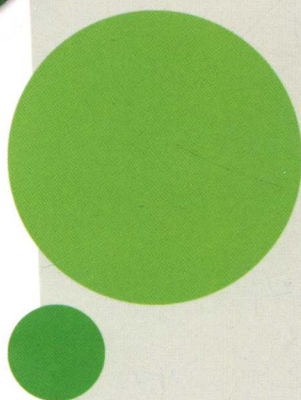
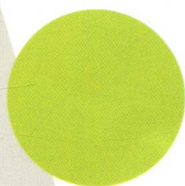
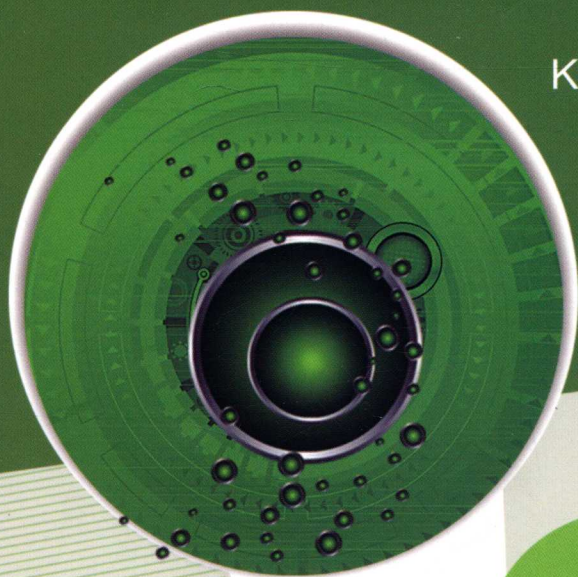


连续与离散控制工程

LIANXU YU LISAN
KONGZHI GONGCHENG

主编 王春民 栾 卉



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

连续与离散控制工程

主 编 王春民 栾 卉

副主编 随阳轶 刘长英 刘兴明



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

内 容 简 介

本书系统介绍了连续与离散控制系统的基本理论和方法,全书共分13章,内容包括系统模型的建立及转换、系统的基本性能及指标、频域特性法、根轨迹法、状态空间法、数据采集与数据保持、脉冲传递函数、状态空间和系统稳定性判定、离散控制系统的经典法设计、数字控制器的直接设计、状态空间分析与设计等,最后给出控制系统的设计实例。每章详细介绍了MATLAB对控制系统进行计算机分析和应用实例,并提供一定数量的习题。

本书可作为高等院校自动化、测控技术与仪器、电气工程及其自动化、电子信息等专业的本科教材和主要参考书,并且可为控制工程领域的专业技术人才自学和参考。

图书在版编目(CIP)数据

连续与离散控制工程 / 王春民, 栾卉主编. --北京: 北京邮电大学出版社, 2015. 8

ISBN 978-7-5635-4432-5

I. ①连… II. ①王…②栾… III. ①连续控制—控制系统—高等学校—教材②离散控制—控制系统—高等学校—教材 IV. ①TP271

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 168754 号

书 名: 连续与离散控制工程

著作责任者: 王春民 栾卉 主编

责任编辑: 满志文

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(邮编: 100876)

发行部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京鑫丰华彩印有限公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 21.5

字 数: 532 千字

版 次: 2015 年 8 月第 1 版 2015 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-4432-5

定 价: 43.00 元

· 如有印装质量问题, 请与北京邮电大学出版社发行部联系 ·

前言

本书是为电气、测控与仪器、自动化、电子信息以及机电类本科各专业的教学需要而编写的。在计算机技术和相关学科推动下,控制技术得到飞速发展,并在许多领域里广泛应用。目前离散控制已经成为各个领域实现自动化的重要手段,因此对自动化专业或自动控制等相关专业掌握控制系统基础理论知识是十分必要的,对于从事控制方面的工程技术人员,掌握这些相关知识也是必须的。

本书第1章简要介绍连续与离散控制系统的基本结构和原理、各种类型、基本特点、发展概况及趋势。第2~7章介绍了连续控制系统的基本理论和方法,其中2~4章介绍了经典控制理论和现代控制理论的共性问题:系统模型的建立及相互转换,系统的基本性能要求及性能指标;本书对于附加奇点对系统的影响,复合控制系统稳态误差分析提出了一些新的见解和对公式的表述进行新的探索,并通过MATLAB仿真予以证明;第5~7章根据各种方法的个性介绍了经典控制理论的频域特性法和根轨迹法及现代控制理论的状态空间法。第8~13章介绍了离散控制系统的相关理论和设计方法,其中第8章介绍了数据采集与数据保持;第9章脉冲传递函数、状态空间和系统稳定性判定等方面知识;第10章介绍离散控制系统的经典法设计;第11章涉及数字控制器的直接设计;第12章侧重于状态空间分析与设计方面;第13章介绍了控制系统的设计举例,给出了温度控制设计实例。

本书的编写依据作者多年的教学经验,并参考国内外相关的优秀教材,为适应教育改革和教材建设的需要,将《自动控制原理》和《计算机控制原理与技术》两门课整合成具有一定创新尝试的一门课程,书中连续控制部分侧重基础理论,离散控制部分在兼顾基础理论的同时,强调向实践方面过渡。连续与离散控制的结合,使得控制理论和实践的脱节问题相对容易解决,学习的连续性加强,教师的处理空间增大、灵活性增强。在控制系统中,利用MATLAB仿真与各章节有机结合,使复杂问题简单化,理论问题直观化,增加了可读性和趣味性。通过教学实践将使两门课的整合变成两门课的真正融合。

本书的编写过程中还注重控制系统体系结构和内在联系,采用共性问题汇总介绍,个性问题单独阐述的原则进行编写,并将连续系统的典型环节和非典型环节统一处理,力图在突破传统的写法方面做一些尝试。本书适于80~90学时的教学,含16学时的实验。

本书由吉林大学仪器科学与电气工程学院王春民教授、栾卉副教授任主编,吉林大学仪器科学与电气工程学院随阳轶、刘长英和刘兴明副教授任副主编。

本书的编写得到吉林大学仪器科学与电气工程学院院长、博士生导师林君教授鼎力支持、热心帮助和指导,同时得到了博士生导师程德福教授的帮助和指导。在此向所有为本书出版给与支持和帮助的同志深表谢意。

由于编者的水平有限,书中不妥之处在所难免,恳请广大读者和专家批评指正。

编者

2015年3月于长春

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 自动控制系统的结构原理及基本要求	1
1.2.1 自动控制系统的结构原理	1
1.2.2 控制系统的基本要求	2
1.2.3 离散控制系统的组成	3
1.3 控制系统的分类和特点	4
1.3.1 控制系统按照控制方式的分类	4
1.3.2 控制系统按照控制规律分类	5
1.4 控制系统的发展概况和展望	6
习题	7
第 2 章 连续控制系统的机理建模	8
2.1 概述	8
2.1.1 控制系统的数学模型	8
2.1.2 系统的建模	8
2.1.3 机理建模的模型形式	9
2.2 控制系统的微分方程描述	10
2.2.1 系统微分方程的建立步骤	10
2.2.2 建立系统微分方程举例	10
2.3 控制系统的框图和传递函数	12
2.3.1 基本概念	13
2.3.2 系统框图的建立	15
2.3.3 梅森公式	18
2.3.4 系统传递函数的获取	21
2.3.5 典型系统的框图及传递函数	23
2.4 控制系统的状态空间描述	26
2.4.1 基本概念	26
2.4.2 状态空间方程的建立	26

2.4.3 状态空间方程的一般形式	29
2.5 各种模型间的转换	31
2.5.1 状态空间方程的框图表示	31
2.5.2 状态空间方程和传递矩阵	32
2.6 非线性系统的偏微线性化	33
2.6.1 非线性因素和偏微线性化	33
2.6.2 非线性方程的线性化	33
2.6.3 例题	35
2.7 MATLAB 在建模中的应用	35
习题	38
第3章 控制系统的稳定性	43
3.1 稳定性的概念	43
3.1.1 研究系统稳定性的意义	43
3.1.2 稳定性的定义	43
3.2 系统稳定性的判定	45
3.2.1 闭环极点和稳定性的关系	45
3.2.2 劳斯判据	46
3.2.3 奈奎斯特判据	50
3.2.4 系统稳定性的改进	59
3.3 系统稳定性的 MATLAB 仿真	61
习题	64
第4章 连续控制系统的时域分析	68
4.1 典型输入信号及动态性能指标	68
4.1.1 典型输入信号	68
4.1.2 时域动态指标	70
4.2 一阶系统动态分析	72
4.2.1 一阶系统的数学模型	72
4.2.2 一阶系统的单位阶跃响应	73
4.2.3 一阶系统的单位脉冲响应	74
4.2.4 一阶系统的单位斜坡响应	74
4.3 二阶系统的动态分析	75
4.3.1 典型二阶系统的模型	75
4.3.2 典型二阶系统的单位阶跃响应	76
4.3.3 典型二阶系统的动态指标	78
4.4 高阶系统及二阶近似	82

4.4.1 高阶系统的单位阶跃响应	82
4.4.2 闭环主导极点	83
4.4.3 高阶系统的二阶近似	84
4.5 控制系统的稳态误差	87
4.5.1 误差的定义	87
4.5.2 误差传递函数	88
4.5.3 误差的计算	89
4.6 系统性能的 MATLAB 仿真	93
习题	95
第 5 章 频率特性法	102
5.1 频率特性与频率特性法	102
5.1.1 线性系统的频率响应	102
5.1.2 基本概念	103
5.1.3 频率特性法及其特点	103
5.2 基本环节的频率特性	103
5.2.1 比例环节	104
5.2.2 惯性环节	104
5.2.3 积分环节	106
5.2.4 二阶振荡环节	106
5.2.5 由对称性获得特性曲线的环节	107
5.2.6 时滞环节	108
5.2.7 系统开环传递函数伯德图的绘制	108
5.3 频率特性指标	110
5.3.1 开环频率特性指标	110
5.3.2 闭环频率特性指标	111
5.3.3 开环和闭环频率特性的关系	111
5.3.4 频域指标和时域指标的关系	112
5.4 开环频率特性的系统分析方法	113
5.4.1 低频段	113
5.4.2 高频段	115
5.4.3 中频段	115
5.4.4 系统性能分析	118
5.5 控制系统的频率法校正	119
5.5.1 基本概念	119
5.5.2 基本控制规律和校正装置	122
5.5.3 分析法的串联校正	128

5.5.4 期望特性法实现系统的串联校正	132
5.5.5 反馈校正	133
5.6 频率特性法的 MATLAB 仿真	137
习题	140
第 6 章 根轨迹法	148
6.1 基本概念	148
6.2 绘制根轨迹图的基本规则	149
6.2.1 规则一 根轨迹的分支	149
6.2.2 规则二 根轨迹的连续性和对称性	149
6.2.3 规则三 根轨迹的起点和终点	149
6.2.4 规则四 根轨迹的渐近线	150
6.2.5 规则五 实轴上的根轨迹	151
6.2.6 规则六 根轨迹与实轴的交点	151
6.2.7 规则七 根轨迹的出射角与入射角	153
6.2.8 规则八 根轨迹与虚轴的交点及临界值 k_c	155
6.2.9 规则九 根轨迹系数 k 的求取	156
6.3 绘制根轨迹图	157
6.3.1 绘制根轨迹图的步骤	157
6.3.2 例题	157
6.4 参数根轨迹	161
6.5 开环零极点对根轨迹的影响	162
6.5.1 开环零点对根轨迹的影响	163
6.5.2 开环极点对根轨迹的影响	164
6.5.3 附加开环零极点对系统稳态性能的影响	165
6.6 利用根轨迹法进行系统性能分析	166
6.7 利用根轨迹法校正	168
6.7.1 校正方法在根轨迹图中的体现	168
6.7.2 串联超前校正	169
6.7.3 串联滞后校正	171
6.8 根轨迹的 MATLAB 仿真	173
习题	176
第 7 章 连续域现代控制理论基础	180
7.1 线性定常系统状态方程的解	180
7.1.1 齐次状态方程的解	180
7.1.2 非齐次状态方程的解	184

7.2 控制系统的可控性和可观性	187
7.2.1 系统可控性	187
7.2.2 系统可观测性	192
7.2.3 对偶原理	193
7.3 线性定常系统的线性变换	194
7.3.1 线性变换	194
7.3.2 化系统 $\{A, B\}$ 为可控标准型	195
7.3.3 化系统 $\{A, C\}$ 为可观测标准型	197
7.4 控制系统的状态空间设计	199
7.4.1 线性定常系统常用反馈结构及其对系统特性的影响	199
7.4.2 状态反馈的极点配置设计法	201
7.4.3 状态观测器设计及分离特性	205
7.5 状态空间法的 MATLAB 仿真	213
习题	215
第 8 章 数据采集与数据保持	221
8.1 概述	221
8.2 信号采样问题	222
8.2.1 采样过程	222
8.2.2 理想采样信号的时域表示	223
8.2.3 理想采样信号的频域表达	223
8.2.4 采样定理	225
8.3 零阶保持器	227
8.3.1 零阶保持器的时域特性	228
8.3.2 零阶保持器的频域特性	228
习题	229
第 9 章 线性离散控制系统数学描述与分析	230
9.1 概述	230
9.2 脉冲传递函数	230
9.2.1 求脉冲传递函数	230
9.2.2 对开环和闭环系统求脉冲传递函数	231
9.3 离散状态空间描述	240
9.4 连续系统状态方程的离散化	242
9.5 线性定常离散系统的稳定性分析	245
9.5.1 S 平面与 Z 平面的关系	245
9.5.2 稳定性判别	246

9.6 离散控制系统的稳态误差分析	248
9.7 MATLAB 在模型转换、稳定性、稳态误差 和规范型转换中的应用	250
习题	257
第 10 章 离散控制系统的经典法设计	259
10.1 概述	259
10.2 控制系统的离散化方法	259
10.2.1 六种离散化方法	259
10.2.2 六种离散化方法的特点	265
10.3 PID 控制器及其算式	266
10.3.1 PID 控制器	266
10.3.2 PID 控制器的各种算法	268
10.4 数字 PID 控制器的参数整定	273
10.4.1 扩充临界比例度法	273
10.4.2 扩充响应曲线法	274
10.4.3 归一参数整定法	275
10.4.4 优选法(0.618 法)	275
10.5 用 MATLAB 进行连续模型的离散化等效和 PID 参数仿真研究	275
习题	281
第 11 章 数字控制器的直接设计	283
11.1 概述	283
11.2 W' 平面的频域法设计	283
11.2.1 两种平面的变换	283
11.2.2 W' 平面伯德图法设计	284
11.3 根轨迹设计	288
11.3.1 控制系统设计的根轨迹指标	288
11.3.2 根轨迹的绘制	289
11.3.3 离散控制系统的根轨迹法设计	290
11.4 MATLAB 在根轨迹中的应用	293
习题	295
第 12 章 状态空间分析和设计	298
12.1 离散系统的可控性和可观测性	298
12.1.1 可控性	298
12.1.2 可观测性	299

12.2 离散控制系统状态反馈的极点配置设计.....	301
12.3 观测器的设计.....	303
12.3.1 状态观测器的原理与结构.....	303
12.3.2 带有状态观测器的控制器的设计.....	304
12.3.3 分离特性.....	305
12.3.4 全阶观测器设计举例.....	305
12.4 MATLAB 在现代控制理论中的应用	307
习题.....	309
第 13 章 离散控制系统设计与实现	312
13.1 概述.....	312
13.2 离散控制系统设计的基本原则和主要步骤.....	312
13.2.1 控制系统设计的基本原则.....	312
13.2.2 控制系统设计的主要步骤.....	314
13.3 控制系统的设计及其实现过程.....	315
13.4 温度控制系统的设计举例.....	320
习题.....	326
附录 常用拉普拉斯变换和 Z 变换表	328
参考文献.....	330

第1章 绪 论

1.1 概 述

控制技术是多学科相互渗透和结合而发展起来的。当今计算机具有强大的存储记忆能力、可靠灵活的逻辑判断推理能力、高效的科学计算和数据处理能力,计算机技术的应用已遍布各个领域。正是计算机技术的广泛应用,促使控制技术在各个领域的应用也越来越广泛,目前离散控制已成为各个领域实现自动化的最重要手段。控制技术的广泛应用和深入发展,促进了控制工程实践技术的不断发展、控制系统分析理论和设计方法的不断完善。本课程为从事自动化技术领域的工程技术人员提供了必备的专业知识,本书详细介绍连续与离散控制系统的分析设计的基本理论及方法。

1.2 自动控制系统的结构原理及基本要求

1.2.1 自动控制系统的结构原理

所谓自动控制就是能自动检测和处理信息,并按照筹划好的控制规律产生控制作用,无须人的干预使被控对象达到所要求的性能。这样的系统称为自动控制系统。

自动控制系统一般结构形式如图 1-1 所示,它是由比较装置、校正装置、放大装置、执行装置、被控对象、测量装置、参考输入、扰动输入和被控量组成。除校正装置外,其余装置称为系统固有部分,它体现了系统的固有特性。校正装置是为了提高系统性能而加入的。

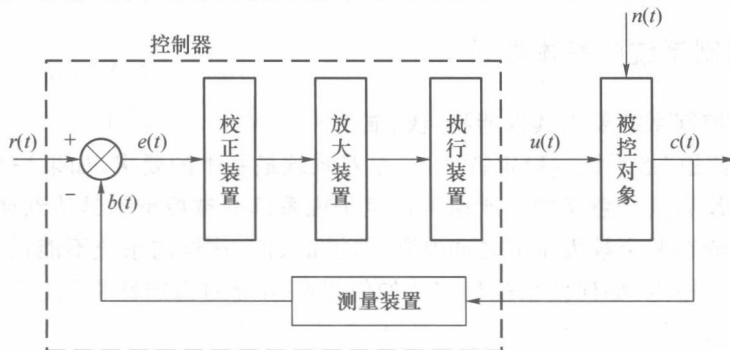


图 1-1 自动控制系统结构图

各部分信号介绍如下：

- (1) $r(t)$ 是输入信号,又称参考输入；
- (2) $c(t)$ 是被控对象的输出量,也称被控量；
- (3) $b(t)$ 是反馈信号,也称反馈量；
- (4) $e(t)$ 是反馈信号与参考输入的差值,称为偏差；
- (5) $u(t)$ 是控制器的输出,称为控制量；
- (6) $n(t)$ 是系统的扰动输入量,它起破坏作用,是需要抑制掉的。

控制过程是： $c(t)$ 通过传感器测量和转换为 $b(t)$ 并与 $r(t)$ 比较产生误差信号 $e(t)$ 。误差信号 $e(t)$ 经过控制器按照一定的控制规律处理产生控制量 $u(t)$ ，控制量 $u(t)$ 作用到被控对象上，在控制量 $u(t)$ 的作用下使 $c(t)$ 尽可能及时精确地与 $r(t)$ 保持一致， $e(t)$ 趋于允许的误差范围之内。从而达到控制的目的。下面以一个液面控制系统为例具体说明如下：

如图 1-2 所示的液面控制系统是一个原理很简单的自动控制系统。在该系统中，只要阀门 1 的流量比阀门 2 大，不论阀门 2 是否打开，总能通过自动调整阀门 1 保证液位在期望的高度上。该系统被控制对象是水箱，被控制量是水箱液面的高度。参考输入是连杆的长度，由它设定液位高度。测量装置是浮子，它测得实际的液面高度。实际高度和设定高度进行比较，根据两者相差的状况通过杠杆来调节阀 1，改变注入水的流量，使液面停止于设定高度上(阀门 2 关闭)或者在设定高度上达到动态平衡(阀门 2 打开)。其执行装置是阀门 1，比较装置和放大装置由杠杆来完成。注入水压的变化，杠杆的热胀冷缩都属于干扰因素。

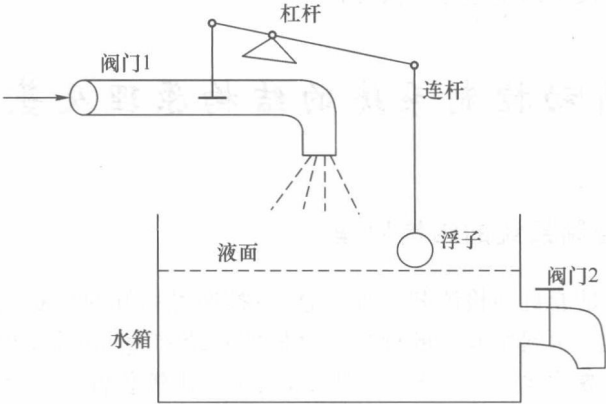


图 1-2 液位控制系统原理图

1.2.2 控制系统的基本要求

一般而言对控制系统要求其性能稳、快、准。

(1) 稳定性：“稳”指系统的稳定特性，它是对系统最基本的要求，如果一个系统不稳定，研究其他指标是没有任何意义的。所谓不稳定是说系统的被控量不是达到期望值而是趋于所达到的最大值或在两个较大值之间剧烈波动和振荡，这样的系统不能正常运行，已经失控。如何判断系统稳定，如何使系统稳定及如何提高系统的稳定性将是连续控制理论重点讨论的内容之一。

(2) 快速性：“快”是指系统反应速度的迅速性，它由动态性能来体现。当系统受到外界

扰动偏离了原有的工作状态(平衡状态),系统能使其尽快平稳地回到平衡状态。

(3) 准确性:“准”是对稳态精度的要求,它由稳态误差加以衡量。要求系统尽量地达到理想输出值。

1.2.3 离散控制系统的组成

1. 离散控制系统的硬件组成

离散控制系统的硬件组成框图如图 1-3 所示。通常包括被控对象、过程输入和输出通道、计算机、人机对话设备、报警装置和通信设备等几部分组成,具体叙述如下:

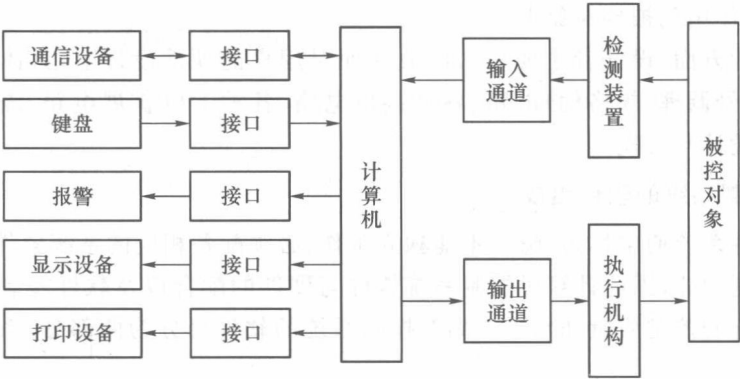


图 1-3 离散控制系统的组成

(1) 计算机:包括 CPU(中央处理器)、内存、I/O 接口和三总线(地址、数据和控制总线)等,计算机是控制系统的核心。计算机根据输入通道送来的命令和测量信息,按照预先选定的控制算法编制的控制程序来处理和计算相关的信息,产生控制量,通过输出通道由执行机构作用到被控对象上。

(2) 外部设备:通常包括:输入设备、输出设备、通信设备、声光报警设备。

输入设备:键盘通常是必备的输入设备,作用是录入或修改用户程序、数据和操作命令。

输出设备:通常包括打印设备、CRT 显示设备、LCD 液晶屏显示设备等。一般以动态图形、曲线、表格数据等形式显示控制系统的实际运行情况及其相关信息。

通信设备:是与外部和内部进行信息交流的设备。例如控制系统的前端机和上位机就是通过通信设备进行信息交流。分布式计算机控制系统就是网络功能很强、控制规模很大和控制功能复杂的控制系统,因此具有一定规模的控制系统一般会含有通信设备,通信总线的类型很多,可根据具体情况选择。

声光报警设备:当系统运行发生越限时,就会发出声光报警,并进行一系列处理,确保控制系统的安全运行。

(3) 过程输入/输出(I/O)通道设备:包括模拟量输入/输出通道和数字量输入/输出通道。它们的作用是将检测转换单元、执行机构、生产过程和被控对象联系起来,进行信息的传递和变换。

① 模拟量输入设备:包括模拟量输入通道,作用是将传感器测得的被控对象的模拟参数通过 A/D 转换成数字量,数字量被送入计算机处理。必要时考虑输入端隔离问题。

② 模拟量输出设备:包括模拟量输出通道,作用是将计算机根据算法产生的控制量通过 D/A 转换成模拟量,经过保持后送入执行机构,通过执行机构作用到被控对象上。一般输出端必须考虑强电和弱电的隔离问题。

③ 开关量输入设备:作用是被控对象的开关量或数字量输入计算机。必要时要考虑隔离问题。

④ 开关量输出设备:作用是将计算机输出的开关控制量或数字控制量直接作用到相应的开关上。一般输出端必须考虑强电和弱电的隔离问题。

(4) 被控对象:在控制系统中,被控对象通常为连续环节,计算机控制系统的控制器由计算机编程实现,控制器(计算机)输出数字量,这种控制量必须通过 D/A 转换和保持后变成连续量,才能作用到被控对象上。

在硬件设计方面,设计者主要精力应放在面对用户的硬件设计上,具体工作为传感器(检测)电路、信号调理(规格化)电路、各种接口电路、各种 I/O 扩展电路、隔离电路和功放驱动等电路的设计与实现。

2. 离散控制系统的软件组成

计算机硬件系统通常称为裸机,不能独立工作,必须配备相应的系统软件和应用软件才能完成各种控制功能,因此计算机控制系统软件与硬件的配合以及软件控制算法优劣决定了整个控制系统的控制质量和水平。离散控制系统的软件可分为两部分:系统软件 and 用户应用软件。

(1) 系统软件:这类软件通常由计算机生产厂家或软件公司提供,也可以在市面上购买到。不需要用户编制这类软件,它们大致包括操作系统、数据结构、数据库系统、监控程序、程序设计语言、编译程序和调试诊断程序等。

(2) 面对用户的应用软件:是用户根据控制系统的需要按照一定的控制算法、规律和数学模型而编制的应用程序。通常包括控制算法程序、I/O 过程通道的接口程序、人机对话接口程序、实时动态画面显示程序及打印程序和报警程序等。要求设计者将主要精力放在面对用户的应用软件设计上。

1.3 控制系统的分类和特点

控制系统的分类有多种方法,可以按照控制方式分类,也可以按照控制规律分类,还可以按照功能分类。

1.3.1 控制系统按照控制方式的分类

控制系统按照控制方式分类,可以分为三种类型:开环控制,闭环控制及复合控制系统。

1. 开环控制系统

开环控制系统结构如图 1-4 所示。其结构特点是被控量对系统的控制没有作用,开环控制的优点是控制简单,设备量少,控制稳定,即不产生不稳定现象。但是其控制精度低,抑

制干扰的能力差。



图 1-4 开环控制系统

2. 闭环控制系统

闭环控制系统结构如图 1-5 所示。如果系统的被控量直接或间接地参与控制作用称该系统为闭环控制系统，又称为反馈控制系统。反馈分为正反馈和负反馈，自动控制系统多为负反馈系统，故后面均以负反馈系统为例研究问题。

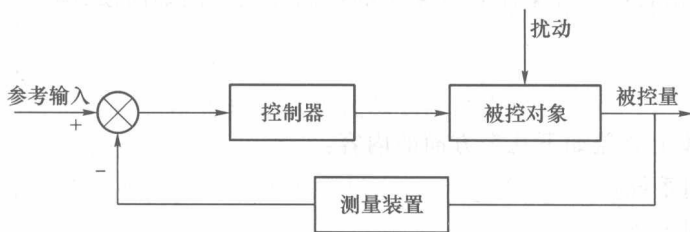


图 1-5 闭环控制系统

负反馈控制系统控制精度高，对各种扰动都具有抑制作用。但如果设置不合理可能造成系统不稳定及设备量多。由于其优点明显，故在控制系统中得到广泛应用。

3. 复合控制系统

集中开环和闭环之优点，在控制系统中将两者结合起来，既有开环控制又有闭环控制称为复合控制系统，框图如图 1-6 所示。

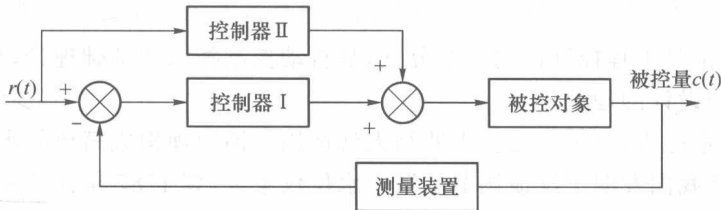


图 1-6 复合控制系统的框图

1.3.2 控制系统按照控制规律分类

1. 程序和顺序控制

在程序控制中，被控量按照预定时间函数变化，被控量是时间的函数。顺序控制在各时段给出的设定值可以是不同的物理量，设定值的给出，不仅取决于时间，而且还与对以前的控制结果的逻辑判断有关。

2. PID 控制

PID 控制是控制工程技术人员熟知的技术,应用最广泛。该技术简单易学,参数调整容易,一般控制效果令人满意(大滞后系统和随机扰动系统除外)。

3. 最小拍控制

所谓最小拍控制,就是控制系统在尽可能短的时间里完成调节过程,最小拍控制方法通常用在数字随动控制系统中。

4. 复杂规律的控制

实际的控制系统所处的环境可能存在大量的随机干扰,控制系统不仅跟踪给定指标,还要抑制各种扰动。另外性能指标可能是一类最优化性能指标,这时仅用一般的控制算法很难满足要求,可根据具体情况采用各种复杂的控制算法。例如前馈、串级、大滞后补偿、最优和自适应控制等。

5. 智能控制

智能控制大体上涵盖如下几个方面的内容:

- (1) 递阶控制系统;
- (2) 专家控制系统;
- (3) 模糊控制系统;
- (4) 神经控制系统;
- (5) 学习控制系统;
- (6) 其他智能控制(包括:仿人控制、进化控制和免疫控制)。

1.4 控制系统的发展概况和展望

自动控制理论是工程控制论的一个分支,是自动控制技术的基础理论,是研究自动控制系统组成、分析与设计的理论。

追溯控制技术源头,自古有之。古罗马人就运用反馈原理构成简单的水位控制装置,公元 1086—1089 年我国发明了反馈调节装置—水位仪象台,到 1787 年瓦特利用反馈的原理,发明了离心式调速器,在蒸汽机转速自动调节上获得成功并得到广泛的应用。1868 年 J. C 麦克斯韦首先解释了瓦特速度控制系统中出现不稳定的问题,导出系统的稳定与代数方程根的分布之间的关系,开辟了用数学方法研究控制问题的先河。1877 年和 1895 年分别由英国数学家 E. J 劳斯和德国数学家 A. 霍尔维茨分别建立了直接根据代数方程的系数判别系统稳定性的准则。到了 1892 年,俄国的数学家李雅普诺夫用数学分析的方法全面的论述了稳定问题。从 20 世纪 20 年代到 40 年代经典控制论涵盖了时域法、频域法和根轨迹法三部分;在 1948 年维纳发表了《控制论》,标志经典控制理论体系的诞生,到了 60 年代随着航天技术的发展,又出现了状态空间法,即现代控制理论部分。随着控制技术的发展出现了最优控制和自适应控制,最优控制是用数学的方法使性能指标达到最优(它们包括变分法、极大值原理和动态规划法求极值),自适应控制实时辨识对象或环境的变化,自动在线实时调