

自动控制原理 (双语教材)

摆玉龙 主编
邵 宇 马永杰 副主编



清华大学出版社

013067442

21世纪高等学校规划教材 | 电子信

TP13-43
129

内容简介

本书以自动控制理论的基本概念、基本原理、基本分析方法、基本设计方法为主线，以工程应用为背景，力求做到概念清晰、重点突出、由浅入深、循序渐进。全书共分10章，第1章介绍自动控制系统的组成、特性及分类；第2章介绍自动控制系统的数学模型；第3章介绍自动控制系统的时域分析；第4章介绍自动控制系统的频域分析；第5章介绍自动控制系统的稳定性分析；第6章介绍自动控制系统的校正方法；第7章介绍自动控制系统的数字控制；第8章介绍自动控制系统的非线性分析；第9章介绍自动控制系统的鲁棒控制；第10章介绍自动控制系统的智能控制。本书可作为高等院校自动化专业及相关专业的教材，也可供从事自动控制工作的工程技术人员参考。

自动控制原理

(双语教材)

摆玉龙 主编
邵 宇 马永杰 副主编



清华大学出版社
北京



北航

C1675090

TP13-43
129

内 容 简 介

《自动控制原理》(双语教材)采用中英双语相结合的方式,全面地阐述了自动控制系统的基本理论与方法。本书共分7章,主要论述连续控制系统的分析和综合方法,包括各类控制系统数学模型的建立和模型间的等效变换;利用经典控制理论中的时域分析法、根轨迹法和频域分析法分析控制系统性能;应用PID控制和串联校正等对系统进行设计。同时概述了计算机控制系统、过程控制系统和机电一体化系统。书中针对各章内容,适当增加了英文MATLAB应用实验设计,编写了大量英文阅读材料和概念解析,便于双语教学使用。

本书可以作为高等院校“自动控制原理”课程的教材,适用于电气、自动化、电子、信息与通信、计算机、机械等专业,特别适用于有双语教学要求的相关课程,也可供从事控制工程的技术人员参考。

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。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理(双语教材)/摆玉龙主编.--北京:清华大学出版社,2013

21世纪高等学校规划教材·电子信息

ISBN 978-7-302-32574-1

I. ①自… II. ①摆… III. ①自动控制理论—双语教学—高等学校—教材 IV. ①TP13

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第117720号

责任编辑:郑寅堃 薛 阳

封面设计:傅瑞学

责任校对:李建庄

责任印制:王静怡

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:保定市中国画美凯印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:19.25

字 数:479千字

版 次:2013年8月第1版

印 次:2013年8月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:34.50元

产品编号:052345-01

出版说明

随着我国改革开放的进一步深化,高等教育也得到了快速发展,各地高校紧密结合地方经济建设发展需要,科学运用市场调节机制,加大了使用信息科学等现代科学技术提升、改造传统学科专业的投入力度,通过教育改革合理调整和配置了教育资源,优化了传统学科专业,积极为地方经济建设输送人才,为我国经济社会的快速、健康和可持续发展以及高等教育自身的改革发展做出了巨大贡献。但是,高等教育质量还需要进一步提高以适应经济社会发展的需要,不少高校的专业设置和结构不尽合理,教师队伍整体素质亟待提高,人才培养模式、教学内容和方法需要进一步转变,学生的实践能力和创新精神亟待加强。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2007年1月,教育部下发了《关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》,计划实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程”(简称“质量工程”),通过专业结构调整、课程教材建设、实践教学改革、教学团队建设等多项内容,进一步深化高等学校教学改革,提高人才培养的能力和水平,更好地满足经济社会发展对高素质人才的需要。在贯彻和落实教育部“质量工程”的过程中,各地高校发挥师资力量强、办学经验丰富、教学资源充裕等优势,对其特色专业及特色课程(群)加以规划、整理和总结,更新教学内容、改革课程体系,建设了一大批内容新、体系新、方法新、手段新的特色课程。在此基础上,经教育部相关教学指导委员会专家的指导和建议,清华大学出版社在多个领域精选各高校的特色课程,分别规划出版系列教材,以配合“质量工程”的实施,满足各高校教学质量和教学改革的需要。

为了深入贯彻落实教育部《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》精神,紧密配合教育部已经启动的“高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作”,在有关专家、教授的倡议和有关部门的大力支持下,我们组织并成立了“清华大学出版社教材编审委员会”(以下简称“编委会”),旨在配合教育部制定精品课程教材的出版规划,讨论并实施精品课程教材的编写与出版工作。“编委会”成员皆来自全国各类高等学校教学与科研第一线的骨干教师,其中许多教师为各校相关院、系主管教学的院长或系主任。

按照教育部的要求,“编委会”一致认为,精品课程的建设工作从开始就要坚持高标准、严要求,处于一个比较高的起点上。精品课程教材应该能够反映各高校教学改革与课程建设的需要,要有特色风格、有创新性(新体系、新内容、新手段、新思路,教材的内容体系有较高的科学创新、技术创新和理念创新的含量)、先进性(对原有的学科体系有实质性的改革和发展,顺应并符合21世纪教学发展的规律,代表并引领课程发展的趋势和方向)、示范性(教材所体现的课程体系具有较广泛的辐射性和示范性)和一定的前瞻性。教材由个人申报或各校推荐(通过所在高校的“编委会”成员推荐),经“编委会”认真评审,最后由清华大学出版

社审定出版。

目前,针对计算机类和电子信息类相关专业成立了两个“编委会”,即“清华大学出版社计算机教材编审委员会”和“清华大学出版社电子信息教材编审委员会”。推出的特色精品教材包括:

(1) 21 世纪高等学校规划教材·计算机应用——高等学校各类专业,特别是非计算机专业的计算机应用类教材。

(2) 21 世纪高等学校规划教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。

(3) 21 世纪高等学校规划教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。

(4) 21 世纪高等学校规划教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。

(5) 21 世纪高等学校规划教材·信息管理与信息系统。

(6) 21 世纪高等学校规划教材·财经管理与应用。

(7) 21 世纪高等学校规划教材·电子商务。

(8) 21 世纪高等学校规划教材·物联网。

清华大学出版社经过三十多年的努力,在教材尤其是计算机和电子信息类专业教材出版方面树立了权威品牌,为我国的高等教育事业做出了重要贡献。清华版教材形成了技术准确、内容严谨的独特风格,这种风格将延续并反映在特色精品教材的建设中。

清华大学出版社教材编审委员会

联系人:魏江江

E-mail: weiJJ@tup. tsinghua. edu. cn

前言

随着教育部“高等学校本科教学改革与教学质量工程”的深入开展,双语教学示范课程建设已成为提升我国高等教育质量工程的一项重要举措,因此专业性双语教材的需要日益凸显。作者在多年来从事“自动控制原理”教学工作的基础上,结合在荷兰、日本和澳大利亚访学期间所学到的知识和经验,编著了介于国内中文教材与国外英文教材之间的综合型双语教材。在教材编写上,考虑到教学内容的难度、学生的英语水平等因素,主要采取中文论述为主,英文为辅的形式,编著了大量的自动控制相关英文阅读材料,同时针对性地设计了英文 MATLAB 应用实验,以提高本书作为双语教材的实用性。

“自动控制原理”是自动化类、机电类专业的专业基础课。本书内容包括经典控制理论,计算机控制系统, MATLAB 在控制系统分析、设计和仿真中的应用等。

本书共分 7 章:第 1 章介绍自动控制的一般概念,控制系统的基本组成和分类等;针对 MATLAB 在控制系统分析和设计中的重要性,以英文材料的形式介绍 MATLAB 的特点和编程环境,重点介绍控制工具箱的组成和功用,选择典型案例分析控制系统的特点。第 2 章介绍控制系统数学模型的建立和等效变换,主要包括微分方程模型、传递函数模型和结构图等,实验设计中强调 MATLAB 中变量、矩阵和多项式等数据类型的使用,为控制系统的分析和设计打好基础。第 3 章介绍控制系统的时域分析法,以一阶系统、二阶系统为例,详细介绍各种典型输入下的时域响应, MATLAB 实验设计从模型建立入手,介绍 MATLAB 中各种时域响应的特点。第 4 章介绍根轨迹分析法,在详述根轨迹绘制规则的基础上,以英文材料的形式设计了 MATLAB 实验。第 5 章介绍线性系统的频域分析法,包括基本概念、典型环节的频域特性绘制和频域稳定判据等。第 6 章介绍线性系统的校正方法,主要包括 PID 控制和串联校正等。第 7 章简述计算机控制系统、过程控制系统和机电一体化系统。

本书的最大特点是:借鉴国内外同类教材的优点,以英文阅读材料、概念解析和实验设计的方式,采用英语素材介绍自动控制原理的基本知识。在中文讲述自控原理基本内容的基础上,设计全英文的 MATLAB 设计实例,并且配合了一定数量的典型例题和习题,以培养学生的实验能力、思维能力、信息获取能力与分析设计能力。因此,本书不仅适合电子信息类相关专业“自动控制原理”课程的本科教学需要,同时满足双语教学要求。大量的阅读材料和概念解析,不仅有助于教师的双语教学,而且能让学生通过对比学习,深入理解自动控制的基本原理、基本分析方法和基本设计技术,对后续课程的学习打下坚实的基础。同时激发学生对自动化类专业浓厚的兴趣,锻炼和提高运用所学理论解决实际问题的能力。

本书由摆玉龙教授统稿审定,其中摆玉龙编写了第 1、2 章和第 5 章,邵宇编写第 3、4 章和第 6 章,马永杰、王丽丽编写第 7 章。摆玉龙编写了每章中的 MATLAB 实验设计等英文材料。王丽丽、巨芳子、柴乾隆、高海沙、高燕、李博、黄智慧等绘制了本书的全部插图,并做

了大量的打印和校对工作。

在编写中编者参考了很多优秀教材和著作。编者向收录于参考文献中的各位作者表示真诚的谢意。摆玉龙感谢国家自然科学基金项目(编号:41061038)和甘肃省科技支撑计划(编号:1204GKCA067)对本书出版的资助。

由于作者水平有限,加之时间仓促,错误与不妥之处在所难免,恳请读者批评、指正。

编 者

2013年5月

目 录

第 1 章 自动控制系统概述	1
1.1 引言	1
1.2 自动控制系统的基本概念	2
1.3 自动控制理论的发展	3
1.4 自动控制系统的基本原理及组成	5
1.4.1 开环控制	6
1.4.2 闭环控制	7
1.4.3 自动控制系统的基本组成	9
1.4.4 自动控制系统的实例分析	11
1.5 自动控制系统的分类	16
1.5.1 恒值控制系统和随动控制系统	16
1.5.2 连续系统和离散系统	16
1.5.3 单输入单输出系统和多输入多输出系统	16
1.5.4 线性系统和非线性系统	16
1.5.5 定常系统和时变系统	17
1.5.6 其他类型	17
1.6 控制系统的基本要求	18
1.7 控制系统的设计概述	20
1.8 MATLAB 在本章中的应用	22
本章小结	26
习题	27
第 2 章 控制系统的数学模型	29
2.1 引言	29
2.2 控制系统的时域数学模型	31
2.2.1 电气系统	31
2.2.2 机械系统	32
2.3 线性系统的传递函数	36
2.3.1 传递函数的定义	36
2.3.2 典型环节及其传递函数	39
2.3.3 电气网络的运算阻抗与传递函数	43

2.4	控制系统的结构图及其等效变换	46
2.4.1	结构图的组成	47
2.4.2	控制系统结构图的建立	47
2.4.3	结构图的等效变换	49
2.4.4	信号相加点和分支点的移动和互换	51
2.4.5	结构图简化示例	53
2.5	信号流图和梅逊公式	55
2.5.1	信号流图	55
2.5.2	梅逊公式	56
2.6	闭环传递函数的定义	59
2.6.1	闭环系统概述	59
2.6.2	闭环系统的传递函数	59
2.7	非线性系统模型概述	62
2.8	MATLAB 在本章中的应用	69
	本章小结	76
	习题	77
第3章	线性系统的时域分析	81
3.1	引言	81
3.2	系统时间响应的性能指标	82
3.3	一阶系统的时域分析	89
3.3.1	一阶系统的数学模型和结构图	89
3.3.2	一阶系统的单位阶跃响应	90
3.3.3	一阶系统的单位脉冲响应	90
3.3.4	一阶系统的单位斜坡响应	91
3.3.5	一阶系统的单位加速度响应	91
3.4	二阶系统的时域分析	92
3.4.1	二阶系统的单位阶跃响应	93
3.4.2	欠阻尼二阶系统的动态性能分析	95
3.5	高阶系统时域分析法概述	99
3.6	控制系统的稳定性分析	101
3.6.1	稳定的基本概念和稳定的充分必要条件	102
3.6.2	代数稳定判据	103
3.7	控制系统稳态误差的分析及计算	110
3.7.1	稳态误差的定义	111
3.7.2	系统类型与稳态误差	112
3.7.3	给定输入信号下的稳态误差计算	113

3.7.4 扰动作用下的稳态误差计算	115
3.7.5 减少稳态误差的方法	116
3.8 MATLAB 在本章中的应用	117
本章小结	126
习题	128
第 4 章 根轨迹法	132
4.1 引言	132
4.2 根轨迹的基本概念	133
4.3 根轨迹绘制的基本规则	136
4.4 广义根轨迹	147
4.5 系统性能的根轨迹法分析	150
4.5.1 根轨迹分析法概述	150
4.5.2 增加开环极点对控制系统的影响	152
4.5.3 增加开环零点对控制系统的影响	153
4.5.4 结论	153
4.6 MATLAB 在本章中的应用	154
本章小结	162
习题	163
第 5 章 线性系统的频域分析法	164
5.1 引言	164
5.2 频率特性的基本概念	165
5.2.1 频率特性的定义	165
5.2.2 频率特性的表示方法	168
5.3 典型环节的频率特性及特性曲线的绘制	171
5.4 频域稳定判据及稳定裕量	183
5.4.1 奈奎斯特稳定判据	184
5.4.2 奈奎斯特稳定判据的应用	187
5.4.3 对数稳定判据	190
5.4.4 稳定裕量	191
5.5 频率特性与控制系统性能的关系	196
5.5.1 控制系统性能指标	196
5.5.2 开环对数幅频特性与性能指标间的关系	199
5.6 MATLAB 在本章中的应用	202
本章小结	209
习题	211

第 6 章 线性系统的校正方法	215
6.1 引言	215
6.2 系统校正的基本概念	216
6.2.1 受控对象	216
6.2.2 性能指标概述	216
6.2.3 系统校正连接方式	217
6.2.4 基本控制规律	219
6.3 系统校正装置	224
6.3.1 超前校正装置	224
6.3.2 滞后校正装置	228
6.3.3 滞后-超前校正装置	230
6.3.4 超前校正、滞后校正和滞后-超前校正的比较	232
6.4 反馈校正	233
6.4.1 反馈校正的特点	233
6.4.2 反馈校正系统的设计	234
6.4.3 串联校正与反馈校正比较	234
6.5 MATLAB 在本章中的应用	236
本章小结	252
习题	253
第 7 章 计算机控制系统概述	255
7.1 引言	255
7.2 计算机控制系统概述	256
7.3 A/D 转换采样过程与采样定理	257
7.3.1 采样过程	257
7.3.2 采样定理	258
7.3.3 采样周期在工程应用中的选择方法	260
7.4 采样信号的复现	261
7.5 离散控制系统的数学模型	262
7.5.1 脉冲传递函数的定义	263
7.5.2 开环采样系统的脉冲传递函数	264
7.5.3 闭环采样系统的脉冲传递函数	266
7.6 采样控制系统的稳定性分析	268
7.7 其他控制系统简介	272
7.7.1 过程控制系统简介	272
7.7.2 机电一体化系统简介	274

7.8 MATLAB 在本章中的应用	276
本章小结	280
习题	282
附录 A 拉普拉斯变换及反变换	285
附录 B z 变换定义及对照表	287
附录 C 常用校正网络	289
附录 D Bode 图的绘制规则	291
附录 E 常用 MATLAB 命令	293
参考文献	294

第1章

自动控制系统概述

1.1 引言

随着科学技术的发展,自动控制系统已经普遍出现在人类生产、生活和探索新技术的各个领域中。所谓自动控制就是应用控制器自动地、有目的地操纵被控对象使之具有预定的工作状态。自动控制理论(Automatic Control Theory)是研究自动控制共同规律的技术科学。自动控制技术的广泛应用,不仅将人们从繁重的体力劳动和大量重复性的操作中解放出来,同时也极大地提高了劳动生产率和产品质量。在科学技术的发展历史上,自动控制技术始终起着非常重要的作用。因此,对于工程技术人员和科学工作者来说,掌握一定的控制技术是十分必要的。

下面通过阅读英文材料的形式,介绍自动控制的基本概念、自动控制原理课程的重点内容等。

[Reading Material]

In our daily life we encounter and experience a variety of dynamic phenomena. The environment we live in is constantly changing. We use many machines and processes that have been developed by humans over the years. To maximize the benefits, some aspects of the machines and processes and the environment we live in will have to be controlled in some desired way. Feedback control is an effective way of achieving the desired control.

Control systems are what make machines and processes function as intended. They are most often based on the principle of feedback whereby the signal to be controlled is compared to a desired reference signal and the discrepancy used to compute corrective control action. These signal processing tasks are implemented through the use of appropriate hardware called the controller.

Every engineering discipline has its own language—concepts, symbols, and words—that engineers in that field use to express ideas. This chapter introduces you to the fundamental language of control system technology, illustrates the key principle of feedback control, and describes the general approach to designing and building feedback control systems.

This course emphasizes the centrality of information processing and control in

automatic control systems, introduces the various facets of control system technology, and covers basic system analysis and design methodology as applied to feedback control systems.

本章主要内容:

- ☐ 自动控制系统的基本概念
- ☐ 自动控制理论的发展
- ☐ 自动控制系统的基本原理及组成
- ☐ 自动控制系统的分类
- ☐ 控制系统的基本要求
- ☐ 控制系统的设计概述
- ☐ MATLAB 在本章中的应用

1.2 自动控制系统的基本概念

我们的现代生活在很大程度上都依赖于自动运行的系统。今天,在人们的日常生活中几乎处处可见自动控制系统的存在,如自动洗衣机、自动售货机、自动电梯等。它们都在一定程度上改变了人类的生活方式,提高了生活质量。所谓自动运行的系统,就是指它的运行不需要人为的干预。自然界有很多这样的例子。如果将人体作为一个例子来考虑,这个系统持续地自动控制是我们生存的基本要求。例如我们的体温保持在 37°C 的自动温控系统、心跳控制系统、眼球聚焦系统。从肾脏、肺和肝脏的功能来看,它们也可以称为自动系统。这些系统和其他许多人体内的系统一样都是在我们没有任何有意识干预的情况下自动运行的。实际上,在我们周围还有许多自动运行的人造系统。例如,在一个现代化的居室内,温度由温度调节装置自动控制。导航控制系统使汽车自动保持在设定车速,刹车防抱死系统自动防止汽车在湿滑的路面上打滑。在大型办公楼或旅馆,电梯调度系统自动发送车辆搭载乘客。

如今,自动控制技术的应用几乎无处不在,从最初的机械转速、位移的控制到工业过程中温度、压力和流量的控制,从远洋巨轮到深水潜艇的控制,从电动假肢到机器人的控制,从电气、机械、航空、化工、核反应、经济管理到生物工程的控制,自动控制理论和技术已经介入许多学科,渗透到各个领域。特别是近年来蓬勃发展的机电一体化(Mechatronics)技术,更是结合了机械、电子和计算机等各方面的优势,研发出数码相机、计算机硬盘等一系列的民用、军用产品。下面通过英文材料的形式,介绍自动控制领域的应用与发展。

「Reading Material」

Indeed, automatic control system plays an important role in our life. For example, our body is an automatic control system as it always can adjust itself to hold the balance. In fact, we also can find man-made automatic control systems in our daily life. For example, you can find the temperature and humidity in a modern bedroom could be controlled automatically. Navigation control system enables cars to keep a predetermined speed automatically and anti-lock brake system automatically prevents the car from skidding in slippery road. In large office buildings and hotels, the elevator scheduling

system automatically sends vehicles carrying passengers.

Industrial engineers, accountants, managers, generals, and many others use the word control. Although these people come from different walks of life, they are all involved in exercising control in their various areas and their notions of control have an underlying similarity.

Control engineers also use the word control; their work is concerned with the control of engineering systems: chart recorders, photo copying machines, robots, diesel engines, satellite positioning, power stations, lifts in high rise buildings, paper-making machines, bread and biscuit making machines, oil refineries, guided missiles and many other machines and processes.

In recent years, mechatronic has surfaced as a philosophy of design based on the integration of mechanical, electrical and software engineering. Many of today's machines and processes are the result of this novel approach and owe their enhanced performance, flexibility and proper operation to the application of some form of electronic or computer control.

In fact, we may consider mechatronic concepts as a natural evolution of control systems technology. Control systems consist of different types of components, and traditionally control engineers have had to deal with the problem of analysis and design of systems having a mix of electrical, electronic, mechanical, liquid flow, gas flow, and thermal components.

所谓的自动化控制(Automatic Control)就是在没有人为操作的前提下,代替人类重复繁重的脑力劳动,对操作对象进行控制。从理论上定义一个自动控制系统首先要从系统的含义说起,系统(System)是指按照某些规律结合在一起的物体(元部件)的组合,它们相互作用,相互依存并能完成一定的任务。由此,我们很容易得出,自动控制系统便是能够实现自动化控制的系统。

『Terms and Concepts』

From this context, let us note that:

A system is a collection of interconnected components, working together towards some common objective;

A control system is a system whose components have been deliberately configured to collectively achieve a desired objective;

An automatic control system is an interconnection of components forming a system configuration that will provide a desired system response automatically.

1.3 自动控制理论的发展

自动控制理论是研究自动控制共同规律的技术科学,既是一门古老的、已臻成熟的学科,又是一门正在发展的、具有强大生命力的新兴学科。从 1868 年马克斯威尔(J. C.

Maxwell)提出低阶系统稳定性判据至今的一百多年里,自动控制理论的发展可分为四个主要阶段。

第一阶段:经典控制理论(或古典控制理论)的产生、发展和成熟。

第二阶段:现代控制理论的兴起和发展。

第三阶段:大系统控制的兴起和发展。

第四阶段:智能控制的发展阶段。

1. 经典控制理论

经典控制理论(Classical Control Theory)产生并发展于20世纪40~60年代。美国麻省理工学院教授诺伯特·维纳(Norbert Wiener)于1945年发表的论文《控制论:或关于在动物和机器中控制和通信的科学》被认为是控制论的创立之作。控制理论的发展初期,是以反馈理论为基础的自动调节原理,主要用于工业控制。第二次世界大战期间(1938—1945),为了设计和制造飞机及船舶用自动驾驶仪、火炮定位系统、雷达跟踪系统等基于反馈原理的军用设备,进一步促进和完善了自动控制理论的发展。1868年马克斯威尔提出了低阶系统的稳定性判据;1895年数学家劳斯(Routh)和赫尔威茨(Hurwitz)分别独立提出了高斯系统的稳定性判据,即Routh Hurwitz判据;第二次世界大战期间奈奎斯特(H. Nyquist)提出了频率响应理论;1948年伊万斯(W. R. Evans)提出了根轨迹法。至此,控制理论发展的第一个阶段基本完成,形成了以频率法和根轨迹法为主要方法的经典控制理论。

经典控制理论的基本特征:①主要用于线性定常系统的研究,即用于常系数线性微分方程描述的系统的分析和研究;②只用于单输入单输出的反馈控制系统;③只讨论系统输入与输出之间的关系,而忽视系统内部的状态,是一种对系统的外部描述方法。同时,应该指出的是,反馈控制是一种最基本最重要的控制方式,引入反馈信号后,系统对来自内部和外部的干扰响应变得十分迟钝,从而提高了系统的抗干扰能力和控制精度。与此同时,反馈作用又带来了系统稳定性的问题,正是这个曾一度困扰人们的系统稳定性问题,激发了人们对反馈控制系统进行深入研究的热情,推动了自动控制理论的发展和完善。因此从这个意义上讲,经典控制理论是伴随反馈控制技术的产生和发展而逐渐完善和成熟起来的。

2. 现代控制理论

现代控制理论(Modern Control Theory)于20世纪60年代中期发展成熟。由于经典控制理论只适用于单输入单输出的线性定常系统,只注重系统的外部描述而忽视了系统的内部状态。因而在实际应用中有很大的局限性。

随着航天事业和计算机的发展,20世纪60年代初,在经典控制理论的基础上,以线性代数理论和状态空间分析法为基础的现代控制理论迅速地发展起来。1954年贝尔曼(R. Belman)提出了动态规划理论;1956年庞特里雅金(L. S. Pontryagin)提出了极大值原理;1960年卡尔曼(R. K. Kalman)提出了多变量最优控制和最优滤波理论。在数学工具、理论基础和研究方法上不仅提供了系统的外部信息(输出量和输入量),而且还能提供系统内部状态变量的信息。它无论对线性系统或非线性系统,定常系统或时变系统,单变量系统或多变量系统,都是一种有效的分析方法。

3. 大系统理论

20 世纪 70 年代开始,现代控制理论继续向深度和广度发展,出现了一些新兴的控制方法和理论。例如,①现代频域方法,以传递函数矩阵为数学模型,研究线性定常多变量系统;②自适应控制理论和方法,以系统辨识和参数估计为基础,在实时辨识基础上在线确定最优控制规律;③鲁棒控制法,在保证系统稳定性和其他性能的基础上,设计不变的鲁棒控制器,以处理数学模型的不确定性。

随着控制理论应用范围的不断扩大,从个别小系统的控制,发展到若干个相互关联的子系统组成的大系统进行整体控制,从传统的工程控制领域,推广到包括经济管理、生物工程、能源、运输、环境等大型系统。

大系统(Largescale System)理论是过程控制和信息处理相结合的系统工程理论,具有规模庞大、结构复杂、功能综合、目标多样、因素众多等特点。它是一个多输入、多输出、多干扰、多变量的系统。大系统理论目前仍处于发展和开创性阶段。

4. 智能控制理论

智能控制理论(Intelligent Control Theory)是 20 世纪 70 年代后,控制理论向深度和广度发展的结果,是人工智能在控制上的应用。智能控制的概念和原理主要是针对被控对象、环境、控制目标或任务的复杂性提出来的,它的指导思想是依据人的思维方式和处理问题的技巧,解决那些目前需要人类智能才能解决的复杂控制问题。被控对象的复杂性体现为模型的不确定性、高度非线性、分布式的传感器和执行器、动态突变、多时间标度、复杂的信息模式、庞大的数据量以及严格的特性指标等。智能控制是驱动智能机器自主地实现其目标的过程,对自主机器人的控制就是一个典型的例子,而环境的复杂性则表现为变化的不确定性和难以辨识。

智能控制是从“仿人”的概念出发的。一般认为,其方法包括学习控制、模糊控制、神经网络控制和专家控制等。

1.4 自动控制系统的基本原理及组成

为了实现各种复杂的控制任务,首先要将被控对象和控制装置按照一定的方式连接起来组成一个有机的整体。在此系统中,被控对象的输出(即被控量)是要求严格加以控制的物理量,可保持为某一恒值,例如温度、压力、液位等,也可以按照某个给定规律运行,例如飞行轨迹、记录曲线等;而控制装置则认为是被控对象施加控制作用的机构总体。理论上讲,可采用不同的原理和方式对被控对象进行控制,而最基本的两种控制形式是开环控制和闭环控制。

【Terms and Concepts】

Usually, an automatic control system consists of the controlled object and its controller. Based on how the control action is generated, i. e., whether the generation of control action is depended on the actual output, the control systems may be classified as