



普通高等教育“十二五”规划教材
电气工程、自动化专业规划教材

自动控制原理

宋建梅 王正杰 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

电气工程、自动化专业规划教材

自动控制原理

宋建梅 王正杰 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书比较全面系统地阐述了自动控制原理的基本理论和应用。本书分8章。第1章深入浅出地讲述了自动控制的基本概念和发展历史;第2章介绍了线性连续控制系统在时域和复域中的数学模型及其结构图和信号流程图;第3~5章分别讲述了线性连续控制系统的时域分析法、根轨迹分析法、频域分析法;第6章比较全面地阐述了线性连续控制系统的几种典型校正方法;第7章主要讲述了一种非线性连续系统分析方法——描述函数法;第8章重点介绍了离散系统的数学模型与稳定性分析。

本书可作为高等工科院校自动化、电气工程与自动化、测控技术与仪器、机械电子工程、探测制导与控制技术、飞行器设计与工程、航天运输与控制等专业的本科生教材,也可供从事自动控制类的各专业工程技术人员自学参考。

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 / 宋建梅, 王正杰编著. —北京: 电子工业出版社, 2012.7

电气工程、自动化专业规划教材

ISBN 978-7-121-16716-4

I. ①自… II. ①宋… ②王… 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(2012)第 064400 号

策划编辑: 凌 毅

责任编辑: 凌 毅

印 刷: 涿州市京南印刷厂

装 订:

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: 787×1 092 1/16 印张: 19.5 字数: 499 千字

印 次: 2012 年 7 月第 1 次印刷

印 数: 3000 册 定价: 36.00 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 zlts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

前 言

自动控制理论是研究自动控制共同规律的技术科学理论。随着自动控制在制造业、农业、生态、交通、医学、军事、航空航天、经济管理、金融等领域的广泛应用,自动控制理论的重要价值和地位日益凸现出来,从本质上讲,控制工程是一个跨学科的综合性的技术领域。“自动控制理论”目前已成为许多学科的专业基础课程或核心课程。

作者从 1996 年起承担“自动控制原理”的课程教学,每年为机械电子工程、探测制导与控制技术、飞行器设计与工程、航天运输与控制、武器系统与发射工程、飞行器动力工程等专业的学生授课。作者根据学校教学大纲和教学计划的修订及学时调整,选用了许多校内外教材,几乎对国内外的所有教材都进行了研读,时刻关注和学习新出版的教材,及时将各教材中的精华加入自己的教案,并引入到课堂教学,丰富了教学内容。2007 年,作者将教案进行整理,编写了北京理工大学《自动控制原理》内部教材。

本书编写的目的是拟博采国内外《自动控制理论》教材之长,融会贯通,出版一本时代感强、理论知识阐述严密、融入作者多年教学经验和课程教学改革的成果、反应自动控制理论在航空航天技术领域中的最新进展和应用成果、具有较强工程实用性的教材,以提高学生学以致用的能力。

本书在编写过程中,尽量坚持以下原则。

(1) 理论系统性强,但充分面向工程

本书依然传承国内优秀教材理论系统性强特点,但同时特别强调自动控制理论是一门应用性很强的工程学科,而不是抽象的数学运算和数学符号的堆砌。深入剖析理论所蕴含的物理意义,删减或精简传统自动控制理论教材中过于繁复的数学证明,强调教材的“工程实用性”。

(2) 博采众家之长,并融会贯通

萃取国内外常用和近期出版教材的精华,尤其是将国内常用教材的理论系统性强和国外教材示例多、阐述形象、通俗易懂的特点有机融合在一起,突出教材的“与时俱进”。同时,在教材中融入作者多年来在本课程教学和科研实践中的体会,将理论与实践紧密结合,反映自动控制理论在航空航天等各领域的广泛应用,激发学生的学习兴趣,引导学生学以致用。

(3) 恰当地利用 MATLAB 软件辅助课程教学

在每章最后一节简单介绍对应知识点中的 MATLAB 仿真指令,加强学生对自动控制理论的深入理解与掌握,并有助于学生以后的控制系统工程实践;避免用过多篇幅讲述 MATLAB 的做法,分清主次内容,突出自动控制理论的完整性和系统性,避免喧宾夺主。

(4) 追溯自动控制理论的发展史,引导学生认识科学发展规律

本书在第 1 章中详细介绍自动控制理论的发展史和形成史,使学生明了在科学发展过程中,需求牵引与技术推动的辩证关系和巨大作用,激励和教育学生夯实基础、大胆创新;将自动控制理论中的主要知识点与自动控制理论发展历史联系起来,突出自动控制理论的悠久历史渊源,提高学生的学习兴趣。

本书分 8 章。第 1 章深入浅出地讲述了自动控制的基本概念和发展历史;第 2 章介绍了

线性连续控制系统在时域和复域中的数学模型及其结构图和信号流程图;第3~5章分别讲述了线性连续控制系统的时域分析法、根轨迹分析法、频域分析法;第6章比较全面地阐述了线性连续控制系统的几种典型校正方法;第7章主要讲述了一种非线性连续系统分析方法——描述函数法;第8章重点介绍了离散系统的数学模型与稳定性分析。在每章的最后一节介绍了基于MATLAB的控制系统分析相关指令,以促进学生自动控制理论的深入理解与掌握,并为以后的实践应用奠定软件设计基础。

本书第1~7章由宋建梅编写,第8章由王正杰、宋建梅共同编写。在本书编写过程中,北京理工大学自动化学院的张旺老师给予了认真的指导。已毕业的硕士研究生孙松斌、董帅、刘七燕在本书雏形(2007年北京理工大学内部教材)的编写过程中进行了文字录入、绘图、仿真程序编写等工作;蔡高华、冯涛、陈贤相、史榕颀、张明亮、梁栋在本书的编写过程中进行了文字录入、绘图、仿真程序编写等工作,在此一并感谢。

本书提供配套的电子课件及相关仿真程序,可登录电子工业出版社的华信教育资源网:www.hxedu.com.cn,注册后免费下载。

由于作者水平有限,书中错误或欠妥之处在所难免,恳请各位读者批评指正。

作 者
2012年4月

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为；歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396；(010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

目 录

第 1 章 自动控制系统导论	1
1.1 引言	1
1.1.1 自动控制概念	1
1.1.2 自动控制技术应用	1
1.1.3 自动控制系统的基本控制方式	2
1.2 反馈控制原理与示例	3
1.2.1 反馈控制原理	3
1.2.2 开环控制与反馈控制系统示例	5
1.2.3 反馈控制系统的基本组成	8
1.3 自动控制发展简史	10
1.4 自动控制系统的分类	11
1.4.1 线性连续控制系统	11
1.4.2 线性定常离散控制系统	12
1.4.3 非线性控制系统	12
1.5 对自动控制系统的基本要求	13
1.5.1 基本要求	13
1.5.2 典型外作用	14
1.6 控制系统设计概述及设计实例	15
1.6.1 控制系统设计概论	15
1.6.2 设计示例 1:胰岛素注射控制系统	16
1.6.3 设计示例 2:磁盘驱动读取系统	17
习题 1	18
第 2 章 自动控制系统的数学模型	21
2.1 引言	21
2.2 自动控制系统时域数学模型的建立	21
2.2.1 自动控制元件运动方程的建立	21
2.2.2 线性系统的基本特性	24
2.2.3 运动的模态	24
2.3 数学模型的线性化	24
2.4 传递函数	26
2.4.1 传递函数的定义和性质	26
2.4.2 传递函数的极点与零点	28
2.5 典型环节——传递函数的基本因子	30
2.5.1 比例环节 $G(s)=K$	30
2.5.2 一阶惯性环节 $G(s)=1/(Ts+1)$	31

2.5.3 理想微分环节 $G(s)=Ks$	32
2.5.4 积分环节 $G(s)=K/s$ (其中 K 为常数)	32
2.5.5 二阶振荡环节 $G(s)=\frac{K}{T^2s^2+2\zeta Ts+1}$ ($0<\zeta<1$)	33
2.6 结构图及其等效变换	34
2.6.1 结构图的基本概念	34
2.6.2 结构图的绘制	35
2.6.3 结构图等效变换	36
2.7 信号流图及梅森增益公式	39
2.7.1 信号流图的基本概念	39
2.7.2 梅森增益公式	40
2.7.3 信号流图的绘制	42
2.8 开环传递函数与闭环传递函数	45
2.8.1 开环传递函数	45
2.8.2 闭环传递函数	45
2.9 设计示例:磁盘驱动读取系统	46
2.10 控制系统在 MATLAB 中的描述及部分分式展开	48
2.10.1 控制系统在 MATLAB 中的描述	48
2.10.2 部分分式展开	49
习题 2	50
第 3 章 自动控制系统的时域分析	54
3.1 引言	54
3.2 线性系统的稳定性分析	55
3.2.1 稳定性定义	55
3.2.2 系统稳定的充分必要条件	55
3.3 劳斯稳定性判据	57
3.3.1 劳斯稳定性判据	57
3.3.2 应用劳斯判据确定系统参数	59
3.4 过渡过程的基本概念	61
3.4.1 过渡过程定义	61
3.4.2 单位阶跃响应及其性能指标	62
3.5 一阶系统的时域分析	63
3.5.1 一阶系统的单位阶跃响应	63
3.5.2 一阶系统的单位脉冲响应	64
3.5.3 一阶系统的单位斜坡响应	64
3.5.4 一阶系统的单位加速度响应	65
3.6 典型二阶系统的时域分析	65
3.6.1 二阶系统的数学模型	65
3.6.2 二阶系统的单位阶跃响应	66
3.6.3 二阶系统的瞬态响应指标	69
3.7 第三个极点和零点对二阶系统响应的影响	73

3.7.1	第三个极点对二阶系统响应的影响	73
3.7.2	附加零点对典型二阶系统单位阶跃响应的影响	73
3.7.3	小结	75
3.8	高阶系统的单位阶跃响应	75
3.8.1	单位阶跃响应表达式	75
3.8.2	主导极点和等效二阶系统	77
3.9	线性系统的稳态误差分析	79
3.9.1	引言	79
3.9.2	误差与稳态误差	79
3.9.3	三种标准测试输入信号下的稳态误差	80
3.9.4	动态误差系数	83
3.9.5	扰动作用下的稳态误差	85
3.9.6	减小或消除稳态误差的措施	87
3.10	设计实例	90
3.10.1	磁盘驱动读取系统	90
3.10.2	磁盘驱动读取系统(续)	92
3.10.3	英吉利海峡海底隧道钻机	93
3.10.4	火星漫游车转向控制	95
3.11	用 MATLAB 进行系统的时域分析	97
	习题 3	99
第 4 章	根轨迹法	104
4.1	引言	104
4.2	根轨迹的基本概念	104
4.2.1	二阶系统的根轨迹	104
4.2.2	辐角条件和幅值条件	105
4.3	根轨迹绘制的基本法则	107
4.4	根轨迹草图绘制举例	117
4.5	参量根轨迹	122
4.6	增加极点或零点对根轨迹的影响	124
4.7	设计实例	125
4.8	应用 MATLAB 绘制分析根轨迹	127
	习题 4	128
第 5 章	频域分析法	130
5.1	引言	130
5.2	频率特性的基本概念	130
5.2.1	频率特性的基本概念	130
5.2.2	频率特性的几何表示法	132
5.3	典型环节的频率特性	134
5.3.1	比例环节的频率特性	134
5.3.2	积分环节的频率特性	134

5.3.3	微分环节的频率特性	136
5.3.4	惯性环节的频率特性	136
5.3.5	一阶微分环节的频率特性	138
5.3.6	振荡环节的频率特性	138
5.3.7	不稳定惯性环节的频率特性	142
5.3.8	延时环节的频率特性	142
5.4	开环系统的频率特性	144
5.4.1	最小相位与非最小相位系统	144
5.4.2	开环幅相频率特性作图法	145
5.4.3	开环系统的对数频率特性曲线	148
5.4.4	传递函数的频域实验确定	150
5.5	奈奎斯特稳定性判据	152
5.5.1	引言	152
5.5.2	辐角原理	153
5.5.3	奈奎斯特稳定性判据	155
5.5.4	开环系统含有积分环节时奈氏判据的推广	157
5.5.5	对数频率稳定性判据	159
5.6	稳定裕度	161
5.7	控制系统频率特性与过渡过程的关系	164
5.7.1	控制系统的频带宽度	164
5.7.2	二阶闭环系统的频域指标与时域指标的关系	165
5.7.3	开环频域指标和时域指标的关系	167
5.7.4	闭环系统频域指标和开环频域指标的转换	170
5.8	设计实例	171
5.9	控制系统频域响应分析中的 MATLAB 指令	174
5.9.1	频率响应的计算方法	174
5.9.2	频率响应曲线绘制	174
	习题 5	176
第 6 章	控制系统校正	179
6.1	引言	179
6.1.1	控制系统校正的基本概念	179
6.1.2	控制系统设计方法	180
6.2	频率法校正的基本概念	181
6.2.1	频率法校正原理	181
6.2.2	系统频域指标	182
6.2.3	期望的开环频率特性	182
6.3	常用校正装置及其特性	189
6.3.1	无源超前网络	189
6.3.2	无源滞后网络	191
6.3.3	无源滞后-超前网络	192
6.4	串联校正	193

6.4.1	串联超前校正	193
6.4.2	串联滞后校正	198
6.4.3	串联滞后-超前校正	201
6.4.4	基于综合法的串联滞后-超前校正	204
6.5	标准传递函数法	207
6.5.1	按 ITAE 准则确定标准传递函数	207
6.5.2	按巴特沃斯滤波器确定标准传递函数	208
6.5.3	最小节拍响应确定标准传递函数	211
6.5.4	标准传递函数法综合串联校正装置举例	213
6.6	反馈校正	213
6.6.1	反馈校正的一般特性	213
6.6.2	比例反馈包围惯性环节	214
6.6.3	微分反馈包围积分环节和惯性环节相串联的元件	214
6.6.4	微分反馈包围振荡环节	214
6.6.5	一阶微分和二阶微分反馈包围由积分环节和振荡环节相串联组成的元件	215
6.7	PID 控制器	215
6.7.1	PID 控制器简介	215
6.7.2	确定 PID 参数几种方法简介	217
6.8	复合校正	221
6.8.1	按扰动补偿的复合校正	221
6.8.2	按输入补偿的复合校正	222
6.9	设计实例	224
	习题 6	226
第 7 章	非线性系统	230
7.1	概述	230
7.1.1	研究非线性控制理论的意义	230
7.1.2	非线性系统的特点	230
7.1.3	常见非线性特性	231
7.1.4	非线性系统的分析方法	232
7.2	描述函数法	233
7.2.1	描述函数的基本概念	233
7.2.2	描述函数计算举例	235
7.3	描述函数分析	241
7.3.1	非线性系统的稳定性分析	241
7.3.2	自激振荡的稳定性	242
	习题 7	246
第 8 章	线性离散系统分析	249
8.1	离散控制系统的基本概念	249
8.2	信号的采样与保持	251
8.2.1	采样过程及其数学描述	251
8.2.2	采样定理	253

8.2.3 信号的复现·····	256
8.3 z 变换理论 ·····	258
8.3.1 z 变换的定义 ·····	258
8.3.2 z 变换的求法 ·····	259
8.3.3 z 变换的性质 ·····	263
8.3.4 z 反变换 ·····	266
8.4 离散系统的数学模型 ·····	267
8.4.1 线性常系数差分方程及其解法·····	267
8.4.2 脉冲传递函数·····	269
8.5 离散系统的稳定性与稳态误差 ·····	275
8.5.1 离散系统稳定的充要条件·····	275
8.5.2 离散系统的稳定性判据·····	277
8.5.3 离散系统的稳态误差·····	279
8.6 离散系统的时域响应 ·····	282
8.7 应用 MATLAB 分析离散系统 ·····	284
习题 8 ·····	287
附录 A 拉氏变换与反变换 ·····	290
参考文献 ·····	299

第1章 自动控制系统导论

1.1 引言

1.1.1 自动控制概念

所谓自动控制,就是在没有人直接参与的情况下,通过控制装置(又称控制器)使被控制对象或过程自动地按照预定的规律运行。

为了更好地理解自动控制的含义,图 1.1.1 给出了水箱水位控制示意图,其中(a)为人工手动控制。人观测实际水位,并将实际水位与要求的水位值相比较,得出两者偏差。根据偏差的大小和方向手动调节进水阀门的开度,即当实际水位高于要求值时,关小进水阀门开度,否则加大阀门开度以改变进水量,从而改变水箱水位,使之与要求值保持一致。

图 1.1.1 中(b)为自动控制。当实际水位低于要求水位时,电位器输出电压值为正,且其大小反映了实际水位与水位要求值的差值,放大器输出信号将有正的变化,电动机带动减速器使阀门开度增加,直到实际水位重新与水位要求值相等时为止。

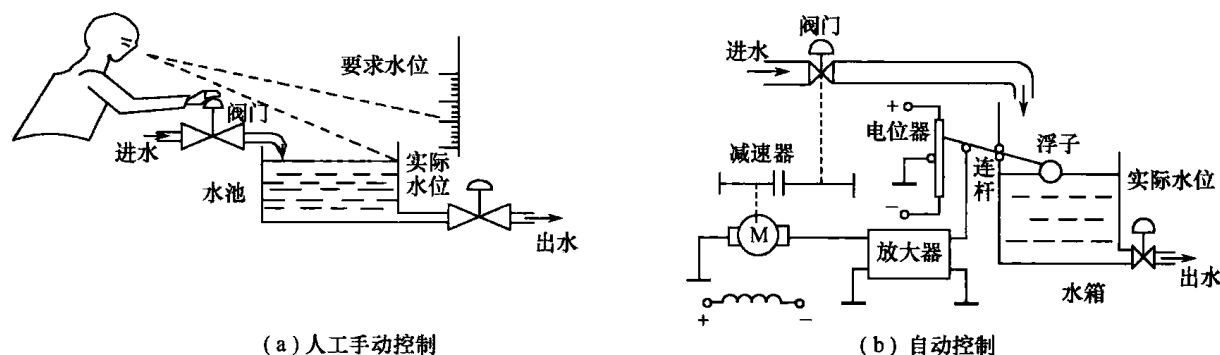


图 1.1.1 水箱水位控制示意图

1.1.2 自动控制技术应用

工业过程(加工、制造等)中若采用自动控制而非人工控制,则常称为自动化。在化工、造纸、电力、汽车、钢铁等工业行业中,自动化已经非常普遍。自动化成为了工业社会的主旋律,工厂普遍应用自动化机器设备来提高生产产量,以便弥补由于工人加薪和通货膨胀所带来的成本增加。控制系统可用来:①提高生产率;②改善装置或系统的性能。自动化则通过自动操作或对生产过程、装置或系统的控制等途径,提高生产率和产品质量。通过对生产过程和机器设备的自动控制,可以生产出符合规格要求的产品,并使之达到很高的精度。

机器人是一种与自动化技术密切相关、由计算机控制的机器。工业机器人就是自动化的一个特定分支,它是专门用于替代人工劳动的自动化机器,因而它具有某些拟人化的特征。最常见的拟人化机器是机械手,它能在一定程度上模拟人的手臂和手腕。

控制技术的另一类重要应用是现代汽车的控制,精密可靠的控制显著地提高了汽车性能。

冶金工业是另一个在自动控制方面取得相当成就的行业,一般大型热轧厂对温度、板材的宽度、厚度和质量等都实施控制。

飞速增长的能源消耗和所面临的能源枯竭的威胁促使人们作出新的努力,对能源进行有效的自动化管理。工业部门采用控制技术进行能源管理,统筹安排生产,使得耗能负荷平稳均匀,以便节省燃料消耗。

近年来,在自动仓储和库存管理中,也采用了自动控制的概念,而且农业对自动控制的需求也日益高涨,开发了自动控制的保鲜饲料室和自动拖拉机。

此外,风力发电机、太阳能取暖和制冷装置也都是重要的现代控制系统实例。

自动控制还在生物医学试验、病理诊断、康复医学和生物控制系统中有了众多应用。所研究的控制系统从细胞层次直到中枢神经系统,涉及温度调节和神经系统、呼吸系统、心血管系统等。专门设计的康复医疗设备为残疾人提供了自动化的帮助。

控制技术在军事和航空航天领域得到了广泛深入的应用。例如,雷达和计算机组成的导弹发射和制导系统,自动地将导弹引导到敌方目标区域;无人驾驶飞机按照预定航迹自动升降和飞行,自动巡航飞行到敌方区域进行侦察等;人造卫星准确地进入预定轨道运行并回收等;火星车自动在火星上着陆并行走等,这一切都是以高水平的自动控制技术为前提的。

最后要提到的是,社会、政治和经济领域也盛行着尝试用自动控制技术进行建模分析。这种有益的尝试目前尚不成熟,但已显示出了令人乐观的前景。如美国贸易协会和联邦储备委员会就是社会系统中的控制器,它们对社会系统施加多种力量,以便维持预期的社会产出。仅在美国国内,控制工业每年的产值就高达 500 多亿美元。

总之,自动控制技术各个领域中的广泛应用,不仅提高了劳动生产率和产品质量,改善了劳动条件,而且在人类征服自然、探索新能源、发展空间技术和改善人民物质生活等方面都起着越来越重要的作用。可以说,自动控制已成为推动经济发展,促进社会进步所必不可少的一门技术。

自动控制理论及其实际应用已成为一个极具价值的热门工程学科领域。由此我们可以领悟到学习自动控制的原动力,激发我们的学习热情。

1.1.3 自动控制系统的基本控制方式

为了实现各种复杂的控制任务,将相互关联的部件按照一定的结构和方式连接起来组成一个有机整体,提供预期的系统响应,就是自动控制系统。受控部件或过程可以用图 1.1.2 所示的方框来表示,其中的输入、输出关系就表示了该过程的因果关系,换句话说,即表示了对输入信号进行处理以获取输出信号的过程,该过程中通常都包含有功率放大环节。

如图 1.1.3 所示,一个开环控制系统利用控制器或控制执行机构去获得预期的响应。开环控制系统是没有反馈的,控制装置与被控对象之间只有顺向作用而没有反向联系,即系统的输出量不会对系统的控制作用发生影响。开环控制系统可以按给定量控制方式组成,也可以按扰动控制方式组成。按给定量控制的开环控制系统,其控制作用直接由系统的输入量产生,给定一个输入量,就有一个输出量与之相对应,控制精度完全取决于所用的元部件及校准的精度。

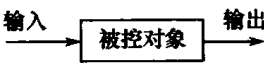


图 1.1.2 受控对象

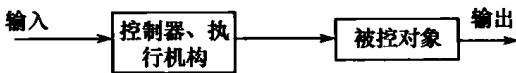


图 1.1.3 开环控制系统(无反馈)

常见的开环控制系统有自动售货机、自动洗衣机、自动流水线、包装机、厨房里的面包电烤炉等。

与开环控制系统不同,闭环控制系统则增加了对实际输出的测量,并将实际输出与预期输出进行比较,将比较得到的偏差予以放大并用于控制受控对象,以使偏差不断减小。对输出的测量值称为反馈信号。一个简单的闭环反馈控制系统如图 1.1.4 所示。在图 1.1.3 和图 1.1.4 中,除去被控对象外,其他元部件组合在一起称为控制装置。

即一个自动控制系统,是将被控对象和控制装置按照一定的方式连接而成的。

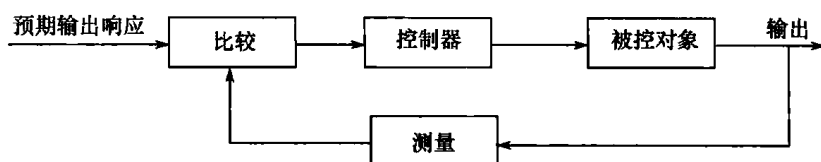


图 1.1.4 闭环反馈控制系统(有反馈)

反馈的引入使我们能控制系统以便得到预期的输出,改善控制的精度,但它同时要求我们对系统响应的稳定性给予足够的重视。

除此之外,还有复合控制方式,即为了提高系统的控制性能,将开环控制和闭环控制两种方式结合起来,组成复合控制系统。本书将在第 6 章对这种控制方式做简单分析。

1.2 反馈控制原理与示例

1.2.1 反馈控制原理

反馈控制是自动控制系统最基本的控制方式,也是应用最广泛的一种控制方式,是现代工业和社会生活的一个基本要素。

在反馈控制系统中,控制装置对被控对象施加的控制作用,是取自被控量的反馈信息,用来不断修正被控量与输入量之间的偏差,从而完成对被控对象进行控制的任务,这就是反馈控制的原理。

其实,人的一切活动都体现出反馈控制的原理,人本身就是一个具有高度复杂控制能力的反馈控制系统。例如,人用手拿取桌上的书、汽车司机操纵方向盘驾驶汽车沿公路平稳行驶等,这些日常生活中习以为常的平凡动作都渗透着反馈控制的深奥原理。下面通过解剖手从桌上取书的动作过程,透视一下它所包含的反馈控制机理。在这里,书的位置是手运动的指令信息,一般称为输入信号。取书时,首先人要用眼睛连续目测手相对于书的位置,并将这个信息送入大脑(称为位置反馈信息);然后由大脑判断手与书之间的距离,产生偏差信号,并根据其大小发出控制手臂移动的命令(称为控制作用或操纵量),逐渐使手与书之间的距离(即偏差)减小。显然,只要这个偏差存在,上述过程就要反复进行,直到偏差减小为零,手便取到了书。可以看出,大脑控制手取书的过程,是一个利用偏差(手与书之间距离)产生控制作用,并不断使偏差减小直至消除的运动过程;同时,为了取得偏差信号,必须要有手位置的反馈信息,两者结合起来,就构成了反馈控制。

人取物视为一个反馈控制系统时,手是被控对象,手位置是被控量(即系统的输出量)。产生控制作用的机构是眼睛、大脑和手臂,统称为控制装置。我们可以用图 1.2.1 所示的系统方

框图来展示这个反馈控制系统的基本组成及工作原理。

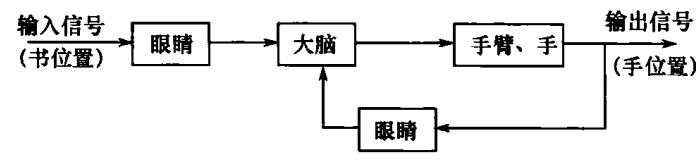
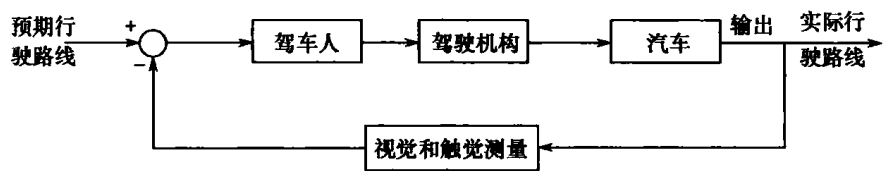
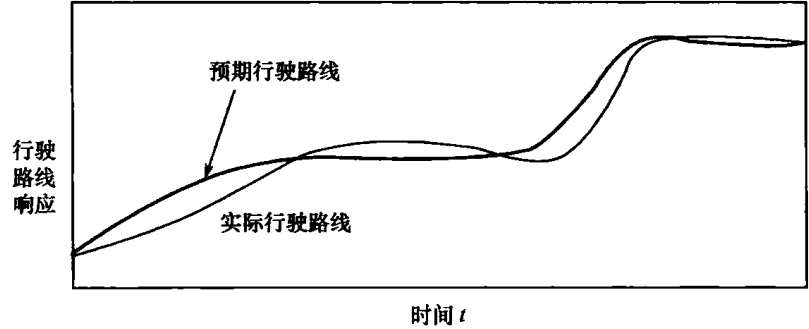


图 1.2.1 人取书的反馈控制系统方框图

再如汽车驾驶控制系统也是一个典型的反馈控制系统,如图 1.2.2(a)所示。将预期的行车路线与实际测量的行车路线相比较,便能得到行驶偏差,这时的测量是通过视觉和触觉(身体运动)反馈来实现的,还有一种反馈是通过手(传感器)感知方向盘的变化来实现的。与汽车驾驶控制系统相似的反馈系统还有远洋轮或大型飞机的驾驶控制系统。图 1.2.2(b)给出的是一条典型的行驶方向响应曲线。



(a) 汽车驾驶控制系统方框图



(b) 典型行驶方向响应曲线

图 1.2.2 汽车驾驶控制系统

在工程实践中,为了实现对被控对象的反馈控制,系统中必须配置具有人的眼睛、大脑和手臂功能的设备,以便用来对被控量进行连续地测量、反馈和比较,并按偏差进行控制。这些设备依其功能分别称为测量元件、比较元件和执行元件,并统称为控制装置。如图 1.2.3 所示,使用精密的传感器测量的输出值就等于实际输出值,预期输出与实际输出的差值等于偏差。利用控制器对偏差进行处理,用处理的结果驱动执行机构动作,以改变受控对象的状态,逐步减少偏差。这个过程正如一艘船错误地向右航行,于是舵被激励产生动作,使船向左转。

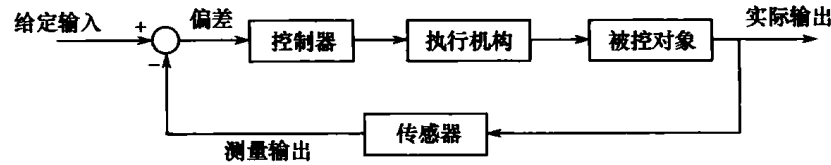


图 1.2.3 描述基本闭环系统的负反馈系统框图

通常,我们把取出输出量送回到输入端,并与输入信号相比较产生偏差信号的过程,称为反馈。若反馈的信号是与输入信号相减,使产生的偏差越来越小,则称为负反馈;反之,则称为

正反馈。图 1.2.3 所示的系统为负反馈控制系统,因为其输入减去输出,以其差值作为功率放大器等控制器的输入信号。

反馈控制就是采用负反馈并利用偏差进行控制的过程。而且,由于引入了被控量的反馈信息,整个控制过程称为闭合的,因此反馈控制也称闭环控制。反馈控制实质上是一个按偏差进行控制的过程,因此,它也称为按偏差的控制,反馈控制原理就是按偏差控制的原理。

1.2.2 开环控制与反馈控制系统示例

示例 1:房间温度控制系统

被控对象房间这个动态系统的输入是热量,输出是房间温度,控制目的是保持室温在预定值。采用开环控制的方案如图 1.2.4 所示。可根据一天中室内外气温变化的大概规律,通过预定程序控制器控制加热器的燃料,从而控制房间的温度。

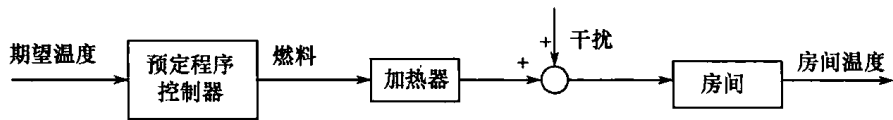


图 1.2.4 开环温度控制系统

该开环控制系统的缺点是不能有效对付干扰,如门窗的开、关,室外风速引起的变化,人的流动、房屋模型建模不准确导致预定程序不准确等干扰因素,从而导致温度很难保持预先设定的温度范围。

采用反馈控制的方案如图 1.2.5 所示,即利用温度自动调节器(根据温度自动启动的装置)来调节温度。一旦温度到达新的值,就开始在某一幅值范围(σ 为温度自动调节器的偏差)内振动,振动是由于室温的上升有很大的惯性滞后造成的。采用图 1.2.5 所示反馈控制系统后,当设定温度阶跃变化后,房间温度的变化曲线如图 1.2.6 所示。

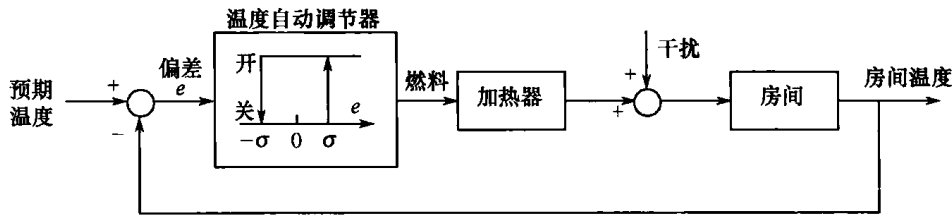


图 1.2.5 温度反馈控制系统

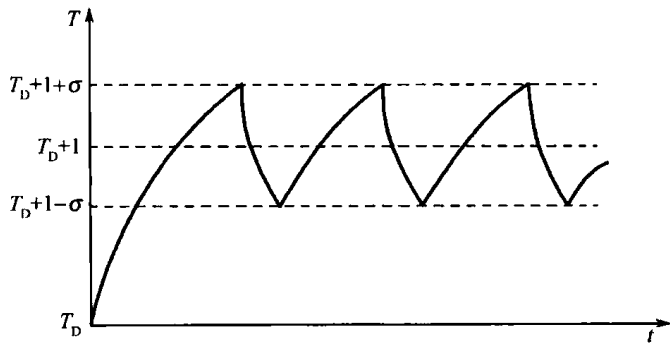


图 1.2.6 给定温度阶跃变化后房间温度的变化曲线