

高等院校教材

自动控制原理

孙晓波 李双全 王海英 编著

武俊峰 主审



科学出版社
www.sciencep.com

高等院校教材

自动控制原理

孙晓波 李双全 王海英 编著

武俊峰 主审

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书系统地介绍了分析与设计反馈控制系统的经典控制理论部分。全书共分8章,内容包括自动控制的一般概念、控制系统的数学模型、线性系统的时域分析、根轨迹法、线性系统的频域分析、控制系统的综合与校正、非线性控制系统分析、线性离散系统的分析与综合等。每章后面介绍了一些Matlab对控制系统进行计算机辅助分析与设计的应用实例,并提供一定数量的习题。

本书可作为高等院校自动化、测控技术、电气工程及通信等专业的本科教材或主要参考书,也可供控制工程领域的专业技术人员自学和参考。

图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理/孙晓波,李双全,王海英编著. —北京:科学出版社,2006
(高等院校教材)
ISBN 7-03-017422-4

I. 自… II. ①孙…②李…③王… III. 自动控制理论-高等学校-教材
IV. TP13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 061833 号

责任编辑:巴建芬 贾瑞娜 / 责任校对:郑金红
责任印制:张克忠 / 封面设计:陈 敬

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006年8月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2006年8月第一次印刷 印张: 22 1/2

印数: 1—4 000

字数: 440 000

定价: 28.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈环伟〉)

科学出版社高等教育分社

教学支持说明

科学出版社高等教育分社为了对教师的教学提供支持，特对教师免费提供本教材的电子教案，以方便教师教学。

获取电子教案的教师需要填写如下情况的调查表，以确保本电子教案仅为任课教师获得，并保证只能用于教学，不得复制传播；否则，科学出版社保留诉诸法律的权利。

邮寄地址：北京东黄城根北街 16 号，100717

科学出版社 高等教育分社 工科编辑部

巴建芬（收）

联系方式：010-6401 0637 010-6401 1127 (Fax)

bajianfen@mail.sciencep.com

请复印后签字盖章，邮寄或者传真到本社，我们确认销售记录后立即赠送。
如果您对本书有任何意见和建议，也欢迎您告诉我们。

证 明

兹证明 _____ 大学 _____ 学院 / _____ 系
第 _____ 学年 上 / 下学期开设的课程，采用科学出版社出版的
_____ / _____（书名/作者）作为上课教
材。任课教师为 _____ 共 _____ 人，学生 _____ 个
班共 _____ 人。

任课教师需要与本教材配套的电子教案。

电 话： _____

传 真： _____

E-mail： _____

地 址： _____

邮 编： _____

学院/系主任： _____（签字）

（学院/系办公室章）

_____ 年 _____ 月 _____ 日

前 言

“自动控制原理”是高等工科院校电气信息类专业的一门重要的专业基础课,其应用几乎遍及工程技术学科各个领域。

为了适应 21 世纪高素质科技人才的培养需要,加强素质教育,淡化专业,拓宽基础,促进学科与专业的交叉渗透已成为高等教育的主流。本书是依据我国当前电气信息类学科的课程设置及新修订教学大纲的要求,在哈尔滨理工大学历届教材的基础上编写而成的。主要介绍控制系统的基本概念、控制系统分析与设计的基本方法,是作者多年教学经验及工程实践的总结。基本内容包括:自动控制的一般概念、控制系统的数学模型、线性系统的时域分析、根轨迹法、线性系统的频域分析、控制系统的综合与校正、非线性控制系统分析、线性离散系统的分析与综合等。在编写中尽量避免比较复杂、烦琐的证明与推导,对手工作图内容作了删简,增加了应用 Matlab 对控制系统进行辅助分析与设计的内容,重点在于强化工科学生的工程意识和综合能力。

全书共分 8 章,参考学时为 60~90 学时。参加编写的有孙晓波(第 1、2、7 章),王海英(第 3 章),孟庆松(第 4 章),李双全(第 5 章),仲伟峰(第 6 章),张静(第 8 章、参考文献与附录)。应用 Matlab 对控制系统进行辅助分析与设计的内容由王海英和李双全编写调试,全书由孙晓波统稿,武俊峰主审。

在本书编写过程中,得到了哈尔滨理工大学自动化学院许多教师的大力支持和校精品课程项目经费资助,在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中在内容和文字表达方面难免有错误和不妥之处,恳请广大读者不吝指正。

编 者

2006 年 4 月

目 录

前言

第 1 章 概论	1
1.1 自动控制理论的发展历史	1
1.2 自动控制系统的基本控制方式	3
1.3 控制系统的分类	5
1.4 控制系统的组成与对控制系统的基本要求	7
1.4.1 控制系统的组成	7
1.4.2 自动控制系统的基本要求	8
习题.....	9
第 2 章 控制系统的数学模型	11
2.1 控制系统的运动方程式.....	11
2.2 传递函数.....	16
2.2.1 传递函数的定义及性质	16
2.2.2 系统典型联接时等效传递函数的求取	20
2.2.3 控制系统的传递函数	22
2.3 控制系统的方框图及其简化.....	24
2.3.1 方框图的构成	24
2.3.2 方框图的绘制	25
2.3.3 方框图的简化	26
2.4 信号流图.....	32
2.4.1 信号流图中的术语	32
2.4.2 信号流图的性质	33
2.4.3 信号流图的运算法则	33
2.4.4 控制系统的信号流图	35
2.4.5 梅森增益公式	36
2.5 脉冲响应.....	40
2.5.1 理想单位脉冲函数的定义及性质	40
2.5.2 脉冲响应函数与系统传递函数的关系	41
2.6 非线性运动方程的线性化.....	42
2.6.1 小偏差线性化的基本概念.....	43

2.6.2 小偏差线性化的举例	44
2.7 应用 Matlab 建立控制系统的数学模型	48
2.7.1 系统的数学模型建立	48
2.7.2 系统的连接	49
2.7.3 模型的转换	51
习题	51
第3章 线性系统的时域分析	55
3.1 典型输入信号	55
3.2 一阶系统的时域分析	57
3.2.1 单位阶跃函数作用下一阶系统的响应过程	58
3.2.2 理想单位脉冲函数作用下一阶系统的响应过程	59
3.2.3 单位速度函数作用下一阶系统的响应过程	60
3.2.4 单位加速度函数作用下一阶系统的响应过程	60
3.3 二阶系统的时域分析	61
3.3.1 二阶系统的标准形式	61
3.3.2 二阶系统的单位阶跃响应	63
3.3.3 二阶系统欠阻尼响应过程分析	67
3.3.4 二阶系统欠阻尼响应的计算举例	71
3.3.5 二阶系统的脉冲响应	73
3.3.6 二阶系统的单位斜坡响应	75
3.3.7 具有闭环负实零点时二阶系统的单位阶跃响应	76
3.3.8 初始条件不为零时二阶系统的响应过程	79
3.4 高阶系统的时域分析	81
3.4.1 闭环主导极点	81
3.4.2 三阶系统的单位阶跃响应	84
3.5 线性系统的稳定性与稳定判据	85
3.5.1 稳定的概念和定义	85
3.5.2 线性系统稳定的条件	86
3.5.3 稳定判据	88
3.6 反馈系统的稳态误差	92
3.6.1 反馈系统的误差与偏差	92
3.6.2 反馈系统的稳态误差及其计算	94
3.6.3 消除系统稳态误差的措施	102
3.7 顺馈控制的误差分析	105
3.7.1 应用顺馈补偿扰动信号对系统输出的影响	105

3.7.2 应用反馈减小系统响应参考输入信号的误差	107
3.8 基于 Matlab 的控制系统的时域分析	109
3.8.1 线性系统的阶跃响应	109
3.8.2 控制系统的性能指标计算	111
3.8.3 线性系统的单位脉冲响应	112
3.8.4 线性系统的任意输入响应	113
3.8.5 线性系统的稳定性分析	114
习题	114
第 4 章 根轨迹法	118
4.1 根轨迹的概念	118
4.1.1 根轨迹举例	118
4.1.2 根轨迹方程	119
4.2 绘制根轨迹的基本规则	122
4.2.1 绘制 180° 根轨迹的基本规则	122
4.2.2 绘制 0° 根轨迹的基本规则	131
4.2.3 绘制根轨迹应注意的问题	133
4.3 控制系统的根轨迹分析	134
4.3.1 最小相位系统的根轨迹分析	134
4.3.2 非最小相位系统的根轨迹分析	139
4.3.3 参量根轨迹	141
4.4 用 Matlab 绘制根轨迹图	146
4.4.1 绘制系统的开环零点极点图	146
4.4.2 绘制系统的根轨迹图	146
4.4.3 计算给定一组特征根的根轨迹增益 k_t	146
4.4.4 根轨迹设计工具 rltool	148
习题	149
第 5 章 线性系统的频域分析	152
5.1 频率响应及其描述	152
5.1.1 系统对正弦输入信号的稳态输出	152
5.1.2 频率响应和频率特性	154
5.1.3 频率特性的图形描述	155
5.2 开环系统的幅相频率特性	156
5.2.1 典型环节	157
5.2.2 典型环节的奈氏图	158
5.2.3 开环系统的奈氏图	162

5.3	开环系统的对数频率特性	166
5.3.1	对数频率特性图的基本概念	166
5.3.2	典型环节的伯德图	168
5.3.3	开环系统的伯德图	173
5.3.4	最小相位系统和非最小相位系统	175
5.4	频域稳定性分析	179
5.4.1	奈氏稳定判据	180
5.4.2	控制系统的相对稳定性	187
5.5	频率指标与时域指标的关系	191
5.5.1	闭环系统的频率特性	191
5.5.2	控制系统的性能指标	192
5.5.3	二阶系统的时域动态性能指标和频域性能指标的关系	192
5.5.4	高阶系统的时域动态性能指标和频域性能指标的关系	195
5.5.5	系统的稳态性能指标和系统对数幅频特性的关系	196
5.6	Matlab 在频域分析中的应用	197
5.6.1	绘制系统的奈氏图	197
5.6.2	绘制系统的伯德图	198
5.6.3	相对稳定性	198
	习题	199
第 6 章	控制系统的综合与校正	204
6.1	线性系统校正的概念	204
6.1.1	控制系统的校正方式及校正方法	204
6.1.2	输入信号与控制系统带宽	206
6.2	超前校正参数的确定	208
6.2.1	超前校正控制器的特性	208
6.2.2	伯德图法设计超前校正控制器	210
6.2.3	超前校正的特点和适用范围	213
6.3	迟后校正参数的确定	214
6.3.1	迟后校正控制器的特性	214
6.3.2	伯德图法设计迟后校正控制器	214
6.3.3	迟后校正的特点和适用范围	217
6.4	迟后-超前校正参数的确定	218
6.4.1	迟后-超前校正控制器的特性	218
6.4.2	伯德图法设计迟后-超前校正控制器	219
6.4.3	迟后-超前校正的特点和适用范围	222

6.5 期望频率特性校正参数的确定	222
6.5.1 基本概念	222
6.5.2 期望特性校正举例	225
6.5.3 期望特性校正方法的特点	228
6.6 反馈校正参数的确定	229
6.6.1 反馈校正的功能	229
6.6.2 反馈校正参数的确定	232
6.6.3 反馈校正与串联校正的比较	237
6.7 PID 控制规律分析	237
6.7.1 比例控制规律分析	237
6.7.2 比例-微分控制规律分析	238
6.7.3 比例-积分控制规律分析	238
6.7.4 比例-积分-微分控制规律分析	239
6.7.5 PID 控制器设计实际应用举例	241
6.8 基于 Matlab 的控制系统设计	245
习题	247
第 7 章 非线性控制系统分析	251
7.1 非线性系统的数学描述	251
7.1.1 非线性系统的数学描述	251
7.1.2 典型非线性特性	252
7.1.3 非线性控制系统的特点和分析方法	255
7.2 描述函数法	256
7.2.1 谐波线性化	256
7.2.2 典型非线性特性的描述函数	258
7.2.3 非线性控制系统的描述函数分析	263
7.3 相平面法	268
7.3.1 线性系统的相轨迹	269
7.3.2 相轨迹的绘制	271
7.3.3 非线性系统的相平面分析	276
7.4 利用非线性特性改善控制系统的性能	283
7.5 Simulink 在非线性控制系统中的应用	285
习题	287
第 8 章 线性离散系统的分析与综合	290
8.1 采样过程与信号保持	290
8.1.1 采样过程	291

8.1.2	采样定理	293
8.1.3	信号保持	296
8.2	Z 变换	298
8.2.1	Z 变换的定义	298
8.2.2	Z 变换的计算方法	298
8.2.3	Z 变换的基本性质	301
8.2.4	Z 反变换	302
8.3	脉冲传递函数	305
8.3.1	脉冲传递函数	305
8.3.2	开环系统的脉冲传递函数	307
8.3.3	闭环系统的脉冲传递函数	310
8.4	线性离散系统的稳定性分析	313
8.4.1	s 平面与 z 平面的映射关系	313
8.4.2	线性离散控制系统稳定的充要条件	314
8.4.3	推广的劳斯稳定判据	315
8.5	线性离散系统的时域分析	318
8.5.1	z 平面上极点的位置与系统的时间响应	318
8.5.2	线性离散系统的时域响应过程	320
8.5.3	线性离散系统的稳态误差	321
8.6	线性离散系统的综合	325
8.6.1	直接数字控制器设计方法	325
8.6.2	数字控制系统的连续化设计方法	334
8.7	Matlab 在离散系统中的应用	335
8.7.1	连续系统的离散化	335
8.7.2	离散系统的数学描述	336
8.7.3	离散系统的仿真	336
	习题	338
	参考文献	343
	附录 A 拉普拉斯变换表	344
	附录 B Z 变换表	345
	附录 C 控制系统工具箱	346
	附录 D Simulink 仿真系统模块库	348

第 1 章 概 论

随着生产和科学技术的发展,自动控制技术广泛地应用于现代的工业、农业、国防等国民经济的各个领域。从最初的机械转速、位置的控制,到工业过程中温度、压力、流量的控制,从远洋巨轮到深水潜艇的控制,从飞机自动驾驶到“神舟五号”载人航天飞船的成功发射,自动控制技术的应用几乎无所不在。不仅如此,自动控制技术的应用范围已经扩展到生物、医学、环境、经济管理和其他许多社会生活领域中,自动控制已成为现代社会活动中不可缺少的重要组成部分。

所谓的自动控制是指在无人直接参与的情况下,通过控制装置使被控对象或生产过程自动地按照预定的规律运行。自动控制理论是研究自动控制问题共同规律的技术科学,主要讲述自动控制技术的基本理论与控制系统分析与设计的基本方法等内容。根据自动控制理论发展的不同历史阶段,其内容可分为经典控制理论、现代控制理论及大系统理论和智能控制理论。

1.1 自动控制理论的发展历史

自动控制理论作为一门年轻的学科是从 1945 年开始形成的。在这以前,是自动控制理论的萌芽时期。

工业生产和军事技术的需要,促进了经典控制理论和技术的产生和发展。18 世纪欧洲产业革命以后,由于生产力的发展,蒸汽机被广泛用作原动力。由于实际需要,1765 年俄国机械师波尔祖诺夫发明了蒸汽机锅炉水位调节器,1784 年英国人瓦特(Watt)发明了蒸汽机离心式调速器。在蒸汽机的控制中,人们希望转速恒定,因此判定系统稳定、设计稳定可靠的调节器成为重要课题。1877 年劳斯(Routh)和赫尔维茨(Hurwitz)提出判定系统稳定的代数判据。19 世纪前半叶,生产中开始使用发电机和电动机,促进了水利的发展,出现了电压和电流的自动调整技术。19 世纪末到 20 世纪前半叶,内燃机的使用促进了船舶、汽车、飞机制造业及石油工业的发展,同时对自动化技术提出了新的要求,由此产生了伺服控制、过程控制等技术。第二次世界大战中,为了设计和生产飞机、雷达和火炮上的各种伺服机构,把过去的自动调节技术和反馈放大器技术进行总结,搭建起了经典控制理论的框架,第二次世界大战后,这些理论被公开,并应用于一般的工业生产过程中。

1) 经典控制理论(20世纪40~60年代)

1932年奈奎斯特(Nyquist)的《再生理论》一文,开辟了频域法的新途径;1945年伯德(Bode)的《网络分析和反馈放大器设计》一文,奠定了经典控制理论的理论基础,在西方开始形成了自动控制学科;1947年美国出版了第一本自动控制教材《伺服机件原理》;1948年美国麻省理工学院出版了另一本《伺服机件原理》教材,建立了现在广泛使用的频域法;1948年维纳(Wiener)在他的名著《控制论:关于在动物和机器中控制和通信的科学》中基于信息的观点给控制论(cybernetics)下了一个广义的定义。而在控制工程中又称为控制理论(control theory)。经典控制理论是以拉普拉斯变换为数学工具,传递函数为数学模型,分析与设计方法采用频域法、根轨迹法、相平面法、描述函数法,稳定判据有代数判据和几何判据。这些理论基本解决了单输入-单输出,线性、定常自动控制系统的分析与设计问题。20世纪50年代是经典控制理论发展和成熟的时期。

2) 现代控制理论(20世纪60年代中期成熟)

科学技术和生产的发展,特别是空间技术的发展与电子计算机的出现与应用,推动了现代控制理论的产生和发展。20世纪50年代末60年代初,空间技术开始发展,原苏联和美国都竞相进行了大量研究。随着宇航技术和生产的发展,控制系统日趋复杂,而传统的研究方法也难以适应发展,迫切要求对多输入-多输出、高精度、参数时变系统进行分析与设计。1960年在美国自动控制联合会第一届年会上首次提出“现代控制理论”这个名词。现代控制理论与状态空间法几乎是同义的,并一直沿用至今。现代控制理论以矩阵理论为数学基础,状态空间描述为数学模型,研究多输入-多输出、线性或非线性、定常或时变系统的分析与设计。在状态空间法发展初期,具有重要意义的是庞特里亚金(Pontryagin)的极大值原理、贝尔曼(Bellman)的动态规划理论和卡尔曼(Kalman)的最佳滤波理论,有人把它们作为现代控制理论的起点,主要研究系统辨识、最优控制、最佳滤波及自适应控制等内容。

3) 大系统理论和智能控制理论

这一理论是20世纪70年代后期,控制理论向广度和深度发展的结果。大系统是指规模庞大、结构复杂、变量众多的信息与控制系统,它涉及生产过程、交通运输、计划管理、环境保护、空间技术等多方面的控制和信息处理问题。而智能控制则研究模糊控制、神经网络、遗传算法等某些具有仿生智能的工程控制与信息处理系统,其中最典型的应用就是智能机器人。此外,80年代以后,又相继提出了鲁棒控制系统、容错控制系统、复杂适应系统等一些概念。

自动控制理论和技术已经向多学科的综合应用方向发展。自动控制理论的建立和发展,不仅推动了自动控制技术的发展,也推动了其他相关学科技术的发展,自动控制技术和理论已经成为现代社会必不可少的组成部分。

1.2 自动控制系统的的基本控制方式

系统是由一些相互依存、相互作用的事物组成的具有特定功能的整体。能够实现自动控制的系统即可称为自动控制系统。自动控制系统的构成形式多种多样,一般可由控制装置和被控对象组成。对于具体的系统,采用何种控制方式,要视具体问题而定。自动控制系统中最常见的控制方式为开环控制和闭环控制,以及由这两种控制方式组合而成的复合控制。

1) 开环控制

开环控制是指控制装置与被控制对象之间只有正向作用而没有反向联系的控制过程。在开环系统中,系统的输出量不会对控制量产生影响,因此不需要对输出量进行测量。开环系统结构简单,容易实现。

直流电动机调速系统开环控制原理图如图 1-1 所示。当电位器 R_w 给出一定的电压 u_r 时,相应可控硅功率放大器输出电压为 u_a 。电动机 D 激磁绕组为恒定的激磁电流 i_f ,因此随着电枢电压 u_a 的变化,电动机便会以不同的角速度 ω 带动负载运转。如果要求负载以某一恒定的角速度运转,只要给定一个相应的恒定输入电压 u_r 即可。定义用以控制电动机转速的给定电压 u_r 为系统的参考输入,即系统的输入量;电枢电压 u_a 作用于被控对象,为系统的控制量;而将需要控制的负载角速度 ω 定义为系统的被控制量,即系统的输出量。此外,定义凡妨碍控制量对被控制量进行正常控制的物理量为扰动量,如负载力矩的变化、电源电压的波动、元器件参数的漂移等,也是系统的输入量。对于控制系统来说,被控制量是一个比较重要的物理量,其变化规律在系统运行中应受到严格控制。

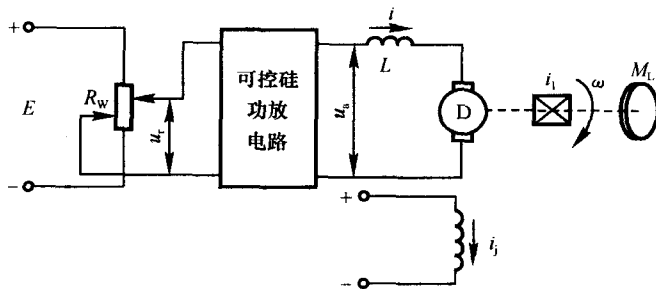


图 1-1 直流电动机调速系统开环控制原理图

开环控制系统是根据给定的参考输入进行控制,而被控制量在全部控制过程中对控制量不产生任何影响,因此开环控制系统不具备自动修正的能力。当系统精度要求不高或干扰对系统的影响不大时,可以采用开环控制方式,如交通

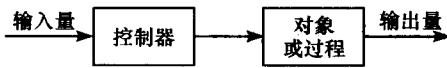


图 1-2 开环控制系统的方框图

指挥的红绿灯转换、自动控制生产线等。开环控制系统的方框图如图 1-2 所示。开环控制系统的精度主要取决于构成系统元器件的精度以及调整的精度。

2) 闭环控制

若将系统的输出量反馈到其输入端，与参考输入进行比较，则构成闭环系统。闭环控制指控制装置与被控对象之间既有正向的作用，又有反向联系的控制过程。把取出的输出量送回输入端，并与输入信号相比较产生偏差信号的过程，称为反馈。根据反馈极性的不同，反馈可分为通过反馈使偏差增大的正反馈和通过反馈使偏差减小的负反馈，一般用“+”表示正反馈，用“-”表示负反馈。显然，闭环控制系统为反馈控制系统，需要对输出量进行测量。一般无特殊说明，本书所讲的反馈系统均为负反馈系统。

直流电动机调速系统闭环控制原理图如图 1-3 所示。测速发电机 CF 测量电动机的角速度 ω 并将其转化为电压信号 u_{CF} ，然后将 u_{CF} 反馈到输入端与给定电压 u_r 进行比较，经过前置放大器、可控硅功率放大器放大后得到电枢电压为 u_a ，以实现 对电动机的角速度 ω 的自动控制。

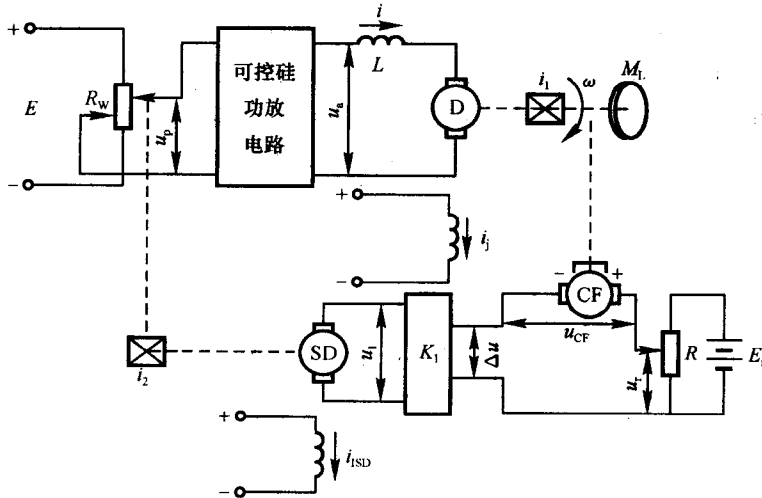


图 1-3 直流电动机调速系统闭环控制原理图

闭环控制就是采用负反馈，利用偏差来减小偏差的控制过程，可以实现自动控制，因此自动控制原理亦称为反馈控制原理。工程中的自动控制系统多数为闭环控制系统，如舰船操舵系统、火炮发射系统、雷达跟踪系统等。闭环系统的方框图

如图 1-4 所示。闭环控制系统的精度主要取决于测量元件的精度。

3) 开环控制与闭环控制的比较

开环控制系统中信号由输入到输出是单方向传递的,不必对输出信号进行测量,因此结构简单,调整方便,成本较

低。开环控制可分为按给定量进行控制与按扰动量进行控制,按扰动量进行控制又称为前馈控制,适用于扰动可测量的场合。由于开环控制只有正向作用,没有反向的联系,因此没有修正偏差的能力,抗扰动性较差。在精度要求不高或扰动影响较小的情况下,这种控制方式有一定的实用价值。

闭环控制系统由于引入了反馈机制,可以抑制内部参数变化和外部扰动对系统输出产生的影响。因此,可以采用成本较低、精度不太高的元器件构成高精度的控制系统。闭环控制系统应用比较广泛,但稳定性是设计中要考虑的主要问题。

一般来说,当系统的控制规律能预先确知,并对系统可能出现的干扰可以做到有效抑制时,应采用开环控制系统。只有在系统的控制量和扰动量均无法预知的情况下,闭环控制系统才有其明确的优越性。值得注意的是,控制系统的干扰往往是未知的,加之其他原因,所以,常见的系统大多是闭环控制系统。本书主要介绍闭环控制系统。

4) 复合控制

将按偏差控制与按前馈控制结合起来,对于主要扰动采用适当的补偿装置实现按扰动控制;同时,再组成反馈控制系统以实现按偏差控制,以消除其余扰动产生的偏差。这种按偏差控制与按扰动控制相结合的控制方式称为复合控制。如轿车的自动点火装置一般采用复合控制。

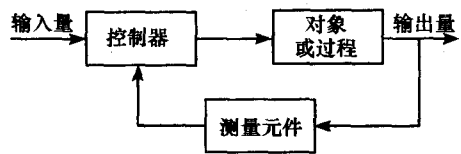


图 1-4 闭环系统的方框图

1.3 控制系统的分类

自动控制系统的种类繁多,应用范围很广。从不同的角度出发,可以有不同的分类方法。为了更好地了解自动控制系统,下面介绍一些比较常见的分类方法:

1) 开环控制系统与闭环控制系统

按控制方式和策略的不同,控制系统可分为开环控制系统与闭环控制系统。由于前面已经详细介绍,这里不再讨论。

2) 线性控制系统与非线性控制系统

按组成控制系统各元件的输入/输出关系是否为线性,可将系统分为线性控制系统与非线性控制系统。

在线性控制系统中,组成控制系统的元件都具有线性特性。系统的输入/输出关系一般可以用线性微分方程描述。线性系统满足叠加原理。

若在组成控制系统的元件中,至少有一个元件具有非线性特性,则称该系统为非线性控制系统。非线性控制系统不满足叠加原理。

严格地讲,所有实际的物理系统或元件都具有一定的非线性。在一定的条件下,将其视为线性系统进行研究,可以简化系统的分析与设计。

3) 定常系统与时变系统

按控制系统的结构参数在工作过程是否随时间而变化可将系统分为定常(时不变)系统与时变系统。

如果控制系统的结构参数在工作过程中不随时间而变化,则称这类系统为时不变系统或定常系统。严格地说,大多数实际系统的参数在不同程度上都随时间而变化,不过当这种变化对系统影响很小、可以忽略时,也将其视为定常系统。线性定常系统的结构参数不随时间而变化,又可以应用叠加原理,因此数学上比较容易处理。如果系统工作期间其参数随时间的变化显得很重要,不能忽略它对系统工作的影响,则称这类系统为时变系统。本书主要讨论线性定常系统。

4) 连续时间系统与离散时间系统

按控制系统中流通的信号是否为时间的连续函数可将系统分为连续时间系统与离散时间系统。如果控制系统中传递的信号都是时间的连续函数,则称其为连续时间系统,简称连续系统。如果系统中有一处或几处传递的信号是时间上断续的信号,即信号只定义在离散的时间间隔上,则称其为离散时间系统,简称离散系统或采样系统。若控制装置采用数字控制器,则称其为数字控制系统。工程中比较常见的离散系统,其被控对象的输出信号一般是连续的,而控制装置的输出信号为数字的,属于数字控制系统。图 1-1 和图 1-3 所示的系统为连续系统,而计算机控制系统一定是离散系统。

5) 恒值控制系统、伺服系统与程序控制系统

按输入信号分类,控制系统可分为恒值控制系统、伺服系统与程序控制系统。

恒值控制系统的输入信号为恒值,输出量以一定精度跟踪给定值,而给定值一般不变或变化很缓慢,而控制系统的任务是减小或消除扰动对系统的影响。在生产过程中,这类系统非常多。例如,在冶金部门,要保持退火炉温度为某一个恒定值;在石油化工中,为保证反应正常进行,气罐需保持压力不变。一般像温度、压力、流量、湿度、黏度等热工参量的控制多数为恒值控制系统。

伺服系统的输入信号是变化规律未知的任意时间函数,控制系统的任务是使输出量能以一定精度跟踪输入信号。这类系统在航天、军工、机械、造船、冶金等部门得到广泛应用。例如,导弹发射架控制系统、雷达天线控制系统都是典型的伺服系统。当被控量为位置和角度时,伺服系统又称为随动系统。