



21世纪高等学校本科电子电气专业系列实用教材

自动控制原理教程

(第2版)

◎陈丽兰 主编 ◎胡春花 余辉晴 曹建云 副主编 ◎何一鸣 主审



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

21 世纪高等学校本科电子电气专业系列实用教材

自动控制原理教程

(第 2 版)

陈丽兰 主 编
胡春花 余辉晴 曹建云 副主编
何一鸣 主 审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书主要介绍控制系统的数学模型、时域分析、根轨迹法、频率特性法、校正方法及非线性控制系统分析和采样控制系统分析等知识。本书内容全面，重点突出，在各章中都加入了基于 MATLAB 的计算机辅助分析和设计内容，可帮助读者更有效地进行控制理论的学习和应用。

本书可作为高等院校电气工程类、电子信息类、机械工程类专业学生学习控制理论的教材，也可供相关领域的工程技术人员参考。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

自动控制原理教程 / 陈丽兰主编. —2 版. —北京: 电子工业出版社, 2010.8

21 世纪高等学校本科电子电气专业系列实用教材

ISBN 978-7-121-11595-0

I. ①白… II. ①陈… III. ①自动控制理论—高等学校—教材 IV. ①TP13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 158885 号

策划编辑: 柴 燕

责任编辑: 韩玉宏

印 刷: 北京智力达印刷有限公司

装 订: 北京中新伟业印刷有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编: 100036

开 本: 787×1092 印张: 18.5 字数: 474 千字

印 次: 2010 年 8 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 29.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

序 言

随着世界经济一体化的进程,我国已成为世界上最大的加工基地和制造基地,尤其是长三角地区更为突出,已有近百家名列世界五百强的企业落户该地区,带动了该地区经济突飞猛进的发展,同时也为就业创造了广阔的前景。企事业单位对应用型本科人才的需求多了,但要求也提高了。这就对工程教育的发展提出了新的挑战,同时也提供了新的发展机遇。

在此形势下,国家教育部近年来批准组建了一批以培养应用型本科人才为宗旨的高等学校,同时举办了多次“应用型本科人才培养模式研讨会”,对应用型本科教育的办学思想和发展定位进行初步探讨。并于2002年在全国高等院校教学研究中心立项,成立了21世纪中国高等院校应用型人才培养体系的创新与实践课题组,有十几所应用型本科院校参加了课题组的研究,取得了多项研究成果,并于2004年结题验收。我们就是在这种形势下,组织了多所应用型本科院校编写本系列教材,以适应国家对工程教育的新要求,满足培养素质高、能力强的应用型本科人才的需要。

工程强调知识的应用和综合,强调方案优缺点的比较并做出论证和合理应用。这就要求我们对应用型本科人才的培养需实施与之相配套的培养方案和培养模式,采用具有自身特点的教材。同时,避免重理论、轻实践、工程教育“学术化”的倾向;避免在工程实践能力的培养中,轻视学生个性及创新精神的培养;避免工程教育在实践中与社会经济、产业的发展脱节。为使我国应用型人才培养适应社会发展的新形势,我们必须开拓进取,努力改革。

组织编写本系列教材,目的在于建设富有特色的、有利于应用型人才培养的本科教材,本系列教材的编写原则如下。

1. 确保基础

在内容安排上,本系列教材确保学生掌握基本的理论基础,满足本科教学的基本要求。

2. 富有特色

围绕培养目标,以工程应用为背景,通过理论与实践相结合,构建应用型本科教育系列教材特色。在融会贯通本科教学内容的基础上,挑选最基本的内容、方法和典型应用;将有关技术进步的新成果、新应用纳入教学内容,妥善处理传统内容的继承与现代内容的引进;在保持本科教学基本体系的前提下,处理好与交叉学科的关系,并按新的教学系统重新组织;在注重理论与实践相结合的基础上,注入工程概念,包括质量、环境等诸多因素对工程的影响,突出特色、强化应用。

3. 精选编者,保证质量

参编院校根据编委会要求推荐了一批具有丰富工程实践经验和教学经验的教师参加编写工作。本系列教材的许多内容都是在优秀教案、讲义的基础上推敲编写而成的,并由主编全文统稿,以确保教材质量。

本系列教材的编写得到了电子工业出版社的大力支持。他们为编好这套教材做了大量认真细致的工作,为教材的出版提供了许多有利条件,在此深表感谢!

编委会

前 言

随着科学技术的发展,自动控制技术不仅应用于工业、农业及国防工业,近年来在生物、生态、环境、能源和社会科学领域也多有应用,它在人类改造大自然、建设高度文明社会的过程中起到了非常重要的作用。

自动控制理论是研究自动控制基本规律的科学,是分析和设计自动控制系统的理论基础。本次修订仍以经典控制理论为主,削减不实用的内容,尽量淡化繁冗的理论推导,注重基本概念和基本方法的介绍,做到由浅入深,融会贯通。在每章中都有 MATLAB 在自动控制理论中的应用,便于读者进一步加深对基本概念的理解,同时反映 MATLAB 等计算机软件对控制系统分析设计方法的影响。在每章的末尾有重点内容的小结并附一定量的习题,这些内容突出了工程应用,加强了系统建模的内容、系统设计应用和利用软件对控制系统进行分析和设计,有利于读者更好地掌握控制理论,对综合分析问题能力和创新能力的培养起到重要的作用。

本书由常州工学院的陈丽兰任主编,编写了第 1 章、第 5 章和第 6 章,并负责全书的统稿;胡春花任副主编,编写了第 3 章、第 4 章、附录 B 和附录 C;余辉晴任副主编,编写了第 2 章和附录 A;曹建云任副主编,编写了第 7 章和第 8 章。

本书由常州工学院的何一鸣副教授主审,他为本书提出了许多宝贵意见。在本书的编写过程中,还得到了该校自动化系老师的关心和支持,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免有不尽如人意之处,恳请广大读者和使用本书的兄弟院校师生提出意见和建议。

编 者
2010 年 4 月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 自动控制理论及应用	(1)
1.2 自动控制理论的基本内容	(1)
1.3 自动控制系统的分类	(2)
1.3.1 按信号传递路径分类	(2)
1.3.2 按控制作用的特点分类	(3)
1.3.3 控制系统的其他类型	(4)
1.4 自动控制系统的组成	(4)
1.5 自动控制系统的的基本要求	(5)
1.6 自动控制系统的分析和设计工具	(6)
1.7 控制系统实例	(7)
小结	(9)
习题 1	(9)
第 2 章 控制系统的数学模型	(12)
2.1 控制系统的微分方程	(12)
2.1.1 列写控制系统微分方程的步骤	(12)
2.1.2 实例	(12)
2.1.3 线性定常微分方程的求解	(14)
2.2 控制系统的传递函数	(15)
2.2.1 传递函数	(15)
2.2.2 典型环节的传递函数	(16)
2.2.3 控制系统的传递函数	(19)
2.3 控制系统的动态结构图	(20)
2.3.1 动态结构图的概念和组成	(20)
2.3.2 几个基本概念及术语	(20)
2.3.3 动态结构图的绘制	(22)
2.3.4 动态结构图的化简	(23)
2.4 信号流图	(26)
2.4.1 信号流图的组成要素及其术语	(26)
2.4.2 信号流图的代数运算	(27)
2.4.3 信号流图的绘制	(28)
2.4.4 信号流图的梅逊公式	(30)
2.5 在 MATLAB 中系统数学模型的表示	(31)

2.5.1	传递函数模型	(31)
2.5.2	零、极点 (ZPK) 模型	(32)
2.5.3	控制系统数学模型之间的转换	(33)
2.5.4	系统的连接	(34)
小结	.....	(36)
习题 2	.....	(36)
第 3 章	控制系统的时域分析	(40)
3.1	稳定性和代数稳定判据	(40)
3.1.1	稳定性的概念	(40)
3.1.2	线性系统稳定的充要条件	(41)
3.1.3	劳斯判据	(42)
3.1.4	控制系统的相对稳定性	(45)
3.2	控制系统的典型输入信号和时域性能指标	(46)
3.2.1	典型输入信号	(46)
3.2.2	时域性能指标	(48)
3.3	一阶系统的时域分析	(49)
3.3.1	一阶系统的数学模型和动态结构图	(49)
3.3.2	一阶系统的单位阶跃响应	(49)
3.3.3	一阶系统的单位斜坡响应	(50)
3.3.4	一阶系统的单位脉冲响应	(51)
3.4	二阶系统的时域分析	(51)
3.4.1	二阶系统的数学模型和动态结构图	(51)
3.4.2	二阶系统的单位阶跃响应	(52)
3.4.3	二阶系统的动态性能指标	(54)
3.5	高阶系统分析	(58)
3.5.1	高阶系统的瞬态响应	(58)
3.5.2	闭环主导极点	(60)
3.6	控制系统稳态误差分析	(60)
3.6.1	稳态误差定义	(60)
3.6.2	控制系统的类型	(61)
3.6.3	给定稳态误差的计算	(61)
3.6.4	扰动稳态误差的计算	(64)
3.7	基本控制规律的分析	(66)
3.7.1	比例 (P) 控制	(66)
3.7.2	积分 (I) 控制	(67)
3.7.3	比例加积分 (PI) 控制	(67)
3.7.4	比例加微分 (PD) 控制	(68)
3.7.5	比例加积分加微分 (PID) 控制	(70)
3.8	应用 MATLAB 进行系统时域分析	(70)

3.8.1	应用 MATLAB 分析系统的稳定性	(71)
3.8.2	应用 MATLAB 进行部分分式展开	(72)
3.8.3	应用 MATLAB 分析系统的动态特性	(73)
3.8.4	应用 MATLAB 获得响应曲线和性能指标	(79)
小结		(80)
习题 3		(81)
第 4 章	控制系统的根轨迹法	(84)
4.1	根轨迹的基本概念	(84)
4.1.1	根轨迹图	(84)
4.1.2	根轨迹的幅值条件和相位条件	(85)
4.2	绘制根轨迹的基本规则	(86)
4.3	控制系统性能的根轨迹法分析	(97)
4.3.1	确定闭环极点	(97)
4.3.2	系统闭环零点和极点位置与系统瞬态响应的关系	(98)
4.3.3	增加开环零点、开环极点对根轨迹的影响	(99)
4.4	广义根轨迹及其他多种根轨迹	(100)
4.4.1	广义根轨迹	(100)
4.4.2	多回路系统的根轨迹绘制	(101)
4.4.3	正反馈回路的根轨迹	(103)
4.5	应用 MATLAB 进行根轨迹分析	(105)
4.5.1	绘制零、极点图	(105)
4.5.2	绘制基本根轨迹图	(106)
4.5.3	确定阻尼比 ζ 轨迹、无阻尼自然振荡频率 ω_n 轨迹和根轨迹上任意点的开环根 轨迹增益	(109)
小结		(112)
习题 4		(112)
第 5 章	控制系统的频率特性法	(115)
5.1	频率特性的基本概念	(115)
5.1.1	频率特性的定义	(115)
5.1.2	频率特性的性质	(117)
5.1.3	频率特性的表示方法	(118)
5.2	奈氏曲线	(119)
5.2.1	典型环节的奈氏曲线	(120)
5.2.2	系统开环奈氏曲线的绘制	(123)
5.2.3	奈氏曲线的一般绘制步骤	(125)
5.3	对数频率特性曲线 (伯德图)	(128)
5.3.1	典型环节的伯德图	(128)
5.3.2	系统开环伯德图的绘制	(134)
5.3.3	最小相位系统	(137)

5.4	奈奎斯特稳定判据	(138)
5.4.1	系统开环与闭环零、极点间的关系	(138)
5.4.2	幅角定理	(138)
5.4.3	奈奎斯特稳定判据	(139)
5.4.4	奈奎斯特稳定判据在伯德图上的应用	(144)
5.5	控制系统的相对稳定性	(145)
5.6	频率特性与系统性能指标的关系	(148)
5.6.1	闭环频率特性及其性能指标	(148)
5.6.2	控制系统频域性能指标与时域性能指标的关系	(149)
5.6.3	开环对数幅频特性与系统动态性能的关系	(152)
5.7	应用 MATLAB 进行频域分析	(154)
	小结	(165)
	习题 5	(165)
第 6 章	控制系统的校正方法	(169)
6.1	系统校正的基本概念	(169)
6.1.1	性能指标	(169)
6.1.2	校正装置的设计方法	(170)
6.1.3	校正方式	(170)
6.2	串联校正	(171)
6.2.1	超前校正	(171)
6.2.2	滞后校正	(176)
6.2.3	滞后-超前校正	(180)
6.2.4	超前、滞后和滞后-超前校正的比较	(182)
6.3	串联校正的期望开环对数频率特性设计法	(183)
6.4	工程设计法	(187)
6.5	反馈校正	(189)
6.6	应用 MATLAB 进行系统校正与设计	(194)
	小结	(203)
	习题 6	(204)
第 7 章	非线性控制系统分析	(207)
7.1	非线性控制系统的基本概念和特点	(207)
7.1.1	典型非线性特性	(207)
7.1.2	非线性系统的特点	(209)
7.1.3	非线性系统的研究方法	(210)
7.2	描述函数法	(210)
7.2.1	描述函数法的基本思想与应用前提	(210)
7.2.2	描述函数的定义	(211)
7.2.3	典型非线性环节的描述函数	(212)
7.2.4	组合非线性环节的描述函数	(213)

7.2.5	基于描述函数的非线性系统稳定性分析	(214)
7.2.6	非线性系统存在周期运动时的稳定性分析	(214)
7.3	相平面法	(217)
7.3.1	基本概念	(217)
7.3.2	相平面图绘制方法	(217)
7.3.3	相平面、相轨迹的特点	(219)
7.3.4	奇点和奇线	(219)
7.3.5	非线性系统的相平面法分析	(222)
7.3.6	非线性系统相平面分区线性化方法	(223)
7.4	应用 MATLAB 进行非线性控制系统分析	(224)
7.4.1	非线性系统的线性化	(224)
7.4.2	直接求解非线性微分方程	(225)
7.4.3	运用 Simulink 分析非线性系统时域响应	(225)
小结	.....	(227)
习题 7	.....	(228)
第 8 章	采样控制系统分析	(231)
8.1	采样控制系统的基本概念	(231)
8.1.1	采样控制系统中的常用术语	(231)
8.1.2	采样控制系统的研究方法	(232)
8.2	采样过程和采样定理	(232)
8.2.1	采样控制系统的时间信号	(232)
8.2.2	信号采样及其数学描述	(232)
8.2.3	采样定理	(234)
8.3	信号的复现	(235)
8.3.1	信号保持器	(235)
8.3.2	零阶保持器	(236)
8.3.3	零阶保持器的实现	(237)
8.4	Z 变换和脉冲传递函数	(237)
8.4.1	Z 变换的定义	(237)
8.4.2	常用 Z 变换的方法	(238)
8.4.3	Z 变换的基本定理	(239)
8.4.4	Z 反变换	(242)
8.4.5	脉冲传递函数	(244)
8.5	采样控制系统的性能分析	(250)
8.5.1	采样控制系统的稳定性分析	(250)
8.5.2	采样控制系统的动态性能分析	(254)
8.5.3	采样控制系统的给定稳态误差	(258)
8.6	应用 MATLAB 进行采样控制系统分析	(261)
8.6.1	应用 MATLAB 函数对采样控制系统进行分析	(261)

8.6.2	用 Simulink 对采样控制系统进行建模分析	(263)
8.6.3	采样控制系统的稳定性分析	(263)
小结	.....	(264)
习题 8	.....	(265)
附录 A	拉普拉斯变换	(268)
A.1	拉普拉斯变换的概念	(268)
A.1.1	拉普拉斯变换的定义式	(268)
A.1.2	常用函数的拉普拉斯变换	(268)
A.2	拉普拉斯变换的性质	(269)
A.2.1	线性性质	(269)
A.2.2	微分性质	(269)
A.2.3	积分性质	(270)
A.2.4	位移性质	(270)
A.2.5	延迟性质	(270)
A.2.6	相似性质	(271)
A.2.7	初值定理	(271)
A.2.8	终值定理	(271)
A.3	拉普拉斯反变换	(272)
A.3.1	$F(s)$ 的所有极点都是不相等的实数	(272)
A.3.2	$F(s)$ 的极点包含有共轭复数	(273)
A.3.3	$F(s)$ 的极点包含有相等的实数	(273)
附录 B	常用函数的拉普拉斯变换与 Z 变换对照表	(275)
附录 C	MATLAB 简介	(276)
C.1	MATLAB 概述	(276)
C.2	MATLAB 的运行环境	(276)
C.2.1	MATLAB 的运行方式	(276)
C.2.2	MATLAB 的窗口	(277)
C.2.3	MATLAB 的帮助系统	(277)
C.3	MATLAB 的数值计算	(278)
C.3.1	MATLAB 的数据类型	(278)
C.3.2	符号运算	(279)
C.3.3	矩阵运算	(280)
C.3.4	关系运算和逻辑运算	(280)
C.4	MATLAB 的程序设计	(281)
C.4.1	M 文件编程	(281)
C.4.2	程序流程的控制	(282)
参考文献	.....	(283)

第1章 绪 论

在本章，你将学习

- ◆ 自动控制理论的应用和基本内容
- ◆ 自动控制系统的分类
- ◆ 自动控制系统的结构和术语
- ◆ 自动控制系统的的基本要求
- ◆ 自动控制系统的分析和设计工具

1.1 自动控制理论及应用

自动控制理论是自动控制学科的基础理论，是一门理论性较强的工程科学。本课程的主要任务是研究与讨论控制系统的一般规律，从而设计出合理的自动控制系统，实现自动控制。所谓自动控制，是指在没有人直接参与的情况下，利用自动控制装置使整个生产过程或工作机械自动地按预先规定的规律运行，或者使它的某些物理量按预定的要求发生变化。

在工程和科学技术发展的过程中，自动控制技术发挥着重要的作用。例如，工业上各种机器设备的速度控制、锅炉的温度和压力控制等，军事上雷达和火炮自动跟踪目标的随动控制，航空航天中人造卫星及宇宙飞船准确进入预定轨道并返回地面控制等，日常生活中厨房中电冰箱的温度控制等，都是自动控制技术的具体应用。

自动控制理论的发展与应用，不仅保证了安全，提高了劳动生产率和产品质量，改善了劳动条件，而且在人类改造自然、探索新能源、发展空间技术和改善人们物质生活等方面都起到了极为重要的作用。自动控制理论应用于化工、机械、能源、航空航天、交通、建筑、生物等工程领域，对各类企业的生产、销售、经营及对经济和社会各部门的活动进行控制和管理。因此，大多数工程技术人员和科学工作者现在都必须具备一定的自动控制理论知识。

1.2 自动控制理论的基本内容

自动控制理论由经典控制理论、现代控制理论和智能控制理论组成。

经典控制理论以传递函数为基础，研究单输入、单输出的自动控制系统的分析与设计问题。基本内容包括时域分析法、根轨迹法、频率特性法、相平面法、描述函数法等。

现代控制理论以状态空间法为基础，研究多输入、多输出、时变、非线性等自动控制系统的分析和设计问题。基本内容包括线性系统基本理论、系统辨识、最优控制问题、自适应控制问题及最佳滤波问题等。

智能控制理论以人工智能理论为基础，研究具有模糊性、不确定性、不完全性、偶然

性的自动控制系统。基本内容包括模糊控制、专家系统和学习控制。

1.3 自动控制系统的分类

自动控制系统的形式是多种多样的，根据不同的分类方法可以分成不同的类型。实际系统可能是几种形式的组合。

1.3.1 按信号传递路径分类

1. 开环控制系统

〔例 1.1〕参考如图 1.1 所示的电加热炉炉温控制系统。接通电源后，根据经验和实验数据，调节调压器的活动触点于某一位置上，通过电热器给炉子加热，使炉温维持在期望值附近一定的范围内。当外界条件及元件参数发生变化时，炉内实际温度和期望的温度会出现误差，有时误差可能较大。但该系统不可能因存在误差而自动调整调压器活动触点的位置，通过改变电热器的电流来消除温度误差，也就是说，输出量对系统本身没有控制作用。因此，该炉温控制系统是一个开环控制系统。

开环控制系统的原理框图如图 1.2 所示。

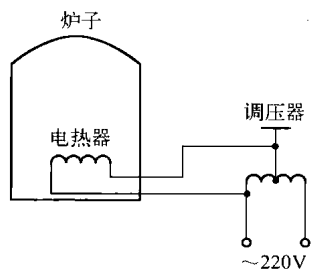


图 1.1 电加热炉炉温控制系统

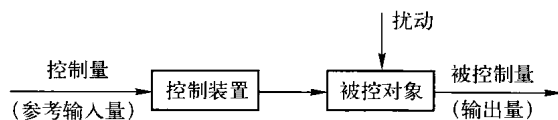


图 1.2 开环控制系统的原理框图

开环控制系统的特点如下。

(1) 控制信号由输入到输出单方向传递，不对输出量进行任何检测，或者虽然进行检测，但对系统工作不起任何控制作用。

(2) 外部条件和系统内部参数保持不变时，对于一个确定的控制量，总存在一个与之对应的被控制量（输出量）。

(3) 控制精度取决于控制装置及被控对象的参数稳定性，若系统容易受干扰影响，则缺乏精确性和适应性。例如，上面讲过的炉温控制系统，电源的波动、炉门开闭的次数或周围环境温度的变化都会导致炉温偏离期望值。

2. 闭环控制系统

〔例 1.2〕参考如图 1.3 所示的炉温闭环控制系统。电加热炉的温度要稳定在某一期望的温度值附近，炉温的期望值是由给定的电压信号反映的。热电偶是温度测量元件，测出炉内实际温度并输出电压。热电偶的输出量与给定电压比较产生电压差，经放大后使电动机

作，通过减速器带动调压器活动触点，从而改变流过电热器的电流，消除温度误差，使炉内实际温度等于或接近期望的温度。

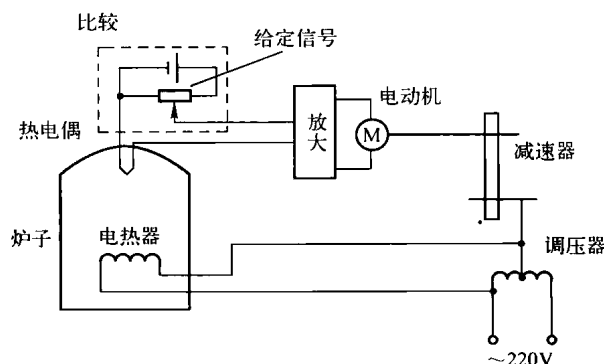


图 1.3 炉温闭环控制系统

在上述系统中，系统把实际的炉温转换为电压信号，由电压比较电路产生电压误差信号，然后根据误差信号进行控制，其系统原理框图如图 1.4 所示。这种系统把输出量直接（或间接）反馈到输入端形成闭环，使得输出量参与系统的控制，称为闭环控制系统。

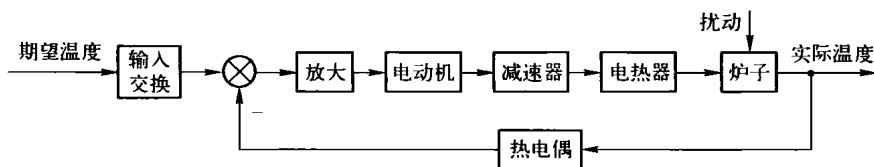


图 1.4 炉温闭环控制系统的原理框图

闭环控制系统的特点如下。

(1) 由负反馈构成闭环，利用误差信号进行控制。

(2) 对于外界扰动和系统内参数的变化等引起的误差能够自动纠正。

(3) 系统元件参数配合不当，容易产生振荡，使系统不能正常工作，因而存在稳定性问题。

闭环控制是最常用的一种控制方式，显然，有简单的闭环控制，也有复杂的闭环控制。闭环控制在工程系统和社会经济系统中正得到广泛的应用，在生命有机体的生长和进化过程中也普遍存在着这种闭环控制。生命有机体为适应环境的变化而做出有效的动作反应，主要是依靠这种反馈作用。人具有学习能力，能通过学习，积累学习经验，用过去的经验来调节未来行为的策略，并具有通过学习来适应环境和改造世界的能力，这本质上也是一种闭环控制。

1.3.2 按控制作用的特点分类

1. 恒值控制系统

自动控制系统的任务是保持被控制量恒定不变，即使被控制量在控制过程结束时等于控制量值。这是生产过程中用得最多的一种控制，例如，电动机的转速控制和各种恒温、恒

压、恒液位等控制都属于恒值控制系统。

恒值控制系统主要研究如何克服各种扰动对被控制量的影响。

2. 随动控制系统

随动控制系统又简称随动系统，是控制量随时间的变化规律事先不能确定的控制系统。随动控制系统的任务是在各种情况下快速、准确地使被控制量跟踪控制量的变化。例如，自动跟踪卫星的雷达天线控制系统、工业控制中的位置控制系统、工业自动化仪表的显示记录等都属于随动控制系统。

随动控制系统要求被控制量具有很好的快速性和准确性。

3. 程序控制系统

在程序控制系统中，它的控制量按事先预定的规律变化，是一个已知的函数。控制的目的是要求被控制量按确定的控制量的时间函数来改变。例如，机械加工中的数控机床、加热炉温度自动控制系统等都属于程序控制系统。

1.3.3 控制系统的其他类型

自动控制系统还有很多种分类方法。例如，按系统是否满足叠加原理，可分为线性控制系统和非线性控制系统；按系统控制器是否采用计算机，可分为计算机控制系统和模拟控制系统；按被控对象的范畴，可分为运动控制系统、过程控制系统等；按系统参数是否随时间变化，可分为时变控制系统和定常控制系统。

1.4 自动控制系统的 basic 组成

自动控制系统的 basic 结构如图 1.5 所示。下面以图 1.5 为例介绍一些常用术语及自动控制系统的组成。

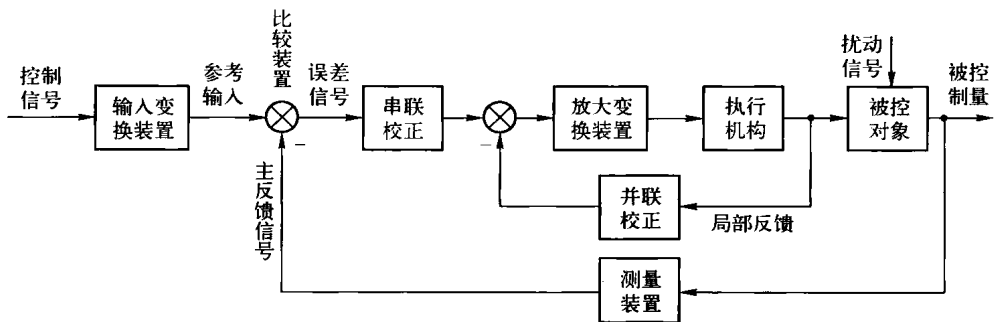


图 1.5 自动控制系统的 basic 结构

1. 控制系统的一些常用术语

控制信号：控制着被控制量变化规律的指令信号。

被控制量：要控制其变化规律的信号，应与控制信号间保持一定的函数关系。

主反馈信号：由输出端反馈到输入端的信号。正反馈信号有利于加强控制信号的作用，负反馈信号抵消控制信号的部分作用。

误差信号：指系统输出量的实际值与期望值之差。

扰动信号：简称扰动或干扰，它与控制作用相反，是一种不期望的影响系统被控制量的不利因素。扰动信号可能来自系统内部，也可能来自系统外部，前者称内部扰动，后者称外部扰动。

前向通路：从输入端到输出端的单方向通路。

反馈通路：从输出端到输入端的反方向通路。对于一个复杂系统，前向通路和反馈通路都不止一条。

2. 控制系统的基本组成部分

虽然工程实践中的自动控制系统复杂多样，但是它们都是以典型系统为基础的。一个典型的反馈控制系统，通常由以下几个部分组成。

(1) **输入变换装置：**或称参考输入传感器，有时也称给定装置，用于产生参考输入信号（通常称为参考输入或指令输入或设定值）。它的作用是把控制信号变换为能和反馈信号相比较的信号。例如，用电位器设定的滑臂位置来表示需要的温度。

(2) **比较装置：**用于比较输入变换装置的输出信号和主反馈信号，其输出为误差信号，作为串联校正的输入，以产生校正误差的控制作用。由于在比较装置中是减去主反馈信号，因此形成一个负反馈的控制系统。例如，反馈电位器与设定电位器组成电路或以标准装置的方式配以专用的比较器等。

(3) **放大变换装置：**是把误差信号放大并进行能量形式转换，使之达到足够的幅值和功率的装置，如电液伺服阀、功率放大器等。

(4) **执行机构：**是能够根据控制信号直接对被控对象进行操作的装置或设备。有的控制信号可以直接驱动被控对象。但是，在大多数情况下，被控对象都是大功率级的，控制信号与被控对象功率级别不等，另外控制信号一般是电信号，而被控对象的输入信号大多是其他形式的非电物理量，物理量纲不同，控制信号不能直接驱动被控对象，此时就需要执行机构，如步进电动机、电磁阀、气动阀、各种驱动装置等。

(5) **被控对象：**是指自动控制系统根据需要进行控制的机器、设备或生产过程，如恒温炉、电动机等。被控对象内要求实现自动控制的物理量称为被控制量或系统输出量，如恒温炉的温度、电动机的转速等。

(6) **测量装置：**是感受或测量被控制量的实际值并把它变换为可以进行比较信号的装置，如测速发电机、压力、流量等各种传感器和测量仪表。测量装置的输出信号是主反馈信号。

(7) **校正装置：**对系统的参数和结构进行调整，用于改善系统的控制性能。

1.5 自动控制系统的基本要求

对于一个控制系统，首先是要求系统的绝对稳定性。否则，系统无法正常工作，甚至会毁坏设备，造成重大损失。例如，直流电动机的失磁、导弹发射的失控、运动机械的增幅

振荡等都属于系统不稳定。

在系统稳定的前提下，要求系统具有很好的动态性能和稳态性能。其动态性能和稳态性能是由相应的性能指标来描述的，这将在第4章中详细叙述。在此，对系统的性能要求可以简要概括为：动态过程要平稳，响应动作要快速，最终跟踪要准确。

上述自动控制系统的三方面基本要求如图1.6所示。

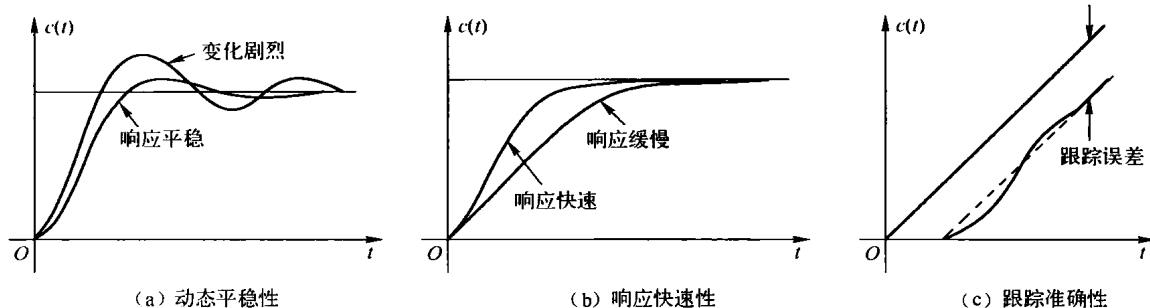


图 1.6 自动控制系统的的基本要求

图 1.6 (a) 表明了给定恒值信号时，系统的响应能够很快稳定在稳态值附近与在稳态值附近上下波动的两种情况比较。图 1.6 (b) 表明了给定恒值信号时，系统达到稳态值的快速性情况。图 1.6 (c) 表明了跟踪等速率变化信号的系统准确性情况，能够准确跟踪的系统就没有跟踪误差或跟踪误差很小，否则跟踪误差就大。

对于同一系统，这三方面基本要求是相互制约的。过分提高响应动作的快速性，可能会导致系统强烈地振荡；而过分追求稳定性，又可能使系统反应迟钝，最终导致控制准确性变差。如何分析与解决这些矛盾是本学科研究的重要内容。

1.6 自动控制系统的分析和设计工具

自动控制系统的计算机辅助分析和设计作为一门专门的学科，在发展过程中出现了各种各样的自动控制系统分析和设计软件或工具包。MATLAB 以它非常强大的功能备受控制界工程设计人员的青睐，并开发了用于自动控制系统的工具箱，成为对自动控制系统分析和设计非常有用的工具。

MATLAB 控制工具箱有以下主要功能。

- (1) 为求解控制问题提供强有力的数学工具。
- (2) 为描述、建立多种形式的系统模型提供简单的函数调用。
- (3) 提供系统时域和频域的分析函数。
- (4) 通过对典型控制系统设计函数的引用完成系统设计。
- (5) 有丰富的格式化输入/输出及特定曲线绘制函数。

在 MATLAB 下还提供了面向结构图方式的 Simulink 仿真环境。对于结构复杂的控制系统，要快速地建立系统模型是较为困难的，但若采用 Simulink 提供的图形编程方法，就极为方便。Simulink 是实现自动控制系统建模和仿真的集成环境，其主要功能是实现自动控制系统建模、仿真与分析，可以对自动控制系统的校正装置进行适当的实时修改，以提高自动