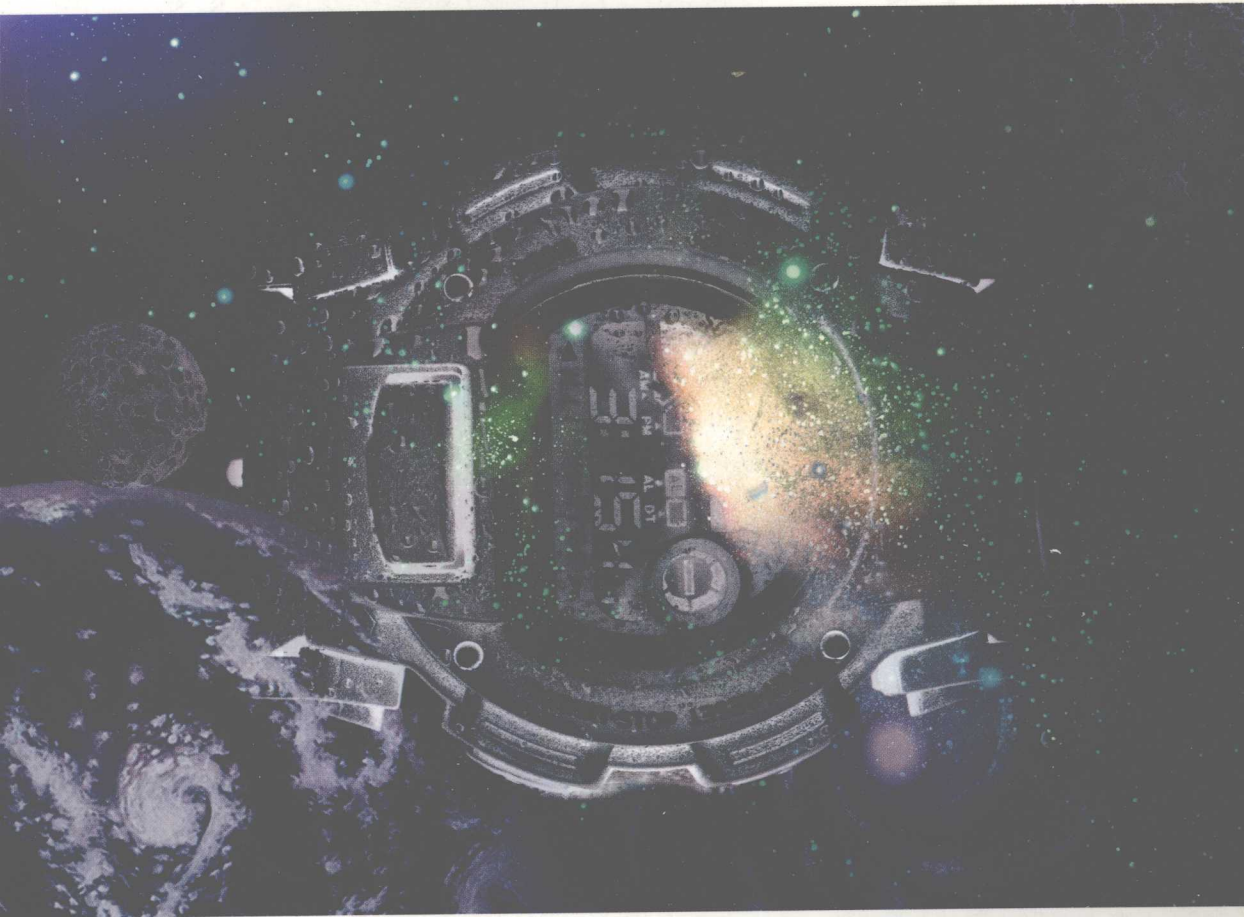


21 世纪高等院校教材

控制理论CAI教程

颜文俊 陈素琴 林 峰 编著



科学出版社

www.sciencep.com

内 容 简 介

本书是作者根据全国高等院校工业自动化专业教学大纲的要求,总结了近年来教学实践和教学改革的经验,并借鉴了国内外同类优秀教材编撰而成。书中在保持理论完整性和系统性的前提下,融合了目前使用最广泛的控制系统分析和综合软件包——MATLAB,这是便于采用计算机辅助教学的新型教学手法。

全书共分九章,主要介绍控制理论的基本概念和反馈控制的基本结构;控制系统的数学描述和借助 MATLAB 工具进行系统建模的方法;时域分析法和控制系统的性能指标及其计算方法;根轨迹法;频率分析法;控制系统的校正方法和控制器的设计思想;PID 调节器的设计和参数整定;离散系统的分析和设计;非线性系统的相平面法和描述函数法分析。书中结合相关的理论,以例题方式介绍了 MATLAB 在控制理论分析和设计中的应用。同时对每一章内容进行了小结,并配合了一定数量的典型例题和习题,便于读者学习和巩固所学知识。

本书主要面向机、电类专业的“自动控制理论”本科生教学,对专科和少学时专业可适当调整学时数。读者通过对本课程的学习,在掌握经典控制理论的基本分析和综合方法的同时,能在使用计算机辅助工具——MATLAB 对控制系统进行分析和设计的能力方面有所提高。为便于读者学习和应用,作者还编著了与本书相配套的多媒体软件,需要购买者可与浙江大学电气工程学院联系。

图书在版编目(CIP)数据

控制理论 CAI 教程/颜文俊、陈素琴、林峰编著. —北京:科学出版社,2002
(21 世纪高等院校教材)

ISBN 7-03-010703-9

I. 控… II. ①颜…②陈…③林… III. ①控制理论—高等学校—教材
②自动控制系统—计算机辅助设计—高等学校—教材③自动控制系统—计算机辅助分析—高等学校—教材 IV. ①0231 ②TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 055539 号

责任编辑:李淑兰 唐正必 马长芳

责任印制:刘秀平/封面设计:韦万里

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>

陈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

*

2002 年 9 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2003 年 2 月第二次印刷 印张:20 3/4

印数:4 001—8 000 字数:403 000

定价:25.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

前 言

控制理论是控制学科研究的重要理论基础,同时又是系统学科、信息学科、机械学科等相关学科的应用基础,在工业、军事、社会、经济等领域有着广泛的应用.随着计算机科学的迅猛发展,经典控制理论的许多分析方法、设计方法和实现手段也产生了极大的变化.在此背景下,我们根据全国高等院校工业自动化专业教学大纲的要求,为本科机、电类专业的“自动控制理论”教学编写了本书.学习者通过对本课程的学习,不仅能掌握经典控制理论基本的分析和综合方法,而且在使用计算机辅助工具——MATLAB 对控制系统进行分析和设计的能力方面也会有所提高.

在本书的编写过程中,作者借鉴了最近几年的国内外同类优秀教材,并结合了自身近年来的教学改革和科研实践.在内容编排上力求做到,在保持理论的完整性和系统性的前提下,尽量避免繁杂的公式推导,使全书条理更清晰,结构更严谨;对于部分不易理解和掌握的内容通过示例进行重点说明.同时,书中在系统地介绍经典控制理论的分析方法和综合手段的基础上,还融合了目前使用最广泛的控制系统分析和综合软件包——MATLAB.这是采用计算机辅助教学的新的教学手法,也是本书的一个特色.

全书共分九章.第一章概论,主要介绍控制理论的基本概念和反馈控制系统的基本结构;第二章介绍控制系统的数学描述和应用 MATLAB 工具进行系统建模的方法;第三章介绍时域分析法,并引入了控制系统的性能指标及其计算方法;第四章介绍根轨迹法,内容涉及常规根轨迹和参数根轨迹的绘制步骤;第五章为频率分析法,着重介绍奈奎斯特图和伯德图的绘制方法,以及如何利用它们对控制系统的开环频率特性进行分析;第六章为控制系统的校正方法和控制器的设计,内容涉及一般的串联校正思想、步骤及结构选择,并对目前广泛使用的 PID 调节器的设计和参数整定进行了分析;第七章介绍离散系统的分析和设计;第八章介绍非线性系统的分析,主要有相平面法和描述函数法;第九章则对全书中所使用的有关 MATLAB 命令和函数作了较详细的介绍.

全书授课时间建议 68 学时(不含考试),实验课时另外安排.具体安排如下:第一章 4 学时,第二章 6 学时,第三章 10 学时,第四章 6 学时,第五章 10 学时,第六章 10 学时,第七章 8 学时,第八章 10 学时,第九章 4 学时.对于学时少的专业,可根据专业特点,删除第七章或第八章内容.书中有关 MATLAB 的内容,既可安排在多媒体课堂进行授课,也可在实验课中讲授.

本书的第一章、第五章、第六章和第八章由颜文俊编写,第四章、第七章由陈素

琴编写,第二章、第三章、第九章由林峰编写,全稿由颜文俊整理,林峰参与了最后的统稿工作.本书在编写过程中得到了赵光宙教授、颜钢锋教授、朱善安教授、诸静教授、姚维副教授、张森林副教授和汪雄海副教授等的帮助,在此表示感谢.书中部分图形的绘制、部分例题的仿真及本书的电子版由几位研究生完成,在此一并表示感谢.

在内容编排上我们作了一些新的尝试,但由于写作时间匆促,以及水平所限,书中难免会有缺点和不足之处,敬请广大读者和同行多提宝贵意见,以便改正.

目 录

前言

第一章 概 论	1
1.1 控制理论发展综述	1
1.2 自动控制系统的结构	2
1.2.1 开环控制系统	3
1.2.2 闭环控制系统	3
1.3 反馈控制系统的组成和术语	6
1.4 自动控制系统分类	7
1.4.1 线性控制系统和非线性控制系统	8
1.4.2 恒值控制系统和随动系统	8
1.4.3 连续控制系统和离散控制系统	8
1.5 对控制系统的性能要求和本课程的任务	8
1.5.1 对控制系统性能的要求	8
1.5.2 本课程的基本内容和要求	9
习 题	10
第二章 控制系统的数学模型	12
2.1 拉普拉斯变换.....	12
2.2 系统输入-输出的传递函数描述	15
2.3 典型环节传递函数的数学模型.....	19
2.3.1 比例环节.....	19
2.3.2 一阶环节.....	19
2.3.3 积分和微分环节	19
2.3.4 二阶环节.....	20
2.3.5 时滞环节.....	20
2.4 用方块图表示的模型.....	21
2.5 信号流程图与梅逊公式.....	26
2.6 状态空间模型简介.....	32
2.6.1 状态、状态变量及状态空间方程	32
2.6.2 线性定常控制系统的状态方程描述	34
2.6.3 线性定常系统状态空间表达式的结构图和信号流程图	35
2.6.4 传递函数与状态空间方程之间关系	36

2.7 数学模型的 MATLAB 描述	36
2.7.1 连续系统数学模型的 MATLAB 表示	37
2.7.2 离散系统数学模型的 MATLAB 表示	40
2.7.3 模型之间的转换	40
2.7.4 控制系统的建模	41
2.7.5 Simulink 建模方法——复杂系统的模型处理方法	43
小 结	45
习 题	46
第三章 控制系统的时域分析法	48
3.1 线性系统的稳定性	48
3.1.1 稳定性的基本概念	48
3.1.2 线性系统的稳定性	49
3.1.3 线性系统稳定的充分必要条件	49
3.1.4 劳斯-赫尔维茨(Routh-Hurwitz)稳定判据	49
3.2 线性系统稳定性的 MATLAB 判定方法	58
3.3 控制系统的静态误差	60
3.3.1 典型输入信号	60
3.3.2 静态误差和误差传递函数	61
3.3.3 静态误差系数	61
3.3.4 动态误差	63
3.4 控制系统的暂态响应性能指标	65
3.5 一阶系统暂态响应	67
3.5.1 一阶系统的单位阶跃响应	67
3.5.2 一阶系统的单位脉冲响应	68
3.5.3 线性定常系统的重要特性	68
3.6 二阶系统的暂态响应	69
3.6.1 二阶系统的单位阶跃响应	72
3.6.2 二阶系统的暂态响应指标	74
3.6.3 二阶系统的脉冲响应	77
3.7 高阶系统的暂态响应	79
3.8 用 MATLAB 进行暂态响应分析	80
3.8.1 线性系统的 MATLAB 表示	80
3.8.2 传递函数系统单位阶跃响应的求法	81
3.8.3 脉冲响应	82
3.8.4 求脉冲响应的另一种方法	82
3.8.5 斜坡响应	83

3.8.6 系统时域响应的直接求取	85
小 结	86
习 题	87
第四章 根轨迹法	90
4.1 根轨迹图	91
4.2 绘制根轨迹的数学依据及其性质	92
4.2.1 开环传递函数的两种表达式	92
4.2.2 闭环特征方程的几种表达形式	93
4.2.3 绘制根轨迹的数学依据	93
4.3 绘制根轨迹的一般规则	95
4.3.1 绘制根轨迹规则的阐述	95
4.3.2 绘制根轨迹规则的列表	99
4.4 例题	100
4.5 参数根轨迹和多回路系统的根轨迹	108
4.5.1 参数根轨迹	108
4.5.2 多回路系统的根轨迹	109
4.6 正反馈回路和非最小相位系统根轨迹	111
4.6.1 正反馈回路根轨迹	111
4.6.2 非最小相位系统之根轨迹	112
小 结	114
习 题	114
第五章 频率响应法	117
5.1 频率特性	117
5.1.1 由传递函数求系统的频率响应	117
5.1.2 由实验方法求频率特性	119
5.1.3 频率特性的基本概念	120
5.2 极坐标图	122
5.2.1 典型环节的奈奎斯特曲线	122
5.2.2 开环系统的奈奎斯特图	127
5.3 对数坐标图	131
5.3.1 典型环节的伯德图	132
5.3.2 开环系统的伯德图	139
5.3.3 最小相位系统与非最小相位系统	141
5.3.4 系统开环对数幅频特性与闭环稳态误差的关系	143
5.4 奈奎斯特稳定判据	146
5.4.1 辐角原理	146

5.4.2	奈奎斯特稳定判据	148
5.4.3	奈奎斯特稳定性判据的进一步说明	150
5.4.4	奈奎斯特稳定判据在对数坐标图上的应用	155
5.5	相对稳定性分析	157
5.5.1	用奈奎斯特图表示相位裕量和幅值裕量	157
5.5.2	用伯德图表示相位裕量和幅值裕量	158
5.5.3	对数幅频特性中频段与系统动态性能的关系	161
5.6	频域性能指标与时域性能指标间的关系	164
5.6.1	开环频率特性中相位裕量与时域性能指标的关系	164
5.6.2	闭环频率特性及其特征量	166
5.6.3	闭环频域特性与时域响应性能指标的关系	168
小 结		170
习 题		171
第六章	自动控制系统的设计	176
6.1	控制系统设计的基本思路	176
6.2	串联校正装置的结构与特性	178
6.2.1	超前校正	178
6.2.2	滞后校正	181
6.2.3	滞后-超前校正	183
6.3	基于频率法的串联校正设计	185
6.3.1	超前校正	185
6.3.2	滞后校正	188
6.3.3	滞后-超前校正	190
6.3.4	基于频率法的 MATLAB 串联校正设计	192
6.4	基于根轨迹的串联校正设计	195
6.4.1	超前校正	195
6.4.2	滞后校正	203
6.4.3	滞后-超前校正	206
6.4.4	基于根轨迹的串联校正 MATLAB 设计	208
6.5	PID 校正	211
6.5.1	PID 控制器工作原理	212
6.5.2	Zielogor-Niclosls 整定公式	217
6.6	控制器的极点配置方法	223
小 结		226
习 题		227
第七章	离散系统分析	230

7.1	离散系统引论	230
7.2	连续信号的采样与复现	231
7.2.1	采样过程及其数学描述	231
7.2.2	保持器	232
7.2.3	采样定理	233
7.3	z 变换	234
7.3.1	z 变换的定义	234
7.3.2	z 变换性质	235
7.3.3	z 变换方法	236
7.4	z 反变换	238
7.5	脉冲传递函数	240
7.5.1	脉冲传递函数的基本概念	240
7.5.2	串联环节的开环脉冲传递函数	242
7.5.3	闭环系统的脉冲传递函数	244
7.6	求离散系统的时域响应	247
7.7	离散系统的稳定性分析	248
7.7.1	离散系统稳定条件	248
7.7.2	离散系统的劳斯稳定判据	250
7.8	离散系统的频率特性分析	252
	小 结	254
	习 题	255
第八章	非线性系统分析	257
8.1	非线性系统概述	257
8.1.1	非线性系统数学模型	257
8.1.2	非线性系统与线性系统的比较	257
8.1.3	非线性系统研究方法	258
8.1.4	典型非线性环节的输入、输出特性	259
8.2	小范围线性近似法	261
8.3	相平面的概念及相轨迹作图方法	264
8.3.1	相平面基本概念	264
8.3.2	相轨迹作图方法	268
8.4	非线性控制系统相平面分析	278
8.5	非线性环节的描述函数	285
8.5.1	描述函数的基本概念	285
8.5.2	典型非线性环节的描述函数	287
8.6	非线性控制系统的描述函数分析	291

8.6.1	非线性系统的稳定性判据	291
8.6.2	自持振荡幅值与频率的确定	293
8.6.3	含典型非线性环节的控制系统的分析	293
小 结		296
习 题		297
第九章	MATLAB 语言简介	301
9.1	系统仿真	301
9.2	MATLAB 集成环境的组成	302
9.3	MATLAB 的应用基础	302
9.3.1	基本操作及命令	302
9.3.2	MATLAB 函数	304
9.3.3	绘制响应曲线	305
9.3.4	MATLAB 语言的联机帮助功能	307
9.4	经典控制系统分析及设计	308
9.4.1	控制系统模型	308
9.4.2	时域分析	311
9.4.3	根轨迹法	312
9.4.4	频域分析	312
9.4.5	离散系统中常用的 MATLAB 函数	313
9.5	控制系统分析中常用的 MATLAB 命令和函数	314
9.6	MATLAB 其他相关工具	317
参考文献		320

第一章 概 论

在工业生产和现代科学技术的发展过程中,自动控制技术起着越来越重要的作用.在电力、机械、轻工、电子、石油、化工、汽车等工业部门,在从事人造卫星、无人驾驶、宇宙飞船、机器人、导弹制导等工作的军事和尖端部门,在经济、人口、社会、生态等非生产部门,均不同程度地应用控制理论的成果及技术.

自动控制是指在无人直接参与的情况下,利用控制装置(控制器)使被控对象(如生产过程中的位移、速度、温度,电力系统中的电压、电流、功率等物理量,或某些化合物的成分,航空航天中的飞船姿态等)依照预定的规律进行运动或变化.这种能对被控制对象的工作状态进行控制的系统称为自动控制系统.它一般由控制装置和被控对象组成.

在已知控制系统结构和参数的基础上,求取系统的各项性能指标,并找出这些性能指标与系统参数间的关系,这就是自动控制系统的分析.而在给定对象特性的基础上,按照控制系统应具备的性能指标要求,寻求能够全面满足这些性能指标要求的控制方案并合理确定控制器的参数,则是控制系统设计的任务.自动控制理论则是对自动控制系统进行分析和设计的一般性理论.

1.1 控制理论发展综述

自动控制系统的早期应用可追溯到两千年前古埃及的水钟控制和我国汉代的指南车控制.

1788年,英国科学家 James Watt 所设计的内燃机飞锤的调速器可以认为是最早的反馈控制系统的工程应用.由于当时应用的调速器出现振荡现象,所以产生了 Maxwell 对微分方程系统的稳定性的理论研究,后来又出现了 Routh 和 Hurwitz 等人的稳定性研究成果,控制器的设计问题是由 Minorsky 等在 1922 年开始研究的,其研究成果可以看成是现在广泛应用的 PID 控制器的前身,而在 1942 年, Ziegler 和 Nichols 提出了调节 PID 控制器参数的方法,其方法对当今的 PID 整定仍有影响.

系统的频域分析技术是在 Nyquist, Bode 等早期的关于通信学科的频域研究工作的基础上建立起来的, Harris 于 1942 年提出了传递函数的概念,首先将通信学科的频域技术移植到了控制领域,构成了控制系统频域分析技术的理论基础. Evens 等在 1946 年提出的线性反馈系统的根轨迹分析技术是那个时代的另一个里程碑.

前苏联学者 Pontryagin 于 1956 年提出的极大值原理, Bellman 的动态规划和 Kalman 的状态空间分析技术开创了控制理论研究的新时代, 他们的理论当时被统称为“现代控制理论”. 从那以后, 控制理论研究中出现了线性二次型最优调节器、最优状态观测器及线性二次型(简称 LQG)问题的研究, 并在后来出现了引入回路传输恢复技术的 LQG 控制器.

鲁棒控制是控制系统设计中的另一个令人瞩目的领域. 早在 1981 年, 美国学者 Zames 提出了基于 Hardy 空间范数最小化方法的鲁棒最优控制理论, 而 1992 年 Doyle 等提出的最优控制的状态空间数值解法在这个领域有着重要的贡献. 近十年来, 与鲁棒控制相关的理论得到了极大的发展, 从单纯的稳定控制器设计到 μ 集成方法, 从基于 Riccati 方程的优化到近来的基于线性矩阵不等式和多项式的多目标优化控制, 这些构成了近年来线性系统一个重要的研究方向.

在介绍经典控制理论分析和设计的同时, 本书将比较系统地叙述计算机仿真技术在控制系统的分析与设计中的应用. 控制系统计算机辅助分析与设计的早期应用在 Jones 和 Melsa 于 1970 年出版的专著中已有所反映, 该书中给出了大量的 FORTRAN 源程序, 可以直接用于控制系统的分析与设计. 这也被认为是第一代控制系统计算机辅助分析与设计软件.

第二代的系统分析与设计软件的一个显著特点是人机交互性, 这类软件的典型代表是 Moler 开发的 MATLAB 软件环境(1980)和 Astrom 的 INTRAC 软件(1984). 这些软件和当时流行的 C 语言与 FORTRAN 语言一样, 往往需要用户掌握其编程方法, 所不同的是, 由于这些软件的专用性, 故其集成度和编程效率大大高于 C 这类语言, 从而得到广大使用者的青睐.

目前, 计算机辅助分析与设计软件有了飞速的发展, 广泛应用于控制系统分析和设计的软件包有 MATLAB, MATHEMATICS, ICECAP-PC 等. 这些软件的特点是其面向对象的程序设计结构及其开放性, 这种新的概念在 MATLAB 语言和其支持工具 Simulink 中得到了充分的反映.

1.2 自动控制系统的结构

在现实世界中, 存在着大量的这样一类系统, 如炮火的自动跟踪和瞄准目标以有效地打击敌人; 人造卫星或无人驾驶的航空器按设定的轨道运行; 电动机转速保持恒定; 电梯匀速运行并按指令平稳地停留在某个楼层等等, 都是自动控制的结果.

因此, 为完成控制系统的分析和设计, 首先必须对控制对象、控制系统结构有个明确的了解. 一般, 可将控制系统分为两种基本形式: 开环控制系统和闭环(反馈)控制系统.

1.2.1 开环控制系统

开环控制系统是一种最简单的控制方式,在控制器和控制对象间只有正向控制作用,系统的输出量不会对控制器产生任何影响,如图 1-1 所示. 在该类系统中,对于每一个输入量,就有一个与之对应的工作状态和输出量,系统的精度仅取决于元器件的精度和执行机构调整的精度. 这类系统结构简单,成本低,容易控制,但是控制精度低. 因为如果在控制器或控制对象上存在干扰,或者由于控制器元器件老化、控制对象结构或参数因工作环境而发生变化,均会导致系统输出的不稳定,使输出值偏离预期值. 正因为如此,开环控制系统一般适用于干扰不强或可预测的控制精度要求不高的场合.

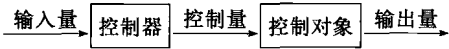


图 1-1 开环控制系统

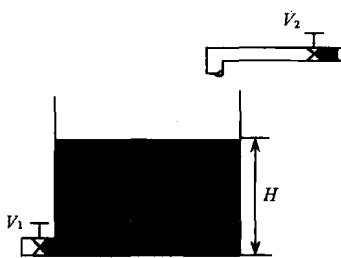


图 1-2 水池液面控制系统

图 1-2 所示为一简单贮槽液面控制系统,这是一个典型的开环系统,要求贮槽的液面 H 能保持在允许的偏差范围内. V_1 是液体流出阀, V_2 是液体流入阀. 首先根据液面的高度 H 及 V_1 阀在单位时间内液体的流出量,整定好 V_2 阀的开启程度,以达到预定的目的. 但这是个不精确的控制系统,如果 V_1 阀的输出流量和 V_2 阀的输入量受到温度、液体浓度及其他各种因素的影响而发生了变化,液面控制将偏离原标定的 H 值,一旦超过了允许的偏差,系统将无法纠正偏差.

图 1-3 所示为数控机床中广泛应用的定位系统的框图. 这也是一个开环控制系统,工作台的位移是该系统的被控制量,它是跟随着控制信号(控制脉冲)而变化的. 显然,这个系统没有抗扰动的功能.



图 1-3 开环定位控制系统的框图

如果系统的给定输入与被控量之间的关系固定,且其内部参数或外来扰动的变化都较小,或这些扰动因素可以事先确定并能给予补偿,则采用开环控制也能取得较为满意的控制效果.

1.2.2 闭环控制系统

如果在控制器和被控对象之间,不仅存在正向作用,而且存在着反向作用,即系统的输出量对控制量具有直接的影响,那么这类控制称为闭环控制,将检测出来的输出量送回到系统的输入端,并与输入信号比较,称为反馈. 因此,闭环控制又称为反馈控制,其控制结构如图 1-4 所示. 在这样的结构下,系统的控制器和控制对

象共同构成了前向通道,而反馈装置构成了系统的反馈通道。

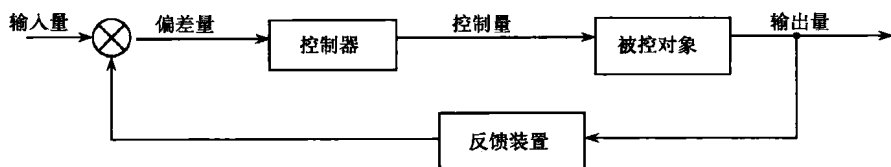


图 1-4 闭环控制系统

在控制系统中,反馈的概念非常重要.在图 1-4 中,如果将反馈环节取得的实际输出信号加以处理,并在输入信号中减去这样的反馈量,再将结果输入到控制器中去控制被控对象,我们称这样的反馈为负反馈;反之,若由输入量和反馈量相加作为控制器的输入,则称为正反馈。

在一个实际的控制系统中,具有正反馈形式的系统一般是不能改进系统性能的,而且容易使系统的性能变坏,因此不被采用.而具有负反馈形式的系统,它通过自动修正偏离量,使系统趋向于给定值,并抑制系统回路中存在的内扰和外扰的影响,最终达到自动控制的目的.通常,反馈控制就是指负反馈控制。

与开环系统比较,闭环控制系统的最大特点是检测偏差,纠正偏差.从系统结构上看,闭环系统具有反向通道,即反馈;其次,从功能上看,闭环控制具有如下特点:

- (1) 由于增加了反馈通道,系统的控制精度得到了提高,若采用开环控制,要达到同样的精度,则需高精度的控制器,从而大大增加了成本;
- (2) 由于存在系统的反馈,可以较好地抑制系统各环节中可能存在的扰动和由于器件的老化而引起的结构和参数的不稳定性;
- (3) 反馈环节的存在,同时可较好地改善系统的动态性能。

当然,如果引入不适当的反馈,如正反馈,或者参数选择不恰当,不仅达不到改善系统性能的目的,甚至会导致一个稳定的系统变为不稳定的系统。

在实际系统中,反馈控制系统的形式是多样的,但一般均可化为图 1-4 的形式.下面举例说明闭环控制系统的工作原理。

一个水池水位自动控制系统如图 1-5 所示.在这个水位控制系统中,水池的进水量 Q_1 决定于进水阀门的电动机控制开度.控制的目的是在用户用水量 Q_2 随意变化的情况下,使水箱的水位保持在所希望的高度。

希望的水位高度由电位器触头 A 设定,浮子测出实际水位高度.由浮子带动的电位计触头 B 的位置反映实际水位高度. A, B 两点的电位差 U_{AB} 反映希望水位与实际水位的偏差.当实际水位低于希望水位时, $U_{AB} > 0$, 通过放大器驱使电动机转动,开大进水阀门,使进水量 Q_1 增加,从而使水位上升.若实际水位高于希望水位, $U_{AB} < 0$, 则电动机使进水阀门关小,进水量减少,实际水位下降.当实际水位上升到希望值时, A, B 两个触头在同一位置, $U_{AB} = 0$, 电动机停转,进水阀门开度不变,这时进水量 Q_1 和出水

量 Q_2 达到了新的平衡。

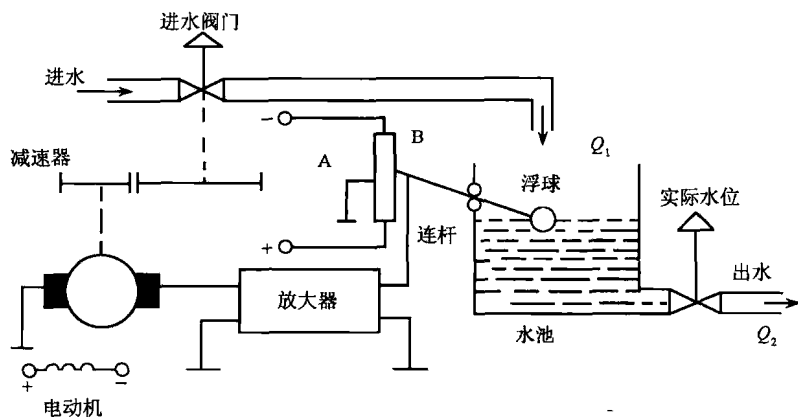


图 1-5 水池水位控制系统原理示意图

这个系统是个典型的镇定系统,在该系统中:

控制量:希望水位的设定值.

被控制量:实际水位.

扰动量:出水量 Q_2 .

被控对象:水池.

测量元件:浮子.

比较元件:电位器.

放大元件:放大器.

执行元件:电动机,减速器,进水阀门.

系统的方块图如图 1-6 所示.控制系统中各元件的分类和方块图的绘制不是惟一的,只要能正确地反映其功能和运动规律即可.

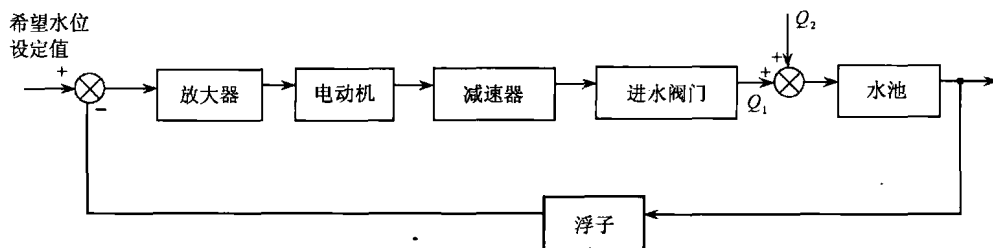


图 1-6 控制系统方块图

一个位置随动控制系统如图 1-7 所示,该系统的作用是使负载 L (工作机械) 的角位移随给定角度的变化而变化,即要求被控量复现控制量.

指令电位器和反馈电位器组成的桥式电路是测量比较环节,其作用就是测量控制量——输入角度和被控制量——输出角度,变成电压信号 u_r 和 u_c 并相减,产生偏差电压 $u = u_r - u_c$.

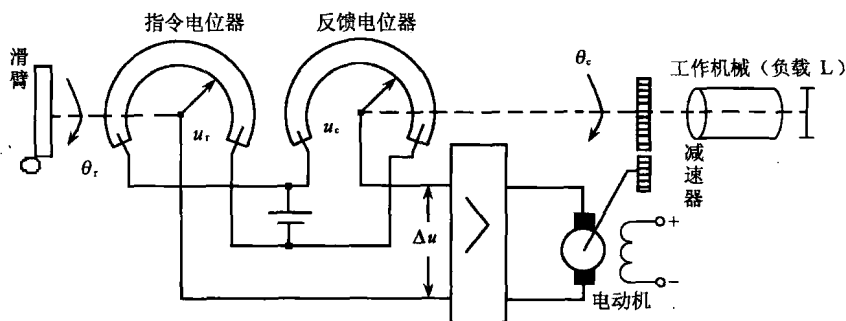


图 1-7 位置自动控制系统

当负载的实际位置与给定位置相符时,则 $u=0$,电动机不转动.当负载的实际位置 θ_r 与给定位置 θ_c 不相符时, u_r 和 u_c 也不相等,偏差电压 $u=u_r-u_c \neq 0$. 偏差电压 u 经过放大器放大,使电动机转动,通过减速器转动工作机构(负载 L),使负载 L 和反馈电位器向减少偏差的方向转动.

该系统中,负载 L 是被控对象,放大器是放大元件,电动机和减速器是执行元件.这是一个位置随动系统,系统的方块图如图 1-8 所示.

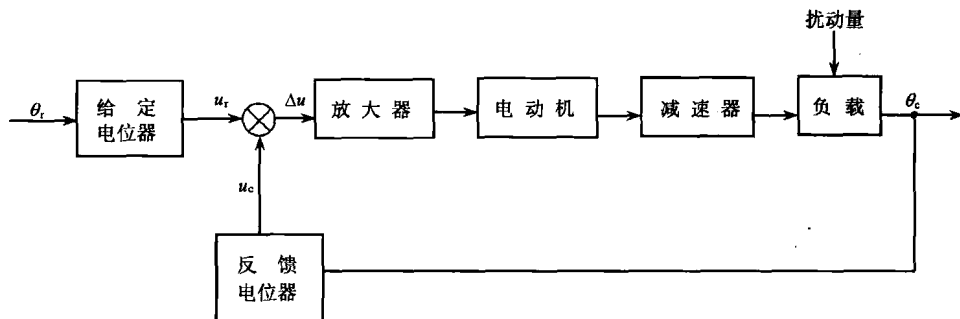


图 1-8 位置随动控制系统方块图

1.3 反馈控制系统的组成和术语

通过对上面的实际控制系统的分析可以发现,不同的控制对象或生产过程,利用相应的控制元件组成不同用途的控制系统,组成这些控制系统的元件可以是电气的、机械的或液压的.系统的结构也不尽相同,但这些系统一般均采用负反馈的基本结构,其典型的方块图如图 1-9 所示.下面是自动控制分析和设计中常用的术语:

参考输入 $r(t)$:由系统的参考输入元件所产生的输入信号.

主反馈 $b(t)$:由被控量通过反馈元件所产生的信号,它是被控量的函数.

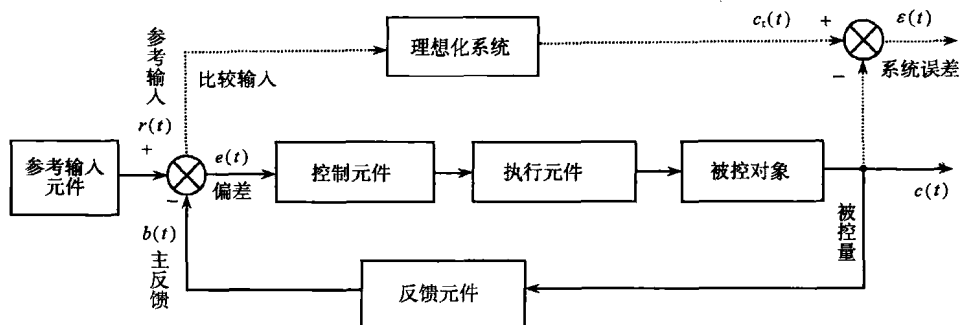


图 1-9 典型的自动控制系统方块图

比较元件:将参考输入与主反馈进行比较所产生的差值, $e(t)=r(t)-b(t)$,该差值是系统的作用信号,也称为作用误差。所以比较元件也称作用误差检测器,并用符号“ $\otimes$ ”表示。

偏差:是参考输入与主反馈之差,用 $e(t)$ 表示。

控制元件:也称校正元件或控制器、调节器。由于作用误差往往十分微弱,一般需要进行幅值和功率的放大,并将它转换成适于执行机构工作的信号;另外由于对系统性能的要求,需对作用误差信号进行运算处理。在一般的控制系统中,控制器常采用 PID 控制器。

执行元件:控制元件的输出作用到执行元件,执行元件再直接作用于被控对象,使被控对象随参考输入而变化。

被控对象:指系统中被控制的设备或过程,它能完成特定的动作或生产任务。

被控量:指反馈系统中被控制的物理量。

反馈元件:将被控量转换成主反馈量的装置。它可以对被控量进行测量并转换成能用于与参考输入进行比较的量值,所以反馈元件也称测量元件。有时又称为传感器。

理想化系统:能从参考输入直接产生理想输出的系统。

理想输出 $c_i(t)$:也称希望的响应值,它是理想化系统所产生的理想响应。

系统误差 $\epsilon(t)$:是希望的响应值(理想输出)与被控量之差。

典型的自动控制系统一般都是由参考输入元件、比较元件、控制元件、执行元件、被控对象以及反馈元件六个基本单元组成。每个基本单元都用一个方块表示,信号传递方向用箭头表示,传递方向都是单向不可逆的,指向方块的箭头表示输入信号,离开方块的箭头表示输出信号。

1.4 自动控制系统分类

对控制系统进行分类,从不同的观点出发可以有不同的分类方法,通常可按下