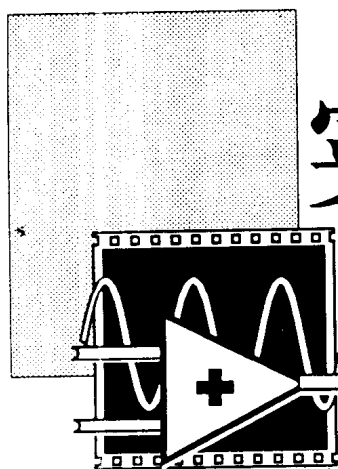


实用微机与单片机 控制技术

陈汝全 林水生 编



电子科技大学出版社



实用微机与单片机 控制技术

陈汝全 林水生 编

电子科技大学出版社

• 1993 •

[川]新登字 016 号

实用微机与单片机控制技术

陈汝全 林水生 编

*

电子科技大学出版社出版

(成都建设北路二段四号)邮编 610054

电子科技大学印刷厂印刷

四川省新华书店经销

*

开本 787×1092 1/16 印张 14.5 字数 360 千字

版次 1993 年 11 月第一版 印次 1993 年 11 月第一次印刷

印数 1—3000 册

中国标准书号 ISBN 7-81016-581-X/TP·47

定价:12.50 元

前 言

目前虽有不少的微机控制书籍,但有的偏重理论,有的偏深、偏专或偏多,而且有些内容比较陈旧。对于应用电子技术专业,至今尚无一本合适的教材。经过几年的教学实践和科研工作积累的经验以及毕业生分配工作后的反馈信息,我们确定了编写宗旨:精选理论内容,大量增加实用技术,以控制主流机的单片机为主要机型,用最短的时间,给读者比较完整的微机应用系统设计的知识和技术,以适应社会经济发展的需要。

本书共分八章及附录。章末有复习思考题,有的可作为习题。第一章是整个微机控制系统的发展概貌,使读者有一总体概念。第二章数字PID控制技术,第三章开环控制和第四章模糊控制是本书的主要控制理论部分。其中模糊控制是近几年发展起来且很有前途的控制方法,过去一般微机控制教材上未讲,最近才有个别教材讲到。第五章是一种传统的理论设计方法。第六章和第七章是设计微机控制系统的具体实践。其中第六章对一般工业微机控制系统可能要碰到的问题作了较全面系统的介绍,举了不少实例和应用程序。第七章从微机工业应用系统的整体设计出发,从硬件、软件设计角度全面介绍如何设计微机控制系统。在前几章基础上,再通过这两章的学习,读者就具备了设计实用微机工业检测控制系统的基本知识、技术和能力。最后第八章是与微机工业控制系统配合的一些知识和资料,实用中往往不可少。

本书理论精简,实例丰富,配有程序,方便复习,适于自学,不仅可作教材,对工业控制、智能仪表等广大技术人员和微机单片机爱好者、工作者也很有参考价值。也可作为职大、培训班教材或参考书。

本书也可说是《微机与单片机接口技术及应用》的姊妹篇,如果说《接口》偏硬一些,则该书《控制》偏软一些,两者既相辅相成,又有相对的独立性。

电子科技大学吕祥珍副教授对全书初稿进行了认真审阅,提出了许多宝贵意见和有益的建议,在此表示衷心感谢!

如能得到上帝的意见和指教,我们倍加高兴。

编 者

于电子科技大学

1993.7

ET542/03

目 录

第一章 微机控制系统发展概述

§ 1.1 微机控制系统	1
§ 1.2 微机控制系统发展趋势	6
复习参考题	9

第二章 数字 PID 控制技术

§ 2.1 数字 PID 控制规律	10
§ 2.2 大林算法	28
§ 2.3 PID 控制系统实例	33
复习参考题	41

第三章 开环控制

§ 3.1 微机顺序控制器	42
§ 3.2 开环数值控制器	50
§ 3.3 步进电机控制	57
复习参考题	75

第四章 模糊控制

§ 4.1 模糊数学的基本概念和常用术语	77
§ 4.2 模糊决策	82
§ 4.3 模糊推理	83
§ 4.4 模糊控制器设计	87
§ 4.5 模糊控制系统应用举例	101
复习参考题	105

第五章 数字控制器的直接设计方法

§ 5.1 参数优化的低阶控制算法	107
§ 5.2 最少拍控制系统的设计	109
§ 5.3 最少拍无纹波控制系统的设计	115
复习参考题	116

第六章 微机控制系统应用程序设计

§ 6.1 应用程序设计原则与方法	118
§ 6.2 判断程序设计	119
§ 6.3 巡回检测程序	123

§ 6.4 数字滤波程序	125
§ 6.5 标度变换和漂移误差的自校准	133
§ 6.6 上下限报警处理程序	139
§ 6.7 LED 数码管显示程序设计	146
§ 6.8 定时程序	150
§ 6.9 键盘程序	152
§ 6.10 抗干扰程序设计	157
§ 6.11 监控程序设计思想与方法	167
复习参考题	175

第七章 微机控制系统设计与实践

§ 7.1 微机控制系统设计的基本要求和特点	177
§ 7.2 微机控制系统设计的一般步骤	179
§ 7.3 微机控制系统设计应考虑的重要问题	183
§ 7.4 单片机 BASE 总线介绍	187
§ 7.5 微机控制系统设计举例	191
复习参考题	201

第八章 常用电动控制单元仪表及输出驱动电路

§ 8.1 模拟输入通道和输出通道	202
§ 8.2 我国电动单元仪表介绍	206
§ 8.3 常用输出驱动电路	209
复习思考题	215
部分习题参考答案	216
附录 A 采样系统的 Z 变换	217
附录 B 模糊集合的运算	223
参考资料	226

第一章 微机控制系统发展概述

§ 1.1 微机控制系统

一、优点及用途

微机控制系统的快速计算、灵活多样的逻辑判断和高效的信息加工能力使自动控制进入了更高一级的领域,提高了生产过程的自动化程度,减少了人工干预,并不断地完善和满足工农业生产和国防科技日益增长的需要。微机控制系统由于具有成本低、体积小、功耗少、可靠性高和使用灵活等特点,因而广泛地应用于工农业生产、交通运输、国防建设和空间技术等各个领域。其控制对象已从单一的工艺流程控制扩展到企业生产过程的管理和控制。随着微机和单片机的推广使用,实现信息自动化与过程控制相结合的分级分布式计算机控制使控制技术的水平发展到一个崭新的阶段。

计算机用于工业控制也是近年来发展非常广泛、非常活跃的领域之一。最初是采用小型计算机对生产进行控制,或者用来对模拟系统进行监视。由于小型计算机系统价格昂贵,所以多采用集中控制。随着微机的发展,计算机在这一领域的应用也有了飞速发展。

现在,当你走进一个自动化的生产车间,将会看到许多常规的控制仪表和调节器已经为计算机所取代。计算机不断地监视整个生产过程,对生产中的各个参数,如温度、压力、流量、液位、转速和成分等进行采样,迅速进行复杂的数据处理,打印和显示生产工艺过程的统计数字和参数,并发出各种控制命令。用计算机对生产过程进行控制的主要优点是:

- 帮助操作人员选择最优工艺和最佳操作参数;
- 实现用传统方法难以完成的控制规律;
- 降低原料和能源的消耗,减少成本;
- 提高产品的产量和质量。

二、组成

微机控制系统由微机和其他工业生产对象两大部分组成,其中包括硬件和软件。硬件是指微机本身及其外部设备;软件是指管理微机的程序以及过程控制应用程序。硬件是微机控制系统的基础,软件是微机控制系统的灵魂。微机控制系统是通过各种接口及外部设备与生产过程发生关系,并对生产过程进行数据处理及控制的。典型的微机控制系统如图 1-1 所示。

在图 1-1 中,检测的参数经传感器、变送器,转换成统一的标准信号,再经多路开关分时送到 A/D 转换器进行模拟/数字转换,转换后的数字量通过接口送到微机,这是模拟量输入通道。在计算机内部,用软件对采集的数据进行处理和计算,然后经模拟量输出通道输出。输出的数字量通过 D/A 变换器转换成模拟量,再经反多路开关(也称多路分配器)与相应的执行机构相连,并对被测参数进行控制。

1. 硬件

硬件是由主机、接口电路及外部设备组成的。由于系统的不同,组成微机系统的硬件多少也不同,一般根据控制系统的需要可任意进行扩展。现在已经生产出具有各种功能的插件板,

并用标准总线连接起来,使用非常方便。如 STD 总线构成的各种工业控制机,即属此类。

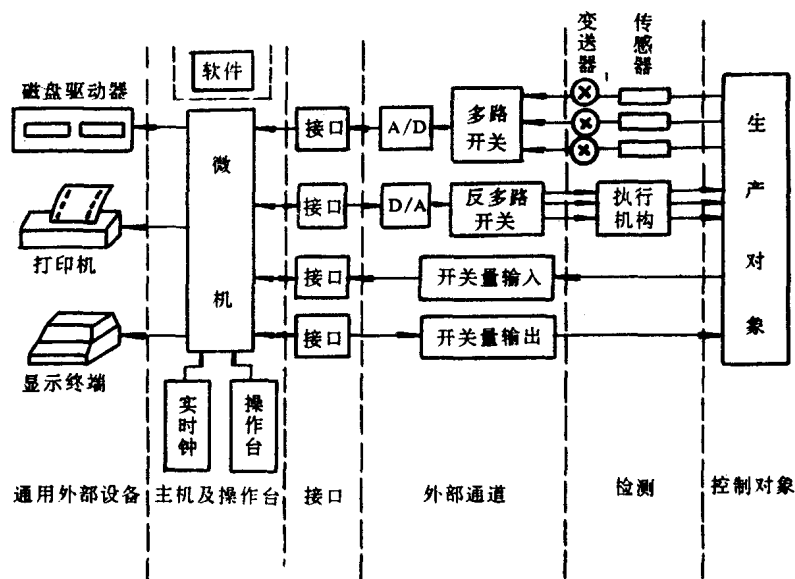


图 1-1 微机控制系统框图

典型的微机控制系统包括：

- 主机(CPU):它是整个控制系统的指挥部。
- 接口与输入输出通道:它是主机与被控对象进行信息交换的纽带。
- 通用外部设备:通用外部设备主要是为了扩大主机的功能而设置的。它们用来显示、打印、存储及传送数据。

• 检测元件及仪表:在微机控制系统中,为了收集和测量各种参数,广泛采用了各种检测元件及仪表,它们的主要功能是把被检测参数的非电量转变成电量,如热电偶把温度变成毫伏信号,压力变送器把压力变成电信号等等。这些信号转换成统一的微机标准电平后再送入微机。因此,检测元件精度的高低直接影响微机控制系统的精度。

此外,为了控制生产过程,还需有执行机构。常用的执行机构有电动、液动和气动等控制形式,另外,还有马达和步进电机。

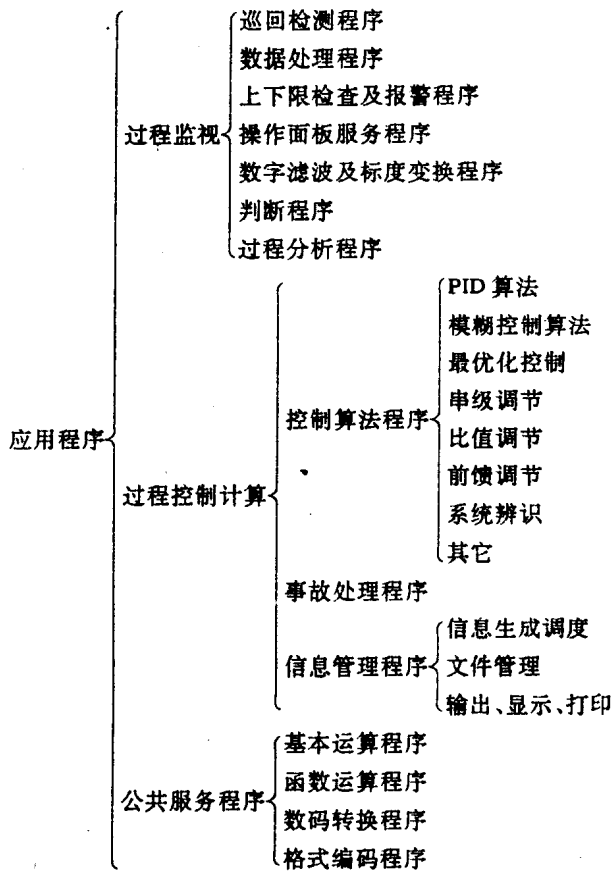
• 操作台:操作台是人机对话的联系纽带。通过它人们可以向微机输入程序,修改内存中的数据,显示被测参数以及发出各种操作命令等。

2. 软件

软件是指能完成各种功能的计算机程序的总和,如操作系统、监控程序、管理程序、控制程序、计算和自诊断程序等。因此,软件是微机系统的神经中枢,整个系统都是在软件的指挥下进行协调工作的。就功能来分,软件又可分为系统软件和应用软件。

系统软件一般是由微机设计者提供的,专门用来使用和管理微机本身的程序,比如监控程序。

应用软件就是面向用户本身的程序。如工业过程控制系统中各种 A/D、D/A 转换程序,数据采集、滤波程序,计算程序以及各种过程控制程序等等。一般应用程序都是用户根据需要自行编写,所以应用程序的设计是本书主要介绍的内容之一,如下表所示。



三、分类

1. 操作指导控制系统

操作指导控制系统属开环控制结构,如图 1-2 所示。微机的输出部分与生产过程的各个环节不直接发生联系,控制动作实际上由操作人员按计算数据进行必要的操作。其优点是结构简单,控制灵活和安全。缺点是要由人工操作,速度受到限制,且不能控制多个对象。它常用于进行数据检测、处理及试验新的数学模型和调试新的控制程序等。

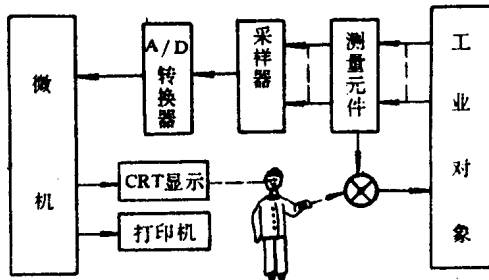


图 1-2 操作指导控制系统原理

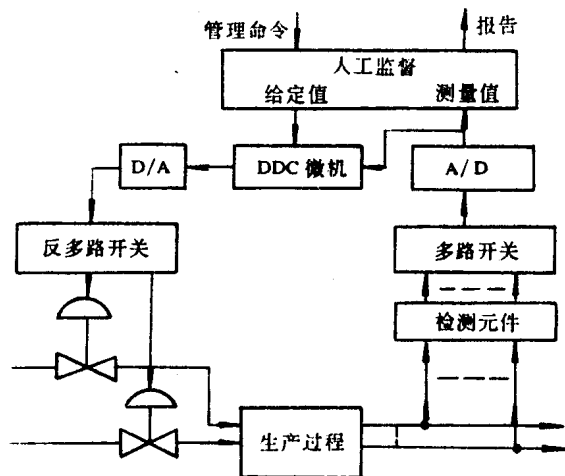


图 1-3 DDC 控制系统原理

2. 直接数字控制系统 (DDC)

DDC (Direct Digital Control) 控制就是用一台微机对多个被控参数进行巡回检测, 将检测结果与设定值进行比较, 再按事先规定的控制规律如 PID 控制规律、模糊控制规律或直接数字等方法进行控制运算, 然后输出到执行机构对生产过程进行控制, 使被控参数稳定在给定值上。其系统原理如图 1-3 所示。

3. 计算机监督控制系统 (SCC)

计算机监督控制系统 (Supervisory Computer Control) 简称 SCC 系统。SCC 系统较 DDC 系统更接近生产变化的实际情况, 它不仅可以进行给定值控制, 同时还可以进行顺序控制、最优控制以及自适应控制等, 它是操作指导和 DDC 系统的综合与发展。

SCC 系统就其结构来讲有两种: 一种是 SCC+模拟调节器, 另一种是 SCC+DDC 控制系统。

(1) SCC+模拟调节器控制系统

在此系统中, SCC 监督计算机的作用是收集检测信号及执行管理命令, 按照一定的数学模型计算后, 输出给定值到模拟调节器。此给定值在模拟调节器中与检测值进行比较, 其偏差值经模拟调节器计算后输出到执行机构, 以达到调节生产过程的目的, 而一般的模拟系统是不能随意改变给定值的。因此, 这种系统特别适合于老企业的技术改造, 既用上了原有的模拟调节器, 又实现了最佳给定值控制, 其原理如图 1-4 所示。

(2) SCC+DDC 控制系统

该系统为两级计算机控制系统, 一级为监督级 SCC, 其作用与 SCC+模拟调节器中的 SCC 一样, 用来计算最佳给定值。直接数字控制器 DDC 用来把给定值与测量值 (数字量) 进行比较, 其偏差由 DDC 进行数字控制计算, 然后经 D/A 转换器和多路开关分别控制各个执行机构进行调节。与 SCC+模拟调节器系统相比, 其控制规律可以改变, 使用更加灵活, 而且一台 DDC 可以控制多个回路, 使系统比较简单。SCC+DDC 控制系统原理如图 1-5 所示。

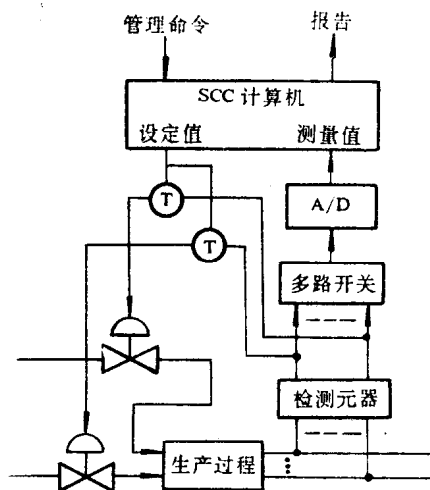


图 1-4 SCC+模拟调节器控制系统原理

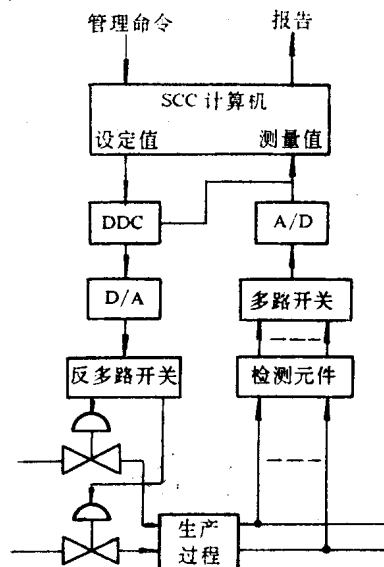


图 1-5 SCC+DDC 控制系统原理

总之, SCC 系统比 DDC 系统有着更大的优越性, 可以接近于生产的实际情况。另一方面,

当系统中模拟调节器或 DDC 控制器出了故障时,可用 SCC 系统代替调节器进行调节。因此,大大提高了系统的可靠性。但是,由于生产过程的复杂性,其数学模型建立是比较困难的,所以此系统实现起来比较困难。

4. 分布控制系统(DCS)

分布控制系统 (Distributed Control Systems) 简称 DCS 系统。它是分级结构系统,是以一个主计算机和两个或更多个从计算机为基础的一种结构体系,所以也叫主从结构或树形结构,如图 1-6 所示。从机绝大部分时间都是并行工作的,只是必要时才与主机通信。该系统的特点是分散控制,集中管理。其可靠性大大提高,控制更加灵活方便,速度更快。

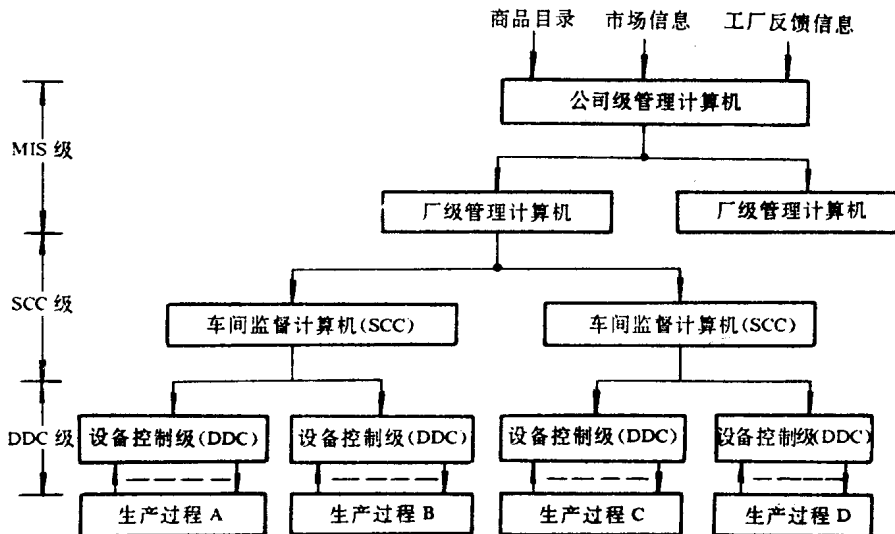


图 1-6 分级计算机控制系统

以前我国 DCS 系统几乎都是应用国外的产品。近年电子部六所经过广泛地调查国外多家分布式控制系统,深入地分析了它们的体系结构,支撑软件,应用软件和可靠性技术,经过充分论证,博众家之长,运用可靠性设计技术、维修性设计技术和优化设计技术,开发了具有国际 90 年代水平的分布式控制系统 HS-DCS-1000,如图 1-7 所示。该系统的硬件结构具有如下特点:

- 工程师站和操作员站都以 386 的工业 PC 机为基础。
- 工程师站和操作员站采用 VGA 卡,以增强图形处理功能。
- I/O 站采用小板结构,连接器采用 96 针插针式的,符合 DIN C 96F-B 规格。
- 网络采用双冗余方式,以确保通信的可靠性。

该系统具有高可靠的硬件基础,配有高效的实时多任务操作系统和功能齐备的组态支持系统软件。系统可以方便地组成自动检测,报警处理,自动控制和管理功能,并具有很强的伸缩性。大的配置可以控制管理一个大中型的工业过程,采集几百点、几千点,控制几十到几百个回路。小的配置可以只采集几十、上百点,控制管理一个小型的工业过程。该系统的硬件和软件均采用组态结构,配置灵活,组态方便。系统采用双冗余的令牌总线局域网络将各个操作员站

和 I/O 采集控制站连结起来。一套系统的最大配置可以容纳 10 个操作员站和 50 个 I/O 采集控制站。每个 I/O 站的配置如下：

- 模拟量输入 64 路,最大可扩充到 128 路,模拟量输入可以是信号,也可以是小信号。信号有隔离型和非隔离型两种。

- 开关量输入输出 128 路,开关量采用隔离型。

- 脉冲量输入 32 路。

- 中断型开关量输入(SOE 信号)32 路。

更详细的内容可参阅参考资料[26]。

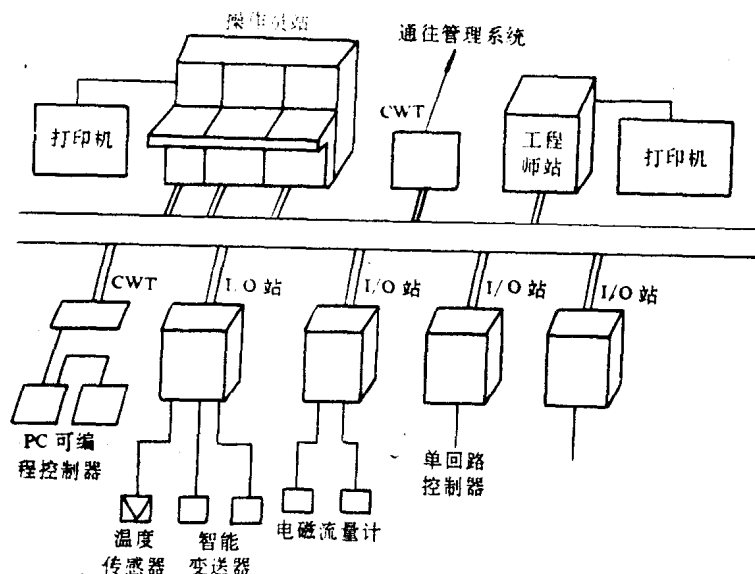


图 1-7 HS-DCS-1000 分布式控制系统原理

§ 1.2 微机控制系统发展趋势

微机控制系统的发展趋势有如下几个方面：

一、可编程控制器

普及工业用可编程序控制器(Programmable Controller 简称 PC)是采用微机芯片,根据工业生产特点而发展起来的一种控制器,它具有下述特点：

- 可靠性高,有较强的抗干扰能力,便于工业现场使用,一旦出现故障,具有停电保护、自诊断等功能。

- 采用功能模块化结构,可根据要求进行组合和扩充。

- 具有独立的编程器,编程简单,易于掌握。

- 价格低廉。

近年来,由于开发了具有智能 I/O 模块的 PC,它可以将顺序控制和过程控制结合在一起,

实现对生产过程的控制。可以预料,进一步完善和系列化的 PC 将作为下一代通用控制设备,大量地应用在工业生产自动化系统中。

二、集散系统

采用集散系统是微机控制系统的发展趋势之一,它可提高控制性能,是新型的控制系统。集散控制系统是分散型综合控制系统(Total Distributed Control Systems)或分散型微处理器控制系统(Distributed Microprocessor Control Systems)的简称。

现代工业过程对控制系统的要求已不局限于能实现自动控制,还要求能长期在最佳状态下运行。对一个规模庞大、结构复杂、多功能、多因素的工程大系统,要解决生产过程综合自动化的问题。

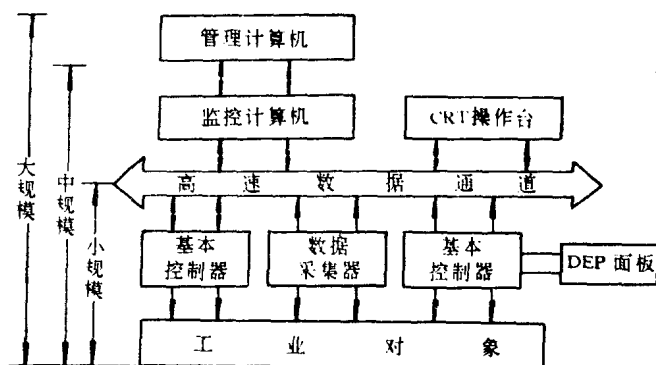


图 1-8 集散系统组成框图

图 1-8 是集散控制系统的组成框图。它以微机为核心,把微机、工业控制计算机、数据通信系统、显示操作装置、输入/输出通道、模拟仪表等有机地结合起来,为组合系统的综合自动化创造了条件。从图中可以看到,它是一种典型的分级分布式控制结构。自动控制方式的设定值可由操作人员在数据输入板 DEP 上设定。数据采集器用来收集现场控制信息和过程变化的信息。集散控制系统既有微机控制系统控制算式先进、精度高、响应速度快的优点,又有仪表控制系统安全可靠、维护方便的优点。

三、神经网络控制系统

国外 80 年代掀起了神经网络(Neural Network 简称 NN)及应用研究热潮,90 年代以来我国也开始这方面的研究。由于 NN 的特点,使它的应用愈来愈广,其中一个重要的方面是智能控制,包含机器人控制。NN 的主要特点是大规模的并行处理和分布式的信息存储,良好的自适应性,自组织性,并且有很强的学习功能,联想功能和容错功能。

目前有三种典型的 NN 模型,即分层网络的感知机模型,联想型网络的 Hopfield 模型和具有自组织能力的认知机模型。参考文献[16]提出了一种 NN 自动调节 PID 的关联方法,采用的多层感知器,如图 1-9(一层隐藏层网络)和图 1-10(两层隐藏层网络)所示。文中分析了多层感知器学习问题的公式。用此公式算出的 PID 控制参数 K_p (比例系数)、 T_i (积分系数)和 T_d (微分系数)的误差比传统的多项式误差要小得多,如表 1-1 所示。其阶跃响应的结果如图 1-11 和

图 1-12 所示。从图中看出 NN 明显地改善了响应特性。该方式可用于开环控制和闭环控制。

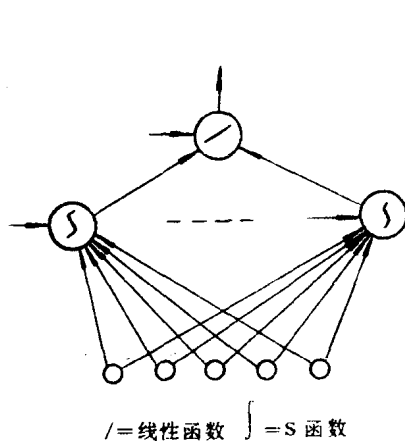


图 1-9 一层隐藏层网络

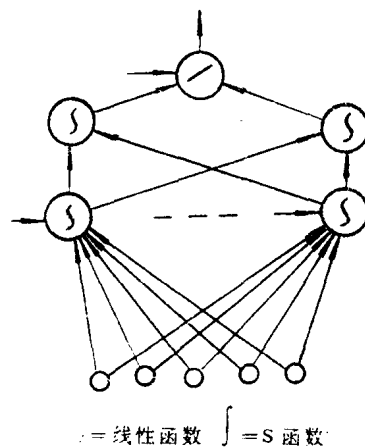


图 1-10 两层隐藏层网络

表 1-1

	K_p		T_i		T_d	
	平方误差	主要相关点绝对误差	平方误差	主要相关点绝对误差	平方误差	主要相关点绝对误差
多层感知器 (1 层隐藏层)	0.28	1.09	0.89	1.04	0.14	1.77
多层感知器 (2 层隐藏层)	0.27	0.95	0.62	0.69	0.13	1.5
二阶多项式	0.57	2.12	1.36	3.81	0.20	4.06
三阶多项式	0.43	0.89	1.04	1.66	0.19	1.89

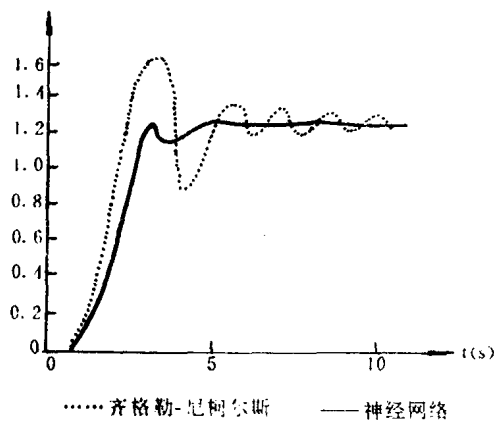


图 1-11 装置 A 的闭合回路阶跃响应

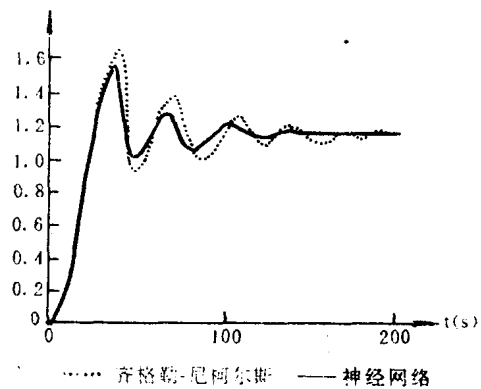


图 1-12 装置 B 的闭合回路阶跃响应

参考资料[27]介绍了 NN 在机器人控制中的应用。机器人控制是由上下两层组成的多层

次控制结构。上层控制主要完成识别、判断和行动、规划等各种处理；下层控制主要根据上层控制处理的结果进行相应的运动控制，并给出了工业机器人 PVMA-260 学习控制实验。结果表明，经 6 秒钟对训练模式反复进行 600 次学习，3 个关节的轨迹的平方误差显著减少。

复习思考题

1. 微机控制系统硬件主要由哪几部分构成？各自的作用是什么？
2. 微机控制系统的软件应用程序包括哪几大部分？
3. SCC+模拟调节器控制系统与 SCC+DDC 的主要差别是什么？
4. DCS 系统的主要特点是什么？
5. 微机集散系统为什么是今后微机控制系统的主要发展方向？
6. 神经网络控制系统的主要特点是什么？
7. 画出玻璃窑炉计算机多点温度控制系统的方框图。
8. 控制对象是指所要控制的机器或设备。控制对象可用传递函数来表征其特性，即用放大系数 K_c ，惯性时间常数 T_m 和纯滞后时间 τ 来描述。控制对象传递函数可分为三类：

$$(1) \text{ 惯性环节} \quad G(S) = \frac{K_c}{(1 + T_m \cdot S)^n} \quad n=1, 2, \dots$$

$$(2) \text{ 积分环节} \quad G(S) = \frac{1}{T_i \cdot S^n} \quad n=1, 2, \dots$$

$$(3) \text{ 纯滞后环节} \quad G(S) = e^{-\tau S}$$

实际对象可能是上述任两种的组合（串联），请写出其组合后的传递函数。

第二章 数字 PID 控制技术

在模拟控制系统中是将被测参数,如温度、压力、流量、成份、液位等,由传感器变换成统一的标准信号后输入调节器,在调节器中与给定值进行比较,再把比较出的差值经 PID 运算后送到执行机构,改变输入量,以达到自动调节的目的。这种系统多用电动(或气动)单元组合仪表 DDZ(或 QDZ)来完成。而在数字控制系统中,则是用数字调节器来代替模拟调节器。其调节过程是首先采集过程参数信号,并通过模拟量输入通道将模拟量变成数字量,这些数字量通过计算机按一定控制算法进行运算处理,运算结果经 D/A 转换成模拟量后由模拟量输出通道输出,并通过执行机构去控制输入量,以达到给定值。

由于数字控制系统与模拟控制系统控制方法不同,所以它们使用的数学工具也不同,如表 2-1 所示。

表 2-1

分类	系统	连续系统	离散系统
	方法		
输入量与输出量之关系		微分方程	差分方程
数学工具		拉氏变换	Z 变换
使用函数		传递函数	脉冲传递函数
现代控制理论		状态方程	离散时间状态方程

按偏差的比例、积分和微分进行控制的调节器(简称为 PID 调节器),是连续系统中技术成熟,应用最为广泛的一种调节器。它的结构简单,参数易于调整,在长期应用中已积累了丰富的经验。特别在工业过程控制中,由于控制对象的精确数学模型难以建立,系统的参数又经常发生变化,运用现代控制理论分析综合要耗费很大代价进行模型辨识,且往往不能得到预期的效果,所以人们常采用 PID 调节器,并根据经验进行在线整定。随着计算机特别是微机技术的发展, PID 数字控制算法已能用微机 and 单片机简单实现。由于软件系统的灵活性, PID 算法可以得到修正而更加完善。在本章中,将介绍数字 PID 控制算法和 PID 控制系统实例。

§ 2.1 数字 PID 控制规律

一、PID 控制规律的数字实现

1. 优点

PID 调节之所以不衰,而且在数字化的计算机时代仍能得到广泛应用,主要有下面优点:

(1) 技术成熟

PID 调节是连续系统中技术最成熟,且应用最广泛的一种控制方法。它的结构灵活,不仅可以用常规的 PID 调节,而且可以根据系统的要求,采用各种 PID 的变种,如 PI、PD 控制,不

完全微分控制,积分分离式PID控制,带死区的PID控制,变速积分PID控制,比例PID控制等等。在PID控制系统中,系统参数整定方便,而且在大多数工业生产过程中效果比较好。

(2) 易被人们熟悉和掌握

生产技术人员及操作人员都比较熟悉它,并在实践中积累了丰富的经验,特别是一些工作时间比较长的工程技术人员更是如此。

(3) 不要求出数学模型

到目前为止,仍有许多工业对象得不到或很难得到精确的数学模型,应用直接数字控制方法比较困难甚至根本不可能,所以必须应用PID算法。

(4) 控制效果好

虽然计算机控制是离散的,但对于时间常数比较大的系统来说,近似于连续变化。因此,用数字PID完全可以代替模拟调节器,所以,数字方式模拟PID调节器仍是目前应用比较广的方法之一。

2. 原理

此控制器是一种线性调节器,其框图如图2-1所示。PID控制器把设定值 W 与实际输出值 Y 相减,得到控制偏差 e ,偏差值 e 经比例、积分和微分后通过线性组合构成控制量 u ,然后用 u 对对象进行控制。下面分别讨论比例调节器P、积分调节器I、微分调节器D的作用。

(1) 比例调节器

比例调节器是一种简单的调节器,控制规律为

$$u = K_p \times e + u_0 \tag{2-1}$$

式中 K_p 为比例系数, u_0 为控制常量,即误差为零时的控制变量。

图2-2示出比例调节器对于误差 e 阶跃变化的时间响应。比例调节器对误差 e 是即时响应的,误差一旦产生,调节器立即产生控制作用,使被控制的过程变量 Y 向减小误差的方向变化。式(2-1)表明,只有当误差 e 发生变化时,控制变量 u 才变化。对于某些控制对象,存在静差,例如蒸气加热的温度控制系统,通过调节蒸气的阀门来控制炉子温度,如果由于负载的变化(如进料(冷)和出料(热)的流量变化)使误差迅速跃升到一个固定值,阀门的开度增加一个与误差成比例的常量。如果误差不变,新的阀门位置也不变,也就是说对于任何新的阀门位置(不等于控制常量 u_0)必须有一个误差的确定值。可见比例调节器能使误差减小,但不能减小到零,有残存的误差(静差)。加大比例系数 K_p ,可以减小静差,但当 K_p 过大时,会使动态质量变差,导致系统不稳定。

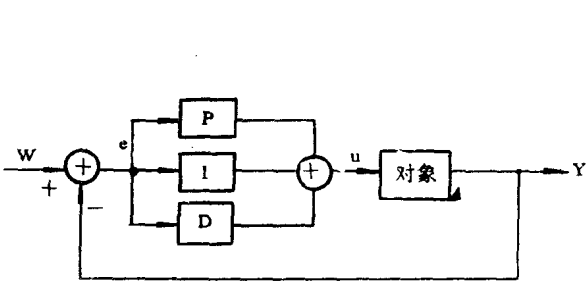


图 2-1 PID 控制器框图

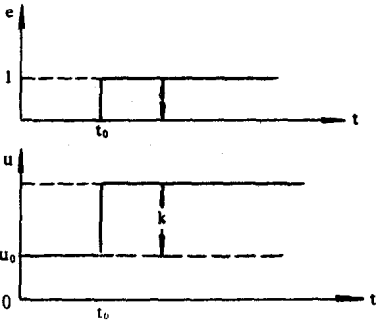


图 2-2 比例调节器的阶跃响应