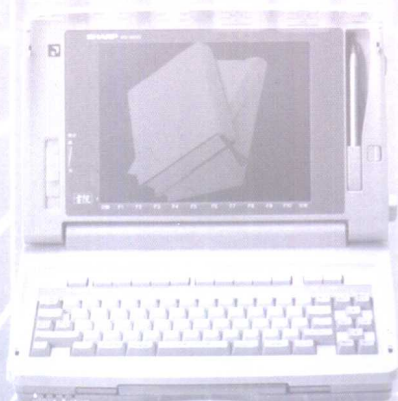


高校计算机教学系列教材

计算机控制系统基础

陈炳和 编著



北京航空航天大学出版社

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

计算机控制系统基础

陈炳和 编著

北京航空航天大学出版社

内容简介

以计算机控制系统为主,深入浅出地论述了计算机控制系统的理论和应用。包括:作为学习离散系统的前提条件,概括地介绍了连续控制系统;将连续和离散 PID 控制及其变型结构 PDF 和 PDF 控制单独列为一章,进行了系统分析,深入地阐述了这类控制器的结构、算法和参数整定;还从应用的角度,介绍了可编程序控制器(简称 PC)。每章都附有习题,书后附有绝大部分习题的参考答案。

本书可作为非自动控制专业大学本科生的教材;删去带 * 号的部分,可作为计算机、电子工程、通信工程和机械学科机电控制与自动化等专业大专学生使用的教材;就本书的深度和广度,也适合于作为成人教育工科专业学生的教材;还可供有关教师和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

计算机控制系统基础/陈炳和编著. —北京:北京航空航天大学出版社,2001.6
ISBN 7-81077-053-5

I. 计... II. 陈... III. 计算机控制系统—高等学校—教材 IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 12744 号

计算机控制系统基础

陈炳和 编著

责任编辑 许传安

责任校对 戚爽

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:82317024 传真:82328026

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

E-mail: pressell@publica.bj.cninfo.net

北京宏文印刷厂印装 各地书店经销

*

开本:787×1092 1/16 印张:22 字数:563 千字

2001 年 8 月第 1 版 2001 年 8 月第 1 次印刷 印数:5000 册

ISBN 7-81077-053-5/TP·027 定价:30.00 元

总前言

科教兴国,教育先行,在全国上下已形成共识。在教育改革过程中,出现了多渠道、多形式、多层次办学的局面。同时,政府逐年加大教育的投入力度。教育发展了,才能有效地提高全民族的文化、科学素质,使我们中华民族屹立于世界民族之林。

计算机科学与技术的发展日新月异,其应用领域迅速扩展,几乎无处不在。社会发展的需求,促使计算机教育生气蓬勃。从普通高校的系统性教学,到远距离的电视、网上教学;从全面讲述,到不同应用领域的、星罗棋布的培训班;从公办的到民办的;从纸介教材到电子教材等等,可以说计算机教学异彩纷呈。要进行教学,就必须有教材。

面对我们这么大的国家和教学形势,在保证国家教学基本要求的前提下,应当提倡教材多样化,才能满足各教学单位的需求,使他们形成各自的办学风格和特色。为此,我们组织北京工业大学、北京航空航天大学、北京理工大学、南开大学、天津工业大学等高校的有丰富教学经验的教师编写了计算机教学的系列教材,将陆续与师生见面。

系列教材包括以下各项:

(一) 基础理论:离散数学。

(二) 技术基础:电路基础与模拟电子技术;数字逻辑基础;计算机组成与体系结构;计算机语言(拼盘、选择使用):包括C++程序设计基础、Visual Basic 程序设计基础、Matlab 程序设计基础、Java 程序设计基础、Delphi 语言基础、汇编语言基础等;数据结构;计算机操作系统基础;计算方法基础;微机与接口技术;数据库技术基础等。

(三) 应用基础:计算机控制技术;网络技术;软件工程;多媒体技术等。

(四) 技术基础扩展:编译原理与编译构造;知识工程——网络计算机环境下的知识处理。

(五) 应用基础扩展:计算机辅助设计;单片机实用基础;图像处理基础;传感器与测试技术;计算机外设与接口技术。

本系列教材主要是针对计算机专科教学编写的,供普通高校、社会民办大学、高等职业学校、业余大学等计算机专科使用。其中一部分教材也适合计算机本科教学或非计算机专业本科教学使用。在这部分教材的内容简介或前言中对使用范围内作了说明。

本系列教材在编写时,注重以下几点:(1) 面对计算机科学与技术动态发展的现实,在内容上应具有前瞻性;(2) 面对学以致用,既有系统的基础知识,又有应用价值的实用性;(3) 具有科学性、严谨性。另外,力求排版紧凑,使有限的版面具有最大的信息量,以使读者得到实惠。

能否实现这些愿望,只有师生在教学实践中评价。我们期望得到师生的批评和指正。

高校计算机教学系列教材编委会

高校计算机教学系列教材编委会成员

主 任：赵沁平

副主任(常务)：陈炳和

顾 问：麦中凡

委 员(以姓氏笔划为序)：

吕景瑜(北工大教授)

乔少杰(社长,副教授)

麦中凡(北航教授,教育部工科计算机基础教学指导委员会副主任、中专计算机教学指导委员会顾问)

苏开娜(北工大教授)

陈炳和(北工大教授)

张鸿宾(北工大博导)

郑玉明(北工大副教授)

金茂忠(北航博导)

赵沁平(北航博导,国务院学位办主任)

前 言

本教材是为非自动控制专业本科生编写的教材;去掉带*号的章节后,适合计算机、电子工程、通信工程和机械学科中的机电控制与自动化专业的大专生使用;从教材的深度和广度,也适合于成人教育中工科专业使用。本书是总结了多年来教学、科研和开发工作的经验,并参考了近年来国内外最新教科书和有关文献,精心编写而成。试图利用较少的篇幅,深入浅出、系统地介绍计算机控制系统最基本的内容及其应用。

内容以计算机控制系统为主。计算机控制(离散控制)理论是连续控制理论的延伸。要学习和掌握计算机控制理论,必须具备连续控制系统的基本概念,了解经典控制理论的框架。这是学习计算机控制系统不可或缺的内容。连续和离散两种控制系统是先后发展起来的。本教材把两者结合起来,系统地加以介绍,并突出其中最主要的内容。本教材考虑到没有学习过经典控制理论的读者,引导他们从最基本的自动控制知识开始学习计算机控制系统。如果已经学过这些内容,可以跳过连续系统,直接进入离散系统的学习。

本教材还利用了相当的篇幅,补充数学知识。这不仅可使学生和读者深入掌握本教材的内容,而且也是掌握计算机控制理论与技术必要的基本训练。具有相应数学基础的读者,可以免学这部分。

在控制现场,总是存在干扰信号。控制系统的输入信号中,均有噪声和干扰,必须用滤波器来抑制信号通道中的这些扰动。本教材简要地介绍了滤波器的概念,以及模拟和数字滤波器的设计方法。

PID控制是很早就发展起来的控制策略。PID控制由于算法简单、可靠性高、鲁棒性好,被广泛应用于过程控制。设立单独的章节,系统地论述了连续和离散PID控制的理论与技术,并且深入地介绍了PID控制的变型结构PDF和PDFF控制,使读者能够了解、掌握和应用这些带有明显特点的结构。

可编程序控制器(简称PC),是随着自动控制技术和通信与网络技术的发展,而发展起来的一种新型工业自动化控制装置。它是专为工业环境下应用而设计的,在工业生产的顺序控制和过程控制中,显示出较大的优越性。它现在应用在许多行业中,经济效益显著,已成为自动控制的标准设备。本书从应用的角度,对它作了通俗的介绍。

为了使学生巩固所学的内容,并为自学提供方便,每章后面均附有习题,书后附有绝大部分习题的参考答案。本书使用的MATLAB程序均在MATLAB 4.0版本运行过。

全书共分7章。第1章引论,概括介绍了全书的基本框架,回顾了控制理论发展的历史,指出了控制理论发展的动向,将读者引入书中所论述的内容。第2章连续控制系统,主要论述经典控制理论,涉及系统、信号和模型诸多方面。第3章离散时间系统,主要阐述了计算机控制的基本概念、基本理论和基本方法。第4章数字滤波器的基本原理与设计,介绍模拟与数字滤波器的基本原理,以及IIR数字滤波器的设计。第5章为计算机控制系统设计。第6章PID

控制,系统地论述了模拟和数字 PID 控制器的结构、算法和参数整定,同时深入阐述了 PID 控制的变型结构——PDF 和 PDFF 控制的结构、算法和参数整定。这也是本书的重要内容。第 7 章为可编程序控制器。

本书在教学过程中,可根据学生情况和学时多少,删减有关的内容。如果已学过自动控制原理,可以略去第 2 章;已学过滤器,可以略去第 4 章;已学过积分变换,可略去 2.2 节。

本书在编写过程中,北京航空航天大学侯木玉高级工程师、北京航空航天大学出版社的许多同志帮助整理了图稿,在此一并表示感谢。北京航空航天大学出版社许传安编审对本书的出版给予了大力支持,并对书稿进行了精心加工和修改,对此深表谢意。

由于作者的水平所限,书中难免存在不足之处,欢迎读者批评指正。

陈炳和

2001 年 1 月

目 录

第 1 章 引 论

1.1 计算机控制系统的基本概念	(1)
1.1.1 计算机控制系统	(1)
1.1.2 控制系统的分类	(1)
1.1.3 计算机控制系统的分类	(7)
1.1.4 计算机控制系统实现中的实际问题	(11)
1.2 计算机控制系统的研究内容和对系统的基本要求	(15)
1.2.1 计算机控制系统的研究内容	(15)
1.2.2 对计算机控制系统的基本要求	(16)
1.3 历史回顾	(16)
1.4 计算机集成制造系统	(20)
习 题	(21)

第 2 章 连续控制系统

2.1 引 言	(22)
2.1.1 单输入单输出控制系统	(22)
2.1.2 常用输入信号	(23)
2.2 拉普拉斯变换	(28)
2.2.1 拉普拉斯变换的定义	(28)
2.2.2 拉普拉斯变换定理	(30)
2.2.3 拉普拉斯反变换	(36)
2.2.4 用拉普拉斯变换法解线性常系数微分方程	(45)
2.3 物理系统的数学模型	(46)
2.3.1 线性元件的微分方程	(47)
2.3.2 随动系统的微分方程	(51)
2.4 传递函数和方框图	(53)
2.4.1 传递函数和微分方程	(53)
2.4.2 电子网络的传递函数	(54)
2.4.3 简单方框图的传递函数	(55)
2.4.4 方框图简化	(59)
2.5 传递函数和信号流图	(64)
2.5.1 信号流图定义	(64)
2.5.2 梅逊增益公式	(65)
2.6 控制系统的时域分析	(69)
2.6.1 冲击响应和阶跃响应	(69)
2.6.2 时域性能指标	(70)
2.6.3 一阶系统的动态响应	(72)

2.6.4	二阶系统的动态响应	(74)
2.6.5	高阶系统分析	(83)
2.6.6	稳态误差分析	(85)
2.6.7	用 MATLAB 绘制单位阶跃响应和冲击响应曲线	(91)
2.6.8	稳定性分析	(94)
2.7	根轨迹	(101)
2.7.1	根轨迹法	(101)
2.7.2	根轨迹图的绘制	(103)
2.7.3	用 MATLAB 绘制根轨迹图	(106)
2.8	频率响应的概念	(111)
2.8.1	频率响应法	(112)
2.8.2	频率特性的图形表示	(114)
2.8.3	典型环节的频率特性	(116)
2.8.4	频域性能指标	(122)
2.8.5	开环传递函数的频率特性	(124)
2.8.6	时域和频域响应之间的关系	(132)
2.8.7	用 MATLAB 进行频域分析	(134)
2.9	复合控制系统	(141)
2.9.1	对输入前馈补偿的复合控制系统	(141)
2.9.2	对扰动前馈补偿的复合控制系统	(142)
2.10	控制系统设计	(143)
2.10.1	校正装置的结构	(143)
2.10.2	校正装置的特性	(144)
2.10.3	根轨迹校正	(151)
2.10.4	频率校正	(156)
	习 题	(164)

第3章 离散时间系统

3.1	引 言	(170)
3.2	差分方程	(173)
3.3	采样定理	(174)
3.3.1	采样过程及采样信号的频谱	(174)
3.3.2	香农采样定理	(178)
3.3.3	零阶保持器	(178)
3.4	z 变换	(181)
3.4.1	z 变换定义	(181)
3.4.2	z 变换定理	(182)
3.4.3	z 反变换	(187)
3.4.4	用 z 变换求解差分方程	(190)
3.5	离散系统的传递函数和方框图	(191)
3.5.1	离散传递函数与差分方程	(191)
3.5.2	开环 Z 传递函数	(194)
3.5.3	闭环 Z 传递函数	(197)

3.5.4	离散系统的稳态误差	(205)
3.6	离散系统的极点、零点和稳定性	(207)
3.6.1	离散系统的极点与零点	(207)
3.6.2	S平面到Z平面的映射	(208)
3.6.3	离散系统的稳定性	(209)
3.6.4	双线性变换	(212)
3.6.5	劳斯稳定性判据	(213)
3.6.6	朱利稳定性判据	(215)
3.7	离散系统的根轨迹	(219)
3.7.1	根轨迹图	(219)
3.7.2	Z平面上的等阻尼比线	(221)
3.8	离散系统的频率响应	(222)
3.8.1	对数频率特性	(223)
3.8.2	极坐标频率特性	(224)
3.8.3	用MATLAB绘制离散系统的频率特性曲线	(226)
	习 题	(231)
第4章 数字滤波器的基本原理与设计		
4.1	引 言	(233)
4.2	数字滤波器原理	(233)
4.3	模拟滤波器	(235)
4.3.1	巴特沃斯滤波器	(236)
4.3.2	二项式滤波器	(238)
4.3.3	ITAE和贝塞尔滤波器	(238)
4.3.4	其它类型的模拟滤波器	(239)
4.4	IIR数字滤波器的设计	(240)
4.4.1	冲击不变性方法	(240)
4.4.2	阶跃不变性方法	(241)
4.4.3	极零点匹配法	(242)
4.4.4	双线性变换法	(243)
	习 题	(246)
第5章 计算机控制系统设计		
5.1	引 言	(247)
5.1.1	计算机控制系统连续化设计方法	(247)
5.1.2	计算机控制系统离散化设计方法	(251)
5.2	有限拍控制	(252)
5.2.1	有限拍控制系统设计	(252)
5.2.2	有限拍无纹波控制系统	(264)
5.2.3	有限拍设计的改进	(266)
*5.3	根轨迹法	(269)
5.4	双线性变换法	(272)
*5.5	参数优化法	(276)

5.6 带纯滞后被控对象的控制系统设计	(276)
5.6.1 大林算法	(277)
5.6.2 史密斯预报器	(282)
习 题	(284)
第 6 章 PID 控制	
6.1 引 言	(286)
6.2 模拟和数字 PID 算法	(289)
6.2.1 模拟 PID 算法	(289)
6.2.2 数字 PID 算法	(290)
6.3 数字 PID 的改进算法	(293)
6.3.1 积分分离 PID 控制算法	(293)
6.3.2 不完全微分 PID 控制算法	(293)
6.3.3 带死区的 PID 控制算法	(296)
6.4 模拟和数字 PID 参数整定	(297)
6.4.1 模拟 PID 参数整定	(297)
6.4.2 数字 PID 参数整定	(303)
6.4.3 PID 控制的自整定方法	(305)
6.5 模拟和数字 PDF 与 PDFF 算法	(305)
6.5.1 PDF 算法	(305)
6.5.2 PDFF 算法	(306)
6.5.3 PID,PDF 和 PDFF 控制系统	(309)
6.6 PDF 和 PDFF 参数整定	(313)
6.6.1 用标准滤波器进行参数整定	(313)
6.6.2 被控对象为单积分	(314)
6.6.3 被控对象为双积分	(316)
习 题	(317)
第 7 章 可编程序控制器	
7.1 引 言	(318)
7.2 可编程序控制器的组成和工作原理	(319)
7.2.1 可编程序控制器的组成	(319)
7.2.2 可编程序控制器的工作原理	(320)
7.3 可编程序控制器的编程方式	(320)
7.3.1 可编程序控制器的编程语言	(320)
7.3.2 可编程序控制器的指令及编程方法	(322)
7.4 可编程序控制器通信与网络功能	(333)
7.4.1 可编程序控制器与计算机组成控制系统	(333)
7.4.2 可编程序控制器网络	(333)
7.4.3 制造自动化协议	(334)
习 题	(334)
附录 部分习题参考答案	(336)
参考文献	(341)

第 1 章 引 论

本章主要讨论计算机控制系统的基本概念,简述计算机控制系统的研究内容与对系统的基本要求,以及计算机控制系统实现要考虑的主要问题。本章还回顾了控制理论与技术的发展状况。

1.1 计算机控制系统的基本概念

本书的主要任务是论述控制系统理论及计算机控制系统的分析与设计。

计算机控制是控制理论与计算机技术相结合的产物。常规控制技术无法达到的性能指标,可由计算机控制来完成。

计算机控制理论就是控制理论的计算机实现理论,通常称为计算机控制系统的理论,简称计算机控制理论。

1.1.1 计算机控制系统

计算机控制系统是强调计算机作为控制系统的—个重要的组成部分而得名。计算机控制系统也称数字控制系统,这是强调控制系统中包含着数字信号。

1.1.2 控制系统的分类

控制系统分类的方法有多种,诸如按系统包含的元件类型;系统的功用;系统的性能;输入参量的变化规律等分类方法。如果按控制系统所包含的信号形成,通常将控制系统分为两大类:

1. 连续(模拟)控制系统

控制系统传递的信号为连续(模拟)信号,则称该系统为连续(模拟)控制系统。

系统可以用方框图表示,如图 1.1-1 所示。在图中,每一个系统元件,用一个方框来表示,从一个元件到另一个元件的信息流和方向用箭头表示。

在图 1.1-1 中, x 表示输入信号, y 表示输出信号。若输入和输出信号是时间的连续函数,用 $x(t)$ 和 $y(t)$ 表示,则信号和系统是连续的。

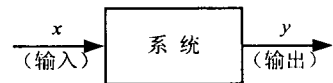


图 1.1-1 系统的方框图表示

若系统的输出与输入成比例,这时系统的性能不依赖于时间。这样的系统称为非动态系统。当系统能用任意常数 K 表示,图 1.1-1 表示的控制系统可用下面的方程(模型)表示

$$y = Kx \quad (1.1-1)$$

当 $K=1$ 时,则系统的输出等于输入。

若输入信号被噪声污染,图 1.1-1 表示的系统可以是滤波器。滤波器的功能是消除噪声,或使噪声的影响减到最小。这时系统的输出不能瞬时改变,它的性能依赖于时间,其输出

和输入的关系常用微分方程(或差分方程)描述。这样的系统称为动态系统。

(1) 开环控制系统

控制系统有两种基本的结构:开环控制系统和闭环控制系统。开环控制系统的方框图如图 1.1-2 所示。系统控制的是被控对象(或过程)。被控对象指的是机器或装置;过程指的是作业系统。例如电动机是被控对象,化学作业是过程。被控对象(或过程)的输出为被控变量。控制系统总的输入称为参考输入或称设定值,决定着系统输出的变化规律或要求值。系统的控制规律或算法称为控制器。控制器的输出为控制变量。扰动是一种对系统输出产生相反作用的信号,是系统不希望的外作用。它影响参考输入量对系统被控量的控制。

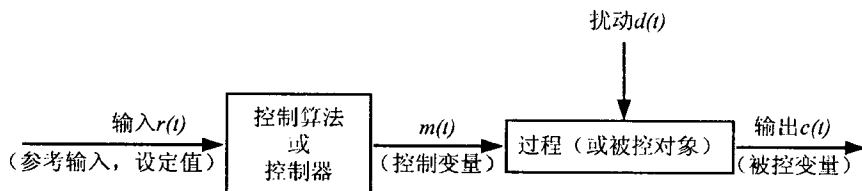


图 1.1-2 开环控制系统的方框图

开环控制系统指控制器和被控对象之间,只有顺向作用,而没有反向联系的控制系统。系统的输出量对控制作用没有任何影响。例如直流电动机转速控制系统,其原理如图 1.1-3 所示。由图可见,给定电压 u_g 经放大,得到直流电动机的电枢电压 u_a 。当激磁电压恒定时,改变 u_a 可得到不同的转速 n 。 u_g 和 n 具有一一对应的关系。

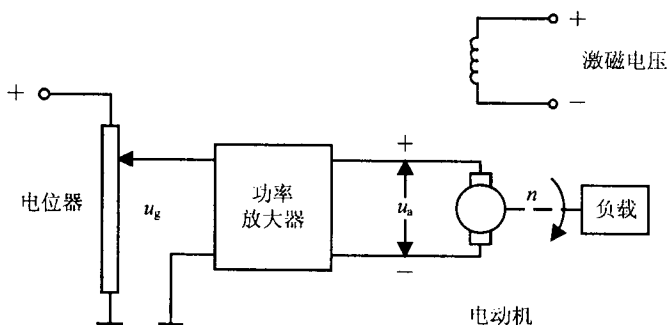


图 1.1-3 直流电动机转速控制系统原理

将直流电动机转速控制系统原理用方框图表示,如图 1.1-4 所示。

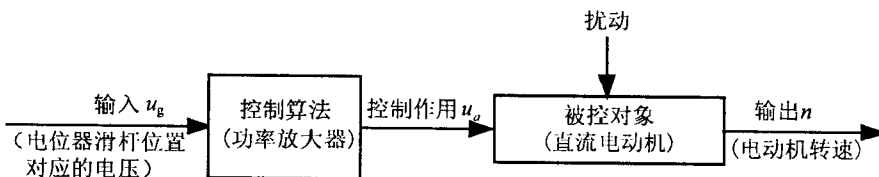


图 1.1-4 直流电动机转速控制系统方框图

图 1.1-4 中的扰动,指电源电压的波动、负载变动等干扰因素。

开环控制系统结构很简单,给定一个输入,便有相应的一个输出。这种对应关系调整的愈

准确,元件参数变动愈小,开环系统的工作精度愈高。

(2) 闭环(反馈)控制系统

开环控制系统简单经济,但是扰动可能使系统的被控变量偏离要求值。而闭环系统可以通过调节控制变量,使系统的输入与输出之间的误差达到最小或消除。闭环控制的方框图如图 1.1-5 所示。

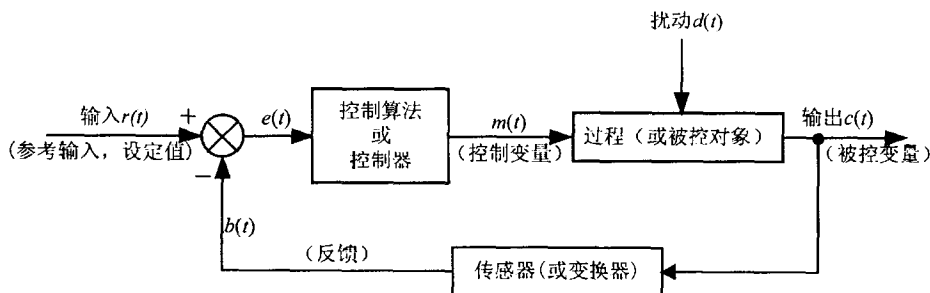


图 1.1-5 闭环控制系统方框图

在图 1.1-5 中,传感器或变换器元件是用来测量被控变量的实际值,或对被控变量进行物理量的变换称为反馈。反馈量与参考输入值(或设定值)比较,形成代数差称为误差,亦称偏差,即 $e(t) = r(t) - b(t)$ 。控制器根据偏差值计算出控制变量值,并将其传送到被控对象。控制器的任务是修正偏差,甚至包括出现的扰动。控制器连续的修正作用,直到偏差为零,即参考输入值 $r(t)$ 等于实际的输出值 $c(t)$ 。这个结果,也就是控制系统要求达到的目标。

闭环控制系统就是指控制器与被控对象之间,既有顺向作用,又有反向联系的控制系统。室内供暖系统便是一个闭环控制系统的例子。房间的温度是被控变量,炉子是被控对象。控制器检测到恒温器设置(设定值)和实际室温(反馈值)之差,确定炉子是开还是关。控制器的目标是在室外天气条件恶化的情况下,使室内温度相对恒温器的设置保持恒定,使室内的温度不随室外温度的变化而改变。

图 1.1-5 所示的系统称为单环控制系统,是一个典型的控制系统。根据不同的应用,控制器方框可以取不同形式的数学表示式。

通用性的控制器是比例-积分-微分(Proportional - Integral - Derivative)控制器,简称,PID 控制器。这种控制器输出兼有比例、积分、微分控制作用,如图 1.1-6 所示。对控制器增益 K_p (比例)、 K_i (积分)和 K_D (微分)进行调整(整定),达到一定的控制目的。根据不同的应

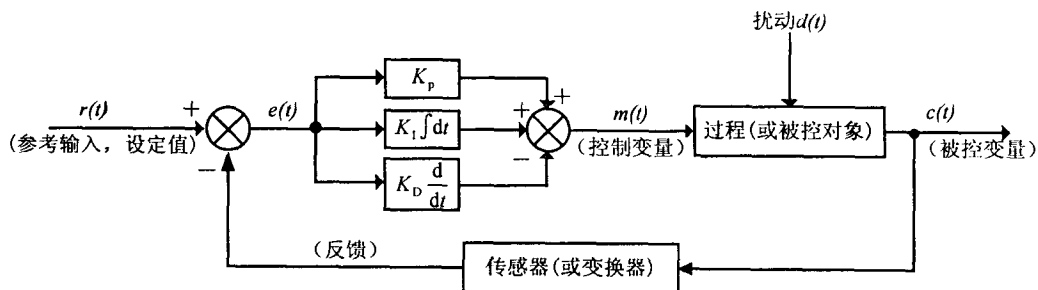


图 1.1-6 PID 控制系统方框图

用,有些情况仅需比例控制作用,大多数情况要求比例和积分(PI)控制作用。最普通的情况,要求三种控制作用(PID)都必须使用。

另外一种实用的控制器是 PDFF 控制器,如图 1.1-7 所示。这种控制器在前向通道,包含积分控制作用,而比例(P)和微分(D)控制作用在反馈(feedback)通道。此外 PDFF 控制器还有前馈(feedforward)控制作用,因此取名为 PDFF 控制器。这种控制器有多种运行方式。在第 5 章还将看到 PDFF 控制器能如 PID 控制器一样的运行。本书将 PDFF 控制器与 PID 控制器对比进行讨论。

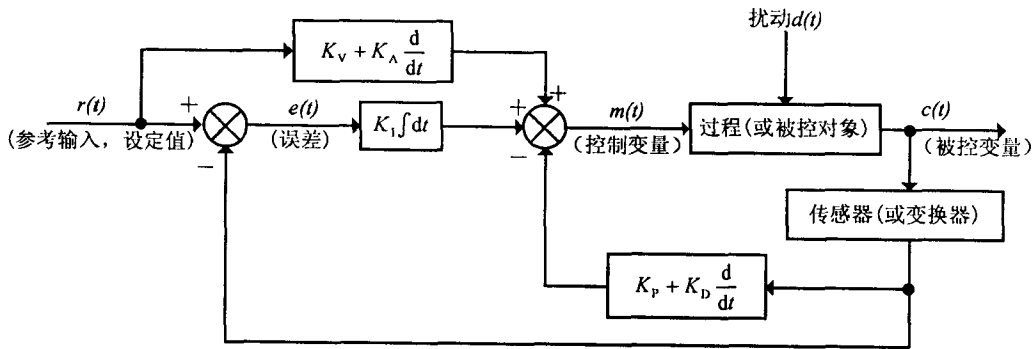
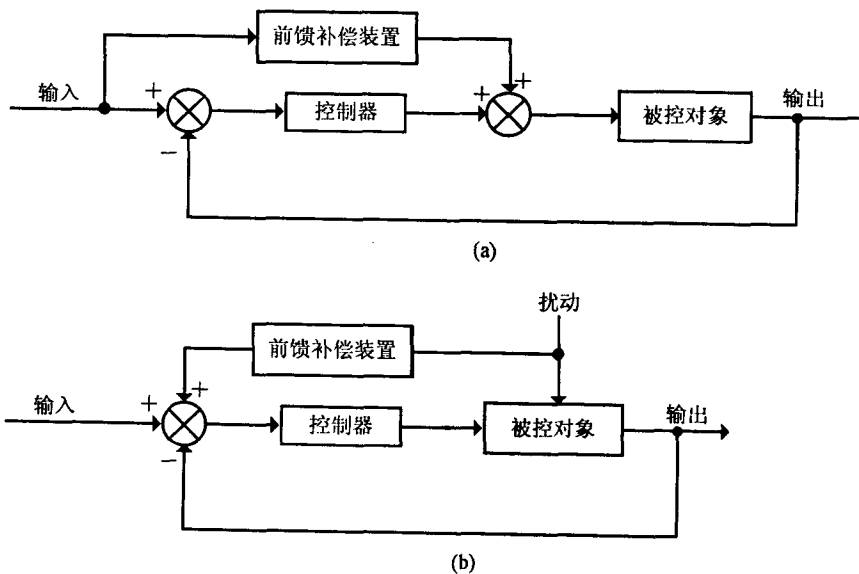


图 1.1-7 PDFF 控制系统方框图

(3) 复合控制系统

复合控制系统是将开环控制和闭环控制相结合的一种控制方式,如图 1.1-8 所示,用来提高系统的精度。



- (a) 按输入补偿的复合控制系统;
- (b) 按扰动补偿的复合控制系统

图 1.1-8 复合控制系统方框图

在图 1.1-8(a)中,前馈补偿装置实现的是开环控制,其余部分为闭环控制。把前馈控制和闭环控制组合起来,构成了复合控制系统。

在图 1.1-8(b)中,将扰动引入前馈信号,对扰动的前馈补偿装置实现的是开环控制,其余部分是闭环控制。前馈控制和闭环控制组合起来,构成了复合控制。

2. 离散(数字)控制系统

连续控制系统一般用微分方程来描述。用连续数学建立的控制器或滤波器模型,可以用电的或电子学器件,如电阻、电容、电感和运算放大器来实现。这样构成的系统称为模拟系统或常规系统。当系统中传递的信号是离散时间信号时,称为离散时间系统,简称离散系统。所谓离散时间信号是指只有某些不连续点上给出函数值,其它时间无定义的信号。如果离散时间信号是经过连续信号采样得到的采样信号,包含这种离散信号的系统称为采样数据系统,简称采样系统。如果离散信号的幅值经过量化,成为时间和取值都离散的数字信号,把包含这种离散信号的系统称为数字系统。包含计算机的控制系统,即控制器的计算任务由计算来完成时,称为计算机控制系统。这是一种典型的数字控制系统,也分为开环控制系统和闭环控制系统。

(1) 开环数字控制系统

开环数字控制系统如图 1.1-9 所示。由此图可见,计算机输入 $r(kT)$ 必须是数字;计算机输出 $m(kT)$ 只可能是数字。因此需要接口器件,模拟数字变换器(Analog-to-Digital Converter)简记为 ADC 及数字模拟变换器(Digital-to-Analog Converter)简记为 DAC。若参考输入信号是连续(模拟)的,必须由 ADC 变换成数字(离散)形式,然后送计算机。若被控对象是模拟的,计算机或控制器的输出,必须从数字变成模拟的形式,再把它送到被控对象。

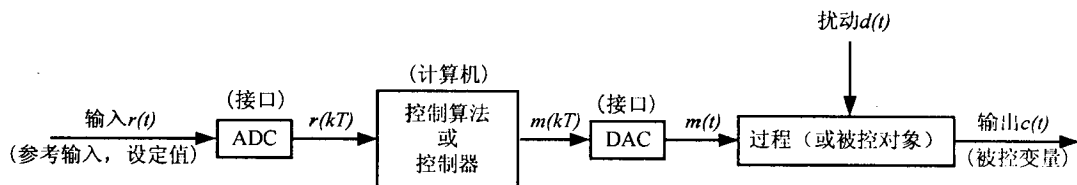


图 1.1-9 开环数字控制系统方框图

就数字滤波器的实现来说,从图 1.1-9 中去掉过程被控对象,将扰动(噪声)输入合并到输入信号中,就可以得到数字滤波器的结构,如图 1.1-10 所示。数字滤波器的功能是从信号加噪声的组合中,进行适当的计算,清除噪声。此处数字滤波器也就是计算机。若希望显示滤波器的输出,可以借助 DAC 接口。

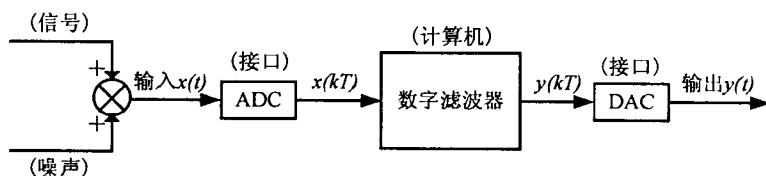


图 1.1-10 数字滤波器系统方框图

(2) 闭环数字控制系统

闭环数字控制系统如图 1.1-11 所示。由图可见,系统使用了 ADC 和 DAC 接口。ADC

接口在控制系统中的位置,意味着偏差信号与控制算法都在计算机中计算。与模拟控制系统类似,控制器的功能是将偏差 $e(kT)$ 减少到最小,即使在出现扰动的情况下,也能达到这个目标。

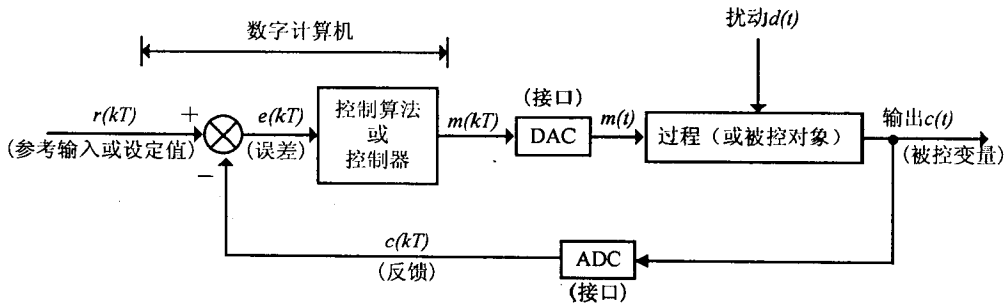


图 1.1-11 闭环数字控制系统方框图

前面讨论的模拟 PID 和 PDF 闭环控制系统,增加适当的接口,就可以变换成对应的数字系统。将连续微分和积分的动态运算,经变换得到等效的离散形式。例如,数字 PID 闭环控制系统如图 1.1-12 所示。从图中可以看出,系统采用了 ADC 和 DAC 接口,并且使用了 z 变换符号表示数字积分和微分运算。

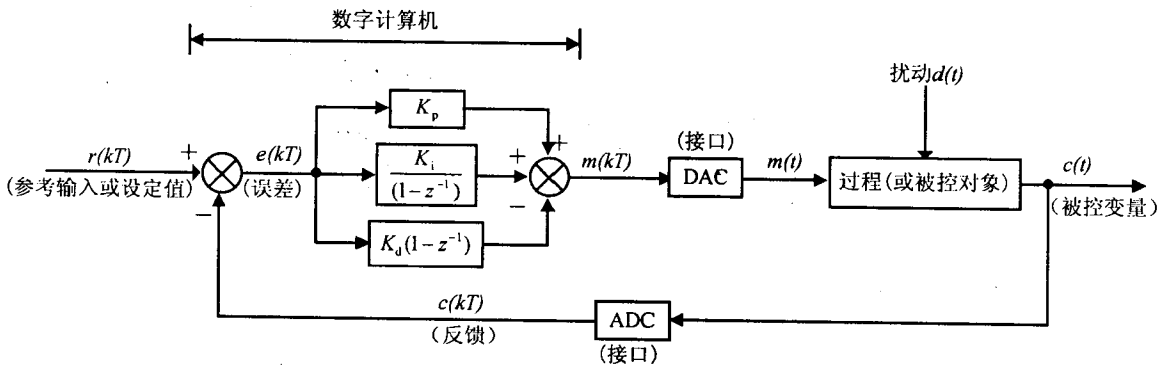


图 1.1-12 数字 PID 控制系统方框图

图 1.1-12 中,比例、积分和微分增益的下标用小写字母,在模拟 PID 控制系统中,其下标用大写字母,这个约定适用全书。

在上述数字滤波器或数字控制器的方框图中,除了 ADC 和 DAC 接口以外,还出现了符号 T 。为了把模拟信号变换成采样序列(数字),以使用计算机进行处理,需要选择采样区间。逐次采样之间的时间间隔称为采样时间或采样周期,用 T 表示。在闭环控制系统中,控制器每隔 T 秒读一次 ADC,并执行它的计算。控制器的输出,经过 DAC 去控制被控对象。控制器的计算时间必须小于对应的采样周期 T ,否则数字系统的性能不能满足要求。

模拟或数字控制系统又可分为调节器和随动系统两类。调节器控制系统要求在存有外部扰动的情况下,保持控制量为常值。设定值(系统输入)为常值。室内供暖控制系统就是调节器的例子。它的控制算法的目标是,不管室外温度如何变化,室内保持常温。设定值就是被恒温器设置的常数。另一个例子是,汽车行驶控制系统。它的目标是,根据驾驶员的设置,不管是上坡还是下坡的扰动情况下,保持汽车常速。这类调节系统常称为定值调节系统,或称自动