



全国高等学校自动化专业系列教材
教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会牵头规划

Electrical Machinery
and Motion Control Systems

电机与运动控制系统

杨 耕 罗应立 等 编著

Yang Geng, Luo Yingli

陈伯时 主审

Chen Boshi



清华大学出版社



全国高等学校自动化专业系列教材
教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会牵头规划

Electrical Machinery
and Motion Control Systems

电机与运动控制系统

杨 耕 罗应立 等 编著

Yang Geng, Luo Yingli

陈伯时 主审

Chen Boshi

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

随着教学改革的深入,各高等院校在自动化、电气自动化专业中把电动机原理和电机控制系统合为一门课程已成为趋势。本书是满足相关教学需求的一本基础教材。

本书的主要内容有:(1)机电能量转换的基本原理;(2)直流、交流电机基本工作原理、外特性及建模;(3)直流、交流电机传动及其控制系统的原理、分析和设计方法。本书深入浅出,力图体现知识的系统性、先进性、理论性和实用性。书中还配有综合例题、综合习题、仿真程序等。

本书可作为大学自动化、电气自动化专业的本科生教材,其中的控制系统部分也可以作为相关专业的研究生教材。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

电机与运动控制系统/杨耕,罗应立等编著. —北京:清华大学出版社,2006.3

(全国高等学校自动化专业系列教材)

ISBN 7-302-12433-7

I. 电… II. ① 杨… ② 罗… III. 电力传动—控制系统—高等学校—教材 IV. TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 005688 号

出 版 者: 清华大学出版社 地 址: 北京清华大学学研大厦
http://www.tup.com.cn 邮 编: 100084
社 总 机: 010-62770175 客户服务: 010-62776969

责任编辑: 王一玲 王敏稚

印 刷 者: 清华大学印刷厂

装 订 者: 北京市密云县京文制本装订厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 175×245 印张: 23.75 彩插: 4 字数: 511 千字

版 次: 2006 年 3 月第 1 版 2006 年 3 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-12433-7/TM·73

印 数: 1~3000

定 价: 33.00 元

出版说明

《全国高等学校自动化专业系列教材》>>>>

为适应我国对高等学校自动化专业人才培养的需要,配合各高校教学改革的进程,创建一套符合自动化专业培养目标和教学改革要求的新型自动化专业系列教材,“教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会”(简称“教指委”)联合了“中国自动化学会教育工作委员会”、“中国电工技术学会高校工业自动化教育专业委员会”、“中国系统仿真学会教育工作委员会”和“中国机械工业教育协会电气工程及自动化学科委员会”四个委员会,以教学创新为指导思想,以教材带动教学改革为方针,设立专项资助基金,采用全国公开招标方式,组织编写出版一套自动化专业系列教材——《全国高等学校自动化专业系列教材》。

本系列教材主要面向本科生,同时兼顾研究生;覆盖面包括专业基础课、专业核心课、专业选修课、实践环节课和专业综合训练课;重点突出自动化专业基础理论和前沿技术;以文字教材为主,适当包括多媒体教材;以主教材为主,适当包括习题集、实验指导书、教师参考书、多媒体课件、网络课程脚本等辅助教材;力求做到符合自动化专业培养目标、反映自动化专业教育改革方向、满足自动化专业教学需要;努力创造使之成为具有先进性、创新性、适用性和系统性的特色品牌教材。

本系列教材在“教指委”的领导下,从2004年起,通过招标机制,计划用3~4年时间出版50本左右教材,2006年开始陆续出版问世。为满足多层面、多类型的教学需求,同类教材可能出版多种版本。

本系列教材的主要读者群是自动化专业及相关专业的大学生和研究生,以及相关领域和部门的科学工作者和工程技术人员。我们希望本系列教材既能为在校大学生和研究生的学习提供内容先进、论述系统和适于教学的教材或参考书,也能为广大科学工作者和工程技术人员知识更新与继续学习提供适合的参考资料。感谢使用本系列教材的广大教师、学生和科技工作者的热情支持,并欢迎提出批评和意见。

《全国高等学校自动化专业系列教材》编审委员会

2005年10月于北京

《全国高等学校自动化专业系列教材》编审委员会

顾问 (按姓氏笔画):

王行愚(华东理工大学)	冯纯伯(东南大学)
孙优贤(浙江大学)	吴启迪(同济大学)
张嗣瀛(东北大学)	陈伯时(上海大学)
陈翰馥(中国科学院)	郑大钟(清华大学)
郑南宁(西安交通大学)	韩崇昭(西安交通大学)

主任委员: 吴澄(清华大学)

副主任委员: 赵光宙(浙江大学) 萧德云(清华大学)

委员 (按姓氏笔画):

王雄(清华大学)	方华京(华中科技大学)
史震(哈尔滨工程大学)	田作华(上海交通大学)
卢京潮(西北工业大学)	孙鹤旭(河北工业大学)
刘建昌(东北大学)	吴刚(中国科技大学)
吴成东(沈阳建筑工程学院)	吴爱国(天津大学)
陈庆伟(南京理工大学)	陈兴林(哈尔滨工业大学)
郑志强(国防科技大学)	赵曜(四川大学)
段其昌(重庆大学)	程鹏(北京航空航天大学)
谢克明(太原理工大学)	韩九强(西安交通大学)
褚健(浙江大学)	蔡鸿程(清华大学出版社)
廖晓钟(北京理工大学)	戴先中(东南大学)

工作小组(组长): 萧德云(清华大学)

(成员): 陈伯时(上海大学) 郑大钟(清华大学)
田作华(上海交通大学) 赵光宙(浙江大学)
韩九强(西安交通大学) 陈兴林(哈尔滨工业大学)
陈庆伟(南京理工大学)

(助理): 郭晓华(清华大学)

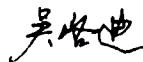
责任编辑: 王一玲(清华大学出版社)

自动化学科有着光荣的历史和重要的地位,20 世纪 50 年代我国政府就十分重视自动化学科的发展和自动化专业人才的培养。五十多年来,自动化科学技术在众多领域发挥了重大作用,如航空、航天等,两弹一星的伟大工程就包含了许多自动化科学技术的成果。自动化科学技术也改变了我国工业整体的面貌,不论是石油化工、电力、钢铁,还是轻工、建材、医药等领域都要用到自动化手段,在国防工业中自动化的作用更是巨大的。现在,世界上有很多非常活跃的领域都离不开自动化技术,比如机器人、月球车等。另外,自动化学科对一些交叉学科的发展同样起到了积极的促进作用,例如网络控制、量子控制、流媒体控制、生物信息学、系统生物学等学科就是在系统论、控制论、信息论的影响下得到不断的发展。在整个世界已经进入信息时代的背景下,中国要完成工业化的任务还很重,或者说我们正处在后工业化的阶段。因此,国家提出走新型工业化的道路和“信息化带动工业化,工业化促进信息化”的科学发展观,这对自动化科学技术的发展是一个前所未有的战略机遇。

机遇难得,人才更难得。要发展自动化学科,人才是基础、是关键。高等学校是人才培养的基地,或者说人才培养是高等学校的根本。作为高等学校的领导和教师始终要把人才培养放在第一位,具体对自动化系或自动化学院的领导和教师来说,要时刻想着为国家关键行业和战线培养和输送优秀的自动化技术人才。

影响人才培养的因素很多,涉及教学改革方方面面,包括如何拓宽专业口径、优化教学计划、增强教学柔性、强化通识教育、提高知识起点、降低专业重心、加强基础知识、强调专业实践等,其中构建融会贯通、紧密配合、有机联系的课程体系,编写有利于促进学生个性发展、培养学生创新能力的教材尤为重要。清华大学吴澄院士领导的《全国高等学校自动化专业系列教材》编审委员会,根据自动化学科对自动化技术人才素质与能力的需求,充分吸取国外自动化教材的优势与特点,在全国范围内,以招标方式,组织编写了这套自动化专业系列教材,这对推动高等学校自动化专业发展与人才培养具有重要的意义。这套系列教材的建设有新思路、新机制,适应了高等学校教学改革与发展的新形势,立足创建精品教材,重视实践性环节在人才培养中的作用,采用了竞争机制,以激

励和推动教材建设。在此,我谨向参与本系列教材规划、组织、编写的老师致以诚挚的感谢,并希望该系列教材在全国高等学校自动化专业人才培养中发挥应有的作用。

 教授

2005 年 10 月于教育部

《全国高等学校自动化专业系列教材》编审委员会在对国内外部分大学有关自动化专业的教材做深入调研的基础上,广泛听取了各方面的意见,以招标方式,组织编写了一套面向全国本科生(兼顾研究生)、体现自动化专业教材整体规划和课程体系、强调专业基础和理论联系实际的系列教材,自2006年起将陆续面世。全套系列教材共50多本,涵盖了自动化学科的主要知识领域,大部分教材都配置了包括电子教案、多媒体课件、习题辅导、课程实验指示书等立体化教材配件。此外,为强调落实“加强实践教学,培养创新人才”的教学改革思想,还特别规划的一组专业实验教程,包括《自动控制原理实验教程》、《运动控制实验教程》、《过程控制实验教程》、《检测技术实验教程》和《计算机控制系统实验教程》等。

自动化科学技术是一门应用性很强的学科,面对的是各种各样错综复杂的系统,控制对象可能是确定性的、也可能是随机性的,控制方法可能是常规控制、也可能需要优化控制。这样的学科专业人才应该具有什么样的知识结构,又应该如何通过专业教材来体现,这正是“系列教材编审委员会”规划系列教材时所面临的问题。为此,设立了《自动化专业课程体系结构研究》专项研究课题,成立了由清华大学萧德云教授负责,包括清华大学、上海交通大学、西安交通大学和东北大学等多所院校参与的联合研究小组,对自动化专业课程体系结构进行深入的研究,提出了按“控制理论与工程、控制系统与技术、系统理论与工程、信息处理与分析、计算机与网络、软件基础与工程、专业课程实验”等知识板块构建的课程体系结构。以此为基础,组织规划了一套涵盖几十门自动化专业基础课程和专业课程的系列教材。从基础理论到控制技术、从系统理论到工程实践、从计算机技术到信号处理、从设计分析到课程实验,涉及的知识单元多达数百个、知识点几千个,介入的学校50多所、参与的教授120多人,是一项庞大的系统工程。从编制招标要求、公布招标公告,到组织投标和评审,最后商定教材大纲,凝聚着全国百余名教授的心血,为的是编写出版一套具有一定规模、富有特色的、既考虑研究型大学又考虑应用型大学的自动化专业创新型系列教材。

然而,如何进一步构建完善的自动化专业教材体系结构?如何建设

基础知识与最新知识有机融合的教材? 如何充分利用现代技术, 适应现代大学生的接受习惯, 改变教材单一形态, 建设数字化、电子化、网络化等多元形态、开放性的“广义教材”? 等等, 这些都还有待我们进行更深入的研究。

本套系列教材的出版, 对更新自动化专业的知识体系、改善教学条件、创造个性化的教学环境, 一定会起到积极的作用。但是由于受各方面条件所限, 本套教材从整体结构到每本书的知识组成都可能存在许多不当甚至谬误之处, 还望使用本套教材的广大教师、学生及各界人士不吝批评指正。

吴炯 院士

2005 年 10 月于清华大学



基于清华大学教学改革的需求,将原自动化专业本科课程“电机与电力拖动”(64学时,内容:直流电机、变压器、交流电机原理、拖动基础)和“运动控制系统”(48学时,内容:直流、交流电机控制系统)重组为新课“电力拖动与运动控制”。本书是为该课程服务的教科书。

本书的主要内容可归纳为一个主题和两条主线。

一个主题:运动控制系统或称电力拖动控制系统。

在前期课程控制理论、计算机技术、数据处理、电力电子等课程的基础上,学习以电动机为被控对象的控制系统,培养学生的系统观念、运动控制系统的基本理论和方法、初步的工程设计能力和研发同类系统的能力。

两条主线:一是能量变换装置原理和外特性,一是运动控制系统原理及其设计。

对于能量变换装置,直流、交流电机等机电能量变换机器是本书讨论的主要内容。主要教学目标是在讲述直流、交流电动机原理的基础上建立适应于不同控制目的的电机的模型,讨论其外特性。由于实现电气能量形态变换的电力电子变换装置已由前期课程“电力电子技术”完成,本书仅简单复习所要用到的有关内容。

对于运动控制系统,知识点较多。本书在介绍直流、交流电动机速度控制系统的一般性知识的同时,重点讨论了当今几个具有典型意义的内容:一个是以单输入单输出、线性系统为特征的直流电机转速、电流双闭环系统,另一个是以多输入单输出、非线性系统为特征的交流感应电机控制系统。在编写中试图体现控制理论与工程实践的结合,同时注意建立基本的控制系统分析与综合的概念和方法。

围绕上述两条主线,本书内容分为两大部分:

1. 直流、交流电机等电磁能量变换装置的原理及建模

由于大学工科普通物理、电路原理课程中大多不讲述磁路的内容,所以第2章补充与电机原理有关的机电能量变换的基本内容,藉此为第3、5、7章的内容打下基础。第3、5章的核心内容为电机的工作原理、外特性和静态模型。

本书试图从使用电机的角度安排和讲述上述相关内容。同时,作者

为基本原理的讲解制作了大量多媒体动画,以便高效率授课。

2. 直流、交流电机控制系统

第4章从直流控制系统入门,建立控制系统分析与设计的概念和方法。在讲述闭环系统时,注意联系线性控制理论,同时注意结合经典的工程设计概念和方法。

对于交流调速系统,第6章基于感应电机的稳态模型重点叙述了应用最广的恒压频比(V/F)控制方法。第7章则着力于基于动态模型的高动态性能控制方法。在7.3、7.4节首先建立感应电机多输入多输出的动态模型,着重说明实现转矩控制的两种策略:以解耦为主要特征的转子磁链定向控制和以定子磁链控制为特征的直接转矩控制。在7.5节则重点讲述永磁同步电机的动态模型和转矩、速度控制系统。

对于第4、5、6、7章的核心内容都设计了采用MATLAB仿真的例题或作业,对仿真时应注意的问题做了必要的说明。

在讲述的顺序上,试图通过第3、4章的“直流电机及其控制系统”和第5、6、7章的“交流电机及其控制系统”两个循环,使学生由浅入深地学习本课程的主要内容。

本书按64学时编写。为了满足多种需求,本书包含了比较全面的内容,而在次要章节前标注“*”以便于读者选择。作者建议,对于本科生重点讲述第2、3、4、5、6章的核心内容,而将第2.5节、第4.6节和第7章作为硕士生课或本科生毕业设计的参考内容。

本书由清华大学杨耕教授、华北电力大学罗应立教授共同构思并主编。上海大学陈伯时教授为本书的结构提出了重要意见。第2章,第3.1、5.1、5.2节由华北电力大学罗应立教授负责编写;第5.3、5.4节由北京交通大学张和生副教授编写。参加这部分编写的还有华北电力大学的刘晓芳教授、王昊、马波、王靖、康锦萍、张新丽等同志。第4章由陈伯时教授指导、由清华大学窦日轩教授与杨耕教授编写。其余各章节由杨耕教授编写。与本书相关的动画模型等由罗应立教授课题组完成,由陈希强、牛印锁制作。清华大学王焕钢博士、耿华博士、于艾和王云飞硕士为书中的MATLAB内容做了设计和仿真。

上海大学陈伯时教授主审了本书,此外许多老师参加了审稿工作,在此谨致衷心的感谢。本书还参考了大量文献,其中有以下具有代表性的著作,在此对有关作者谨表谢意。

(1) 陈伯时. 电力拖动自动控制系统. (第3版). 北京: 机械工业出版社, 2003

(2) Leonhard, W. Control of Electrical Drives. 3rd ed. . Springer-Verlag, 2001

(3) Bimal K. Bose. Modern Power Electronics and AC Drives. Prentice Hall PTR Prentice-Hall Inc., 2002

(4) P. C. Sen. Principle of Electric Machines and Power Electronics. John Wiley & Sons, Inc., 1997

(5) 李发海,陈汤铭等. 电机学. 北京: 科学出版社, 1995

(6) 汤蕴璆,史乃. 电机学. 北京: 机械工业出版社, 1999

为了在大约减少一半学时的条件下,精化原有的知识体系,作者在以下几个方面进行了大量的探索:

(1) 试图编著好面向电机应用类专业的机电能量转换装置知识体系: 对选择出的内容重新设计,由浅入深,力求避免知识块的无序堆积。

(2) 对于控制系统部分,力图体现与前期课程的结合、与工程实际的结合,注意由浅入深地揭示物理本质。

(3) 为了提高学习效率,设计、制作了大量多媒体动画和综合作业。例如,电机动画课件不但用以描述电机的空间结构,而且试图用以实现从电压、电流到磁场再到输出力矩这一能量转换过程的动画建模;空间电压矢量的动画直观地表述了脉冲电压输出与空间矢量以及基波电压之间的对应关系。

(4) 对于交流电机控制系统中的一些前沿问题做了简单的介绍,以便相关人员参考。

我们在编写过程中虽然花了不少精力,但书中仍难免有错误与不足之处。殷切期望广大读者批评指正。

作者

2005 年 10 月

第 1 章 绪论	1
1.1 课程内容的背景	1
1.2 课程的目的和主要内容	4
第 2 章 机电能量转换基础	6
2.1 电机中的能量转换与磁路	7
2.1.1 电机中能量转换的两个实例	7
2.1.2 能量转换装置中的磁场与磁路	8
2.2 磁场的建立	8
2.2.1 安培环路定律及其简化形式	9
2.2.2 磁路的欧姆定律	10
2.2.3 磁路中铁心的作用	11
2.2.4 铁磁材料及其磁化特性	13
2.3 电磁感应定律与电动势	16
2.3.1 电磁感应定律	17
2.3.2 变压器电动势与运动电动势	18
2.4 磁场能量与电感	20
2.4.1 磁场储能与磁共能	20
2.4.2 电感及用电感表示的磁场能量	22
2.5 机电能量转换基本原理	24
2.5.1 典型的机电能量转换装置	24
2.5.2 电磁力和电磁转矩	25
2.6 交流磁路和变压器原理	29
2.6.1 交流磁路分析	29
2.6.2 变压器的空载运行	32
2.6.3 变压器的负载运行	36
*2.6.4 采用微分方程表示的变压器电路方程	40
本章习题	41

第3章 直流电机原理和工作特性	44
3.1 直流电机原理	44
3.1.1 直流电机的用途和主要结构	44
3.1.2 直流电机的基本工作原理	46
3.1.3 直流电机的磁路和电枢绕组	48
3.1.4 电枢电动势与电磁转矩	51
*3.1.5 关于直流电机更多的基本知识	53
3.2 电动机与拖动负载	57
3.2.1 单轴电力拖动系统的运动方程	58
3.2.2 常见的负载转矩特性	59
*3.2.3 稳定工作点与不稳定工作点	61
3.3 他励直流电机的稳态方程和外特性	62
3.3.1 他励直流电机的稳态方程	62
3.3.2 他励直流电机的机械特性	64
3.3.3 他励直流电机的功率关系	68
3.4 他励直流电机的运行特性	71
3.4.1 他励直流电机的起动及调速	71
3.4.2 调速方法的转矩特性及其与负载的配合	74
3.4.3 他励直流电机的四象限运行	78
本章习题	88
第4章 直流电动机调速系统	92
4.1 可控直流电源及其数学模型	92
4.1.1 直流调速系统用可控直流电源	92
4.1.2 可控直流电源的数学模型	95
4.2 对转速控制的要求和开环系统的问题	98
4.2.1 对调速系统的要求和调速指标	98
4.2.2 开环调速系统的性能和存在的问题	102
4.3 转速负反馈单闭环直流调速系统	103
4.3.1 单闭环调速系统的组成及静特性	103
4.3.2 单闭环调速系统的动态分析和校正	108
4.3.3 单闭环调速系统的限流保护	116
4.4 转速、电流双闭环调速系统	119
4.4.1 双闭环调速系统的组成及其静特性	119
4.4.2 双闭环调速系统的起动和抗扰性能	124

4.5 双闭环调速系统动态参数工程设计方法	128
4.5.1 基本思路	128
4.5.2 典型系统及其参数与性能指标的关系	129
4.5.3 非典型系统的典型化	140
4.5.4 工程设计方法在双闭环调速系统调节器设计中的应用	144
*4.6 抗负载扰动控制问题	161
4.6.1 转速微分负反馈控制	161
4.6.2 基于扰动观测器的负载转矩抑制	165
本章习题	174
第5章 交流电机原理	178
5.1 交流电机基本结构	178
5.1.1 反映交流电机基本原理的两个实验模型	178
5.1.2 交流电机的主要类型及基本结构	180
5.1.3 交流电机绕组简介	183
5.2 交流电机的共同问题	188
5.2.1 电枢电流建立的磁场和磁动势	188
5.2.2 电枢绕组的感应电动势	203
5.3 异步电动机原理	210
5.3.1 异步电动机的工作原理	210
5.3.2 三相异步电动机的功率与转矩	224
5.3.3 三相异步电动机的机械特性	227
5.4 同步电动机原理	232
5.4.1 同步电动机的电磁关系	233
5.4.2 同步电动机的功率、转矩和功(矩)角特性	237
5.4.3 同步电动机的起动方法介绍	241
本章习题	242
第6章 交流调速系统的特点和基于电机稳态模型的恒压频比控制	245
6.1 交流调速系统的必要性和特点	245
6.1.1 交流调速系统与直流调速系统的比较	245
6.1.2 交流调速系统的难点和复杂性	247
6.1.3 交流调速系统的基本控制方法和主要应用领域	248
6.2 电压型 PWM 变频电源及控制方法	252
6.2.1 变频电源主电路的基本结构	252
6.2.2 直-交逆变电源的输出波形控制——脉宽调制	256

6.3 基于感应电机稳态模型的恒压频比控制	265
6.3.1 恒压频比控制策略的出发点	266
6.3.2 基频以下电压-频率协调控制时的机械特性	268
6.3.3 基频以上恒压变频时的机械特性	273
6.3.4 系统构成、动静特性及器件开关死区对系统的影响	273
本章习题	279
第7章 具有转矩闭环的交流电动机速度控制系统	281
7.1 坐标变换	282
7.1.1 三相-两相变换(3/2变换)	282
7.1.2 两相-两相旋转变换(2s/2r变换)	284
7.1.3 直角坐标-极坐标变换	287
7.2 异步电动机的动态数学模型	288
7.2.1 异步电动机动态数学模型的性质	288
7.2.2 三相异步电动机的多变量非线性数学模型	288
7.2.3 三相异步电动机在两相静止坐标系上的数学模型	294
7.2.4 三相异步电动机在两相任意旋转坐标系上的数学模型	300
7.3 感应电机按转子磁链定向的矢量控制系统	303
7.3.1 矢量控制系统的基本原理	303
7.3.2 磁链开环转差型矢量控制系统——间接矢量控制系统	309
7.3.3 磁链闭环控制的矢量控制系统——直接矢量控制系统	312
7.4 感应电机的直接转矩控制系统	318
7.4.1 直接转矩控制系统的原理	318
7.4.2 基本型直接转矩控制系统	321
7.4.3 定子、转子磁链定向下的感应电动机模型及对原理 型 DTC 的改进	327
7.5 永磁同步电动机变压变频调速系统	331
7.5.1 同步电动机变压变频调速的特点	332
7.5.2 同步电动机的动态数学模型	333
7.5.3 永磁同步电动机变频调速系统	336
本章习题	344
附录 A 专业术语中英文对照	347
附录 B 本书所用符号一览	352
参考文献	356



1.1 课程内容的背景

1. 运动控制系统

电气机器(electrical machines)中的电机、变压器等设备的原型在 19 世纪就已形成,至今已有一百多年的历史。电气机器作为电能和机械能之间的能量变换机器,被广泛用于工业、家电、交通、航空航天等各个领域,是现代社会的重要支柱之一。近年,各种新型电气机器朝着高效、大容量、小型轻量、高速等方向发展。

为了实现某些系统功能(如转矩、速度、位置的输出),将各种电机、用于电气能量形态变换(如 DC-DC、DC-AC、AC-DC 等)的电力电子变换装置和用于系统控制的控制器组合在一起,如图 1.1.1 中实线部分所示,就构成了电力拖动控制系统(control system of electric drive),也称为运动控制系统(motion control system)。

从狭义上讲,运动控制系统可定义为:以电动机及其拖动的机械设备为控制对象,以控制器为核心,以电力电子功率变换装置为执行机构,在控制理论等指导下可实现电气传动功能的自动控制系统^[1-1]。这类系统控制电机的转矩、转速和转角,控制电能与机械能的转换(主要是由电能转换为机械能),以满足各种需求。

2. 运动控制系统的发展过程和趋势

纵观运动控制的发展历程,交、直流电机两大电气传动并存于各个工业领域,虽然各个时期科学技术的发展使它们所处的地位、所起的作用不同,但它们始终是随着技术的发展,特别是电力电子和微电子技术的发展,在相互竞争、相互促进中不断完善并发生着变化。

由于历史上最早出现的是直流电机,所以 19 世纪 80 年代以前,直流电气传动是惟一的电气传动方式。19 世纪末,出现了交流电、解决了