

PEARSON

电机、拖动及电力系统

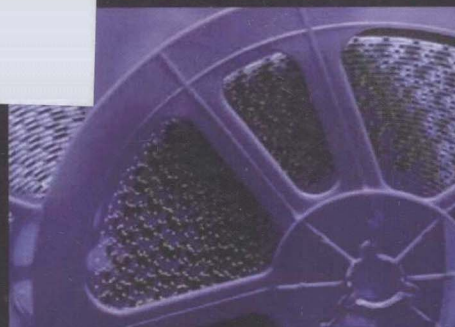
(原书第6版)

[加拿大] 西多奥·威尔迪 (Theodore Wildi) 著

潘再平 杨莉 等译

*Electrical Machines,
Drives and Power
Systems
Sixth Edition*

**ELECTRICAL MACHINES,
DRIVES, AND
POWER SYSTEMS**



Theodore Wildi



机械工业出版社
China Machine Press

电机、拖动及电力系统

(原书第6版)

[加拿大] 西多奥·威尔迪 (Theodore Wildi) 著
潘再平 杨莉 等译

*Electrical Machines,
Drives and Power
Systems
Sixth Edition*

ELECTRICAL MACHINES,
DRIVES, AND
POWER SYSTEMS



Theodore Wildi



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

电机、拖动及电力系统 (原书第 6 版) / (加) 威尔迪 (Wildi, T.) 著; 潘再平, 杨莉等译.
—北京: 机械工业出版社, 2014.9

(国外电子与电气工程技术丛书)

书名原文: Electrical Machines, Drives and Power Systems, Sixth Edition

ISBN 978-7-111-47471-5

I. 电… II. ①威… ②潘… III. ①电机 ②电力传动 ③电力系统 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 199097 号

本书版权登记号: 图字: 01-2007-4202

Authorized translation from the English language edition, entitled *Electrical Machines, Drives and Power Systems, 6E*, 9780131776913 by Theodore Wildi, published by Pearson Education, Inc., Copyright © 2006.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc.

Chinese Simplified language edition published by Pearson Education Asia Ltd., and China Machine Press Copyright © 2015.

本书中文简体字版由 Pearson Education (培生教育出版集团) 授权机械工业出版社在中华人民共和国境内 (不包括中国台湾地区和香港、澳门特别行政区) 独家出版发行。未经出版者书面许可, 不得以任何方式抄袭、复制或节录本书中的任何部分。

本书封底贴有 Pearson Education (培生教育出版集团) 激光防伪标签, 无标签者不得销售。

本书理论联系实际, 讲述了电机、拖动及电力系统的基本概念、原理等内容, 有助于读者对电气工程技术进行全面的了解。本书分 3 章, 共 30 章, 内容涵盖电磁学、力学和热学的基础知识、直流发电机、直流电动机、同步发电机、同步电动机、单相电动机、各种变压器、感应电机、电气控制、电力电子技术、发电、输电、电能分配、谐波、PLC 等。

本书适合电气工程专业的师生和从事电气工程相关工作的人员阅读。

出版发行: 机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码: 100037)

责任编辑: 谢晓芳

责任校对: 董纪丽

印刷: 北京诚信伟业印刷有限公司

版次: 2015 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

开本: 185mm × 260mm 1/16

印张: 48

书号: ISBN 978-7-111-47471-5

定价: 139.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88378991 88361066

投稿热线: (010) 88379604

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱: hzsj@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光 / 邹晓东

出版者的话

文艺复兴以来,源远流长的科学精神和逐步形成的学术规范,使西方国家在自然科学的各个领域中取得了垄断性的优势;也正是这样的传统,使美国在信息技术发展的六十多年间名家辈出、独领风骚。在商业化的进程中,美国的产业界与教育界越来越紧密地结合,信息学科中的许多泰山北斗同时身处科研和教学的最前线,由此而产生的经典科学著作,不仅擘划了研究的范畴,还揭示了学术的源变,既遵循学术规范,又自有学者个性,其价值并不会因年月的流逝而减退。

近年,在全球信息化大潮的推动下,我国的信息产业发展迅猛,对专业人才的需求日益迫切。这对我国教育界和出版界都既是机遇,也是挑战;而专业教材的建设在教育战略上显得举足轻重。在我国信息技术发展时间较短的现状下,美国等发达国家在其信息科学发展的几十年间积淀和发展的经典教材仍有许多值得借鉴之处。因此,引进一批国外优秀教材将对我国教育事业的发展起到积极的推动作用,也是与世界接轨、建设真正的世界一流大学的必由之路。

机械工业出版社华章公司较早意识到“出版要为教育服务”。自1998年开始,我们就将工作重点放在了遴选、移译国外优秀教材上。经过多年的不懈努力,我们与Pearson、McGraw-Hill、Elsevier、John Wiley & Sons、CRC、Springer等世界著名出版公司建立了良好的合作关系,从他们现有的数百种教材中甄选出Thomas L. Floyd、Charles K. Alexander、Behzad Razavi、John G. Proakis、Stephen Brown、Allan R. Hambley、Albert Malvino、Mark I. Montrose、David A. Johns、Peter Wilson、H. Vincent Poor、Dikshitulu K. Kalluri、Bhag Singh Guru、Stephane Mallat等大师名家的经典教材,以“国外电子与电气工程技术丛书”为总称出版,供读者学习、研究及珍藏。这些书籍在读者中树立了良好的口碑,并被许多高校采用为正式教材和参考书籍。其影印版“经典原版书库”作为姊妹篇也越来越多地被实施双语教学的学校所采用。

权威的作者、经典的教材、一流的译者、严格的审校、精细的编辑,这些因素使我们的图书有了质量的保证。随着电气与电子信息学科建设的不断完善和教材改革的逐渐深化,教育界对国外电气与电子信息教材的需求和应用都将步入一个新的阶段,我们的目标是尽善尽美,而反馈的意见正是我们达到这一终极目标的重要帮助。华章公司欢迎老师和读者对我们的工作提出建议或给予指正,我们的联系方式如下:

华章网站: www.hzbook.com

电子邮件: hzsj@hzbook.com

联系电话: (010) 88379604

联系地址: 北京市西城区百万庄南街1号

邮政编码: 100037



华章教育

华章科技图书出版中心

译者序

本书是 Theodore Wildi 教授于 1981 年所著、极为畅销的电气工程领域的教材，本译本是 2006 年出版的该书第 6 版。

本教材内容全面，涵盖了电气工程中的电路原理、电机学、电力电子技术、电机控制、电力系统基础等课程的主要内容。教材共分四部分，第一部分介绍了电气工程所需的电学、磁学、力学、热学及电路基本知识；第二部分介绍了直流电机、异步电机、同步电机及变压器等的基本原理；第三部分涉及电气传动技术，介绍了电力电子技术、直流电机与交流电机的电子控制；第四部分的内容为电力系统，介绍了包括新能源发电在内的各类发电厂、电能的传输与分配（包括直流输电）、电能的控制技术等。

译者在浙江大学为弱电类专业的本科生开设过一门电气驱动类的综合性的课程，该课程综合了电机学、微特电机、低压电器及控制、电力电子技术、电机控制等课程的内容，通过有限的教学时数使弱电类专业学生能掌握电气学科的基础知识，鉴于当时国内没有合适的教材，还专门编写出版了《电气控制技术基础》教材来满足教学要求。本书对电气工程的涉及面更广，也有深度，是一本内容完整、描述清楚、便于自学的好教材，非常适合作为电气类专业、非电气类专业学习电气工程基础的教材与参考书。

本书的翻译工作量大，历经数年。其中 24~31 章由杨莉、王晶老师合作翻译，潘再平翻译了全书的其余部分。感谢浙江大学电机系部分研究生与本科生（由于人数较多，不一一列出名单），他们为本书的翻译工作付出了辛勤的劳动，不少章节的初步翻译工作是由他们完成的。感谢机械工业出版社的各位编辑，他们对译稿进行了认真、一丝不苟的编辑工作。

由于译者水平所限，译文中难免有不妥或疏漏之处，恳请读者提出批评及宝贵意见。

潘再平

前言

在准备本书第 6 版时,我想将一些对电力系统有较大影响的新内容介绍给大家,其中有以下 5 部分内容。

- 第 13 章、12.23~12.26 节介绍了双馈感应电机的原理与特性。该电机的调速可通过在定子加固定频率交流电,而在转子通入可变频率交流电来实现,故名为“双馈”。双馈电机原来用作变速电动机来驱动大型水泵等负载,现在,该电机在风力发电中作为双馈发电机使用。由于风力发电的重要性,有必要在本书中介绍这种特殊的电机。
- 第 21 章、21.45~21.51 节对 PWM 的相关内容作了重要的修改,增加了新的内容及图片。
- 第 23 章介绍了几种电动机调速的电子控制方法。23.31~23.40 节特别介绍了直接转矩控制(DTC)方法,与应用 PWM 及矢量控制方法不同,DTC 使用了砰-砰控制法,其对速度及转矩的控制与其他方法不同,该章根据感应电机原理,对此做了直观的分析。
- 第 24 章、24.28~24.35 节讨论了风能、风力发电。分析了几种各具特点的风力发电方法。
- 第 28 章、28.20~28.24 节介绍了轻型直流输电方案,随着 IGBT 的功率容量的提高,可在直流输电装置中使用 IGBT 将电能输向远端。故数十兆瓦容量的变流器可应用高频的 PWM 技术,使滤波器的体积大大下降,更重要的是变流器可根据需要吸收或发出无功功率。

本书第 6 版的教师手册有了重要变化,题解由手写版改为电脑排版,使之便于阅读。另外,相关信息及工程应用(包括题解)公布在 Theodore Wildi Web (<http://www.wildi-theo.com>) 上。

本书第 6 版中新的内容大约有 50 页,这些新内容与原书已有的数百页中的内容相关。以单独写书介绍风力发电为例,需 200 页左右的篇幅描述感应电机原理、电力电子技术、速度调节等内容。而本书的完整的知识体系,使得介绍新技术时无需对基础知识作重新讲解,也帮助读者了解这些知识是如何贯穿在一起的。

技术发展综述

本书的更新着眼于计算机技术在工业控制及自动化中的应用。通过计算机可以模拟继电器及其触点,计算机控制的通/断控制可通过键盘编程的虚拟继电器及其触点来取消硬件的布置及连线。借助于互联网,可将可程序逻辑控制器(PLC)与整个工业制造过程结合起来,从而将管理、销售、采购及消费满意度有机地结合。

电力电子技术已广泛应用于电气传动领域,传动系统不仅仅具有直流电动机或交流电动机,而且包括相应的电子控制器。即“驱动”一词涉及电动机及其驱动器,且能控制电动机的转矩与速度。在教学中应充分注意上述变化。

技术发展涵盖以下内容:1)大容量电力电子器件的发展,如绝缘栅极双极型晶体管(IGBT)的工作

频率可达到 20kHz，而晶闸管、门极可关断晶闸管（GTO）的容量可达到数千安电流，电压也达到 5kV。

2) 另一重要的因素是微处理器计算能力的提高，它能以惊人的速度进行信号的实时处理。

高开关频率的 IGBT 使脉宽调制（PWM）技术可应用于变流器，实现对感应电动机的转矩和速度控制。

多数工业驱动系统的容量范围为分马力至 500 马力，该容量范围的电动机驱动器中的功率器件可使用 IGBT。使用 IGBT 的驱动器具有低维护成本、高效、更高的生产率等特点，这促进了电动机驱动器的更新换代。因此，在动态性能要求较高的场合，维护方便的交流调速系统也在取代直流调速系统。

变流器技术的快速发展影响了工业、商业活动的各个环节，应用这些新技术，电梯、电动机车、电驱动舰船、伺服机构、加热系统、通风系统、空调系统、风扇、压缩机及大量的工业生产流水线等装置或系统得到了提升。

相对稳定 50 余年的输电、配电系统也受此影响发生了变化。如同步调相机、变频机组等大型旋转电机已被完全没有旋转部件的固态变流器所取代。

大功率静态开关、晶闸管可控电容器、可进行相位补偿的变流器等装置随着相关技术的发展而出现。新的电力潮流控制方法，FACTS（Flexible AC Transmission System）可使输配电系统能传输更大的功率，以满足日益增长的电力需求。由于变流器的反应速度很快，它可以稳定受到外界干扰的电网。

一个很重要的事实是：所有这些技术发展都基于共同的基础。换句话说，使用在电动机驱动系统中的变流器与在电力系统潮流控制中应用的变流器是相似的。这样，本书所有内容都前后连贯起来，方便了使用电机、驱动与电力系统教材的老师与学生。

一些重要章节的简述

第 2 章介绍了如何列写电路方程。大多数学生知道如何求解这些方程，但却在列写方程时遇到困难。作者介绍了易于掌握的 AC/DC 电路求解过程，读者可由此受益。

第 11 章介绍特殊变压器，其中包括高频变压器。高频变压器与变流器的高频化紧密相关，该变压器的体积随频率升高而下降。

第 16 章介绍同步发电机，该发电机体积增大时，效率及单位体积输出功率会增大。这个概念有助于设计此类发电机。

第 18 章介绍单相感应电动机的等效电路，该电路是依据三相感应电动机近似后得到的。

第 21 章介绍电力电子技术，讨论变流器、PWM 技术等，如何使 IGBT 变流电路产生任意频率、任意波形的输出电能的方法。

第 23 章介绍交流电动机的电子控制，包括变速运行时感应电机特性、PWM 驱动器、磁通矢量控制等内容。

第 29 章介绍电力传输、分配的固态控制器，解释电力传输中的电子控制技术，讨论了与电能质量相关的暂降、暂升、谐波、电压下降等概念。改善电力质量的电子控制方法对电力系统的重要性日益加强。

第 30 章讨论谐波，介绍谐波如何影响电容、电感、电缆、变压器的性能，影响电力系统的质量。该章以简单的语言说明谐波是怎样产生的，又是如何消除的。

本书读者对象

本书讨论的内容所需的基础知识为电路理论、代数及三角学等。

本书写作时对复杂问题进行了易于理解的处理，故适用各种类型的读者。它即适合大专院校 2 年制的电类学科，由于其涉及面很广，也适合 4 年制的相关学科。许多学校将此书作为电力系统课程的教材。工业实践环节的指导老师也可在该书中找到许多可直接应用于实验室或电气工业中的相关信息。该书也可应用于继续教育，书中的众多样例方便自学。

每章结尾的习题分为 3 个层次：初级、中级和高级。为方便读者解题，在书的后面附有题解。读者也可在书后的参考文献（包括图书、论文、网站等）中找到更进一步的信息。

快速浏览本书，可发现书中照片的重要性。通过图表和图片，可展示各装置、系统的结构及使用场合。不少学生可能从未去过相关工厂，未近距离观察过输配电系统，但照片可帮助他们了解这些装置、电机等。

通过 31 章的内容，读者可了解如何将不同的概念结合在一起，如同步电动机的术语及功率方程与输电线的类似。而与输电线相关的无功功率是变流器中的重要概念。因此，在某一方面得到的知识可应用到另外场合。其结果是：对电机、驱动与电力系统的学习将成为充满挑战、发人深省的体验。

为了表达实际的电机和电力系统，应该关注转动惯量、材料的物理极限及由于发热引起的问题，这涉及多学科研究领域。总之，本书采用理论、实际及多学科分析来帮助读者对电气工程技术作全面的了解，使各位掌握更多的相关知识从而具有更多的就业机会。

最后，对本书的使用作一下说明：电力工业，尤其在快速功率半导体器件方面在过去 10 年中得到了快速发展。电机、驱动及电力系统的更新换代需要时间，在此期间，本书涉及的相关技术不会有较大的变化。因此，本书第 6 版将会使用较长一段时间。

致谢

作者深深感谢对本书第 6 版以及前几版的写作做出贡献的以下人士：

教授及审核者：Robert T. H. Alden, Professor Emeritus, McMaster University; Ramon E. Ariza, Delgado Community College; Fred E. Eberlin, Educational Consultant; David Krispinsky, Rochester Institute of Technology; Athulu Kulatunga, Southeast Missouri State University; Rick Miller, Ferris State University; M. H. Nehir, Montana State University; Martin M. Peros, Seneca College; James E. Roach, Bob Jones University; Chandra Sekhur, Purdue University; Gerald Seigny, Southern Maine Technical College; Philippe Viarouge and Hoang Le-Huy, Laval University; Stacy Wilson, Western Kentucky University; and Thomas Young, Rochester Institute of Technology.

特别感谢对本书提出非常有价值建议的 Scott Norr (University of Minnesota-Duluth) 和 Andrzej Trzynadlowski (University of Nebraska-Reno)。

商业、工程界及相关学会人士：Gilbert Sybille of Hydro-Quebec Power System Simulation Laboratory (IREQ), André Duponl, Raj Kapila, G. Linhofer, and Katherine Sahapoglu of ABB; Roger Bullock, Gerry Goyette, Jim McCormick, James Nanney, Darryl J. Van Son, and Roddy Yates of Baldor Electric Company;

Jacques Bédard, Guy Goupil, and Michel Lessard of Lab-Volt Ltd. ; Richard B. Dubé of General Electric Company; Abdel-Aty Edric and Ashock Sundaram of Electric Power Research Institute; Nell H. Woodley of Westinghouse Electric Corporation; Maurice Larabie, Jean-Louis Martin, and Bernard Oegema of Schneider Canada; Carl Tobie of Edison Electric Institute; Damiano Esposito and Vance E. Gulliksen of Carnival Cruise Lines; Scott Lindsay of Daiya Control Systems; Louis Bélisle and Jean Lamontagne of Lumen; Benoit Arsenault and Les Halmos of Allen Bradley.

我也在这里感谢出版商 Charles E. Stewart, Jr, Prentice Hall 公司的副主编 Mayda Bosco, 及高级编辑 Alexandrina B. Wolf, 感谢他们对本书出版的各种帮助。

感谢我的儿子, Karl, 他对本书的最新版本的文字处理付出了辛勤的劳动。

感谢我的妻子, Rachel, 我在假期忙于写作、咨询及教学时, 她一直支持我的工作。

许多教师、学生、工程师、技术人员通过 wildi@wildi-theo.com 邮箱提出了问题和建议, 非常感谢! 希望大家继续关心本书。

Theodore Wildi

目 录

出版者的话

译者序

前言

第一部分 基础知识

第 1 章 单位 2

1.0 引言 2

1.1 单位制 2

1.2 国际单位制 2

1.3 基本单位和导出单位 3

1.4 基本单位的定义 3

1.5 导出单位的定义 4

1.6 倍数单位和分数单位 5

1.7 常用单位 5

1.8 换算表及其用处 6

1.9 测量中的标么值系统 7

1.10 一个基准量的标么值系统 7

1.11 两个基准量的标么值系统 8

习题 10

第 2 章 电学、磁学及电路基本原理 12

2.0 引言 12

2.1 电流方向 12

2.2 电源和负载的区别 12

2.3 标志符号 13

2.4 电压的双下标符号表示 13

2.5 电压的标志符号 14

2.6 交流电压图 14

2.7 正负电流 15

2.8 正弦电压 15

2.9 把余弦函数转化为正弦函数 16

2.10 交流电压的有效值 16

2.11 相量表示法 17

2.12 谐波 18

2.13 电感中的能量 19

2.14 电容中的能量 20

2.15 一些有用的公式 20

2.16 磁场强度 H 与磁通密度 B 21

2.17 真空中的 $B-H$ 曲线 21

2.18 磁性材料中的 $B-H$ 曲线 21

2.19 确定相对磁导率 22

2.20 法拉第电磁感应定律 22

2.21 导体中的感应电压 23

2.22 导体上的洛伦兹力 23

2.23 作用在直线导体上的电磁力

方向 24

2.24 剩磁通密度和矫顽力 24

2.25 磁滞回线 25

2.26 磁滞损耗 25

2.27 旋转造成的磁滞损耗 26

2.28 涡流 26

2.29 静止铁心中的涡流 26

2.30 旋转铁心中的涡流损耗 27

2.31 电感中的电流 28

电路和方程 31

2.32 基尔霍夫电压定律 31

2.33 基尔霍夫电压定律和双下标

表示法 31

2.34 基尔霍夫电流定律 32

2.35 电流、阻抗和相关电压 32

2.36 基尔霍夫定律和交流电路 33

2.37 KVL 和符号表示法 34

2.38 利用符号表示法解交流和

直流电路 34

2.39 电路中的混合表示法 35

习题 35

第3章 力学和热学的基本知识 38

3.0 引言	38
3.1 力	38
3.2 转矩	38
3.3 机械功	39
3.4 功率	39
3.5 电动机的功率	39
3.6 能量的转化	40
3.7 效率	40
3.8 直线运动的动能	41
3.9 转动动能、转动惯量	41
3.10 转矩、转动惯量对速度的影响	43
3.11 电动机/负载系统的速度	43
3.12 在机械连接系统中的能量流动	44
3.13 电动机驱动具有转动惯量的负载	44
3.14 电动机驱动直线运动的负载	45
3.15 热量和温度	46
3.16 温度定标	46
3.17 物体温度升高所需的热量	47
3.18 热量的传递	47
3.19 导体传热	47
3.20 热量的对流传送	48
3.21 对流的热损耗计算	48
3.22 热辐射	49
3.23 辐射损耗的计算	49
习题	49

第二部分 电机与变压器**第4章 直流发电机** 52

4.0 引言	52
4.1 产生交流电势	52
4.2 直流发电机	53
4.3 交流发电机和直流发电机的不同	53
4.4 改善波形	54
4.5 感应电势	55
4.6 中性线	56

4.7 感应电势的大小	56
4.8 发电机负载运行：能量转化过程	57
4.9 电枢反应	57
4.10 移动电刷位置以改善换向	58
4.11 换向极	58
4.12 他励发电机	59
4.13 空载下的饱和曲线	59
4.14 并励发电机	60
4.15 控制并励发电机的端电压	60
4.16 等效电路	61
4.17 他励发电机的负载运行	61
4.18 并励发电机的负载运行	62
4.19 复励发电机	62
4.20 差复励发电机	62
4.21 负载特性	63
4.22 发电机的规格	63
直流发电机的构造	63
4.23 主磁极	63
4.24 电枢	64
4.25 换向器和电刷	65
4.26 多极发电机的详细分析	66
4.27 理想换向过程	68
4.28 实际换向过程	69
习题	70

第5章 直流电动机 72

5.0 引言	72
5.1 反电动势	72
5.2 电动机的加速过程	73
5.3 机械功率和转矩	74
5.4 旋转速度	75
5.5 电枢速度控制	76
5.6 变磁场调速	77
5.7 并励电动机带负载运行	78
5.8 串励电动机	79
5.9 串励电动机的速度控制	80
5.10 串励电动机的应用	80
5.11 复励电动机	81

5.12 改变旋转方向	82	7.9 功率因数	109
5.13 并励电动机的起动	82	7.10 功率三角形	109
5.14 触点式起动器	82	7.11 电源和负载的其他概念	110
5.15 电动机制动	83	7.12 包含多种负载的系统	111
5.16 能耗制动	83	7.13 没有磁场的无功功率	113
5.17 反接制动	84	7.14 使用功率三角形方法解决交流 电路的问题	113
5.18 能耗制动和机械时间常数	84	7.15 功率和矢量标记	116
5.19 电枢反应	86	7.16 电源和负载的规则 (符号 标记)	118
5.20 电枢反应产生的磁通畸变	86	7.17 源和负载的规则 (双下标 标记)	118
5.21 换向极	86	习题	119
5.22 补偿绕组	87	第 8 章 三相电路	122
5.23 调速基础	88	8.0 引言	122
5.24 永磁电动机	89	8.1 多相系统	122
习题	89	8.2 单相发电机	122
第 6 章 电机的效率和散热	91	8.3 单相发电机输出功率	123
6.0 引言	91	8.4 二相发电机	124
6.1 机械损耗	91	8.5 二相发电机的输出功率	124
6.2 电气损耗	91	8.6 三相发电机	125
6.3 负载作用下的损耗	93	8.7 三相发电机的输出功率	126
6.4 效率曲线	93	8.8 Y联结	127
6.5 温升	95	8.9 电压关系	127
6.6 电气设备的预期寿命	95	8.10 Δ 联结	129
6.7 绝缘体的耐热等级	96	8.11 三相线路的传输功率	131
6.8 最大环境温度和热点温升	96	8.12 三相电路中的有功、无功和 视在功率	131
6.9 电阻法测温升	98	8.13 三相电路的计算	132
6.10 转速和电机尺寸之间的关系	98	8.14 工业负载	133
习题	99	8.15 相序	135
第 7 章 有功功率、无功功率和 视在功率	101	8.16 相序的确定	137
7.0 引言	101	8.17 交流电路的功率测量	137
7.1 瞬时功率	101	8.18 三相三线制电路的功率测量	137
7.2 有功功率	102	8.19 三相四线制电路的功率测量	138
7.3 无功功率	103	8.20 无功功率表	139
7.4 无功负载和无功电源的定义	104	8.21 从单相转换成三相	139
7.5 电容和无功功率	105	习题	140
7.6 有功功率和无功功率的区别	106		
7.7 视在功率	106		
7.8 P 、 Q 和 S 之间的关系	107		

第 9 章 理想变压器	143	11.2 自耦变压器	178
9.0 引言	143	11.3 普通变压器连接成为自耦 变压器	179
9.1 线圈中的感应电势	143	11.4 电压互感器	181
9.2 外施电压与感应电势	144	11.5 电流互感器	181
9.3 基本变压器	145	11.6 电流互感器的二次侧不能开路 ..	183
9.4 变压器的极性	145	11.7 环形电流互感器	183
9.5 同名端的特性	146	11.8 自耦变压器	184
9.6 空载时的理想变压器; 电压比 ...	146	11.9 高阻抗变压器	184
9.7 带负载的理想变压器; 电流比 ...	148	11.10 感应加热	186
9.8 理想变压器的电路模型	149	11.11 高频变压器	187
9.9 阻抗比	150	习题	188
9.10 阻抗变换	151	第 12 章 三相变压器	190
习题	153	12.0 引言	190
第 10 章 实际变压器	155	12.1 三相组式变压器的基本性质 ...	190
10.0 引言	155	12.2 Δ/Δ 联结	190
10.1 具有非理想铁心的理想 变压器	155	12.3 Δ/Y 联结	192
10.2 不完全耦合的理想变压器	156	12.4 Y/Δ 联结	193
10.3 一次侧与二次侧的漏电抗	158	12.5 Y/Y 联结	193
10.4 实际变压器的等效电路	158	12.6 开路 Δ 联结	194
10.5 电力变压器的结构	159	12.7 三相变压器	195
10.6 标准端部标志	160	12.8 升压变压器和降压变压器	196
10.7 极性测试	160	12.9 相移原理	197
10.8 变压器抽头	161	12.10 三相变两相变压器	198
10.9 变压器额定功率与损耗	161	12.11 相移变压器	200
10.10 空载磁化曲线	162	12.12 三相变压器的计算	201
10.11 冷却方法	162	12.13 三相变压器的极性标记	202
10.12 等效电路的简化	164	习题	203
10.13 电压调整率	165	第 13 章 三相感应电机	205
10.14 变压器阻抗的测量	166	13.0 引言	205
10.15 标么值	169	13.1 主要结构	205
10.16 变压器阻抗	170	13.2 运行原理	207
10.17 典型阻抗标么值	171	13.3 旋转磁场	207
10.18 变压器并联	173	13.4 旋转方向	210
习题	175	13.5 极数——同步转速	211
第 11 章 特殊变压器	177	13.6 笼型电动机的起动特性	212
11.0 引言	177	13.7 转子的升速——转差	213
11.1 双电压配电变压器	177	13.8 电动机负载运行	213

13.9 转差和转差率	213	14.13 单相	248
13.10 转子中感应电势和频率	214	14.14 频率变化	249
13.11 笼型感应电动机的特性	214	14.15 感应电动机作为发电机使用 ...	249
13.12 感应电动机电流的估算	216	14.16 感应电机的完整转矩-速度 特性	251
13.13 有功功率流	216	14.17 绕线式转子感应电动机特性 ...	251
13.14 转矩-速度曲线	219	14.18 高惯性负载的起动	251
13.15 转子电阻效应	220	14.19 变速驱动	252
13.16 绕线式转子异步电动机	220	14.20 频率变换器	252
13.17 三相绕组	222	习题	254
13.18 扇形电动机	226	第 15 章 感应电动机的等效电路	257
13.19 直线感应电动机	226	15.0 引言	257
13.20 行波	227	15.1 绕线式转子感应电动机	257
13.21 直线感应电动机的特性	227	15.2 能量关系	260
13.22 磁悬浮	228	15.3 感应电动机的相量图	260
双馈感应电机	230	15.4 最大转矩和速度	261
13.23 双馈绕线式电动机(调速) ...	230	15.5 两种实用型电动机的等效电路 ...	262
13.24 双馈绕线式转子电动机 (亚同步状态时的功率关系) ...	231	15.6 最大转矩的计算	262
13.25 双馈绕线式转子电动机 (超同步状态时的功率关系) ...	231	15.7 转矩速度曲线与其他特性	263
13.26 双馈绕线式转子发电机	232	15.8 异步发电机的性质	264
习题	235	15.9 等效电路参数的实验测定	266
第 14 章 三相感应电机的选择和 应用	238	习题	268
14.0 引言	238	第 16 章 同步发电机	269
14.1 感应电动机的标准和分类	238	16.0 引言	269
14.2 基于环境和冷却方法的分类 ...	238	16.1 商用同步发电机	269
14.3 基于电气和机械特性的分类 ...	240	16.2 极数	270
14.4 电动机转速的选择	241	16.3 定子的主要特性	270
14.5 双速电动机	242	16.4 转子的主要特性	271
14.6 不同负载下的感应电动机 特性	244	16.5 励磁与励磁装置	273
14.7 感应电动机的起动	246	16.6 无刷励磁	274
14.8 感应电动机的反接制动	246	16.7 影响同步发电机大小的因素 ...	274
14.9 能耗制动	246	16.8 空载磁化曲线	276
14.10 异常情况	247	16.9 同步电抗——交流发电机等效 电路	277
14.11 机械过载	247	16.10 X_s 的测量	278
14.12 线电压改变	248	16.11 阻抗基值与 X_s 标么值	279
		16.12 短路比	280
		16.13 带载运行时的同步发电机 ...	280

16.14	调节曲线	282	18.3	转矩-转速特性	317
16.15	发电机的同步	283	18.4	工作原理	317
16.16	无穷大母线上的同步发电机 ...	284	18.5	堵转转矩	319
16.17	无限大母线——励磁电流 变化的影响	284	18.6	电阻分相式电动机	319
16.18	无限大母线——机械转矩 变化的影响	285	18.7	电容起动式电动机	321
16.19	交流发电机特性的物理 解释	286	18.8	单相感应电动机的效率和 功率因数	323
16.20	发电机输出的有功功率	287	18.9	单相电动机的振动	323
16.21	有功功率的控制	288	18.10	电容运转式电动机	324
16.22	瞬时电抗	288	18.11	反转	325
16.23	两电源间的功率传递	289	18.12	罩极电动机	325
16.24	效率、功率与电机的大小 ...	290	18.13	通用电动机	326
习题		292	18.14	磁滞电动机	327
第 17 章 同步电动机		296	18.15	同步磁阻电动机	329
17.0	引言	296	18.16	同步传动	329
17.1	结构	296	单相电动机的等效电路		330
17.2	同步电动机的起动	298	18.17	磁动势分布	330
17.3	牵入转矩	298	18.18	单相电动机的旋转磁动势 ...	331
17.4	同步电动机负载运行	299	18.19	单相电动机电路图推导	332
17.5	同步电动机负载运行时的 计算	299	习题		335
17.6	功率与转矩	302	第 19 章 步进电动机		337
17.7	机械角度与电角度	303	19.0	引言	337
17.8	磁阻转矩	303	19.1	基本步进电动机	337
17.9	同步电动机的损耗和效率	305	19.2	惯性的作用	337
17.10	励磁与无功功率	306	19.3	机械负载的作用	339
17.11	额定功率因数	306	19.4	转矩-电流曲线	339
17.12	V 形曲线	307	19.5	起-停步频	340
17.13	同步电动机的制动	309	19.6	转速	340
17.14	同步电动机与感应电动机 ...	310	19.7	缓冲	341
17.15	同步调相器	311	19.8	步进电动机的类型	341
习题		312	19.9	电动机绕组与驱动方式	344
第 18 章 单相电动机		315	19.10	高速运转	346
18.0	引言	315	19.11	改进时间常数	347
18.1	单相感应电动机的结构	315	19.12	双电平驱动	348
18.2	同步转速	317	19.13	不稳定和共振	350
			19.14	步进电动机和直线驱动	350
			习题		350

第三部分 电气传动

第 20 章 电动机控制基础 354

- 20.0 引言 354
- 20.1 控制硬件 354
- 20.2 常开和常闭触点 358
- 20.3 继电器线圈励磁电流 358
- 20.4 控制图 358
- 20.5 起动方法 359
- 20.6 手动直接起动器 360
- 20.7 起动器 361
- 20.8 点动 363
- 20.9 反转 364
- 20.10 反接制动 365
- 20.11 降压起动 366
- 20.12 串电阻起动 366
- 20.13 自耦变压器起动 369
- 20.14 其他起动方式 371
- 20.15 主令控制器 372
- 20.16 计算机和控制 373
- 电气驱动 373
- 20.17 电气驱动基础 373
- 20.18 典型的转矩-速度曲线 374
- 20.19 转矩-速度曲线的形状 374
- 20.20 电流-转速曲线 376
- 20.21 再生制动 378
- 习题 378

第 21 章 电力电子技术基础 381

- 21.0 引言 381
- 21.1 电位 381
- 21.2 基本电气元件的端电压 382
- 二极管和二极管电路 383
- 21.3 二极管 383
- 21.4 二极管的主要参数 384
- 21.5 电阻串联型电池充电器 385
- 21.6 电感串联型电池充电器 386
- 21.7 单相桥式整流电路 387
- 21.8 滤波 388

21.9 三相三脉波二极管整流电路 ... 390

21.10 三相六脉波整流电路 (三相
桥式整流电路) 391

21.11 有效线电流、基波线电流 ... 395

21.12 畸变系数 396

21.13 位移因数、总功率因数 396

21.14 谐波分量与 THD 396

晶闸管和晶闸管电路 397

21.15 晶闸管 397

21.16 门极触发原理 398

21.17 晶闸管的功率增益 399

21.18 电流中断与强迫换流 399

21.19 基本晶闸管功率电路 401

21.20 带无源负载的可控整流电路
(电路 1) 401

21.21 带有源负载的可控整流电路
(电路 2) 402

21.22 电网换流逆变器 (电路 3) ... 402

21.23 交流静态开关 (电路 4) 403

21.24 周波变换器 (电路 5) 404

21.25 三相六脉波可控变流器
(电路 6) 405

21.26 基本工作原理 406

21.27 三相六脉波整流器带
有源负载 407

21.28 延迟触发——整流模式 408

21.29 延迟触发——逆变模式 410

21.30 触发范围 411

21.31 变流器等效电路 412

21.32 三相六脉波变流器中的电流 ... 412

21.33 功率因数 413

21.34 换流重叠 415

21.35 关断角 415

DC-DC 变换电路 416

21.36 半导体开关 416

21.37 直流变换器 418

21.38 快速开关 419

21.39 阻抗转换 422

21.40	基本二象限直流-直流变换器	422	23.2	电流源型逆变器供电的同步 电机驱动系统	472
21.41	二象限电子变换器	425	23.3	同步电动机和交-交变频器	475
21.42	四象限直流-直流变换器	425	23.4	交-交变频器的电压、频率 控制	475
21.43	开关损耗	427	23.5	交-交变频器供电的笼型感应 电动机	479
21.44	直流-交流方波变换器	428	23.6	笼型异步电动机和调压调速	481
21.45	直流-交流 PWM 变换器	429	23.7	笼型异步电动机的软起动	483
21.46	直流-交流正弦波变换器	430	自换流逆变器	484	
21.47	正弦波的产生	431	23.8	用于笼型电动机的自换流 变频器	484
21.48	PWM 脉冲列的产生	433	23.9	电流源型自换流式变频器 (方波)	485
21.49	直流-交流三相变换器	434	23.10	电压源型自换流式变频器 (方波)	487
21.50	变换器作为通用发电机	439	23.11	绕线式感应电动机的斩波 控制	489
21.51	小结	439	23.12	绕线式感应电动机转子能量 反馈调速	490
习题		440	脉宽调制型调速系统	493	
第 22 章 直流电动机的电子控制		443	23.13	脉宽调制基本概念	493
22.0	引言	443	23.14	脉宽调制方式和感应电动机	494
22.1	一象限速度控制	443	感应电动机的转矩速度控制	495	
22.2	二象限控制——励磁反向	445	23.15	直流电动机和磁通方向	495
22.3	二象限控制——电枢反向	446	23.16	转差、磁通方向和转矩	495
22.4	二象限控制——双变流器	446	23.17	变速控制(恒转矩模式) 特性	497
22.5	四象限控制——有环流 双变流器系统	447	23.18	变速控制(恒功率模式) 特性	499
22.6	正转矩二象限控制	449	23.19	变速控制(发电机模式) 特性	499
22.7	四象限驱动	450	23.20	感应电动机及其等效电路	500
22.8	带续流二极管六脉波变流器	451	23.21	实际电动机的等效电路	500
22.9	半桥变流器	455	23.22	实际电动机的电压频率特性	502
22.10	直流拖动	457	23.23	感应电动机的转速转矩控制	502
22.11	直流电动机斩波调速	459	23.24	载波频率	503
22.12	无刷直流电动机基础	463	23.25	感应电动机动态控制	503
22.13	无换向器电动机	464			
22.14	类似无刷直流电机的同步 电动机	466			
22.15	标准同步电动机和无刷直流 电动机	466			
22.16	无刷直流电动机的实际应用	467			
习题		468			
第 23 章 交流电机的电子控制		471			
23.0	引言	471			
23.1	交流驱动装置的类型	471			