



面向 21 世纪 课程 教材
Textbook Series for 21st Century

电 工 学

上 册

电工技术 (第五版)

秦曾煌 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

面向 21 世纪课程教材
Textbook Series for 21st Century

电 工 学

上 册

电工技术 (第五版)

秦曾煌 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

(京)112号

图书在版编目(CIP)数据

电工学 上册 电工技术/秦曾煌主编. —5版. —北京:
高等教育出版社, 1999

ISBN 7-04-007238-6

I. 电… I. 秦… III. ①电工学②电工技术 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 30972 号

书 名 电工学 第五版 上册
作 者 秦曾煌 主编

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号

邮政编码 100009

电 话 010—64054588

传 真 010—64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

经 销 新华书店北京发行所

排 版 高等教育出版社照排中心

印 刷 中国科学院印刷厂

纸张供应 山东高唐纸业集团总公司

开 本 787×960 1/16

版 次 1964 年 4 月第 1 版

1999 年 6 月第 5 版

印 张 29

印 次 1999 年 6 月第 1 次印刷

字 数 520 000

定 价 29.80 元

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等
质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

内 容 简 介

本书是教育部“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”的研究成果,是面向 21 世纪课程教材和教育部工科电工学“九五”规划教材。本书(第五版)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。各章均附有习题。另编有《电工学学习指导》(第二版),作为与本书配套的教学参考书。本书可作为高等学校非电类专业上述两门课程的教材,也可供其他工科专业选用和社会读者阅读。

本书(第五版)由大连理工大学唐介教授和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奖三等奖。

第五版序言

自1962年编写本书第一版以来,已经历了三十六年。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,在第四版的基础上总结提高,修订编写的。

本版与第四版比较,在电工技术和电子技术两部分分别作了如下调整和更新。

电工技术部分:

1. 对电路的要求基本未变,仅将受控源、导纳、复杂交流电路、非正弦周期电流电路的计算及交流铁心线圈的等效电路等改为选讲内容;
2. 删去同步发电机和直流发电机,对同步电动机仅作简单介绍,充实了三相异步电动机变频调速的内容;
3. 增加“可编程控制器及其应用”一章,删去继电器接触器控制的部分内容;
4. 适当加强安全用电和节约用电知识;
5. 增加了非电量的电测法和自动控制的基本概念。

电子技术部分:

1. 在放大电路部分删去或精简了一些分立元件电路,加强了运算放大器的分析和应用;
2. 加强了晶闸管的应用,例如结合电动机的变频调速,增加晶闸管逆变器一节;
3. 在数字电路部分,由小规模集成电路入门,以中规模集成电路为重点,结合应用引入大规模集成电路;
4. 增加“存储器和可编程逻辑器件”一章,侧重其应用;
5. 加强应用,特别注意将多种元器件或单元电路组成实用系统,使学生了解它们之间的联系,建立完整概念;
6. 此外,还编入功率场效应管、集成功率放大电路、晶闸管交流调压、卡诺图、数据分配器和数据选择器、环形计数器、环形分配器、CMOS D触发器、

集电极开路“与非”门及传输门等内容。

由于非电专业甚多,对电工学的要求不一,学时也有差异,为了使用教材的灵活性,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)

如直流电机、控制电机、非电测量、晶闸管等章节,仅对部分专业讲授。

3. 选讲内容(标以“*”号,用小号字排)

一般是指加深加宽内容,作为教师选讲和学生参考之用。

本版教材由大连理工大学唐介教授和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;本书前四版还得到许多教师 and 广大读者的关怀,他们提出了大量宝贵意见,在此深表谢忱。

本书第12章“可编程控制器及其应用”由姜三勇同志编写,王卫同志提供部分初稿;第23章“存储器和可编程逻辑器件”由丁继盛同志编写。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,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

1998年5月

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各专业适用的“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、份量和安排系统,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各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_e 、

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

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	(11)
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	(17)
1.5.3 电源短路	(18)
1.6 基尔霍夫定律	(19)
1.6.1 基尔霍夫电流定律	(20)
1.6.2 基尔霍夫电压定律	(21)
1.7 电路中电位的概念及计算	(25)
习题	(28)
第2章 电路的分析方法	(33)
2.1 电阻串并联联接的等效变换	(33)
2.1.1 电阻的串联	(33)
2.1.2 电阻的并联	(34)
2.2 电阻星形联接与三角形联接的等效变换	(39)
2.3 电压源与电流源及其等效变换	(41)
2.3.1 电压源	(41)
2.3.2 电流源	(42)
2.3.3 电压源与电流源的等效变换	(43)
2.4 支路电流法	(49)
2.5 结点电压法	(53)
2.6 叠加原理	(56)
2.7 戴维宁定理与诺顿定理	(59)

2.7.1 戴维宁定理	(60)
2.7.2 诺顿定理	(63)
*2.8 受控电源电路的分析	(66)
2.9 非线性电阻电路的分析	(69)
习题	(72)
第3章 正弦交流电路	(82)
3.1 正弦电压与电流	(82)
3.1.1 频率与周期	(83)
3.1.2 幅值与有效值	(84)
3.1.3 初相位	(85)
3.2 正弦量的相量表示法	(88)
3.3 电阻元件、电感元件与电容元件	(94)
3.3.1 电阻元件	(95)
3.3.2 电感元件	(95)
3.3.3 电容元件	(98)
3.4 电阻元件的交流电路	(101)
3.5 电感元件的交流电路	(103)
3.6 电容元件的交流电路	(106)
3.7 电阻、电感与电容元件串联的交流电路	(110)
3.8 阻抗的串联与并联	(119)
3.8.1 阻抗的串联	(119)
3.8.2 阻抗的并联	(120)
*3.9 复杂正弦交流电路的分析与计算	(126)
3.10 交流电路的频率特性	(130)
3.10.1 RC 串联电路的频率特性	(130)
3.10.2 串联谐振	(135)
3.10.3 并联谐振	(139)
3.11 功率因数的提高	(143)
习题	(146)
第4章 三相电路	(154)
4.1 三相电压	(154)
4.2 负载星形联接的三相电路	(157)
4.3 负载三角形联接的三相电路	(165)
4.4 三相功率	(166)
习题	(168)

第5章 非正弦周期电流的电路	(172)
5.1 非正弦周期量的分解	(172)
5.2 非正弦周期量的有效值	(177)
* 5.3 非正弦周期电流的线性电路的计算	(179)
5.4 非正弦周期电流电路中的平均功率	(183)
习题	(185)
第6章 电路的暂态分析	(188)
6.1 换路定则与电压和电流初始值的确定	(189)
6.2 RC 电路的响应	(193)
6.2.1 RC 电路的零输入响应	(193)
6.2.2 RC 电路的零状态响应	(197)
6.2.3 RC 电路的全响应	(202)
6.3 一阶线性电路暂态分析的三要素法	(205)
6.4 微分电路与积分电路	(209)
6.4.1 微分电路	(210)
6.4.2 积分电路	(212)
6.5 RL 电路的响应	(213)
6.5.1 RL 电路的零输入响应	(213)
6.5.2 RL 电路的零状态响应	(216)
6.5.3 RL 电路的全响应	(218)
* 6.6 RLC 电路的零输入响应	(220)
习题	(224)
第7章 磁路与铁心线圈电路	(229)
7.1 磁场的基本物理量	(229)
7.1.1 磁感应强度	(229)
7.1.2 磁通	(230)
7.1.3 磁场强度	(230)
7.1.4 磁导率	(231)
7.2 磁性材料的磁性能	(232)
7.2.1 高导磁性	(232)
7.2.2 磁饱和性	(233)
7.2.3 磁滞性	(234)
7.3 磁路及其基本定律	(236)
7.4 交流铁心线圈电路	(240)
7.4.1 电磁关系	(240)

7.4.2 电压电流关系	(241)
7.4.3 功率损耗	(242)
*7.4.4 等效电路	(243)
7.5 变压器	(245)
7.5.1 变压器的工作原理	(245)
7.5.2 变压器的外特性	(252)
7.5.3 变压器的损耗与效率	(253)
7.5.4 特殊变压器	(253)
7.5.5 变压器绕组的极性	(256)
7.6 电磁铁	(257)
习题	(260)
第8章 交流电动机	(263)
8.1 三相异步电动机的构造	(263)
8.2 三相异步电动机的转动原理	(265)
8.2.1 旋转磁场	(266)
8.2.2 电动机的转动原理	(269)
8.2.3 转差率	(270)
8.3 三相异步电动机的电路分析	(271)
8.3.1 定子电路	(271)
8.3.2 转子电路	(272)
8.4 三相异步电动机的转矩与机械特性	(274)
8.4.1 转矩公式	(274)
8.4.2 机械特性曲线	(275)
8.5 三相异步电动机的起动	(278)
8.5.1 起动性能	(278)
8.5.2 起动方法	(279)
8.6 三相异步电动机的调速	(283)
8.6.1 变频调速	(283)
8.6.2 变极调速	(284)
8.6.3 变转差率调速	(284)
8.7 三相异步电动机的制动	(285)
8.7.1 能耗制动	(285)
8.7.2 反接制动	(286)
8.7.3 发电反馈制动	(286)
8.8 三相异步电动机的铭牌数据	(287)

8.9 三相异步电动机的选择	(291)
8.9.1 功率的选择	(291)
8.9.2 种类和类型的选择	(293)
8.9.3 电压和转速的选择	(294)
△8.10 同步电动机	(295)
8.11 单相异步电动机	(296)
8.11.1 电容分相式异步电动机	(296)
8.11.2 罩极式异步电动机	(298)
习题	(299)
△第9章 直流电动机	(301)
9.1 直流电机的构造	(301)
9.2 直流电机的基本工作原理	(302)
9.3 直流电动机的机械特性	(305)
9.4 并励电动机的起动与反转	(307)
9.5 并励(他励)电动机的调速	(309)
9.5.1 改变磁通 Φ (调磁)	(309)
9.5.2 改变电压 U (调压)	(310)
习题	(311)
△第10章 控制电机	(313)
10.1 伺服电动机	(313)
10.1.1 交流伺服电动机	(313)
10.1.2 直流伺服电动机	(317)
10.1.3 直流力矩电动机	(318)
10.2 测速发电机	(319)
10.2.1 交流测速发电机	(320)
10.2.2 直流测速发电机	(321)
10.3 自整角机	(323)
10.3.1 控制式自整角机	(324)
10.3.2 力矩式自整角机	(327)
10.4 步进电动机	(329)
10.5 自动控制的基本概念	(331)
习题	(334)
第11章 继电接触器控制系统	(336)
11.1 常用控制电器	(336)
11.1.1 组合开关	(336)

11.1.2 按钮	(337)
11.1.3 交流接触器	(338)
11.1.4 中间继电器	(339)
11.1.5 热继电器	(339)
11.1.6 熔断器	(340)
11.1.7 自动空气断路器	(341)
11.2 鼠笼式电动机直接起动的控制线路	(341)
11.3 鼠笼式电动机正反转的控制线路	(344)
11.4 行程控制	(346)
11.5 时间控制	(347)
* 11.6 应用举例	(351)
11.6.1 加热炉自动上料控制线路	(352)
11.6.2 C620-1型普通车床控制线路	(352)
习题	(354)
第12章 可编程控制器及其应用	(357)
12.1 可编程控制器的结构和工作原理	(357)
12.1.1 可编程控制器的结构及各部分的作用	(357)
12.1.2 可编程控制器的工作原理	(359)
12.1.3 可编程控制器的主要技术性能	(360)
12.1.4 可编程控制器的主要功能和特点	(361)
12.2 可编程控制器的程序编制	(362)
12.2.1 可编程控制器的编程语言	(363)
12.2.2 可编程控制器的编程原则和方法	(364)
12.2.3 可编程控制器的指令系统	(367)
12.3 可编程控制器应用举例	(384)
12.3.1 三相异步电动机Y- Δ 换接起动控制	(385)
12.3.2 加热炉自动上料控制	(387)
* 12.3.3 三层楼电梯随机控制系统	(388)
习题	(391)
第13章 工业企业供电与安全用电	(395)
13.1 发电·输电概述	(395)
13.2 工业企业配电	(397)
13.3 安全用电	(398)
13.3.1 电流对人体的作用	(398)
13.3.2 触电方式	(399)

13.3.3 接地和接零	(400)
13.4 节约用电	(403)
习题	(404)
第14章 电工测量	(405)
14.1 电工测量仪表的分类	(405)
14.2 电工测量仪表的型式	(408)
14.2.1 磁电式仪表	(408)
14.2.2 电磁式仪表	(410)
14.2.3 电动式仪表	(411)
14.3 电流的测量	(412)
14.4 电压的测量	(413)
14.5 万用表	(414)
14.5.1 磁电式万用表	(414)
14.5.2 数字式万用表	(417)
14.6 功率的测量	(418)
14.6.1 单相交流和直流功率的测量	(418)
14.6.2 三相功率的测量	(419)
14.7 兆欧表	(420)
14.8 用电桥测量电阻、电容与电感	(421)
14.8.1 直流电桥	(422)
14.8.2 交流电桥	(422)
△14.9 非电量的电测法	(424)
14.9.1 应变电阻传感器	(425)
14.9.2 电感传感器	(426)
14.9.3 电容传感器	(427)
14.9.4 热电传感器	(428)
习题	(432)
附录	(434)
附录 A 国际单位制(SI)、静电单位制(CGSE)和电磁单位制(CGSM)之间的 关系	(434)
附录 B 国际单位制(SI)的词头	(435)
附录 C 常用导电材料的电阻率和电阻温度系数	(435)
部分习题答案	(436)
中英名词对照	(444)

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,电工学是高等工业学校本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. Х. 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(Б. С. Якоби)在1834年制造出世界上第一台电动机,从而证明了实际应用电能的可能性。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-Д обровольский)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(А. С. 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