、轧钢机、锻压和铸造设备、鼓风机、水泵等)主要是用电动机来驱动的。在机械制造工艺上,如电镀、电焊、高频淬火、电炉冶炼金属、电蚀加工、超声波加工、电子束和离子束加工等,都是电能的应用。对生产过程中所涉及到的一些物理量(如长度、速度、压力、温度、水位、流量等),都可用电的方法来测量和进行自动调节,以实现生产过程的自动化。农业生产的进一步发展要靠现代化的技术,而现代化农业技术的主要动力是电力。在农业上将日益广泛地采用电力排灌设备、粮食和饲料的电力加工装置等。电也是现代物质、文化生活中所不可缺少的,如电灯、电话、电影、电视、无线电广播及 X 射线透视等都是电能的应用。

随着生产和科学技术发展的需要,电子技术得到高度发展和广泛应用(如空间电子技术、生物医学电子技术、信息处理和遥感技术、微波应用等),它对于社会生产力的发展,也起着变革性的推

动作用。电子水准是现代化的一个重要标志，电子工业是实现现代化的重要物质技术基础。电子工业的发展速度和技术水平，特别是电子计算机的高度发展及其在生产领域中的广泛应用，直接影响到工业、农业、科学技术和国防建设，关系着社会主义建设的发展速度和国家的安危；也直接影响到亿万人民的物质、文化生活，关系着广大群众的切身利益。

电能所以会得到这样广泛的应用，是因为它具有无可比拟的优越性。电能的优越性主要表现在下列三个方面：

(1) 便于转换 电能可以从水能(水力发电)、热能(火力发电)、原子能(原子能发电)、化学能(电池)及光能(光电池)等转换而得；同时也可以将电能转换为其他所需要的能量形态，如利用电动机将电能转换为机械能，利用电炉将电能转换为热能，利用电灯将电能转换为光能，利用扬声器将电能转换为声能。电能之间也可以转换，如利用整流器将交流电能转换为直流电能，利用振荡器将直流电能转换为交流电能。

此外，工业生产中为了实现自动控制和调节，也可以将非电量利用传感器转换为电量(信号)。

(2) 便于输送 电能可以方便地被输送到远方，而且输电设备简单，输电效率很高。我们知道，工厂通常建于原料产地或运输方便之处，而发电站则大多建于有能源的地方，二者之间有一定的距离。动力基地与工业基地在位置上存在的这个矛盾，由于电能的远距离输送而得到了解决。电能不仅输送方便，而且分配也很容易，自几十瓦的电灯到几千千瓦的电动机，根据用电需要，都可以分配自如。

此外，电能也可以不通过导线而以电磁波的形式传播。

(3) 便于控制 利用电能可以达到高度自动化。例如，能控制生产过程或设备，实现程序控制、数字控制或最佳状态控制；能

检测生产过程的各种参数,转换成一定的电信号,实现自动调节和管理自动化。

此外,利用电能还能实现巡回检测、分析数据、程序显示、处理故障等功能。

所以,电能的应用对劳动生产率的提高和社会生产力的发展起着巨大的作用。

2. 电工技术发展概况

现在,人们已经掌握了大量的电工技术方面的知识,而且电工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,我国在十一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。直到十二世纪,指南针才由阿拉伯人传入欧洲。

在十八世纪末和十九世纪初的这个时期,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,揭开了电学理论的新的一页。同年,安培(A. M. Ampère)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