



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
面向21世纪课程教材

21世纪高等学校机械设计制造及其自动化专业系列教材

机电传动控制

(第五版)

冯清秀 邓星钟 等编著



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

机电传动控制

(第五版)

冯清秀 邓星钟 编著
周祖德 邓 坚

华中科技大学出版社
(中国·武汉)

内 容 提 要

《机电传动控制》教材是根据机械制造及其自动化专业“机电传动控制”课程教学大纲编写的。全书共 11 章,包括拖动基础及传动系统的过渡过程、电动机、继电器接触器控制、可编程控制器、电力电子技术、直流调速系统、交流调速系统、步进电动机驱动系统等。

本书力求突出机电结合、理论联系实际的特点,重点突出各种知识在实际中的应用。课程体系新,内容全面、实用。每章后附有习题和思考题,便于自学。

本书是机械制造及其自动化专业本科生的教材,也可作为机械制造及其自动化专业高职、电大等学生的教材和其他机械类、机电类与近机电类专业本科生或研究生的教材,还可供从事机电一体化工作的工程技术人员参考。

与本书配套的实验指导书是《机电传动控制实验》,学习辅导书是《机电传动控制学习辅导与题解》。本书还配有作者制作的教学课件,需要的任课教师可与责任编辑联系(Tel:027-87548431, Email:xuzhengda@163.com)。

图书在版编目(CIP)数据

机电传动控制(第五版)/冯清秀 邓星钟 等编著. —武汉:华中科技大学出版社,2011.6
ISBN 978-7-5609-6818-6

I. 机… II. ①冯… ②邓… III. 电力传动控制设备-高等学校-教材 IV. TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 250779 号

机电传动控制(第五版)

冯清秀 邓星钟 等编著

责任编辑:徐正达

封面设计:潘 群

责任校对:周 娟

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:华中科技大学印刷厂

开 本:710mm×1000mm 1/16

印 张:22.25

字 数:487千字

版 次:2011年6月第5版第13次印刷

定 价:36.00元



华中科大

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



面向 2 1 世纪 课 程 教 材



21 世纪高等学校机械设计制造
及其自动化专业系列教材

获全国高等学校机电类专业优秀教材二等奖

21 世纪高等学校
机械设计制造及其自动化专业系列教材
编 审 委 员 会

顾问： 姚福生 黄文虎 张启先
(工程院院士) (工程院院士) (工程院院士)

谢友柏 宋玉泉 艾 兴
(工程院院士) (科学院院士) (工程院院士)

熊有伦
(科学院院士)

主任： 杨叔子 周 济 李培根
(科学院院士) (工程院院士) (工程院院士)

委员： (按姓氏笔画顺序排列)

于骏一 王安麟 王连弟 王明智 毛志远

左武炘 卢文祥 朱承高 师汉民 刘太林

李 斌 杜彦良 杨家军 吴昌林 吴 波

吴宗泽 何玉林 何岭松 陈康宁 陈心昭

陈 明 陈定方 张春林 张福润 张 策

张健民 冷增祥 范华汉 周祖德 洪迈生

姜 楷 殷国富 宾鸿赞 黄纯颖 童秉枢

傅水根 傅祥志 廖效果 黎秋萍 戴 同

秘书： 刘 锦 徐正达 万亚军

21 世纪高等学校 机械设计制造及其自动化专业系列教材

总 序

“中心藏之，何日忘之”，在新中国成立 60 周年之际，时隔“21 世纪高等学校机械设计制造及其自动化专业系列教材”出版 9 年之后，再次为此系列教材写序时，《诗经》中的这两句诗又一次涌上心头，衷心感谢作者们的辛勤写作，感谢多年来读者对这套系列教材的支持与信任，感谢为这套系列教材出版与完善作过努力的所有朋友们。

追思世纪交替之际，华中科技大学出版社在众多院士和专家的支持与指导下，根据 1998 年教育部颁布的新的普通高等学校专业目录，紧密结合“机械类专业人才培养方案体系改革的研究与实践”和“工程制图与机械基础系列课程教学内容和课程体系改革研究与实践”两个重大教学改革成果，约请全国 20 多所院校数十位长期从事教学和教学改革工作的教师，经多年辛勤劳动编写了“21 世纪高等学校机械设计制造及其自动化专业系列教材”。这套系列教材共出版了 20 多本，涵盖了机械设计制造及其自动化专业的所有主要专业基础课程和部分专业方向选修课程，是一套改革力度比较大的教材，集中反映了华中科技大学和国内众多兄弟院校在改革机械工程类人才培养模式和课程内容体系方面所取得的成果。

这套系列教材出版发行 9 年来，已被全国数百所院校采用，受到了教师和学生们的广泛欢迎。目前，已有 13 本列入普通高等教育“十一五”国家级规划教材，多本获国家级、省部级奖励。其中的一些教材（如《机械工程控制基础》、《机电传动控制》、《机械制造技术基础》等）已成为同类教材的佼佼者。更难得的是，“21 世纪高等学校机械设计制造及其自动化专业系列教材”也已成为一个著名的丛书品牌。9 年前为这套教材作序的时候，我希望这套教材能加强各兄弟院校在教学改革方面的交流与合作，对机

械工程类专业人才培养质量的提高起到积极的促进作用,现在看来,这一目标很好地达到了,让人倍感欣慰。

李白讲得十分正确:“人非尧舜,谁能尽善?”我始终认为,金无足赤,人无完人,文无完文,书无完书。尽管这套系列教材取得了可喜的成绩,但毫无疑问,这套书中,某本书中,这样或那样的错误、不妥、疏漏与不足,必然会存在。何况形势总在不断地发展,更需要进一步来完善,与时俱进,奋发前进。较之9年前,机械工程学科有了很大的变化和发展,为了满足当前机械工程类专业人才培养的需要,华中科技大学出版社在教育部高等学校机械学科教学指导委员会的指导下,对这套系列教材进行了全面修订,并在原基础上进一步拓展,在全国范围内约请了一大批知名专家,力争组织最好的作者队伍,有计划地更新和丰富“21世纪机械设计制造及其自动化专业系列教材”。此次修订可谓非常必要,十分及时,修订工作也极为认真。

“得时后代超前代,识路前贤励后贤。”这套系列教材能取得今天的成绩,是众多机械工程教育工作者和出版工作者共同努力的结果。我深信,对于这次计划进行修订的教材,编写者一定能在继承已出版教材优点的基础上,结合高等教育的深入推进与本门课程的教学发展形势,广泛听取使用者的意见与建议,将教材凝练为精品;对于这次新拓展的教材,编写者也一定能吸收和发展同类教材的优点,结合自身的特色,写成高质量的教材,以适应“提高教育质量”这一要求。是的,我一贯认为我们的事业是集体的,我们深信由前贤、后贤一定能一起将我们的事业推向新的高度!

尽管这套系列教材正开始全面的修订,但真理不会穷尽,认识决无终结,进步没有止境。“嚶其鸣矣,求其友声”,我们衷心希望同行专家和读者继续不吝赐教,及时批评指正。

是为之序。

中国科学院院士



2009.9.9

第五版前言

邓星钟教授于1987年率先在华中工学院机械系(现华中科技大学机械学院)开设了“机电传动控制”课程,确定了课程的基本内容,撰写了《机电传动控制》教材(1992年正式出版)。承蒙同行专家们的赞同,原国家教委高教司在1993年颁布的普通高等学校本科专业目录和专业简介中,“机电传动控制”被定为机械电子工程专业的必修主干课。《机电传动控制》教材被先后列入普通高等教育“九五”国家级重点教材,“十五”、“十一五”国家级规划教材,并被教育部批准为高等教育“面向21世纪课程教材”。华中科技大学“机电传动控制”课程被教育部列为新世纪网络课程,被湖北省列为省精品课程。

本教材于1992年正式出版后,近二十年来已经改版四次、重印了三十余次,年发行量在两万册以上,目前仍然有两百多所高等院校在使用。

随着科学技术的不断发展,传动控制装置和机械设备已成为一个不可分割的整体。本课程的任务是使学生了解电机传动控制的一般知识,掌握电动机、电器、晶闸管等电气元件的工作原理、特性,以及应用和选用的方法,掌握常用的开环、闭环控制系统的工作原理、特点、性能及应用范围,了解最新控制技术在机械设备中的应用。

本教材的历次修改在内容上体现了与时俱进,在保持了原创特色的基础上,充分反映了电子技术、控制技术等领域的发展,主要思路是根据机械设计制造及自动化等非电类专业的需要,处理好原理与应用、元件与系统、定性与定量、继承与创新、掌握与了解等几个方面的辩证关系。

本教材所用电气图形符号选自国家标准 GB/T 4728—2008,量和单位选自国家标准 GB 3100~3102—1993。

本课程的前修课程是高等数学、物理、电路基础和电子技术,后续课程是数控机床、微机控制系统等。

本教材是机械电子工程专业本科生的教材,可作为机械制造专业本科生和这两个专业电大、函大、夜大、职大生的教材,也可供从事机电一体化工作的工程技术人员参考。

本教材虽经多次修改,但限于作者的水平,一定还存在很多不足甚至错误,仍然恳请采用本教材的教师和读者批评指正。

编者

2010年10月

第一至四版前言

第四版前言

编者于1987年在全国首次开设“机电传动控制”课程,并于1992年正式出版《机电传动控制》教材。承蒙同行专家们的赞同,国家教委高教司于1993年颁布的普通高等学校本科专业目录和专业简介中,“机电传动控制”被定为机械电子工程专业的必修主干课程;同时《机电传动控制》被先后列入普通高等教育“九五”国家级重点教材、“十五”国家级规划教材,并被教育部批准为高等教育“面向21世纪课程教材”及“21世纪高等学校机械设计制造及其自动化专业系列教材”。本教材十多年来已重印了二十余次,年发行量在两万册以上,目前仍在两百多所高等院校使用。

近年来,科学技术的发展异常迅速,这对本教材提出了更高的要求。本教材所涉及的技术进步内容(也是本教材这次修订的依据)主要有以下四个方面:

1. 在电力电子技术中,以晶闸管为主的可控器件在很多方面已被 MOSFET 和 IGBT 等功率开关器件取代,脉宽调制(PWM)技术比相位控制用得更为普遍,集成模块日益普及。
2. 交流传动控制技术更为完善,交流传动控制系统已逐步取代直流传动控制系统。
3. 以数控机床为主的机械位置伺服系统用得愈来愈多,步进电动机控制系统以及交、直流传动控制系统中的检测元件用得更多了。
4. 由于 PLC 的广泛应用和电力半导体器件功率的增大,继电器、接触器控制逐步减少。

本次修订主要体现了与时俱进的思想,反映了以上四方面的进步,但全书仍然以伺服驱动系统为主导,以控制为线索,将元器件与伺服控制系统科学有机地结合起来。在内容处理上保持前三版的特色,主要思路仍然是根据机械设计制造及其自动化等非电类专业的需要,处理好原理与应用、元器件与系统、定性与定量、保旧与建新、掌握与了解等几个辩证关系。修订的具体内容如下:重点改编了第12章交流传动控制系统和第13章步进电动机传动控制系统;为了给这两章提供基本理论和方法,改编了第10章电力电子技术和5.5节三相异步电动机的调速方法与特性,并增加了第7章机电传动控制系统中常用的检测元件;第11章仍以双闭环控制系统为重点,因为它也是交流传动控制系统的基础;对第8章继电器-接触器控制作了大量的删改;对其他的章节仅作了少量的修改;由于第三版中第7章机电传动控制系统中电动机的选择主要是供今后实际设计参考的,它与全书的其他章节内容没有直接的联系,所以把它放到了本版的最后一章。

参加第四版修订工作的是:邓星钟修改绪论,冯清秀、邓星钟、周祖德合作修改第12章和第13章,其他章节均由邓坚编写和修改,邓星钟负责全书修订的组织和最后定稿。

在本书第四版定稿之时,作者特别对使用本书前三版后给我们提出宝贵意见的教师们表示衷心的感谢,也对本书所附“参考文献”的作者深表谢意。

虽经多次修订,但限于作者的水平,加之修订时间较仓促,书中一定还有很多不足甚至错误,仍然恳请采用本教材的教师和读者批评指正。

编者

2006年10月

第三版前言

《机电传动控制》教材第二版于1998年4月出版发行,该教材已经10次印刷,现已被教育部批准为高等教育“面向21世纪课程教材”。为了进一步提高本教材的质量,以适应21世纪高等教育人才培养的需要,特聘请上海交通大学朱承高教授担任本教材的主审,朱教授对本教材进行了全面的审阅,并提出了许多宝贵的意见,作者根据朱教授的意见对本教材进行了认真的修改。在此,我们对朱教授表示衷心的感谢。我们也仍然期待着同行们和广大读者的不吝赐教。

编者

2000年12月

第二版前言

“机电传动控制”课程现已由全国高等学校机械工程类专业教学指导委员会定为“机械工程及自动化”专业的主干技术基础课,《机电传动控制》教材已被定为机械工业部的“九五”规划教材。

本教材第一版于1992年7月出版发行,经6次印刷,被全国几十所高等院校有关专业采用,并于1993年获中南地区高校出版社优秀图书二等奖,1996年获国家机械电子工业部优秀教材二等奖,特别是有关教师通过教学实践后给我们提出了许多宝贵意见,这使我们受到极大的鼓舞,并获得极深的教益。我们衷心感谢兄弟院校有关教师及所有读者的热心支持和充分信任,衷心感谢出版社与有关领导部门的真挚关心和鼓励。

根据大家提出的宝贵意见和我们五年来的教学实践,并考虑到本学科近年来的发展情况和专业的要求,对第一版进行了修订,其修订的主要内容如下:

1. 第六章增加了直线电动机;
2. 第九章删去了顺序控制器,重新编写了可编程序控制器;
3. 第十一章增加了微型计算机控制的直流传动系统;
4. 对其他章节也作了少量修改;
5. 增附了部分习题与思考题的答案或提示。

参加第二版修订工作的有邓星钟(修改第一、二、四、六、七、十、十一章)、周祖德(修改第十二、十三章)、邓坚(修改第三、五、八章并负责重新编写第九章),邓星钟负责全书修订的组织和最后定稿。

修改后的本书有较明显的改进和提高,但与教学改革形势发展的要求尚有差距,编者敬希读者予以批评和指出。

编者

1998.1

第一版前言

“机电传动控制”课程是机械电子工程专业的一门必修的专业基础课,它是机电一体化人才所需电知识结构的躯体。由于电力传动控制装置和机械设备是一个不可分割的整体,所以本课程的任务是使学生了解机电传动控制的一般知识,掌握电机、电器、晶闸管等的工作原理、特性、应用和

选用的方法,掌握常用的开环、闭环控制系统的工作原理、特点、性能及应用场所,了解最新控制技术在机械设备中的应用。

本书的组成系统是根据机械电子工程专业的需要而独自建立的,内容比较全面,在编写时着重考虑了以下几个辩证关系的处理:

- (1) 原理与应用——两者并重,注意理论与实际应用相结合。
- (2) 元件与系统——两者紧密结合,但元件着重外部特性,为在系统中应用服务。
- (3) 定性与定量——重在定性,但建立必要的数量概念。
- (4) 保旧与建新——既要保旧,以反映我国机电传动控制技术的现状;又要建新,以适应当前机电传动控制新技术发展的需要。
- (5) 掌握与了解——对现有正在广泛应用的知识要掌握,对现已出现并开始应用的新技术要了解。

书中所用图形符号采用中华人民共和国国家标准 GB4728-85,文字符号采用 GB7159-87,量和单位采用 GB3100~3102-86。

本课程的前修课是高等数学、物理、电路基础和电子技术,它又要为后续课数控机床、微机控制系统打下基础。

本书是机械电子工程专业本科生的教材,并可作为机械制造专业本科生和这两个专业电大、函大、夜大、职大生的教材,也可供从事机电一体化工作的工程技术人员参考。

本书原稿于1988年10月作为内部教材印出后,除经华中理工大学机械电子工程专业几届学生使用外,还在其他几所学校使用过,受到了从事机电一体化工作的教授、专家和学生们的热情支持和鼓励,华中理工大学王离九教授、徐恕宏教授、林奕鸿教授、熊有伦教授、胡乾斌副教授,合肥工业大学方维坤副教授、王孝武副教授,上海机械学院赵松年副教授,广东工学院孙健教授,成都科技大学张奇鹏副教授,长沙职工大学罗伯强副教授,湖南大学黄义源副教授,西北工业大学马慎兴副教授等对本书提出了许多宝贵意见,指导和促进了本书的修改。在此,作者对他们表示衷心的感谢。

本书第十二、十三章由周祖德编写,邓星钟编写其余各章并负责全书的统编和定稿。

限于编者的水平,书中定有缺点和错误,恳请读者批评指正。

编者

1991.5



总序
第五版前言
第一至四版前言

第 1 章 绪论 (1)

1.1 机电系统的组成 (1)

1.2 机电传动控制的目的和任务 (1)

1.3 机电传动控制的发展概况 (2)

1.4 课程的性质和任务 (3)

1.5 课程的内容安排 (4)

第 2 章 机电传动系统的动力学基础 (5)

2.1 机电传动系统的运动方程式 (5)

2.2 负载转矩、转动惯量和飞轮转矩的折算 (7)

2.2.1 负载转矩的折算 (8)

2.2.2 转动惯量和飞轮转矩的折算 (9)

2.3 机电传动系统的负载特性 (10)

2.4 机电传动系统稳定运行的条件 (12)

2.5 机电传动系统的过渡过程 (13)

2.5.1 研究机电传动系统过渡过程的实际意义 (13)

2.5.2 机电传动系统过渡过程的分析 (14)

2.5.3 机电时间常数 (16)

2.5.4 加快机电传动系统过渡过程的方法 (17)

习题与思考题 (19)

第 3 章 直流电机的工作原理及特性 (21)

3.1 直流电机的基本结构和工作原理 (21)

3.1.1 直流电机的基本结构 (21)

3.1.2 直流电机的基本工作原理 (23)

3.2 直流发电机 (25)

3.2.1 他励发电机	(26)
3.2.2 并励发电机	(27)
3.2.3 复励发电机	(28)
3.3 直流电动机的机械特性	(29)
3.3.1 他励直流电动机的机械特性	(29)
3.3.2 串励电动机的机械特性	(32)
3.3.3 复励电动机的机械特性	(33)
3.4 他励直流电动机的启动特性	(34)
3.5 他励直流电动机的调速特性	(36)
3.5.1 改变电枢电路串接电阻	(37)
3.5.2 改变电动机电枢供电电压	(37)
3.5.3 改变电动机主磁通	(38)
3.6 他励直流电动机的制动特性	(39)
3.6.1 反馈制动	(40)
3.6.2 反接制动	(42)
3.6.3 能耗制动	(44)
习题与思考题	(46)

第4章 交流电动机的工作原理及特性

(49)

4.1 三相异步电动机的结构和工作原理	(49)
4.1.1 三相异步电动机的基本结构	(49)
4.1.2 三相异步电动机的旋转磁场	(51)
4.1.3 三相异步电动机的工作原理	(54)
4.2 异步电动机的额定参数	(55)
4.2.1 定子绕组的连接方式	(55)
4.2.2 三相异步电动机的额定参数	(56)
4.2.3 三相异步电动机的能流图	(57)
4.3 三相异步电动机的转矩与机械特性	(58)
4.3.1 三相异步电动机的定子电路和转子电路	(58)
4.3.2 三相异步电动机的转矩	(61)
4.3.3 三相异步电动机的机械特性	(62)
4.4 三相异步电动机的启动特性	(66)
4.4.1 笼型异步电动机的启动方法	(67)
4.4.2 绕线异步电动机的启动方法	(71)
4.5 三相异步电动机的调速方法与特性	(73)
4.5.1 变极对数调速	(74)

4.5.2	变转差率调速	(75)
4.5.3	变频调速	(77)
4.6	三相异步电动机的制动特性	(80)
4.6.1	反馈制动	(80)
4.6.2	反接制动	(81)
4.6.3	能耗制动	(82)
4.7	单相异步电动机	(83)
4.7.1	单相异步电动机的磁场	(83)
4.7.2	单相异步电动机的启动方法	(85)
4.8	同步电动机	(86)
4.8.1	同步电动机的基本结构	(86)
4.8.2	同步电动机的工作原理和特性	(87)
4.8.3	同步电动机的启动	(88)
	习题与思考题	(89)
第5章	控制电动机	(92)
5.1	步进电动机	(92)
5.1.1	步进电动机的结构与工作原理	(92)
5.1.2	通电方式	(93)
5.1.3	步距角细分	(95)
5.1.4	步进电动机的主要特性	(95)
5.2	直流伺服电动机	(98)
5.3	交流伺服电动机	(99)
5.3.1	交流伺服电动机的基本结构	(100)
5.3.2	无刷直流电动机	(100)
5.3.3	正弦波永磁同步电动机	(103)
5.4	力矩电动机	(105)
5.4.1	直流力矩电动机的结构特点	(105)
5.4.2	直流力矩电动机转矩大、转速低的原因	(105)
5.4.3	直流力矩电动机的特点和应用	(106)
5.5	直线电动机	(106)
	习题与思考题	(109)
第6章	继电器-接触器控制	(110)
6.1	常用控制电器	(110)
6.1.1	电器的分类	(110)
6.1.2	非自动控制电器	(111)

6.1.3	自动控制电器	(113)
6.1.4	主令电器	(119)
6.1.5	其他常用控制电器	(121)
6.2	继电器-接触器控制电路的组成	(127)
6.2.1	继电器-接触器控制电路图的形式	(127)
6.2.2	电气系统的组成与绘制方法	(127)
6.2.3	电路中的基本保护	(128)
6.3	继电器-接触器控制的基本电路	(129)
6.3.1	异步电动机启动控制电路	(129)
6.3.2	异步电动机的正反转控制电路	(133)
6.3.3	异步电动机的制动控制电路	(135)
6.3.4	其他基本控制电路	(137)
	习题与思考题	(139)
第7章	可编程控制器原理与应用	(142)
7.1	PLC的基本结构和工作原理	(142)
7.1.1	PLC的基本结构	(142)
7.1.2	PLC的结构形式	(144)
7.1.3	PLC的工作原理	(145)
7.2	PLC的主要功能和特点	(146)
7.2.1	PLC的功能	(146)
7.2.2	PLC的特点	(146)
7.3	PLC的编程元件	(147)
7.4	PLC的软件技术	(151)
7.4.1	用户数据结构与用户程序表达方式	(151)
7.4.2	基本指令	(153)
7.4.3	常用编程技巧	(160)
7.5	PLC的应用	(163)
7.5.1	PLC控制系统的开发步骤	(164)
7.5.2	PLC实现电动机控制的设计	(168)
7.5.3	交通灯的PLC控制设计	(170)
7.6	步进顺控指令	(173)
7.6.1	状态转移图	(173)
7.6.2	简单流程的状态转移图	(174)
7.6.3	选择性分支流程的状态转移图	(178)
7.6.4	状态转移图的编程方法	(180)

习题与思考题	(182)
第 8 章 电力电子学基础	(184)
8.1 电力半导体器件	(186)
8.1.1 不可控型开关器件	(186)
8.1.2 半控型开关器件	(186)
8.1.3 全控型开关器件	(195)
8.2 可控整流电路	(201)
8.2.1 单相半波可控整流电路	(201)
8.2.2 单相桥式可控整流电路	(203)
8.2.3 三相半波可控整流电路	(208)
8.2.4 三相桥式全控整流电路	(212)
8.3 逆变电路	(214)
8.3.1 有源逆变电路	(214)
8.3.2 无源逆变电路	(217)
8.4 斩波电路与 PWM 控制技术	(227)
8.4.1 斩波电路	(227)
8.4.2 PWM 控制技术	(230)
8.5 电力半导体器件的驱动电路	(238)
8.5.1 驱动电路的一般结构	(238)
8.5.2 晶闸管的触发电路	(239)
8.5.3 全控型器件的驱动电路	(246)
习题与思考题	(252)
第 9 章 直流调速系统	(255)
9.1 调速系统主要性能指标	(255)
9.1.1 静态技术指标	(255)
9.1.2 动态技术指标	(256)
9.2 晶闸管-电动机直流调速系统	(257)
9.2.1 单闭环直流调速系统	(257)
9.2.2 双闭环直流调速系统	(267)
9.2.3 可逆直流调速系统	(271)
9.3 直流脉宽调制调速系统	(277)
9.3.1 PWM 调速系统的工作原理和主要特点	(278)
9.3.2 PWM 调速系统的组成	(279)
9.3.3 PWM 调速系统的分析	(284)
9.4 微型计算机控制的直流传动系统	(286)

9.4.1	用微机取代 ASR、ACR 两个电子调节器的系统	(286)
9.4.2	保留 ASR、ACR 两个电子调节器的微机控制系统	(287)
9.4.3	微机控制的双闭环可逆直流调速系统	(288)
	习题与思考题	(289)
第 10 章	交流自动调速控制系统	(291)
10.1	变压变频调速系统的基本构成与分类	(292)
10.1.1	变频器的基本构成	(292)
10.1.2	变频器的分类	(293)
10.2	交—直—交变频调速系统	(294)
10.2.1	模拟式 IGBT—SPWM—VVVF 交流调速系统	(294)
10.2.2	数字式恒压频比控制交流调速系统	(296)
10.3	无刷直流电动机调速系统	(298)
10.3.1	无刷直流电动机调速系统	(299)
10.3.2	无刷直流电动机驱动控制的专用芯片	(301)
10.4	由交—交变频器供电的同步电动机调速系统	(303)
10.4.1	交—交变频器的基本工作原理	(303)
10.4.2	交—交变频器的控制方式	(304)
10.4.3	三相输出的交—交变频器主电路	(306)
10.5	变频器的选择与使用	(308)
10.5.1	变频器类型的选择	(308)
10.5.2	变频器容量的选择	(309)
10.5.3	变频器外围设备的应用及注意事项	(311)
10.6	异步电动机调压调速系统	(312)
10.6.1	采用晶闸管的交流调压电路	(313)
10.6.2	闭环控制的变压调速系统及其静态特性	(315)
10.6.3	异步电动机变极调压调速系统	(315)
	习题与思考题	(316)
第 11 章	步进电动机控制系统	(318)
11.1	步进电动机的环形分配器	(318)
11.1.1	硬件环形分配器	(318)
11.1.2	软件环形分配器	(321)
11.2	步进电动机驱动电源的功率放大电路	(323)
11.2.1	单电压限流型驱动电路	(323)
11.2.2	高低压切换型驱动电路	(324)
11.2.3	斩波恒流驱动电路	(325)