



面向

21世纪

高级应用型人才

中国高等职业技术教育研究会推荐
高职高专系列教材

自动控制原理

赵四化 主编

金雯丽 主审

西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>



XDUP 167100

封面设计：雅树

面向21世纪IT类高职高专系列教材

- 计算机接口技术
- 数据结构
- 计算机控制技术
- 计算方法
- 网络办公自动化技术与应用
- VFP6.0 数据库原理与应用
- 网站建设与维护
- 计算机数据通信教程
- 计算机图形图像与网页制作
- 网页设计与制作
- 网络安全技术
- 计算机外部设备使用与维护
- 计算机硬件技术基础
- 实用软件开发技术
- 智能化建筑技术
- 网络综合布线系统实用技术
- SQL Server 2000 综合实用教程
- Linux 操作系统实用教程
- Linux 实训指导教程
- Java 程序设计
- C++ Builder 6.0 程序设计
- Visual Basic.NET 程序设计
- 局域网组网技术
- 3ds max 6.0 实用教程
- 网络数据库技术
- 网络数据库技术及应用
- Oracle数据库SQL和PL/SQL实训教程
- 数字电路EDA设计
- 电子电路EDA技术
- 电子电路仿真设计
- 电子测量技术
- 传感器原理及应用
- 自动控制原理
- 自动控制原理及其应用
- DSP应用技术
- 智能卡技术
- 手机原理与维修
- 通信原理
- 数字通信技术
- 移动通信技术
- 现代通信系统
- 智能仪器原理及应用
- 单片机原理及接口技术
- 天线技术
- 调音技术
- 电子工艺与电子CAD
- 通信电源
- 电子信息类专业英语
- 交换技术
- 光纤通信技术
- 单片机应用技术实训教程
- 应用电路分析实训教程
- 电工电子技术实训教程
- 电工技能实训教程

ISBN 7-5606-1400-0



9 787560 614007 >

ISBN 7-5606-1400-0/TP·0746 (课)

定价：16.00元

□ 中国高等职业技术教育研究会推荐

高职高专系列教材

自动控制原理

主 编 赵四化

副主编 胡俊波 谭三

参 编 王琪 蔡礼渊 庞小琪

主 审 金雯丽

西安电子科技大学出版社

2004

内 容 简 介

本书以经典控制理论为基础内容,系统地论述了生产过程控制中所必需的基础理论。从控制系统的基本结构和数学模型出发,重点介绍了控制系统的时域分析法、根轨迹分析法、频域分析法、采样系统分析法和系统校正。在内容安排上,为了适应高职高专层次的教学需要,本书仍按研究系统的方法独立地介绍各章。第1章总体介绍控制系统的发展概况,基本结构、类型及研究方法,为后续内容提供必要的基础知识。第2章以微分方程为基础,以传递函数为手段,主要讨论典型环节的数学模型。第3章以时域响应分析法分析系统。第4章以根轨迹法分析系统。第5章以频域分析法分析系统。第6章主要介绍依据频率分析方法对系统进行设计、校正。第7章主要介绍采样系统的基本概念以及基本的分析方法。第8章介绍自动控制系统的实验。

本书可作为高职高专类院校通信及电子技术专业“自动控制原理”课程教材,也可作为其他非控制类专业的备选教材。

本书配有电子教案,需要的教师可与出版社联系,免费索取。

图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理 / 赵四化主编. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2004.7

(高职高专系列教材)

ISBN 7-5606-1400-0

I. ①自... II. 赵... III. 自动控制理论 - 高等学校: 技术学校 - 教材 IV. TP13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 045934 号

策 划 马武装

责任编辑 杨 璠 马武装

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

<http://www.xduph.com>

E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2004年7月第1版 2004年7月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 14

字 数 324千字

印 数 1~4000册

定 价 16.00元

ISBN 7-5606-1400-0/TP·0746(课)

XDUP 1671001-1

如有印装问题可调换

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

序

1999 年以来,随着高等教育大众化步伐的加快,高等职业教育呈现出快速发展的形势。党和国家高度重视高等职业教育的改革和发展,出台了一系列相关的法律、法规、文件等,规范、推动了高等职业教育健康有序的发展。同时,社会对高等职业技术教育的认识在不断加强,高等技术应用型人才及其培养的重要性也正在被越来越多的人所认同。目前,高等职业技术教育在学校数、招生数和毕业生数等方面均占据了高等教育的半壁江山,成为高等教育的重要组成部分,在我国社会主义现代化建设事业中发挥着极其重要的作用。

在高等职业教育大发展的同时,也有着许多亟待解决的问题。其中最主要的是按照高等职业教育培养目标的要求,培养一批具有“双师素质”的中青年骨干教师;编写出一批有特色的基础课和专业主干课教材;创建一批教学工作优秀学校、特色专业和实训基地。

为解决当前信息及机电类精品高职教材不足的问题,西安电子科技大学出版社与中国高等职业技术教育研究会分两轮联合策划、组织编写了“计算机、通信电子及机电类专业”系列高职高专教材共 100 余种。这些教材的选题是在全国范围内近 30 所高职高专院校中,对教学计划和课程设置进行充分调研的基础上策划产生的。教材的编写采取公开招标的形式,以吸收尽可能多的优秀作者参与投标和编写。在此基础上,召开系列教材专家编委会,评审教材编写大纲,并对中标大纲提出修改、完善意见,确定主编、主审人选。该系列教材着力把握高职高专“重在技术能力培养”的原则,结合目标定位,注重在新颖性、实用性、可读性三个方面能有所突破,体现高职教材的特点。第一轮教材共 36 种,已于 2001 年全部出齐,从使用情况看,比较适合高等职业院校的需要,普遍受到各学校的欢迎,一再重印,其中《互联网实用技术与网页制作》在短短两年多的时间里先后重印 6 次,并获教育部 2002 年普通高校优秀教材二等奖。第二轮教材预计在 2004 年全部出齐。

教材建设是高等职业院校基本建设的主要工作之一,是教学内容改革的重要基础。为此,有关高职院校都十分重视教材建设,组织教师积极参加教材编写,为高职教材从无到有,从有到优、到特而辛勤工作。但高职教材的建设起步时间不长,还需要做艰苦的工作,我们殷切地希望广大从事高等职业教育的教师,在教书育人的同时,组织起来,共同努力,编写出一批高职教材的精品,为推出一批有特色的、高质量的高职教材作出积极的贡献。

中国高等职业技术教育研究会会长

李宗尧

IT 类专业系列高职高专教材编审专家委员会名单

主任: 高 林 (北京联合大学副校长, 教授)

副主任: 温希东 (深圳职业技术学院电子通信工程系主任, 教授)

李卓玲 (沈阳电力高等专科学校信息工程系主任, 教授)

李荣才 (西安电子科技大学出版社总编辑, 教授)

计算机组: 组长: 李卓玲(兼) (成员按姓氏笔画排列)

丁桂芝 (天津职业大学计算机工程系主任, 教授)

王海春 (成都航空职业技术学院电子工程系副教授)

文益民 (湖南工业职业技术学院信息工程系主任, 副教授)

朱乃立 (洛阳大学电子工程系主任, 教授)

李 虹 (南京工业职业技术学院电气工程系副教授)

陈 晴 (武汉职业技术学院计算机科学系主任, 副教授)

范剑波 (宁波高等专科学校电子技术工程系副主任, 副教授)

陶 霖 (上海第二工业大学计算机学院教授)

徐人凤 (深圳职业技术学院计算机应用工程系副主任, 高工)

章海鸥 (金陵科技学院计算机系副教授)

鲍有文 (北京联合大学信息学院副院长, 副教授)

电子通信组: 组长: 温希东(兼) (成员按姓氏笔画排列)

马晓明 (深圳职业技术学院电子通信工程系副主任, 副教授)

于 冰 (宁波高等专科学校电子技术工程系副教授)

孙建京 (北京联合大学教务长, 教授)

苏家健 (上海第二工业大学电子电气工程学院副院长, 高工)

狄建雄 (南京工业职业技术学院电气工程系主任, 副教授)

陈 方 (湖南工业职业技术学院电气工程系主任, 副教授)

李建月 (洛阳大学电子工程系副主任, 副教授)

李 川 (沈阳电力高等专科学校自动控制系副教授)

林训超 (成都航空职业技术学院电子工程系主任, 副教授)

姚建永 (武汉职业技术学院电子信息系主任, 副教授)

韩伟忠 (金陵科技学院龙蟠学院院长, 高工)

项目总策划: 梁家新

项目策划: 马乐惠 云立实 马武装 马晓娟

电子教案: 马武装

前 言

本书是为高职高专类院校通信及电子技术专业学生“自动控制原理”课程而编写的教材,也可作为其他非控制类专业的备选教材。

“自动控制原理”是一门自动控制专业的基础理论课程,属于技术基础课,该课程主要阐述经典控制理论的有关基本原理以及基本分析方法,为后继课程运用控制原理提供基础知识。

本书以经典控制理论为基础内容,系统地论述了生产过程控制中所必需的基础理论。从控制系统的基本结构和数学模型出发,重点介绍控制系统的时域分析法、根轨迹分析法、频域分析法、采样系统分析法和系统校正。

第8章的目的是为了增强学生动手能力的培养。考虑到目前现代控制理论的发展,本书在附录中增加了对MATLAB语言的介绍。

在内容的安排上,为了适应高职高专层次的教学需要,本书仍按研究系统的方法独立地介绍各章。第1章总体介绍控制系统的发展概况,基本结构、类型及研究方法,为后续内容提供必要的基础知识。第2章以微分方程为基础,传递函数为手段,主要讨论典型环节的数学模型。第3章以时域响应分析法分析系统。第4章以根轨迹法分析系统。第5章以频域分析法分析系统。第6章主要介绍依据频率分析方法对系统进行设计、校正。第7章主要介绍采样系统的基本概念以及基本分析方法。第8章介绍自动控制系统的基本实验。附录C介绍了MATLAB语言在自动控制中的基本应用。

本书由成都电子机械高等专科学校赵四化主编。参加编写工作的还有胡俊波(成都电子机械高等专科学校)、谭三(成都西华大学)、王琪(成都电子机械高等专科学校)、庞小琪(成都电子机械高等专科学校)、蔡礼渊(成都电子机械高等专科学校)。成都电子机械高等专科学校对本书的出版给予了大力的支持,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中疏漏错误在所难免,竭诚欢迎广大读者批评指正。

编 者

2004年3月于成都

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.1.1 自动控制理论概述	1
1.1.2 自动控制的发展历史及现状	1
1.1.3 自动控制的基本方法	2
1.1.4 控制系统的分类	5
1.1.5 控制系统的研究内容和方法	7
1.1.6 对控制系统的基本要求	7
习题	9
第 2 章 控制系统的数学模型	10
2.1 列写系统的微分方程	10
2.1.1 机械系统	10
2.1.2 电路系统	11
2.1.3 机电系统	11
2.1.4 非线性方程的线性化	12
2.2 传递函数	13
2.2.1 传递函数的概念	13
2.2.2 传递函数的定义	14
2.2.3 传递函数的性质	14
2.2.4 传递函数的求法	15
2.3 系统的动态结构图	16
2.3.1 动态结构图	16
2.3.2 动态结构图的绘制	16
2.3.3 动态结构图的基本连接方式	18
2.4 动态结构图的等效变换	19
2.4.1 相加点的移动	19
2.4.2 分支点的移动	21
2.5 信号流图与梅逊公式	22
2.5.1 信号流图的组成	23
2.5.2 信号流图的绘制	23
2.5.3 梅逊(S. J. Mason)公式	24
2.6 系统的传递函数	26
2.6.1 闭环控制系统的开环传递函数	26
2.6.2 给定输入信号 $r(t)$ 作用下的闭环传递函数	26
2.6.3 扰动信号 $n(t)$ 作用下的闭环传递函数	27

2.6.4 系统的总输出	27
2.6.5 闭环系统的误差传递函数	27
习题	28
第3章 时域分析法	32
3.1 系统性能指标及动态性能分析	32
3.1.1 典型输入信号和时域性能指标	32
3.1.2 控制系统的性能指标	35
3.2 一阶系统的时域分析	36
3.2.1 一阶系统的单位阶跃响应	36
3.2.2 一阶系统的单位斜坡响应	37
3.2.3 一阶系统的单位脉冲响应	38
3.3 二阶系统的时域分析	38
3.3.1 二阶系统的单位阶跃响应	39
3.3.2 二阶系统和它的瞬态响应指标	42
3.3.3 改善二阶系统性能的措施	45
3.4 高阶系统的时域分析	47
3.5 控制系统的稳定性分析	48
3.5.1 系统稳定的充分与必要条件	48
3.5.2 劳斯(Routh) 稳定判据	49
3.5.3 两种特殊情况	51
3.5.4 劳斯稳定判据在控制系统中的应用	52
3.6 控制系统的稳态误差分析	54
3.6.1 给定信号作用下的稳态误差及误差系数	55
3.6.2 扰动信号作用下的稳态误差	59
3.6.3 改善系统稳态精度的方法	60
习题	61
第4章 根轨迹法	64
4.1 反馈系统的根轨迹	64
4.2 绘制根轨迹的基本规则	66
4.2.1 绘制 180° 根轨迹的基本规则	66
4.2.2 绘制 0° 根轨迹的基本规则	76
4.3 典型反馈系统的根轨迹举例	78
4.4 参量根轨迹	84
习题	86
第5章 频域分析法	88
5.1 频率特性	88
5.1.1 频率特性的概念	88
5.1.2 频率特性的图示方法	89

5.2 典型环节的频率特性	92
5.2.1 比例(放大)环节	92
5.2.2 积分环节	93
5.2.3 微分环节	94
5.2.4 惯性环节	94
5.2.5 一阶微分环节	96
5.2.6 振荡环节	97
5.3 系统开环频率特性图的绘制	100
5.3.1 系统开环频率特性函数极坐标图的绘制	100
5.3.2 系统开环对数频率特性图的绘制	101
5.3.3 根据频率特性确定传递函数	103
5.4 稳定判据	105
5.4.1 系统开环特征式和闭环特征式的关系	105
5.4.2 奈奎斯特稳定判据	105
5.4.3 对数频率稳定判据	107
5.4.4 稳定裕度	108
5.5 开环频率特性与时域指标的关系	110
习题	112
第6章 系统的校正方法	117
6.1 校正的基本概念	117
6.1.1 性能指标	117
6.1.2 校正系统的结构	118
6.2 串联校正装置的结构、特性和功能	119
6.2.1 超前校正装置	119
6.2.2 滞后校正装置	121
6.2.3 滞后—超前校正装置	122
6.3 串联校正的频率响应设计法	124
6.3.1 串联超前校正	124
6.3.2 串联滞后校正	127
6.3.3 串联滞后—超前校正	129
6.4 几种基本的控制规律	129
6.4.1 比例控制(P控制)	129
6.4.2 比例+微分控制(PD控制)	129
6.4.3 比例+积分控制(PI控制)	130
6.4.4 比例+积分+微分控制(PID控制)	130
习题	131
第7章 线性离散系统的分析与综合	134
7.1 采样过程	134

7.2 采样周期的选择	136
7.3 信号保持	137
7.4 Z 变换	140
7.5 脉冲传递函数	147
7.6 稳定性分析	154
7.7 线性数字控制系统的时域分析	158
习题	162
第 8 章 自动控制原理实验	165
8.1 典型环节及其阶跃响应	165
8.2 二阶系统阶跃响应	166
8.3 控制系统的稳定性分析	168
8.4 系统频率特性的测试	170
8.5 控制系统串联校正	171
8.6 采样实验	174
附录 A 拉普拉斯变换	176
附录 B 常见函数拉普拉斯变换对照表	183
附录 C MATLAB 语言的使用	184
C.1 MATLAB 简介	184
C.2 MATLAB 环境的安装	185
C.3 MATLAB 的基本语句结构	187
C.4 矩阵的基本运算	190
C.5 MATLAB 的控制语句	194
C.5.1 MATLAB 的循环语句结构	194
C.5.2 MATLAB 的条件转移语句结构	196
C.6 控制系统的数学模型及其转换方法	199
C.6.1 控制系统的传递函数描述	199
C.6.2 控制系统的状态方程模型	201
C.6.3 控制系统的零极点模型	202
C.6.4 控制系统的典型连接	204
C.7 控制系统的计算机辅助频域与时域分析	206
C.7.1 控制系统的频域响应	206
C.7.2 线性系统的时间响应分析	210
参考文献	213

第 1 章 绪 论

1.1 引 言

1.1.1 自动控制理论概述

自动控制理论是研究各种自动控制过程共同规律的技术学科。它的发展初期是以反馈理论为基础的自动调节理论。随着科学技术的进步,自动控制原理已发展成为一门独立的学科,它包括工程控制论、生物控制论、经济控制论和社会控制论。工程控制论是控制论中最成熟的分支,主要研究工程领域中控制系统信息分析、变换、传送的一般理论与设计应用。自动控制理论是工程控制论的一个分支,它只研究自动控制系统分析和设计的一般方法。根据自动控制技术发展的不同阶段,自动控制理论可分为“经典控制理论”和“现代控制理论”两大部分。

经典控制理论是指 20 世纪 50 年代末期所发展形成的理论体系。经典控制理论主要是研究单输入—单输出线性定常系统的分析和设计问题,其理论基础是描述系统输入—输出关系的传递函数,主要采用时域分析方法和频域分析方法。

现代控制理论是在 20 世纪 60 年代初期,为适应更复杂系统的设计,研究具有高性能、高精度的多输入—多输出系统而出现的新的控制理论。

自动控制原理是一门自动控制专业的基础理论课程,它属于技术基础课程,该课程讲述的是自动控制系统分析设计的一些基本方法,譬如根轨迹法、频域响应法、状态空间法等。它使用的系统数学模型有传递函数和状态模型等,所处理的系统为线性系统和非线性系统等。本课程主要研究的系统是线性定常系统。

1.1.2 自动控制的发展历史及现状

自动控制技术在工业、农业、国防和科学技术现代化中起着十分重要的作用。自动控制技术水平的高低也是衡量科学技术先进与否的重要标志之一。随着国民经济和国防建设的发展,自动控制技术的应用日益广泛,其重要作用也越来越显著。

自动控制的发展已有很长的历史,自动机和自动钟很早就发明了。大约在公元前 3 世纪,古代希腊人特西比奥斯(Ktesibios)发明的滴水时钟,至公元 9 世纪经阿拉伯人改进后成为一个典型的负反馈控制系统。工业革命时期,瓦特(James Watt)发明的蒸汽发动机离心式调速机构,也是一个很好的负反馈控制系统。

我国古代在自动学方面的成就就更为超前,远在 3000 多年前出现的铜壶滴漏装置的水平控制问题比古希腊人的滴水时钟更早。2000 年前发明的指南车,也可看成是一个按扰动补偿的自动控制系统。

控制现代论的产生和发展乃至形成一个独立的工程学科还是在近代。在瓦特发明蒸汽发动机离心式调速机构之后大约 100 年,麦克斯韦(J. C. Maxwell)发表的“论调节器”一文,利用线性微分方程对离心式调速机构的动态性能进行了分析和研究,这是关于反馈控制理论的第一篇正式论文。随后,1884 年劳斯(E. J. Routh),1892 年李雅普诺夫,1895 年赫尔维茨(A. Hurwitz)等人都对控制理论作出了重要的贡献。在这一时期,自动控制系统也开始较为广泛地应用于工业生产控制。在第一次世界大战期间,自动控制被广泛应用于军事工业。特别是在第二次世界大战期间,由于军事的需要,使自动控制理论及其应用得到了很快的发展。飞机、火炮、舰船的快速精确控制,雷达跟踪和导弹制导技术的发展已达到了较高水平。战后,随着许多理论和实践成果的发表,使控制理论的发展推向高潮。1948 年伊万斯(W. R. Evans)提出了根轨迹法。至此,经典控制理论已基本趋于完善。

经典控制理论在指导自动控制技术的发展和应用中起到了重大作用。但是,经典控制理论存在着严重的局限性:经典控制理论只限于处理线性非时变系统;只限于处理单输入—单输出系统等。因此,经典控制理论对于时变系统,非线性系统(除简单例子外)和多输入—多输出系统是无法使用的。为了突破经典控制理论的局限性,从 20 世纪 60 年代初开始,一种新型的方法——现代控制理论被提出,并得以迅速发展。现代控制理论是建立在状态空间的基础上的,其本质是利用状态方程求解问题。由于计算机技术的高速发展,使得复杂的数学问题得以解决,从而促进了现代控制理论的发展,并使其在应用中越来越显示出优越性。

1.1.3 自动控制的基本方法

自动控制系统有两种最基本的形式,即开环控制和闭环控制。复合控制是将开环控制和闭环控制适当结合的控制方式,可用来实现复杂且控制精度较高的控制任务。

1. 开环控制

开环控制是指控制装置与被控对象之间只有顺向作用而没有反向联系的控制过程。即被控量(系统输出)不影响系统控制的控制方式称为开环控制。所以,在开环控制中,不对被控量进行任何检测,在输出端和输入端之间不存在反馈联系。

开环控制又有两种方式,即用给定值操纵的控制方式和干扰补偿的控制方式。

1) 用给定值操纵的控制方式

用给定值操纵的开环控制系统的方框图如图 1-1 所示。

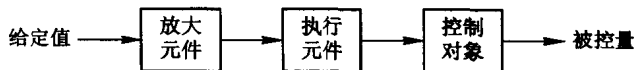


图 1-1 用给定值操纵的开环控制

这种控制方式的特点是:在给定输入端到输出端之间的信号传递是单向进行的。

这种控制方式的缺点是:当受控对象或控制装置受到干扰,或者在工作过程中元件特性发生变化而影响被控量时,系统不能进行自动补偿,所以控制精度难以保证。但是由于它的结构比较简单,因此在控制精度要求不高或元器件工作特征比较稳定而干扰又很小的场合中应用比较广泛。

2) 用干扰补偿的控制方式

用干扰补偿的开环控制方式的方框图如图 1-2 所示。

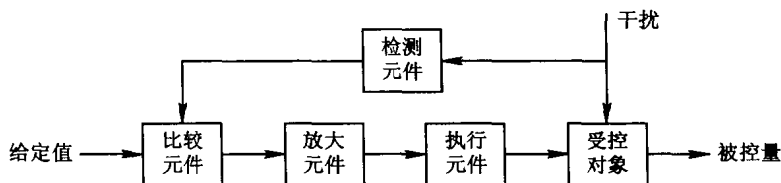


图 1-2 用干扰补偿的开环控制

这种控制方式的特点是：干扰信号经测量、计算、放大、执行等元件到输出端的传递也是单向进行的。

用干扰补偿的控制方式只能用在干扰可以测量的场合。另外这种控制方式在工作过程中不能补偿由于元件及受控对象工作特性变化而对被控量所产生的影响。

2. 闭环控制

被控量对系统参与系统控制的控制方式称为闭环控制。闭环控制的方框图如图 1-3 所示。

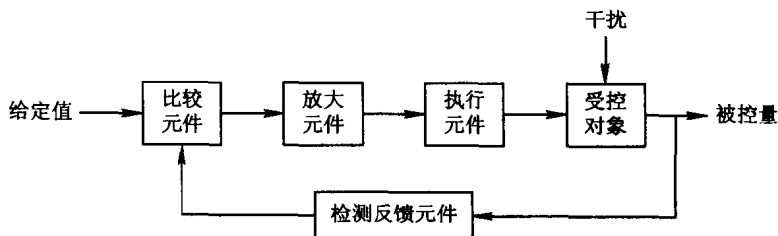


图 1-3 闭环控制

闭环控制的特点是在控制器和被控对象之间，不仅存在着正向作用，而且还存在着反馈作用，即系统的输出信号对被控制量有直接影响。闭环控制中，在给定值和被控量之间，除了有一条从给定值到被控制量方向传递信号的前向通道外，还有一条从被控量到比较元件的传递信号反馈通道。控制信号沿着前向通道和反馈通道循环传递，所以闭环控制又称为反馈控制。

在闭环控制中，被控量时时刻刻被检测，或者再经过信号变换，并通过反馈通道送回到比较元件和给定值进行比较。比较后得到的偏差信号经放大元件进行放大后送入执行元件。执行元件根据所接收信号的大小和极性，直接对受控对象进行调节，以进一步减小偏差。由此可见，只要闭环控制系统出现偏差，不论该偏差是由干扰造成的，还是由系统元件或受控对象工作特性变化所引起的，系统都能自行调节以减小偏差。故闭环控制系统又称为带偏差调节的控制系统。

闭环控制从原理上提供了实现高精度控制的可能性，它对控制元件的要求比开环控制低。但与开环控制系统相比，闭环控制系统的设计比较麻烦，结构也比较复杂，因而成本较高。闭环控制系统是自动控制中广泛应用的一种控制方式。当控制精度要求较高，干扰影响比较大时，一般都采用闭环控制系统。

3. 开环控制与闭环控制的比较

一般来说,开环控制结构简单、成本低、工作稳定,因此,当系统的输入信号及扰动作用能预先知道并且系统要求精度不高时,可以采用开环控制。由于开环控制不能自动修正被控制量的偏离,因此系统的元件参数变化以及外来未知扰动对控制精度的影响较大。

闭环控制具有自动修正被控制量出现偏离的能力,因此可以修正元件参数变化及外界扰动引起的误差,其控制精度较高。但是正由于存在反馈,闭环控制也有其不足之处,就是被控制量可能出现振荡,严重时会使系统无法工作。这是由于被控量出现偏离之后,经过反馈便形成一个修正偏离的控制作用。这个控制作用和它所产生的修正偏离的效果之间,一般是有时间延迟的,使被控制量的偏差不能立即得到修正,从而有可能使被控制量处于振荡状态。因此,如果系统参数选择不当,不仅不能修正偏离,反而会使偏离越来越大,而导致系统无法工作。自动控制系统设计的重要课题之一就是要解决闭环控制中的振荡或发散问题。

4. 复合控制

复合控制就是将开环控制和闭环控制相结合的一种控制方式。实质上,它是在闭环控制回路的基础上,附加一个对输入信号或对扰动作用的前馈通路,来提高系统的控制精度。前馈通路通常由对输入信号的补偿装置或对扰动作用的补偿装置组成,分别称为按输入信号补偿和按扰动作用补偿的复合控制系统,如图 1-4 所示。

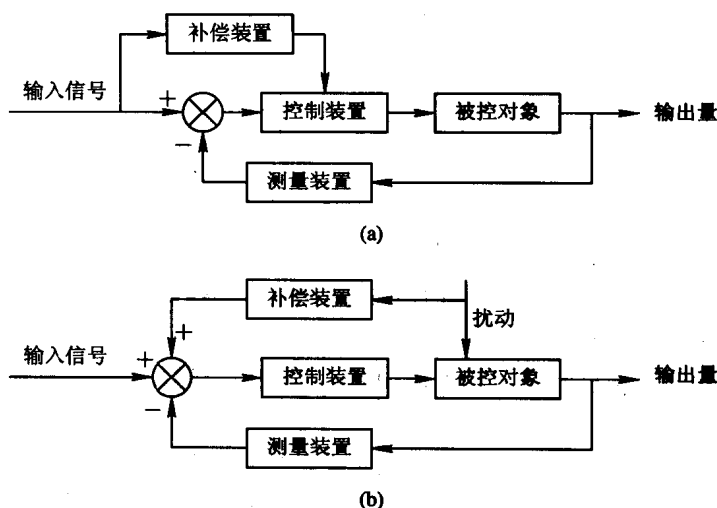


图 1-4 复合控制系统方框图

(a) 按输入作用补偿; (b) 按扰动作用补偿

通常,按输入信号补偿的补偿装置可以提供一个输入信号的微分作用,该微分作用作为前馈控制信号与原输入信号一起对被控对象进行控制,以提高系统的跟踪精度。按扰动作用补偿的补偿装置能够在可测量的扰动对系统的不利影响产生之前提供一个控制作用以抵消扰动对系统输出的影响。补偿装置按照不变性原理设计,即在任何输入下,都能保证系统输出与作用在系统上的扰动完全无关或部分无关,从而使系统的输出完全复现输入。

1.1.4 控制系统的分类

由于控制技术的广泛应用以及控制理论自身的发展,使得控制系统具有各种各样的形式,从不同的角度出发,分类的方式也不相同。本节仅介绍两种常见的分类方法。

1. 按输入信号特征分类

1) 定值控制系统

给定信号(给定值)为一常值的控制系统称为定值控制系统。这类控制系统的任务是保证在扰动作用下使被控变量始终保持在给定值上。在生产过程中的温度、压力、流量、液位高度等大量的控制系统都属于这一类系统。

2) 随动控制系统

给定信号是一个未知变化量的闭环控制系统称为随动控制系统。这类控制系统的任务是保证在各种条件下系统的输出(被控变量)以一定精度跟随给定信号的变化而变化,所以这类控制系统又称为跟踪控制系统。如雷达无线跟踪系统,当被跟踪目标位置未知时属于这类系统。

3) 程序控制系统

给定信号是一个按一定时间程序变化的时间函数的闭环控制系统就称为程序控制系统。如热处理炉温度控制系统的升温、保温、降温过程都是按照预先设定的规律进行控制的,所以该系统属于程序控制系统。

2. 按所使用的数学方法分类

1) 线性控制系统和非线性控制系统

(1) 线性控制系统。当系统中各组成环节的特性可以用线性微分方程(或差分方程)来描述时,这类系统称为线性控制系统。线性控制系统的特点是可以运用叠加原理。在系统存在几个输入时,系统的输出等于各个输入分别作用于系统时的系统输出之和,当系统输入增大或缩小时,系统的输出也按比例增大或缩小。

若描述控制系统特性的微分方程(或差分方程)的系数是常数而不是随时间变化的函数,则这种线性系统称为线性定常(或时不变)系统;若微分方程(或差分方程)的系数是时间的函数,则系统称为线性时变系统。

(2) 非线性控制系统。当系统中存在非线性的组成环节时,系统的特征就由非线性微分方程来描述,这样的控制系统称为非线性控制系统。对于非线性系统叠加原理是不适用的。

严格地讲,实际的控制系统都具有不同程度的非线性。非线性特性根据其处理方法不同,可以分为本质非线性和非本质非线性两种。对于非本质非线性,其输入、输出的关系曲线没有间断点和折断点,且呈单值关系。因此当系统变化量变化范围不大时,为便于分析研究,可简化为线性关系来处理。这样可以应用成熟的线性控制理论进行分析和讨论。对于本质非线性特性,其输入、输出关系或是具有间断点和折断点,或是具有非单值关系。这类控制系统需要用非线性理论来分析和研究。

2) 连续控制系统与离散控制系统

(1) 连续控制系统。当控制系统中各组成环节的输入和输出信号都是时间的连续函数

时,称此类系统为连续控制系统。连续控制系统的特征一般是用微分方程来描述的。信号的时间函数允许有间断点(不连续点)。若系统是线性的而且又是连续的,则称为线性连续系统。

(2) 离散控制系统。控制系统中只要有一个组成环节的输入信号或输出信号在时间上是离散的,就称为离散控制系统。离散系统与连续系统的区别仅在于信号只在特定离散的瞬时(如图 1-5 所示)是时间的函数,而在两离散的瞬时点之间信号是不确定的。

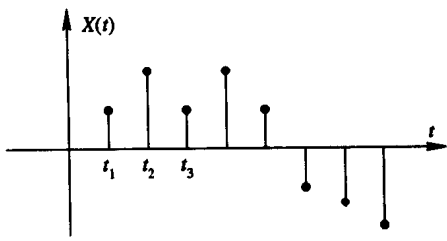


图 1-5 离散信号

离散控制系统的特性可用差分方程来描述。若差分方程是线性的,则系统为线性离散控制系统。图 1-6 所示为几种不同类离散系统的特性。

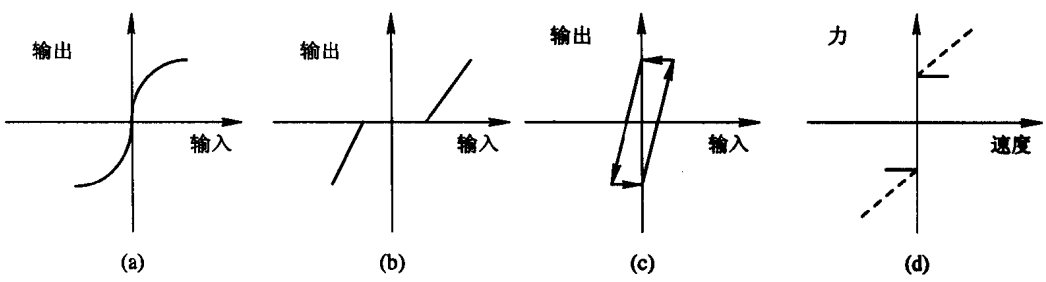


图 1-6 常见的非线性特性

(a) 饱和; (b) 死区; (c) 间隙; (d) 干摩擦和粘性摩擦

在计算机引入控制系统后,控制系统由连续系统变成离散系统。随着计算机在自动控制中的广泛应用,离散系统理论得到迅速发展。

3) 单变量控制系统与多变量控制系统

(1) 单变量控制系统。在一个控制系统中,如果只有一个被控变量和一个控制作用来控制被控对象,则称该系统为单变量控制系统,又称为单输入—单输出系统。如图 1-7 所示。目前大量的过程控制系统都属于这类系统。

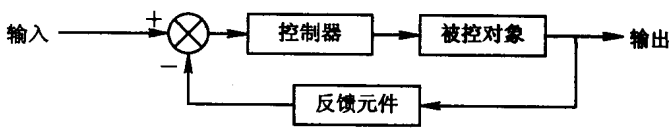


图 1-7 单变量控制系统

(2) 多变量控制系统。如果一个控制系统中的被控变量多于一个,控制作用也多于一个,而且各控制回路相互之间有耦合关系,则称这类控制系统为多变量控制系统,也称为多输入—多输出控制系统,如图 1-8 所示。