



高等院校规划教材

杨立主编

齐建玲 曲凤娟 朱蓬华 副主编

计算机控制与仿真技术

注重学科体系的完整性，兼顾考研学生需要
强调理论与实践相结合，注重培养专业技能



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

21 世纪高等院校规划教材

计算机控制与仿真技术

杨 立 主 编

齐建玲 曲凤娟 朱蓬华 副主编

中国水利水电出版社

内 容 提 要

本书融合了控制原理、控制技术和计算机仿真等相关基本知识和应用技术,突出可读性、可操作性和实用性。全书共 10 章,主要包括:控制与仿真的基础知识、控制系统的数学模型、控制原理和分析方法、计算机控制技术的应用、系统仿真算法分析、MATLAB 程序设计语言、控制系统的 MATLAB 仿真、SIMULINK 交互式仿真环境、控制系统的 SIMULINK 仿真、控制系统的计算机仿真应用实例等。

本书内容丰富,融入了作者多年的教学和科研实践经验及体会,在讲述典型知识的基础上侧重实际应用,内容讲解深入浅出,相关知识层次清晰,体现出模块化处理的特点,强调了专业知识与工程实践相结合,注重专业技术与实践技能的培养。

本书可作为大学本科应用型专业学生学习计算机控制与仿真技术的教材,也可作为从事相关领域的工程技术人员学习和应用的参考书。

本书电子教案可以从中国水利水电出版社网站下载,网址: <http://www.waterpub.com.cn/softdown/>。

图书在版编目(CIP)数据

计算机控制与仿真技术 / 杨立主编. —北京: 中国水利水电出版社, 2006

21 世纪高等院校规划教材

ISBN 7-5084-4052-8

I. 计… II. 杨… III. ①计算机控制—高等学校—教材②计算机仿真—高等学校—教材 IV. ①TP273
②TP391.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 106284 号

书 名	计算机控制与仿真技术
作 者	杨 立 主 编 齐建玲 曲凤娟 朱蓬华 副主编
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@263.net (万水) sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)、82562819 (万水)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	北京蓝空印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 17.25 印张 427 千字
版 次	2006 年 11 月第 1 版 2006 年 11 月第 1 次印刷
印 数	0001—4000 册
定 价	26.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换
版权所有·侵权必究



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

面向二十一世纪
免费电子教案

案例式教学
免费样书寄送

立体化配套
完美销售服务

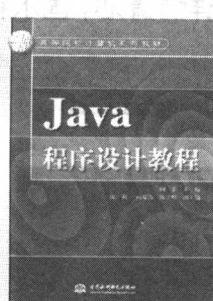
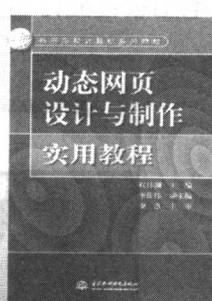
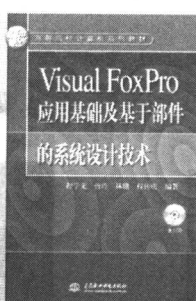
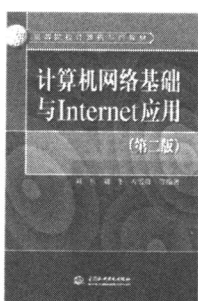
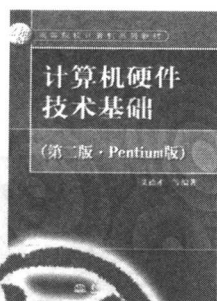
专业 · 品质 · 创新 · 实用

21
世纪

高等院校计算机系列教材

主编高翔高

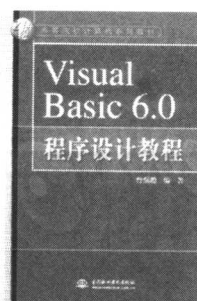
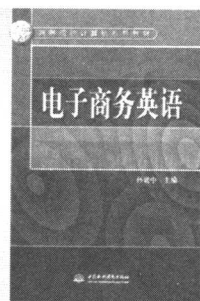
本套教材包含非计算机专业的计算机基础教育、计算机专业的基础课和专业课，由有经验的一线教师根据多年教学经验编写而成，教材中的实例都来源于教师的实际开发，并免费提供源代码。



新

即将推出“高等院校应用型本科系列教材”和
“电子商务与现代物流管理”系列教材

- 电子商务概论
- 电子商务英语
- 电子商务系统的实施方案
- 企业物流案例分析
- 企业物流管理
- 现代物流管理
- 物流仓储配送管理
- 电子商务网络应用技术基础
- 电子商务网站建设
- 电子商务与法律
- 网络营销
- 现代物流运输原理
- 物流与法律



北京万水电子信息有限公司
Beijing Multi-Channel Electronic Information Co., Ltd.

地址: 北京市海淀区长春桥路5号新起点嘉园4号楼1706室
传真: (010)82564371 E-mail: mchannel@263.net

邮编: 100089

电话: (010)82562819



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



面向二十一世纪
免费电子教案

案例式教学
免费样书寄送

立体化配套
完美销售服务

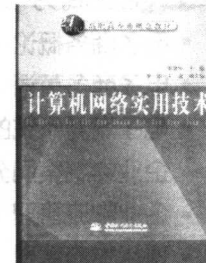
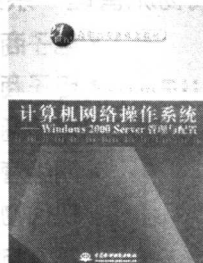
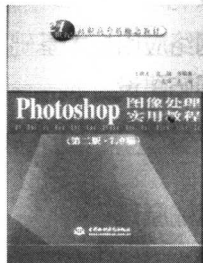
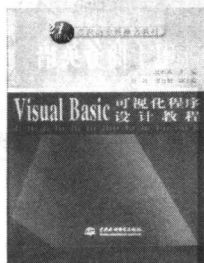
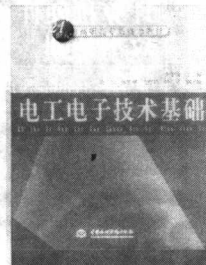
专业 · 品质 · 创新 · 实用

21
世纪

高职高专新概念教材

本套丛书是由一线老师精心编写的，符合教育部对培养应用型人才的要求和高职学生的认知特点，理论讲解以够用为度，采用案例式的教学方式，教师好教、学生易学。

本套教材已出版百余种，涵盖计算机应用专业、计算机网络专业和非计算机专业的公共课，详情请见中国水利水电出版社征订目录。



北京万水电子信息有限公司
Beijing Multi-Channel Electronic Information Co., Ltd.

地址: 北京市海淀区长春桥路5号新起点嘉园4号楼1706室
传真: (010)82564371 E-mail: mchannel@263.net

邮编: 100089

电话: (010)82562819

此为试读, 需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

序

随着计算机科学与技术的飞速发展,计算机的应用已经渗透到国民经济与人们生活的各个角落,正在日益改变着传统的人类工作方式和生活方式。在我国高等教育逐步实现大众化后,越来越多的高等院校会面向国民经济发展的第一线,为行业、企业培养各级各类高级应用型专门人才。为了大力推广计算机应用技术,更好地适应当前我国高等教育的跨越式发展,满足我国高等院校从精英教育向大众化教育的转变,符合社会对高等院校应用型人才培养的各类要求,我们成立了“21 世纪高等院校规划教材编委会”,在明确了高等院校应用型人才培养模式、培养目标、教学内容和课程体系的框架下,组织编写了本套“21 世纪高等院校规划教材”。

众所周知,教材建设作为保证和提高教学质量的重要支柱及基础,作为体现教学内容和教学方法的知识载体,在当前培养应用型人才中的作用是显而易见的。探索和建设适应新世纪我国高等院校应用型人才体系需要的配套教材已经成为当前我国高等院校教学改革和教材建设工作面临的紧迫任务。因此,编委会经过大量的前期调研和策划,在广泛了解各高等院校的教学现状、市场需求,探讨课程设置、研究课程体系的基础上,组织一批具备较高的学术水平、丰富的教学经验、较强的工程实践能力的学术带头人、科研人员和主要从事该课程教学的骨干教师编写出一批有特色、适用性强的计算机类公共基础课、技术基础课、专业及应用技术课的教材以及相应的教学辅导书,以满足目前高等院校应用型人才的需要。本套教材消化和吸收了多年来已有的应用型人才培养的探索与实践成果,紧密结合经济全球化时代高等院校应用型人才培养工作的实际需要,努力实践,大胆创新。教材编写采用整体规划、分步实施、滚动立项的方式,分期分批地启动编写计划,编写大纲的确定以及教材风格的定位均经过编委会多次认真讨论,以确保该套教材的高质量和实用性。

教材编委会分析研究了应用型人才与研究型人才在培养目标、课程体系和内容编排上的区别,分别提出了 3 个层面上的要求:在专业基础类课程层面上,既要保持学科体系的完整性,使学生打下较为扎实的专业基础,为后续课程的学习做好铺垫,更要突出应用特色,理论联系实际,并与工程实践相结合,适当压缩过多过深的公式推导与原理性分析,兼顾考研学生的需要,以原理和公式结论的应用为突破口,注重它们的应用环境和方法;在程序设计类课程层面上,把握程序设计方法和思路,注重程序设计实践训练,引入典型的程序设计案例,将程序设计类课程的学习融入案例的研究和解决过程中,以学生实际编程解决问题的能力为突破口,注重程序设计的实现;在专业技术应用层面上,积极引入工程案例,以培养学生解决工程实际问题的能力为突破口,加大实践教学内容的比重,增加新技术、新知识、新工艺的内容。

本套规划教材的编写原则是:

在编写中重视基础,循序渐进,内容精炼,重点突出,融入学科方法论内容和科学理念,反映计算机技术发展要求,倡导理论联系实际和科学的思想方法,体现一级学科知识组织的层次结构。主要表现在:以计算机学科的科学体系为依托,明确目标定位,分类组织实施,兼容互补;理论与实践并重,强调理论与实践相结合,突出学科发展特点,体现

学科发展的内在规律；教材内容循序渐进，保证学术深度，减少知识重复，前后相互呼应，内容编排合理，整体结构完整；采取自顶向下设计方法，内涵发展优先，突出学科方法论，强调知识体系可扩展的原则。

本套规划教材的主要特点是：

(1) 面向应用型高等院校，在保证学科体系完整的基础上不过度强调理论的深度和难度，注重应用型人才的专业技能和工程实用技术的培养。在课程体系方面打破传统的研究型人才培养体系，根据社会经济发展对行业、企业的工程技术需要，建立新的课程体系，并在教材中反映出来。

(2) 教材的理论知识包括了高等院校学生必须具备的科学、工程、技术等方面的要求，知识点不要求大而全，但一定要讲透，使学生真正掌握。同时注重理论知识与实践相结合，使学生通过实践深化对理论的理解，学会并掌握理论方法的实际运用。

(3) 在教材中加大能力训练部分的比重，使学生比较熟练地应用计算机知识和技术解决实际问题，既注重培养学生分析问题的能力，也注重培养学生思考问题、解决问题的能力。

(4) 教材采用“任务驱动”的编写方式，以实际问题引出相关原理和概念，在讲述实例的过程中将本章的知识点融入，通过分析归纳，介绍解决工程实际问题的思想和方法，然后进行概括总结，使教材内容层次清晰，脉络分明，可读性、可操作性强。同时，引入案例教学和启发式教学方法，便于激发学习兴趣。

(5) 教材在内容编排上，力求由浅入深，循序渐进，举一反三，突出重点，通俗易懂。采用模块化结构，兼顾不同层次的需求，在具体授课时可根据各校的教学计划在内容上适当加以取舍。此外还注重了配套教材的编写，如课程学习辅导、实验指导、综合实训、课程设计指导等，注重多媒体的教学方式以及配套课件的制作。

(6) 大部分教材配有电子教案，以使教材向多元化、多媒体化发展，满足广大教师进行多媒体教学的需要。电子教案用 PowerPoint 制作，教师可根据授课情况任意修改。相关教案的具体情况请到中国水利水电出版社网站 www.waterpub.com.cn 下载。此外还提供相关教材中所有程序的源代码，方便教师直接切换到系统环境中教学，提高教学效果。

总之，本套规划教材凝聚了众多长期在教学、科研一线工作的教师及科研人员的教学科研经验和智慧，内容新颖，结构完整，概念清晰，深入浅出，通俗易懂，可读性、可操作性和实用性强。本套规划教材适用于应用型高等院校各专业，也可作为本科院校举办的应用技术专业的课程教材，此外还可作为职业技术学院和民办高校、成人教育的教材以及从事工程应用的技术人员的自学参考资料。

我们感谢该套规划教材的各位作者为教材的出版所做出的贡献，也感谢中国水利水电出版社为选题、立项、编审所做出的努力。我们相信，随着我国高等教育的不断发展和高校教学改革的不断深入，具有示范性并适应应用型人才培养的精品课程教材必将进一步促进我国高等院校教学质量的提高。

我们期待广大读者对本套规划教材提出宝贵意见，以便进一步修订，使该套规划教材不断完善。

21 世纪高等院校规划教材编委会

2004 年 8 月

前 言

随着计算机技术在各个领域的广泛应用以及微处理器和微型计算机的迅猛发展,使得“掌握和运用计算机技术的水平及能力”成为衡量一个专业技术人员素质的重要标准,而计算机仿真又是分析、研究、设计控制系统的强有力工具,是从事自动化、控制系统工程、计算机应用等技术人员必须掌握的一门新型技术。在高新技术领域中,控制系统的计算机仿真技术有着广泛的应用前景。

本教材编写的目的是为了适应当前科技的发展和实际工程应用的需要,为高等学校应用型本科教育的工科机电类控制专业和计算机应用专业的学生提供帮助,使他们能够系统地学习计算机控制与仿真的基本知识、基本理论及其应用技术,理解控制原理和系统的分析方法,掌握计算机仿真的原理及仿真算法,熟练运用 MATLAB 和 SIMULINK 对控制系统进行仿真编程及调试、运行,培养扎实的操作技能,为今后在相关领域的应用打下良好的基础。

在本课程的讲授过程中,强调以应用技术为主线,通过控制与仿真的应用实例分析,强化实践能力的锻炼,使学生既掌握计算机控制与仿真应用的基本原理,又对新兴技术有所跟踪。应用技术教育需要一定的专业基础理论知识,更注重面向生产一线的应用型人才的专业技能和实用技术的培养。基于这种指导思想,本书在编写过程中力争做到:相关概念、理论及应用均以基本要求为主,突出实用的特点;在表达上做到层次清晰,脉络分明,易于理解;在内容的编排上由浅入深,循序渐进,突出重点,通俗易懂。

全书共计 10 章。第 1 章介绍自动控制与系统仿真的相关概念和基础知识;第 2 章介绍控制系统的微分方程、传递函数、动态结构图、状态空间描述等数学模型及其相互转换;第 3 章介绍控制原理和系统性能的时域分析法和频率分析法;第 4 章介绍计算机控制技术的应用,以常见的程序设计、数字 PID 调节、直接数字控制系统等内容为主;第 5 章介绍采用数值积分法和离散相似法对不同系统的仿真原理及应用;第 6 章介绍 MATLAB 程序设计语言;第 7 章介绍控制系统的 MATLAB 应用;第 8 章介绍 SIMULINK 交互式仿真环境;第 9 章介绍控制系统的 SIMULINK 仿真;第 10 章介绍控制系统的计算机仿真应用实例分析。每章后面给出了本章小结和思考题与习题。

本书由杨立任主编,齐建玲、曲凤娟、朱蓬华任副主编。各章内容编写分工如下:杨立负责编写第 1~3 章和第 5 章;曲凤娟负责编写第 4 章;朱蓬华负责编写第 6 章;齐建玲负责编写第 7~10 章。赵丑民、邹澎涛、李杰、王振夺、韩煜、赵辉、李京辉、金永涛、王静、鲁振华、陈征峰等也参加了本书大纲的讨论和部分内容的编写。全书由杨立负责统稿。

由于水平有限,书中难免出现一些错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2006 年 6 月

目 录

序	
前言	
第1章 控制与仿真的基础知识	1
本章学习目标	1
1.1 自动控制的基本概念及其应用	1
1.1.1 控制理论的发展	1
1.1.2 自动控制的概念及其应用	2
1.1.3 自动控制的任务	4
1.1.4 自动控制的基本方式	5
1.1.5 对控制系统的性能要求	10
1.2 控制系统的组成及分类	11
1.2.1 控制系统的组成	11
1.2.2 控制系统的分类	12
1.3 计算机仿真概述	13
1.3.1 仿真的概念和仿真过程	14
1.3.2 系统仿真的分类	16
1.4 计算机仿真的特点及其应用	18
1.4.1 计算机仿真的特点	18
1.4.2 计算机仿真技术的应用	19
本章小结	19
思考题与习题	20
第2章 控制系统的数学模型	22
本章学习目标	22
2.1 数学模型概述	22
2.1.1 数学模型的含义	22
2.1.2 数学模型的分类	22
2.1.3 数学模型的建立方法	23
2.2 微分方程	23
2.2.1 微分方程的建立	23
2.2.2 拉普拉斯(Laplace)变换	26
2.2.3 微分方程的求解	29
2.2.4 非线性数学模型的线性化处理	30
2.3 传递函数	32
2.3.1 传递函数的概念	32
2.3.2 典型环节及其传递函数	34
2.3.3 自动控制系统的传递函数	37

2.4 系统动态结构图及其等效变换.....	38
2.4.1 结构图的组成及绘制.....	38
2.4.2 结构图的等效变换.....	40
2.5 状态空间描述.....	42
2.5.1 状态变量.....	42
2.5.2 状态方程.....	44
2.6 数学模型的相互转换.....	44
本章小结.....	46
思考题与习题.....	46
第3章 控制原理和分析方法.....	48
本章学习目标.....	48
3.1 典型输入信号及其响应.....	48
3.1.1 概述.....	48
3.1.2 典型输入信号.....	48
3.1.3 典型信号的响应.....	51
3.2 时域分析法.....	53
3.2.1 一阶系统的时域响应.....	53
3.2.2 二阶系统的时域响应.....	57
3.2.3 控制系统的稳定性分析.....	60
3.2.4 控制系统的稳态误差分析.....	66
3.3 频率分析法.....	70
3.3.1 频率特性的概念.....	71
3.3.2 典型环节的频率特性.....	72
3.3.3 系统开环频率特性的绘制.....	76
3.3.4 系统性能的分析 and 计算.....	77
本章小结.....	81
思考题与习题.....	81
第4章 计算机控制技术的应用.....	84
本章学习目标.....	84
4.1 微机控制系统概述.....	84
4.1.1 微机控制系统的组成.....	84
4.1.2 微机控制系统的分类.....	85
4.1.3 微机控制系统的设计.....	86
4.2 常用控制程序的设计.....	87
4.2.1 常用报警程序.....	87
4.2.2 数字滤波程序.....	91
4.3 PID 控制及其应用.....	96
4.3.1 数字 PID 控制算法.....	96
4.3.2 数字 PID 控制算法的改进.....	98

4.3.3 PID 调节器参数的整定	102
4.4 直接数字控制系统	106
4.4.1 最少拍系统设计	106
4.4.2 达林算法	110
本章小结	113
思考题与习题	114
第 5 章 系统仿真算法分析	115
本章学习目标	115
5.1 数值积分法	115
5.1.1 欧拉 (Euler) 法	116
5.1.2 梯形法	117
5.1.3 龙格—库塔 (Runge—Kutta) 法	118
5.1.4 数值积分公式的应用	120
5.1.5 仿真精度与系统稳定性	122
5.2 快速仿真算法	124
5.2.1 时域矩阵法	124
5.2.2 增广矩阵法	126
5.2.3 替换法	129
5.2.4 根匹配法	130
5.3 离散相似法	133
5.3.1 仿真算法描述	133
5.3.2 典型环节的离散模型	135
5.4 线性系统仿真	136
5.4.1 线性系统的数值积分法仿真	136
5.4.2 线性系统的离散相似法仿真	140
5.5 非线性系统仿真	141
5.5.1 典型非线性特性	142
5.5.2 非线性系统的仿真过程及应用	144
5.6 采样系统仿真	146
5.6.1 采样控制系统的算法描述	146
5.6.2 采样周期与仿真步距的关系	148
5.6.3 采样系统的仿真应用	149
本章小结	152
思考题与习题	152
第 6 章 MATLAB 程序设计语言	155
本章学习目标	155
6.1 MATLAB 基础	155
6.1.1 MATLAB 的产生与发展	155
6.1.2 MATLAB 的主要功能	156

6.1.3	MATLAB 的特点	156
6.1.4	MATLAB 6.x 版本的改进	157
6.2	MATLAB 操作平台	158
6.2.1	MATLAB 的安装	158
6.2.2	MATLAB 桌面平台	159
6.2.3	MATLAB 的程序编辑器	162
6.2.4	MATLAB 中的 M 文件与 M 函数	162
6.2.5	MATLAB 帮助系统	164
6.3	MATLAB 的基本应用	166
6.3.1	MATLAB 数值运算基础	166
6.3.2	MATLAB 绘图	172
6.3.3	MATLAB 程序设计基础	176
	本章小结	179
	思考题与习题	180
第 7 章	控制系统的 MATLAB 仿真	181
	本章学习目标	181
7.1	控制系统的模型表示	181
7.1.1	系统的传递函数模型表示	181
7.1.2	零极点增益模型	182
7.1.3	状态空间模型	183
7.1.4	系统不同模型间的相互转换	184
7.2	环节方框图模型的化简	186
7.2.1	环节串联连接的化简	186
7.2.2	环节并联连接的化简	188
7.2.3	环节反馈连接的化简	189
7.3	控制系统时域分析的 MATLAB 实现	191
7.3.1	概述	191
7.3.2	连续系统的单位阶跃响应	191
7.3.3	连续系统的单位脉冲响应	193
7.3.4	连续系统的零输入响应	195
7.4	控制系统频域分析的 MATLAB 实现	195
7.4.1	概述	195
7.4.2	求连续系统的伯德图	196
7.4.3	绘制系统奈奎斯特曲线图的函数	196
7.4.4	求连续系统 Nichols 曲线的函数	197
7.4.5	求系统幅值裕度与相位裕度	197
7.5	利用 MATLAB 语言进行编程仿真的应用	199
7.5.1	面向传递函数的线性系统仿真	199
7.5.2	面向结构图的线性系统仿真	203

7.5.3 线性系统的离散相似法仿真.....	206
7.5.4 非线性系统离散相似法仿真.....	208
7.5.5 采样控制系统仿真	213
本章小结	219
思考题与习题	220
第 8 章 SIMULINK 交互式仿真环境	222
本章学习目标	222
8.1 SIMULINK 简介	222
8.1.1 SIMULINK 概述.....	222
8.1.2 SIMULINK 的启动与界面	223
8.2 SIMULINK 基本操作.....	227
8.2.1 模型窗口	227
8.2.2 模块的操作处理	228
8.2.3 模块的连接	229
8.2.4 系统模型图的创建	230
8.2.5 自定义模块库和子系统	232
8.2.6 模型文件的保存与打开	236
本章小结	236
思考题与习题	237
第 9 章 控制系统的 SIMULINK 仿真	239
本章学习目标	239
9.1 SIMULINK 仿真的参数设置.....	239
9.1.1 系统模型的实时操作与仿真参数设置.....	239
9.1.2 Solver 解算器选项卡的参数设置	240
9.1.3 Workspace I/O 工作空间选项卡参数设置.....	241
9.2 控制系统的 SIMULINK 仿真.....	242
9.2.1 利用 SIMULINK 系统仿真模型的仿真处理	242
9.2.2 利用 SIMULINK 动态结构图的仿真处理	249
本章小结	254
思考题与习题	254
第 10 章 控制系统的计算机仿真应用实例	256
本章学习目标	256
10.1 问题的描述	256
10.2 系统的模型表示	257
10.3 系统的仿真设计	257
10.3.1 利用 MATLAB 进行仿真设计	257
10.3.2 利用 Simulink 进行仿真设计	261
本章小结	263
参考文献	264

第 1 章 控制与仿真的基础知识

本章学习目标

由于计算机技术、控制和信息处理技术等不断发展和相互结合,使得计算机控制与仿真技术的应用得到快速的推广,为分析、研究和设计各种复杂的控制系统提供了有力的帮助。本章主要讨论自动控制和系统仿真的一般知识,通过本章的学习,读者应掌握以下内容:

- 自动控制的基本概念及其应用
- 开环、闭环控制系统的构成和特点
- 控制系统的分类和总体性能要求
- 计算机仿真的概念及其特点
- 系统仿真的分类及仿真过程
- 计算机仿真技术的应用

1.1 自动控制的基本概念及其应用

1.1.1 控制理论的发展

进入 20 世纪以来,现代科学技术的发展对自动控制的精度、速度和适应能力的要求越来越高,计算机技术的迅猛发展又奠定了自动控制理论和控制技术的物质基础,从而推动了控制理论和控制技术的迅速发展。使控制理论逐步形成了一门现代科学的分支。从发展的不同阶段来看,控制理论的发展大致经历了经典控制理论和现代控制理论两个阶段。

1. 经典控制理论

经典控制理论是在 20 世纪 40~50 年代开始形成的,它基于二战的军工技术,以反馈控制系统的稳定性为目标,主要研究单输入/单输出(SISO)系统。此类控制系统的分析与设计主要以拉普拉斯(Laplace)变换和 Z 变换为数学工具,用微分方程、传递函数和结构图等描述系统的动态特性,用时域法、频域响应、根轨迹法来分析研究和设计控制系统。

经典控制理论与生产过程的局部自动化相适应,具有明显的依靠手工进行分析和综合的特点。主要表现在以下几个方面:

- (1) 经典控制理论本质上是一种频域方法,它以控制系统的输入/输出特性作为研究的依据,侧重于系统的输出响应性能。
- (2) 是在特定输入信号作用下对控制系统进行分析并研究系统输出的响应。在进行系统综合时是根据给定的特定性能指标来设计控制系统的校正网络。
- (3) 系统的控制器(校正装置)由能实现典型控制规律的调节器构成,通过校正使控制

系统达到预期的响应性能。

(4) 经典控制理论的基本内容包括时域法、频域法、根轨迹法、描述函数法、相平面法、代数与几何判据以及校正网络的设计等,研究的主要问题是控制系统的稳定性、动态性能和稳态精度,以及改善系统性能的方法。

2. 现代控制理论

现代控制理论是在 20 世纪的 60~70 年代形成,并在经典控制理论的基础上发展起来的,它基于冷战时期的空间技术和计算机技术,为了达到最优控制的目标,主要研究多输入/多输出(MIMO)系统。现代控制理论以线性代数作为数学工具,用状态空间法来描述系统的内部性能,用零点极点配置、最优控制、状态方程等理论来研究和设计控制系统。主要处理系统的稳定性、能控性、能观测性等问题。

现代控制理论与生产过程的高度自动化相适应,具有明显的依靠计算机进行分析和综合的特点。主要表现在以下几个方面:

(1) 现代控制理论本质上是一种时域方法,它建立在状态变量的基础上,以多变量、线性及非线性系统为研究对象。在工业过程控制、飞行器控制等许多领域中,被控对象变得日益复杂,其中包括了多变量耦合、参数时变和非线性等问题,现代控制理论正是为了处理这样的复杂控制系统而发展起来的。

(2) 以时域中的状态空间法对系统进行数学描述,并在此基础上进行各种定性和定量的分析及期望特性的控制规律设计。

(3) 以现代数学方法为主要分析手段,如线性代数、微分方程和微分几何等现代数学理论在最优控制、非线性系统的控制问题中都有着广泛的应用,甚至模糊数学、混沌及神经网络等最新的数学方法也已经在许多控制领域得到应用。

(4) 现代控制理论和技术的研究是以计算机为主要计算及分析工具,计算机技术的发展极大地促进了现代控制理论的研究和广泛应用。

(5) 现代控制理论的研究对象还包括没有或不能用精确数学模型来进行描述的广泛意义上的非线性系统,其中诸如神经网络控制、自适应控制等已成功应用到导弹运行、卫星控制、航天测控等大型系统中。现代控制技术能够处理复杂非线性、相互耦合、外界干扰、多输入/多输出、参数时变等复杂控制对象,研究的范围和应用领域与经典控制理论相比有了极大的扩展。

1.1.2 自动控制的概念及其应用

1. 系统的定义

在控制工程中将系统定义为:由相互联系、相互作用的物体所形成的具有特定功能和运动规律的有机整体。

例如:一个大型钢铁联合企业可以看作是一个系统,它由相互联系和相互作用的采矿、选矿、炼钢、轧钢、制品等工厂有机的组合在一起。又如:一个工厂管理系统可由生产管理部门、原材料仓库、生产加工车间、销售服务部门等组成,各部门是相互联系和相互作用的。诸如此类的还有温度控制系统、速度调节系统、交通管理系统、民航订票系统、生态监控系统等。

2. 系统的三要素

如果从系统本身的组成、特点和规律等方面进行评价，一个系统应具备以下三大要素：

(1) 实体：系统是由一些相互联系的实际物体组合而成的，这些物体称为实体。

如图 1-1 所示的温度控制系统，它由比较器、调节器、加热炉、温度传感器等装置组合而成，这些装置就是实体。

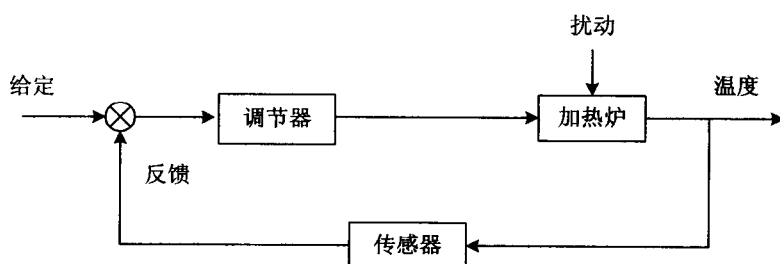


图 1-1 温度控制系统

在图 1-2 所示的工厂管理系统中，组成系统的实体有用户订货单、各个生产管理部门、车间、原料、成品等。

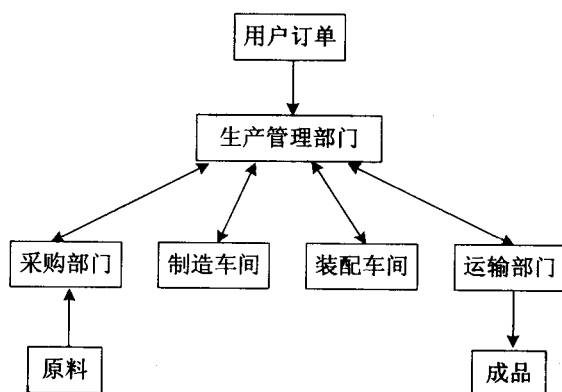


图 1-2 工厂管理系统

(2) 属性：组成系统的每个实体都具备一定的特征，这些特征称为系统的属性。

在图 1-1 所示的温度控制系统中，温度、偏差值、干扰量、燃料量等就是实体的属性；图 1-2 工厂管理系统中的订货单、规定产品的数量、零件质量、各车间内机器及人员配置等也是该系统属性的表征。

(3) 活动：在内外部因素的作用下，系统会按照一定的规律发生变化，该过程称之为活动。

如在温度控制系统中，以调节电压或燃料的输入量作为主要的活动；在工厂管理系统中，则以各车间的生产过程作为主要的活动。

众所周知，自然界中的各种系统是形形色色的，不论其外在形状或内部构造存在怎样的差别，但总归是由一些特定的实体组成，每个实体有一些主要的属性，各个系统会有其主要的活动。这样，实体、属性和活动构成了系统的三大要素。

3. 系统的特性

通常，一个完整的系统应该具备以下几个方面的主要特性：

(1) 整体性: 系统本身应是一个整体且各组成部分是不可分割的。如温度控制系统中, 有控制器、控制对象、测量元件等基本装置, 各部件缺一不可; 否则难以实现系统的控制功能。

(2) 结构性: 各类系统均按照一定的内部规律或外部结构组合而成。有些系统存在固有的结构, 有些是人们在设计时给予必要的组合。目前, 系统中常用的结构形状有模块式、分层次、树形、网络形等。

(3) 相关性: 是指系统内部各物体之间相互以一定的规律进行联系, 它们的特定关系形成具有特定性能的系统。如在速度控制系统中, 由电动机、测速元件、比较器、控制器等组成, 相互之间存在一定的特定关系, 可以实现速度控制的特定功能。

(4) 历时性: 系统在控制过程中与时间的对应关系是非常密切的, 随着时间的推移, 其控制状态和效果均发生着变化, 这就是系统的历时性, 它表明了系统在动态和稳态状况上所显示出的特定性能。

(5) 有序性: 系统中的各部件在变化过程中是按照一定顺序动作的, 其作用的先后按系统的规定去执行。如温度控制系统中, 在输入外部给定值状态下, 要通过控制装置使加热炉达到规定的输出温度, 经测量出来的实际值要反馈到比较器中产生一个偏差, 再通过执行机构控制电压或燃料的变化使炉温达到预定要求。有序性是系统的一个明显特性, 它显示出系统在控制过程中的动作顺序和操作过程。

由于系统可以是自然界中实际存在的, 如海洋系统、气象系统、生态系统等, 也有的是人为制成的, 如交通管理系统、民航订票系统、温度控制系统等, 因此, 现实生活中系统的界限确定并不是一成不变的。实际应用中, 可以根据系统研究的目的和设计指标来确定某个系统的界限, 其范围的大小只要符合研究的要求即可。

1.1.3 自动控制的任务

1. 基本概念

(1) 控制: 对被控对象进行主动的干预、管理和操纵的过程称为控制。它能使某些物理量按指定的规律变化, 以保证生产的安全性、经济性及产品质量等要求。

(2) 自动控制: 采用控制装置自动地、有目的地对机器设备或生产过程进行控制, 使之达到预期的状态或性能要求, 该过程称为自动控制。

(3) 自动控制系统: 是指由控制装置与被控对象结合起来的, 能够对被控对象的一些物理量进行自动控制的一个有机整体。

其中: 被控制的机器设备或物体称为控制对象; 能够对被控对象起控制作用的设备称为控制装置或控制器; 所控制对象的状态参量称为被控量; 系统外部的参考输入称为给定值; 破坏控制量与被控制量之间正常函数关系的因素称为系统的扰动; 给定值和扰动通称为输入量。

2. 自动控制的任务

自动控制的任务就是利用控制装置自动地操纵控制对象, 使被控量等于系统所应保持的给定值。

如果系统的输入量以时间函数 $r(t)$ 来表示, 输出量以时间函数 $c(t)$ 来表示, 则自动控制的任务可以表示为: $c(t) \approx r(t)$ 。

3. 自动控制技术的应用

自动控制技术的应用范围从机械、冶金、电子、化工等行业已扩展到生物、医学、环境、