

现代控制 系统设计

● 易继错 编著

北京工业大学出版社

TP 273
98

现代控制系统设计

易继镡 编著

北京工业大学出版社

内 容 简 介

本书从工程技术观点出发,系统地讲述了微型计算机控制的基本理论,介绍了工程实际应用中计算机控制系统的建模、分析和设计方法,包括有参数估计、数字控制器的常规设计方法、最优设计方法、自适应控制、模糊控制、预测控制、集散系统、专家系统、数字控制器的工程实现及应用实例等。

本书取材适当,注意了内容的先进性、系统性和实用性,叙述深入浅出,适用于教学和自学,可作为自动控制、工业自动化、计算机应用等专业的教材,也可供从事自动化及微型计算机控制的工程技术人员参考。

JB457/86
20

现代控制系统设计

易继锴 编著

*

北京工业大学出版社出版发行

各地新华书店经销

北京育才印刷厂印刷

*

1992年8月第1版 1992年8月第1次印刷

787×1092毫米32开本 10.75印张 241千字

印数: 1~4000册

ISBN7-5639-0234-1/T·27

定价: 4.50元

(京)新登字212号

前 言

近年来，在电力、冶金、石油、化工等工业生产部门，生产规模不断扩大，工艺流程日趋复杂，对生产过程的自动化程度提出了更高的要求。随着微电子、数字计算机、信息技术的发展，工业生产过程的自动化水平也在不断提高，以现代控制理论、大系统理论、人工智能为基础的各种新型控制方法和各种先进、复杂的计算机控制系统也日益广泛地应用于工业自动化领域。

为了适应这种形势的发展，在教学领域迫切需要有反映最新科学技术的教科书。本书作者在北京工业大学自动化系多年从事教学、科研的基础上，吸取了国内外的许多先进理论、方法和技术编写了《现代控制系统设计》一书。本书初稿曾作为自动化专业学生的课本，并在社会上为工程技术人员开设讲座。

本书主要从工程技术观点出发，系统地讲述了微型计算机控制的基本理论、方法和技术，介绍了工程实际应用的计算机控制系统的建模、分析和设计方法。全书共分十章：第一章介绍计算机控制系统的基本概念、组成和计算机控制理论；第二章介绍计算机离散时间数学模型的建立、离散系统参数的估计问题；第三章介绍常用的数字控制器的常规设计方法，如数字PID控制、纯滞后补偿控制、多变量解耦控制；第四章介绍最优设计方法，包括最小方差控制、线性二次型调节器、估计状态反馈的次最优控制；第五章介绍自校正调

节器，包括自校正控制器及其在干燥过程中的应用；第六章介绍模糊自动控制的基本理论及模糊控制器的设计方法，给出了间歇式反应釜微机模糊控制系统应用实例；第七章介绍了模型算法控制和动态矩阵控制的预测控制；第八章介绍了集散控制系统的基本概念、组成及基本控制器的程序设计；第九章介绍了专家系统的基本知识和专家系统在过程控制中的应用；第十章介绍微型计算机控制系统的工程实现问题，如控制系统的设计要求、控制算法的实现、采样周期的选择、数字滤波方法、系统的抗干扰技术等。

本书力求反映自动化领域的最新技术，把现代控制理论和计算机控制技术有机地结合在一起，并注意了内容的先进性、系统性和实用性，做到深入浅出，简单和复杂并举，理论和实际应用相结合，内容较为丰富和具有一定特点，适用于教学和自学。

由于编者水平有限，书中不妥和错误之处请读者批评指正。

编者

1991.6

目 录

第一章 计算机控制	(1)
§1-1 计算机控制的基本概念.....	(2)
§1-2 计算机控制系统的组成.....	(4)
一、硬件组成.....	(4)
二、软件组成.....	(7)
§1-3 计算机控制系统的分类.....	(12)
一、顺序控制.....	(12)
二、直接数字控制系统 (DDC)	(12)
三、计算机监督控制系统 (SCC)	(13)
四、集散控制系统 (TDCS或DCCS)	(14)
§1-4 计算机控制理论.....	(16)
第二章 系统模型与辨识	(19)
§2-1 系统模型概述.....	(20)
一、模型含义及数学模型分类.....	(20)
二、建立过程数学模型的基本方法.....	(24)
§2-2 面向计算机的数学模型.....	(25)
一、离散时间状态空间模型.....	(26)
二、输入-输出模型.....	(36)
§2-3 面向过程的模型.....	(43)
§2-4 扰动模型.....	(47)
一、扰动影响的减小.....	(47)
二、扰动模型.....	(50)

§2-5	离散系统参数估计	(51)
一、	概述	(51)
二、	递推最小二乘算法 (RLS)	(54)
§2-6	闭环操作下的系统辨识	(58)
一、	问题的提出	(58)
二、	闭环条件下的最小二乘估计	(60)
第三章	数字控制器的常规设计方法	(63)
§3-1	数字PID控制	(63)
一、	离散PID控制算法	(63)
二、	参数整定规则	(65)
§3-2	调节器参数自寻优控制	(68)
一、	单纯形法的寻优方法	(68)
二、	自寻优数字调节器的设计	(71)
§3-3	有纯滞后过程的补偿控制	(73)
一、	史密斯预估补偿控制的原理	(74)
二、	纯滞后补偿器的计算机实现	(75)
§3-4	多变量解耦控制	(77)
一、	解耦控制原理	(77)
二、	对角线矩阵解耦控制	(80)
三、	单位矩阵解耦控制	(82)
四、	前馈补偿解耦控制	(83)
五、	解耦控制的计算机实现	(85)
第四章	最优设计方法	(91)
§4-1	最小方差控制	(91)
§4-2	最优控制——离散二次型最优调节器	(101)
一、	线性二次型控制	(102)
二、	离散二次型最优调节器	(104)

§4-3	围绕非零调整点的最优控制	(114)
§4-4	采用估计状态反馈的次最优控制	(117)
	一、状态观测器设计	(117)
	二、降阶观测器	(123)
	三、估计状态反馈的次最优控制	(125)
§4-5	采用观测器的数字控制	(131)
	一、控制对象的数学模型描述	(131)
	二、有限时间整定观测器	(135)
	三、有限时间整定控制	(139)
第五章	自适应控制	(150)
§5-1	引言	(150)
§5-2	自校正调节器	(153)
	一、预报模型	(154)
	二、自校正调节器	(156)
§5-3	自校正控制器	(158)
	一、问题的提出	(158)
	二、广义最小方差控制	(160)
	三、自校正控制器	(163)
§5-4	自校正调节器在干燥过程中的应用	(166)
	一、干燥过程的数学描述	(167)
	二、自校正前馈调节器	(169)
	三、时滞跟踪策略	(171)
第六章	模糊控制理论及应用	(178)
§6-1	模糊数学的基本概念	(179)
	一、模糊子集的基本概念	(180)
	二、模糊集合的运算	(183)
	三、模糊关系及模糊关系矩阵运算	(186)

§6-2	模糊自动控制工作原理	(190)
§6-3	模糊控制器设计	(193)
	一、精确量的Fuzzy化	(194)
	二、Fuzzy控制规则的构成	(196)
	三、输出信息的Fuzzy判决	(207)
§6-4	间歇式反应釜温度微机模糊控制系统	(210)
	一、酚醛树脂聚合反应过程特性分析	(210)
	二、模糊控制器设计	(212)
	三、微机模糊控制系统的组成	(218)
第七章	预测控制	(220)
§7-1	模型算法控制	(220)
	一、模型算法控制原理	(220)
	二、有纯滞后对象的控制算法	(227)
§7-2	动态矩阵控制	(228)
	一、动态矩阵控制的原理	(228)
	二、动态矩阵控制的参数设计	(238)
第八章	集散控制系统	(242)
§8-1	概述	(242)
	一、集散控制系统与分级分布控制	(242)
	二、集散控制系统的特点	(246)
§8-2	集散控制系统的组成	(248)
	一、基本控制器	(248)
	二、就地操作员接口	(253)
	三、数据通信系统	(258)
	四、CRT操作台和上级计算机控制	(264)
§8-3	基本控制器控制程序设计	(267)
	一、标准算法设计	(267)

二、内存数据结构	(271)
三、基本控制器组态举例	(273)
第九章 专家系统	(275)
§9-1 专家系统知识介绍	(275)
一、什么是专家系统	(275)
二、产生式系统(基于规则的系统)	(277)
§9-2 专家系统在过程控制中的应用	(280)
一、专家控制系统的结构及实现	(281)
二、专家模糊控制器	(282)
三、PID控制专家调节器	(285)
第十章 微型计算机控制系统的实现	(290)
§10-1 微型计算机控制系统的设计	(290)
一、控制系统的典型结构	(290)
二、控制系统的设计	(295)
§10-2 数字控制器的输入和计算时延	(298)
一、同步采样的实现	(298)
二、模拟前置滤波	(299)
三、计算时延	(304)
§10-3 数字控制器算法的实现	(307)
一、直接实现法	(307)
二、串接实现法	(311)
三、并接实现法	(312)
§10-4 选择采样周期的一些实际考虑	(314)
一、根据系统频带选择采样频率	(314)
二、依据信号重构误差及时间延滞选择采样频率	(315)
三、采样频率与系统对干扰的抑制	(318)

四、影响采样频率的其它因素·····	(318)
§10-5 数字滤波方法·····	(320)
一、数字低通滤波法·····	(320)
二、算术平均值法·····	(324)
三、中值滤波法·····	(325)
四、程序判断滤波法·····	(326)
§10-6 微型计算机控制系统的抗干扰技术·····	(327)
一、提高系统可靠性的技术措施·····	(328)
二、干扰源及抗干扰措施·····	(330)
参考文献 ·····	(332)

第一章 计算机控制

随着大规模集成电路技术的发展，数字计算机技术也有了很大进展，微型计算机不仅体积小、功耗低、成本低，而且可靠性也大大提高。由于计算机具有精度高、速度快、存储容量大的特点，以及具有逻辑判断功能，所以它具有较强的信息处理能力，可以实现高级复杂的控制算法。

目前，人们越来越多地用数字计算机来实现控制系统。因此，充分理解计算机控制系统的构成、功能、理论和设计技术是十分必要的。

计算机控制系统可以用图1-1来描述。过程输出 $y(t)$ 是连续时间信号，用模/数转换器(A/D)把此输出转换成数字形式 $\{y(k)\}$ ， k 为采样时刻，通过某种算法来处理这个测量序列，进而给出一个新的序列 $\{u(k)\}$ ，再经数/模转换器(D/A)，把这个序列信号转换成模拟信号 $u(t)$ 。在A/D和D/A变换期间，系统工作在开环状态。上述过程都由计算机

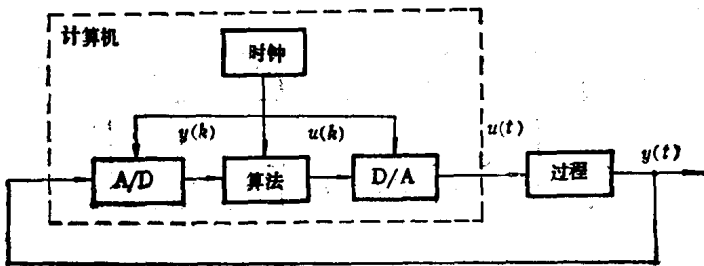


图1-1 计算机控制系统原理图

里的实时时钟进行同步控制。

数字计算机按照时序操作。每次操作都要花一定的时间，在D/A转换期间内，控制信号保持恒定不变。从图1-1可以看出，计算机控制系统既含有连续时间信号，也含有采样信号，即离散时间信号，传统上把这类系统称为采样数据系统。计算机接收受控过程在离散时间上的量测值，再在离散时间上发出新的控制信号，因此我们只关心信号在逐个采样点上的变化，而不关心采样点之间的特性。这类系统将称为离散时间系统，离散时间系统是处理数值序列的，所以这类系统可用差分方程描述。

§1-1 计算机控制的基本概念

自动控制技术在工业生产的各领域中已获得了广泛的应用。在常规模拟控制系统中，基本控制回路是简单的反馈回路，如图1-2所示。被控变量的值是由传感器或变送器来检测，这个值与要求值（给定值）进行比较，得到偏差。控制规律使操作变量变化，以使偏差趋于零。控制器输出通过执行机构作用于过程，执行机构常常是一个自动定位的阀门。

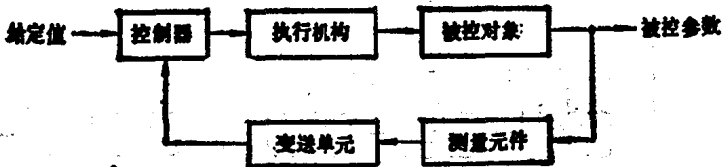


图1-2 控制系统的一般形式

如果把图1-2中的模拟调节器用计算机来代替，就可以

构成计算机控制系统，其基本框图如图1-3所示。如果计算机是微型计算机，就组成微型计算机控制系统。

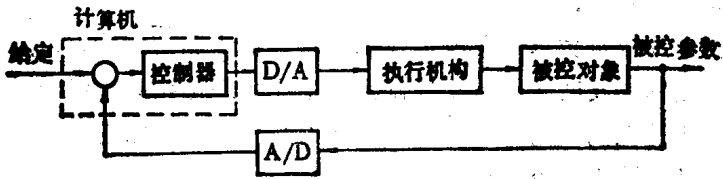


图1-3 计算机控制系统基本框图

在控制系统中引进计算机，就可以充分运用计算机强大的计算、逻辑判断和记忆等信息处理能力。只要运用微处理器的各种指令，就能编出符合某种控制规律的程序。微处理器执行这样的程序，就能实现对被控变量的控制。计算机控制系统，它的控制过程可以归结为以下三个步骤：

- (1) 实时数据采集。对被控变量的瞬时值进行检测。
- (2) 实时决策。对采集到的信息按已定的控制律进行处理，决定进一步的控制过程。
- (3) 实时控制。根据决策分析，适时地对控制机构发出控制信号。

上述所讲的“实时”的含义是指信号的输入、计算和输出都要在一定的时间内完成，即计算机对输入信号，以足够快的速度进行处理，并在一定的时间内作出反应或进行控制。超出了这个时间，就失去了控制的时机，控制也就失去了意义。实时的概念不能脱离具体过程，因过程而异。在过程控制中，如间歇反应釜的温度控制中，延迟几秒是可以的，仍然认为是实时的。而在伺服系统中，一般必须在几毫秒或几十毫秒之内及时控制。实时的指标和以下一些因素有关，如一次仪表的延迟，过程量输入的延迟，计算和逻辑判

断的延迟，控制量输出的延迟，数据传输的延迟等。一个在线的系统不一定是一个实时系统，但一个实时控制系统必定是在线系统。

计算机技术的发展为控制系统开辟了新的途径。现代控制理论的发展又给自动控制系统增添了理论指导。经典的和现代的控制理论以及智能控制理论与计算机相结合，出现了新型的计算机控制系统。

在工业过程控制方面，目前趋向采用以微型计算机为主体的“集散控制系统”(Total Distributed Control System, 缩写为TDCS)，即把整个连续的生产过程按装置分成几个部分，而对每个部分则用微型计算机来进行监督和控制。

§1-2 计算机控制系统的组成

工业过程计算机控制系统是由工业控制对象和工业控制计算机两部分组成。近年来，由于微型计算机的发展，工业过程控制的计算机中最后一级趋向采用微型计算机。一个计算机实时控制系统应该包括硬件和软件两部分。

一、硬件组成

微型机控制系统的硬件一般包括：微处理器，内存存储器，过程输入通道(包括模拟量、开关量)，过程输出通道(包括模拟量、开关量)，人-机联系设备，运行操作台等几部分。它们通过微处理的系统总线(地址总线，数据总线和控制总线)，构成一个完整的系统，其组成框图如图1-4所示。下面对各部分作一简要说明。

1. 主机

微处理器是控制系统的核心，它和内存存储器一起称为主

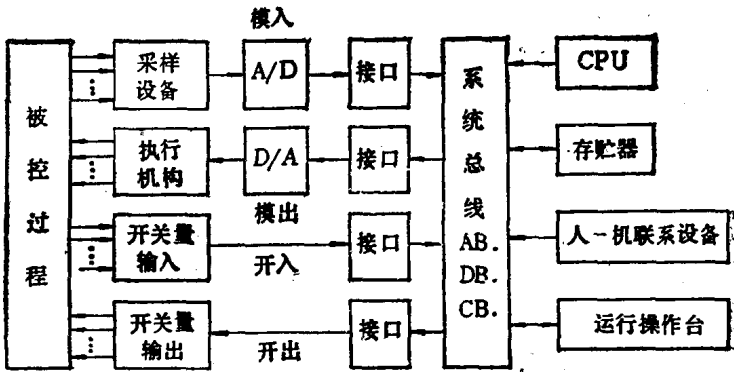


图1-4 微机控制系统硬件组成

机，主机根据过程输入通道发送来的工业对象的生产工况参数，按照人们预先安排的程序，自动地进行信息的处理、分析和计算，并作出相应的控制决策。通过输出通道及时发出控制命令。主机中的程序和控制数据是人们事先根据控制规律安排的。

2. 过程输入、输出通道 (I/O口)

工业现场的过程参数一般是非电量的，需经传感器（称一次仪表）变换为等效的电信号。为了实现计算机对生产过程的控制，必须在计算机和生产过程之间设置信息的传递和变换的连接通道，这就是过程输入输出通道，它是生产过程控制特殊要求的。

过程输入/输出 (I/O) 通道分为模拟量 (I/O口) 通道和开关量 (I/O口) 通道，有时称为模入模出通道和开入开出通道。

3. 外部设备

常规外部设备按功能可分成三类：输入设备、输出设备和外存贮器。输入设备主要用来输入程序和数据，如键盘、纸带输入机等。常用的输出设备有打印机、记录仪、显示器（数码显示器或CRT显示器）等。输出设备主要用来把各种信息和数据按人们容易接受的形式，如数字、曲线、字符等提供给操作人员，以便及时了解控制过程的情况。外存贮器主要用来存贮系统程序和有关数据，如磁带装置、磁盘装置等。下面将对软磁盘及其驱动器作一简要说明。

(1) 软磁盘 软磁盘是一种涂有磁性氧化物的柔软圆盘，如图1-5所示。标准的软盘通常具有77个磁道，即最外边的称00磁道，靠近主轴驱动孔的称76磁道。其中的一个磁道（位于索引孔）用于索引，其余76个磁道全部用于存贮数据，每个磁道分成若干磁段。确定磁段的方法有两种：硬分段和软分段。硬分段法是在软盘中冲出32个孔，以确定32个128字节的磁段。这样可以得到较高的数据密度。软分段法是在软盘中只冲1个孔，以作为零段开始的标志，数段由用户来规定。由于每段必须清楚地辨别，所以段与段之间用间歇分开，并且前置一个首标以辨别磁段。这样，同硬分段法相比，其数据密度较低，但因每次存取时能确切地分辨磁段，所以可靠性较高。

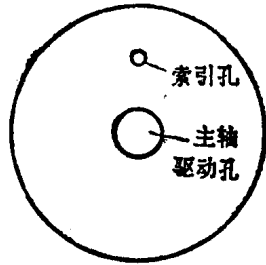


图1-5 软磁盘外形

(2) 软磁盘驱动器 软磁盘驱动器包括使磁盘旋转和存取数据所需要的机械装置和电路。软磁盘是套在磁盘纸套内，由马达主轴驱动，在套内旋转。在纸套上，沿半径方向开有一个长孔，以便读写磁头进行存取。此外，在纸套上还