

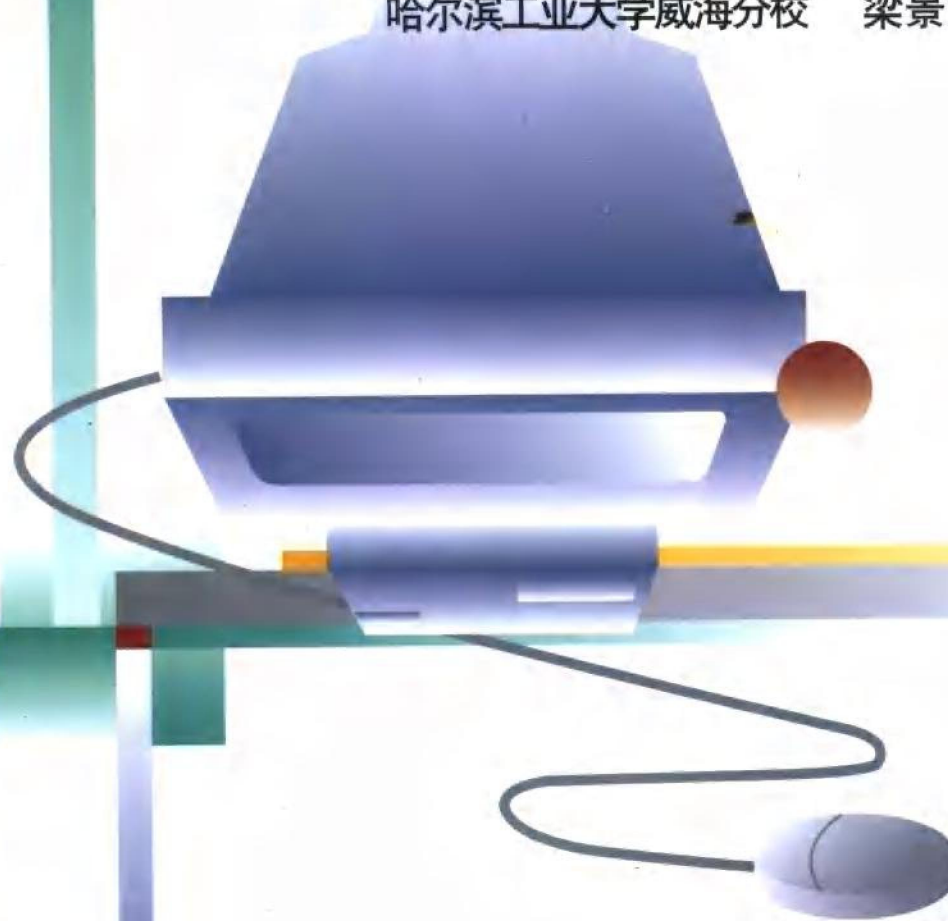
普通高等教育“九五”国家级重点教材

GZ

普通高等专科学校教育机电类规划教材

计算机控制技术 与应用

湘潭机电高等专科学校 刘国荣 主编
哈尔滨工业大学威海分校 梁景凯



机械工业出版社

00007375

普通高等教育“九五”国家级重点教材



TP273
221

普通高等专科学校教育机电类规划教材

计算机控制技术与应用

J586/35

主编 刘国荣 梁景凯

参编 (按姓氏笔划为序)

何一鸣 徐军

葛运旺 臧海河

主审 李全利



机械工业出版社



C0486363

本书是普通高等专科学校教育电气类专业“九五”规划教材，并被确定为“九五”普通高等教育国家级重点教材。

本书从应用的角度出发，系统地介绍了计算机控制技术的基础理论、控制方法、硬件设计和系统设计方法。全书共分十一章，内容包括：概述，数字控制理论基础，数字控制器直接设计方法，几种常规的控制方法，过程通道，工业控制计算机，计算机控制系统抗干扰技术，计算机数据采集和数据处理系统，计算机直接数字控制系统的设计，计算机直接数字控制系统设计实例和集散控制系统。

本书系统性好，重点突出，注重实用，并吸取了近几年来计算机控制领域已开发应用的一些新技术、新成果。本书为普通高等工程专科学校工业电气自动化、电气技术和计算机应用与维护等专业计算机控制技术课程教材，也可作为成人教育相应专业教材或教学参考书，亦可供有关专业技术人员参考。

计算机控制技术与应用

湘潭机电高等专科学校 刘国荣 主编
哈尔滨工业大学威海分校 梁景凯

*

责任编辑：韩雪清 版式设计：霍永明
封面设计：姚毅 责任校对：张媛
责任印制：路琳

*

机械工业出版社出版（北京市百万庄大街22号）

邮政编码：100037

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

北京机工印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092¹/₁₆·印张 14·字数 339 千字

1999年5月第1版第1次印刷

印数 0 001—6 000 定价：18.00 元

*

ISBN 7-111-06854-8/TP·902（课）

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

前 言

本书是普通高等专科学校教育电气类专业“九五”规划教材，并被确定为“九五”普通高等教育国家级重点教材，由机械工业部教材编辑室和全国高等专科学校电气工程类专业教学指导委员会组织，根据高等专科学校工业电气自动化专业“计算机控制技术与应用”课程教学大纲要求编写而成，并由全国高等专科学校电气工程类专业教学指导委员会组织审定通过。

全书共分十一章，内容包括：计算机控制的一般概念，计算机控制系统的组成、特点和分类，数字控制理论基础，数字控制器直接设计方法，常规控制方法，过程通道，工业控制计算机，计算机控制系统抗干扰技术，计算机数据采集和数据处理系统的设计，计算机直接数字控制系统（DDC）的设计，计算机直接数字控制系统设计实例和计算机集散控制系统简介。

本书从高等专科学校教育培养高等工程技术应用型人才培养目标出发，以工程技术应用能力培养为主线来组织编写内容。重点突出，选材注重应用，突出实用性，又不失系统性。全书按基础理论（一、二章）——控制方法（三、四章）——硬件设计（五、六、七章）——系统设计（八、九、十、十一章）的体系编写，循序渐进，由浅入深，层次清楚，系统性好。书中重点介绍了目前工业生产中广泛应用的常规控制方法、过程通道的设计和DDC系统的设计，并用了一章的篇幅，详细介绍了三个计算机控制系统设计实例，它们都是从编者几年来的科研成果中筛选出来的。

本书选材还注意跟踪科学技术的发展。将工业生产中应用愈来愈普遍的工业控制计算机和国内已开始使用且发展迅速的计算机集散控制技术等内容编入本书中。

本书叙述简单明了，通俗易懂，每章有小结，并附有习题和思考题，便于教学和自学。

本书教学时数为60学时，其中实验10学时。

本书编写组由湘潭机电高等专科学校刘国荣、哈尔滨工业大学威海分校梁景凯、哈尔滨理工大学工业技术学院徐军、常州工业技术学院何一鸣、郑州工业高等专科学校臧海河、洛阳工业高等专科学校葛运旺等6位同志组成，刘国荣、梁景凯任主编。第一、十一章由梁景凯编写，第二、七章由徐军编写，第三、八章由何一鸣编写，第四章由刘国荣编写，第五、六章由臧海河编写，第九、十章由葛运旺编写。

本书由哈尔滨理工大学李全利任主审，在审稿过程中，得到哈尔滨工业大学王炎教授的热情指导，并提出了许多宝贵的意见，在此一并致以衷心感谢。

由于编者水平有限，书中缺点和错误在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

1998年12月

目 录

| | |
|---------------------------------|-----|
| 前言 | |
| 第一章 概述 | 1 |
| 第一节 计算机控制系统的组成和特点 | 1 |
| 第二节 计算机控制系统的类型 | 4 |
| 第三节 计算机控制系统的发展概况 | 6 |
| 本章小结 | 7 |
| 习题和思考题 | 7 |
| 第二章 数字控制理论基础 | 8 |
| 第一节 信号变换理论 | 8 |
| 第二节 离散系统的数学描述方法 | 13 |
| 第三节 Z 变换 | 15 |
| 第四节 脉冲传递函数 | 21 |
| 第五节 数字控制系统时域分析 | 27 |
| 本章小结 | 34 |
| 习题和思考题 | 35 |
| 第三章 数字控制器的直接设计方法 | 37 |
| 第一节 最少拍数字控制系统的设计 | 37 |
| 第二节 最少拍无波纹数字控制系统设计 | 43 |
| 第三节 大林算法 | 45 |
| 第四节 数字控制器的计算机实现 | 48 |
| 本章小结 | 49 |
| 习题和思考题 | 50 |
| 第四章 几种常规的控制方法 | 51 |
| 第一节 PID 控制 | 51 |
| 第二节 串级控制 | 64 |
| 第三节 前馈控制 | 68 |
| 第四节 史密斯 (Smith) 预估控制 | 71 |
| 第五节 比值控制 | 75 |
| 第六节 选择性控制 | 77 |
| 本章小结 | 79 |
| 习题和思考题 | 80 |
| 第五章 过程通道 | 81 |
| 第一节 模拟量输入通道 | 81 |
| 第二节 模拟量输出通道 | 101 |
| 第三节 开关量输入/输出通道 | 108 |
| 本章小结 | 114 |
| 习题和思考题 | 114 |
| 第六章 工业控制计算机 | 116 |
| 第一节 概述 | 116 |
| 第二节 STD 总线工业控制计算机 | 118 |
| 第三节 PC/AT 总线工业控制计算机 | 126 |
| 本章小结 | 130 |
| 习题和思考题 | 130 |
| 第七章 计算机控制系统抗干扰技术 | 131 |
| 第一节 干扰的来源与种类 | 131 |
| 第二节 硬件抗干扰技术 | 132 |
| 第三节 软件抗干扰技术 | 139 |
| 第四节 故障自诊断技术 | 140 |
| 本章小结 | 142 |
| 习题和思考题 | 142 |
| 第八章 计算机数据采集及数据处理系统 | 143 |
| 第一节 数据采集系统概述 | 143 |
| 第二节 数据采集系统的一般结构 | 144 |
| 第三节 数据采集系统中常用的数据处理方法 | 147 |
| 第四节 数据采集系统设计举例 | 156 |
| 本章小结 | 160 |
| 习题和思考题 | 160 |
| 第九章 计算机直接数字控制 (DDC) 系统的设计 | 161 |
| 第一节 计算机 DDC 系统的组成和特点 | 161 |
| 第二节 计算机 DDC 系统的总体设计 | 163 |
| 第三节 计算机 DDC 系统的硬件设计 | 167 |
| 第四节 计算机 DDC 系统的软件设计 | 170 |
| 本章小结 | 174 |

习题和思考题 175

第十章 计算机控制系统设计实例 176

 第一节 燃油加热炉微机控制系统 176

 第二节 配料和磨机负荷微机控制系统 181

 第三节 井群集控系统 188

 本章小结 194

 习题和思考题 194

第十一章 集散控制系统 195

第一节 集散控制系统概述 195

第二节 集散控制系统的控制站 199

第三节 集散控制系统的操作站 203

第四节 集散控制系统的通信网络 209

 本章小结 215

 习题和思考题 215

附录 常见系统的 Z 变换 216

参考文献 217

第一章 概 述

计算机控制技术的应用领域日益广泛，如在冶金、化工、电力、建材、自动化机床、工业机器人控制、机械工业中的柔性制造系统（FMS）和计算机集成制造系统（CIMS）等方面，已经取得了令人瞩目的研究与应用成果，并且在国民经济中发挥着越来越大的作用。计算机控制技术以自动控制理论和计算机技术为基础，自动控制理论的发展给计算机控制系统增添了理论工具，而计算机技术的发展为新型控制规律的实现，构造高性能的计算机控制系统提供了物质基础，两者的结合极大地推动了计算机控制技术的发展。

本章概述计算机控制系统的组成、特点、类型和发展概况。

第一节 计算机控制系统的组成和特点

一、计算机控制的一般概念

计算机控制技术近年来发展十分迅速，从理论到实践日趋成熟。计算机控制技术包含着两部分内容：一是计算机控制的理论基础；二是实现技术，主要包括通道接口技术与系统实现技术。

图 1-1 所示为计算机控制系统基本框图。通常生产过程诸物理量一般都是模拟量的形式，而计算机采用的是数字信号，为此，两者之间必须采用模/数（A/D）转换器和数/模（D/A）转换器，以实现这两种信号

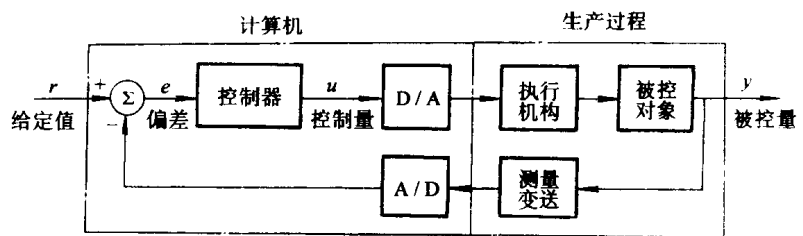


图 1-1 计算机控制系统的典型结构

之间的相互转换。在计算机控制系统中计算机根据给定输入信号、反馈信号和系统的数学模型进行信号处理，实现其控制策略，通过执行机构控制被控对象，达到预期的控制目标。总之，计算机控制系统就是采用计算机来实现的自动控制系统。

二、计算机控制系统的组成

计算机控制系统的组成框图如图 1-2 所示，它主要由工业对象、过程输入输出系统和计算机系统组成。从计算机的角度来看，计算机控制系统由硬件和软件两部分组成。

1. 硬件组成

计算机控制系统的硬件主要是由计算机系统（包括主机和外围设备）和过程输入输出系统等组成。

(1) 计算机系统 计算机系统包括主机和外围设备。

主机由中央处理器（CPU）和内存（RAM，ROM）组成，它是计算机控制系统的核心。主机根据过程输入设备送来的实时生产过程工作状况的各种信息，以及预定的控制算法，自动地进行信息处理，及时地选定相应的控制策略，并实时地通过过程输出设备向生产过程

发送控制命令。

外围设备可按功能分为输入设备、输出设备、通信设备和外存储器。

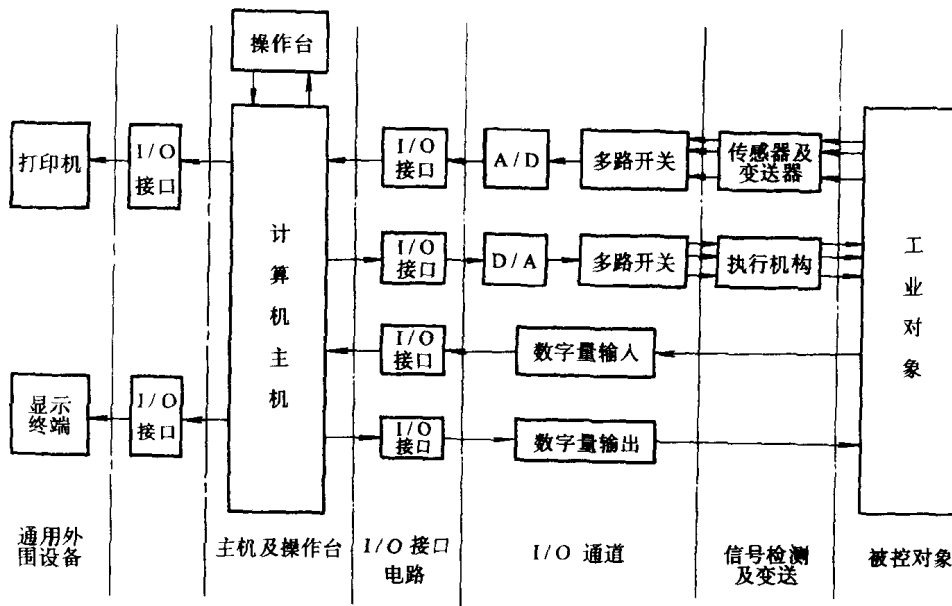


图 1-2 计算机控制系统的组成框图

常用的输入设备有键盘、专用操作台等，用来输入程序、数据和操作命令。

常用的输出设备有显示器（CRT）、打印机、绘图机和各种专用的显示台，它们以字符、曲线、表格、图形、指示灯等形式来反映生产过程工况和控制信息。

常用的外存储器是磁盘、磁带、光盘等，它们兼输入和输出两种功能，存放程序和数据。

通信设备的任务是实现计算机与计算机或设备之间的数据交换。在大规模工业生产中，为了实现对生产过程的全面控制和管理，往往需要几台或几十台计算机才能完成控制和管理任务。不同地理位置、不同功能的计算机及设备之间需要交换信息时，把多台计算机或设备连接起来，就构成了计算机通信网络。

(2) 过程输入输出系统 计算机与工业对象之间的信息传递是通过过程输入输出系统进行的，它在两者之间起到纽带和桥梁作用。过程输入输出系统由输入/输出通道（也称检测/控制通道）及接口、信号检测及变送装置和执行机构等组成。从信号传递的方向来看，又可分为过程输入通道和过程输出通道两部分。

输入/输出（I/O）通道及接口是计算机与外部连接的桥梁。常用的输入/输出接口有并行接口、串行接口等，输入/输出通道有模拟量输入/输出通道和数字量输入/输出通道。模拟量输入/输出通道的作用是，一方面将检测变送装置得到的工业对象的生产过程参数变成二进制代码送给计算机；另一方面将计算机输出的数字控制量变换为控制操作执行机构的模拟信号，以实现对生产过程的控制。数字量 I/O 通道的作用是，除完成编码数字输入输出外，可将各种继电器、限位开关的状态通过输入接口传送给计算机，或将计算机发出的开关动作逻辑信号经由输出接口传送给生产过程中的各个开关、继电器等。

检测变送装置的主要功能是将被检测的各种物理量转变成电信号，并转换成适用于计算

机输入的标准信号。

执行机构用来驱动工业对象，完成相应的动作。常用的执行机构有电动机、调节阀、液压伺服阀、各种开关等等。

计算机控制系统种类繁多，系统复杂程度也不尽相同，组成计算机控制系统的硬件组成也不同，设计者可根据实际情况进行选择。

2. 软件组成

软件是指计算机控制系统中具有各种功能的计算机程序的总和。软件从功能上分为两大类：系统软件和应用软件。

(1) 系统软件 系统软件是由计算机的制造厂商提供的，用来管理计算机本身的资源，方便用户使用计算机的软件。常用的有汇编语言、高级算法语言、操作系统、数据库系统、开发系统等。计算机设计人员负责研制系统软件，而计算机控制系统设计人员则要了解系统软件并学会使用，从而更好地编制应用软件。

(2) 应用软件 应用软件是计算机控制系统设计人员针对某生产过程而编制的控制和管理程序，如输入程序、输出程序、控制程序、人机接口程序、打印显示程序等等。应用软件的优劣，将给控制系统的功能、精度和效率带来很大的影响，它的设计思想和设计方法是本书主要介绍的内容之一。

在计算机控制系统中，硬件和软件不是独立存在的，在设计时必须注意两者相互间的有机配合和协调，只有这样才能研制出满足生产要求的高质量的控制系统。

三、计算机控制系统的特点

在计算机控制系统中，被控制量通常是模拟量，而计算机本身的输入输出量都是数字量。因此，计算机控制系统大都具有数字-模拟混合式的结构。在图 1-1 所示计算机控制系统基本框图中，包括工作于离散状态下的计算机和具有连续工作状态的生产过程两部分。计算机控制系统中信号的具体变换与传输过程，如图 1-3 所示。

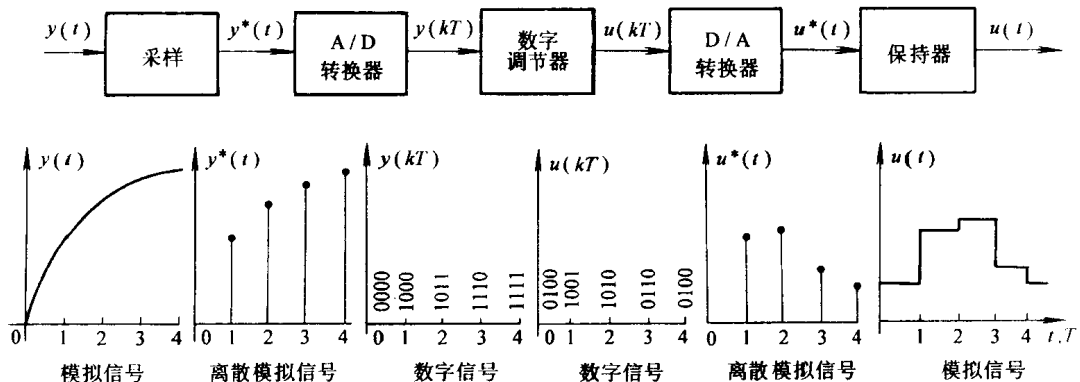


图 1-3 计算机控制系统中信号变换与传递

为了便于讨论，我们将图 1-3 中的信号和信号变换过程名称作一统一定义：

模拟信号——时间上、幅值上都连续的信号。如图中 $y(t)$ 、 $u(t)$ 。

离散模拟信号——时间上离散而幅值上连续的信号。如图中 $y^*(t)$ 、 $u^*(t)$ 。

数字信号——时间上离散，幅值也离散的信号，计算机中常用二进制表示。如 $y(kT)$ 、

$u(kT)$ 。

采样——将模拟信号抽样成离散模拟信号的过程。

量化——采用一组数码（如二进制数码）来逼近离散模拟信号的幅值，将其转换成数字信号。

从图 1-3 可以清楚地看出计算机获得信号的过程，这个过程是由 A/D 转换器来完成的。从模拟信号 $y(t)$ 到离散模拟信号 $y^*(t)$ 的过程就是采样，其中 T 是采样周期。显然合理地选择采样周期是必要的， T 过大会损失信息， T 过小会使计算机的负担加重，即存储与运算的数据过多。

从离散模拟信号到数字信号的变化过程叫做量化，即用一组二进制数码来逼近采样的模拟信号值。显然，A/D 转换的过程就是一个量化的过程。由于计算机的字长是有限的，因此量化过程会带来量化误差。量化误差的大小取决于量化单位 q 。若被转换的模拟量满量程为 M ，转换成二进制数字量的位数为 n ，则量化单位定义为

$$q = M/2^n$$

而量化误差 $\epsilon = \pm q/2$ 。显然， n 越大，量化误差越小，但 n 过大会导致计算上有效数字长的增加。

计算机引入控制系统之后，由于其运算速度快，精度高，存储容量大，以及它强大的运算功能和可编程性，因此不仅可以完成常规的 PID 控制算法，而且还可以完成模拟系统难以解决的许多复杂控制算法，如自适应控制、最优控制、自学习控制、智能控制等。可以说没有计算机，现代控制理论的应用问题是很难想象的。另外，在计算机控制系统中，控制规律是用软件实现的。修改一个控制规律，无论复杂还是简单，只需修改软件即可，一般不需变动硬件，因此便于实现复杂的控制规律和对控制方案进行在线修改，使系统具有很大的灵活性和适应性。

第二节 计算机控制系统的类型

根据应用特点、控制方案、控制目的和系统构成，计算机控制系统大体上可分成四种类型：数据采集系统、直接数字控制系统、监督控制系统和集散控制系统。

一、数据采集系统 (DAS)

数据采集系统 (Data Acquisition System, 简称 DAS) 的构成如图 1-4 所示。

系统的主要功能是：

(1) 生产过程的集中监视 DAS 通过输入通道对生产过程的参数进行实时采集、加工处理，并以一定格式在 CRT 上显示，或通过打印机打印出来，实现生产过程的集中监视。

(2) 操作指导 DAS 对采集到的数据进行分析处理，并以有利于指导生产过程的方式表示出来，实现生产过程的操作指导。

(3) 越限报警 DAS 预先将各种工艺参数的极限存入计算机，DAS 在数据采集过程中进行越限判断和报警，以确保生产过程安全。

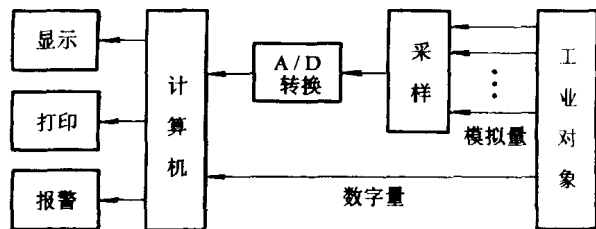


图 1-4 数据采集系统

DAS 不直接参与生产过程控制，不会直接对生产过程产生影响。

二、直接数字控制系统 (DDC)

直接数字控制 (Direct Digital Control, 简称 DDC) 系统的构成如图 1-5 所示。这类系统中，计算机的运算和处理结果直接输出作用于生产过程。DDC 系统中计算机参与闭环控制，不仅可完全取代模拟调节器，实现多回路的 PID 控制，而且只要改变程序就可以实现复杂的控制规律，如非线性控制、纯滞后控制、串级控制、前馈控制、最优控制、自适应控制等。DDC 系统是计算机用于工业控制最普通的一种形式。

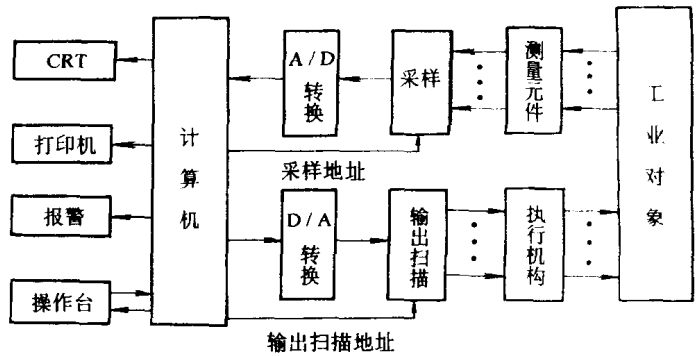


图 1-5 直接数字控制系统

三、监督计算机控制系统 (SCC)

监督计算机控制 (Supervisory Computer Control, 简称 SCC) 系统的构成如图 1-6 所示。在 SCC 系统中，计算机根据工艺参数和过程参量检测值，按照描述生产过程的数学模型，计算出生产过程的最优设定值，输入给 DDC 系统或模拟控制系统。SCC 系统输出值不直接控制执行机构，而是给出下一级的最佳给定值，因此是较高一级的控制。它的任务着重在控制规律的修正与实现，如最优控制、自适应控制等。

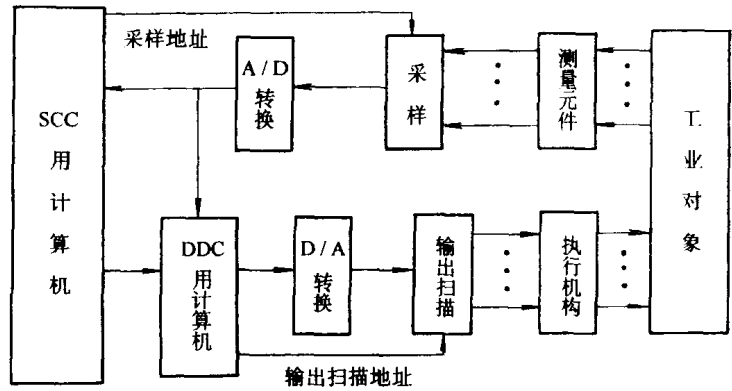


图 1-6 监督计算机控制系统

应当指出，SCC+DDC 的两级控制形式目前在较复杂的控制设备中应用相当普遍，如在中多坐标高精度数控机床的控制系统中，上一级的任务是完成插补运算及加工过程管理，下一级实现多坐标的进给。又如工业机器人的两级控制中，上一级完成机器人运动轨迹的计算和工业机器人工作过程的管理，而下一级完成各关节的进给与定位。在过程控制中，如锅炉最优燃烧控制系统，水泥窑的温控系统及配料管理等常采用两级控制形式。

四、集散控制系统 (DCS)

集散控制系统 (Distributed Control System, 简称 DCS) 的结构如图 1-7 所示。

DCS 采用分散控制、集中操作、分级管理、分而自治和综合协调的设计原则，把系统从而上而

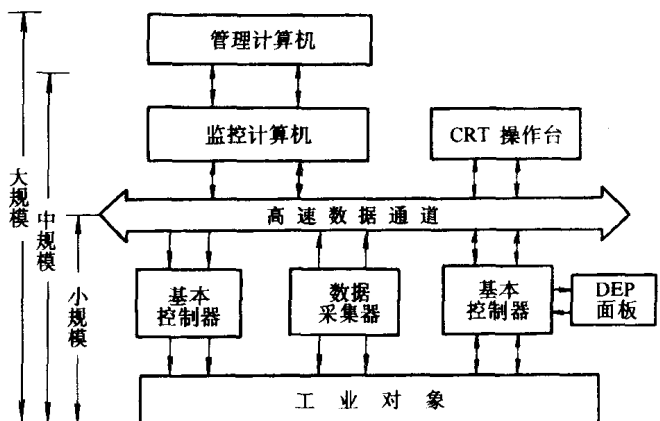


图 1-7 集散控制系统

下分为过程控制级、控制管理级、生产管理级等若干级，形成分级分布式控制，所以集散控制系统也称为分布控制系统或分散控制系统。

以微处理机为核心的基本控制器实现地理上和功能上的分散控制。又通过高速数据通道把各个分散点的信息集中起来送到监控计算机和操作站，以进行集中监视和操作，并实现高级复杂的控制。这种控制系统使企业自动化水平提高到了一个新的阶段。

第三节 计算机控制系统的发展概况

计算机的出现使科学技术产生了一场深刻的革命，同时也把自动控制推向一个新水平。随着大规模及超大规模集成电路的发展，计算机的可靠性和性能/价格比越来越高，这使得计算机控制系统得到越来越广泛的应用。

世界上第一台计算机于1946年问世。1952年计算机开始应用于化工生产过程的自动检测和数据处理，并打印出生产管理用的过程参数。1954年开始利用计算机构成开环控制系统，操作人员根据计算机的计算结果及时准确地调节生产过程的控制参数。1957年开始利用计算机构成闭环控制系统，对石油蒸馏过程进行自动控制。1958年开始试验性地采用直接数字控制系统，从而实现了计算机的“在线”控制。1960年开始在生产过程中实现监督计算机控制。1966年以后计算机控制开始侧重于生产过程的最优控制，并向分散控制和网络控制方向发展。70年代随着大规模集成电路技术的发展，于1972生产出微型计算机，使得计算机控制技术进入了一个崭新的阶段。微型计算机的出现，开创了计算机控制的新时代，即从传统的集中控制系统革新为分散控制系统。80年代随着超大规模集成电路技术的飞速发展，使得计算机向着硬件超小型化、软件固化和控制智能化方向发展。前期开发的分散控制系统的基本控制器一般是8个回路以上。80年代中期，出现了只控制1~2个回路的数字控制器。80年代末又推出具有计算机辅助设计、专家系统、控制和管理融为一体的新型集散控制系统。

目前，计算机控制系统的发展趋势有如下两个方面：

(1) 工业用可编程序控制器 (Programmable Logic Controller, 简称 PLC) 的应用 工业用可编程序控制器，是采用微型机芯片，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：

- 1) 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。
- 2) 采用功能模块结构。可根据要求，进行组合和扩充。
- 3) 具有独立的编程器。编程简单，易于掌握。
- 4) 价格低廉。

近年来，开发了具有智能 I/O 模块的 PLC。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，甚至已出现了伺服电动机控制模块，可实现运动控制。可以预料，进一步完善和系列化的 PLC 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。

(2) 提高控制性能，采用新型的控制系统 采用集散控制系统是计算机控制系统的发展趋势之一。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，还要求工业过程能长期在最佳状态下运行。对一个规模庞大、结构复杂、功能综合、因素众多的工程大系统，要

解决生产过程综合自动化的问题。

集散控制系统有如下几个发展动向值得注意：

1) 微机在集散控制系统中的地位越来越重要。这一方面是由于微机的功能不断加强，它能完成更多、更复杂的控制任务；另一方面是由于分级分布式控制结构的使用，使一级处理能力提高，减少了对上级计算机的功能要求。目前，在直接控制级都用微机，并且开始在过程监控级使用高性能的微机。今后，随着微机向阵列化发展，整个系统“全微机化”也是完全有可能的。

2) 集散控制系统向小规模、单回路控制器的方向发展迅猛。前期开发的集散控制系统，大多数是多回路的，一般是16个回路以上。80年代后，出现了只控制一二个回路的单回路的控制器。因为控制的回路数越少，危险就越分散，可靠性、维护性就越好，所以它在过程控制系统中的应用引起了人们的关注。如果单回路控制器的各种功能特别是数据通信功能得到改善的话，它将成为今后集散控制系统发展的主要方向。

3) 存储器将在今后得到改进。主要是保证随机读写存储器失电时能保持信息。随着数字式检测器越来越广泛的应用，有可能省去D/A、A/D转换环节，简化系统结构。

4) 通信功能和人-机联系功能进一步加强。今后将用光导纤维替代高速数据通道进行通信，并统一通信规程。CRT操作台则在简化操作、减少可能发生的误操作，及提高操作台自身可靠性等方面取得进展，并逐步发展标准的CRT显示画面，允许用户编写显示格式，还可能采用光笔、操作杆等简化键盘。随着控制算法固化的进一步发展，将会促使过程控制语言的发展和普及使用。

可以预料，随着微电子技术、计算机技术和自动控制理论的发展，计算机控制技术将会出现惊人的飞跃。

本章小结

本章概述计算机控制系统的组成和结构。从计算机控制系统中信号与传递的角度，介绍了计算机控制系统的特点；还介绍了计算机系统的类型，计算机控制系统的发展概况等内容，它对我们了解本学科的特点，指导今后进一步学习很有帮助。

习题和思考题

1. 计算机控制系统是由哪几部分组成的？各部分的作用是什么？
2. 计算机控制系统的硬件、软件各由哪几部分组成，有什么功能？
3. DAS、DDC、SCC、DCS控制系统工作原理如何？它们之间有何区别与联系？
4. 简述计算机控制系统的发展趋势。

第二章 数字控制理论基础

由计算机构成的控制系统,在本质上是一个离散系统。要研究这种实际的物理系统,首先应解决其数学描述和分析工具问题。

本章着重介绍离散系统经典理论的基本概念和基本方法,包括信号变换原理、离散控制系统的数学描述方法。

第一节 信号变换理论

计算机只能接受和处理二进制代码“0”和“1”及其组合,这些二进制数可以表示某一物理量的大小,称之为离散量或数字量。但实际系统中的被控量是在时间上连续的信号,一般称之为连续量或模拟量。模拟量进行离散化并转换成数字量后,才能由计算机处理。因此,计算机控制系统也可以称为数字控制系统、离散控制系统或采样控制系统。模拟控制系统也称为连续控制系统。

离散控制系统与模拟控制系统的本质区别在于:模拟系统中的给定量、反馈量和被控量都是连续型的时间函数,而在离散系统中,通过计算机处理的给定量、反馈量和被控量是在时间上离散的数字信号。把计算机引入连续控制系统中作为控制器使用,便构成了计算机控制系统。由于两者之间信息的表示形式和运算形式不同,所以在分析和设计计算机控制系统时,应首先对两种不同的信息进行处理。

一、模拟量的采样、量化和编码

1. 采样

计算机控制的生产过程,只能每隔一定时间进行一次控制循环。在每一次循环中,首先输入信息,即将模拟信号经模/数转换器转换成数字信号输入计算机,然后执行控制程序,计算出控制量,最后输出控制信号,如图 2-1 所示。

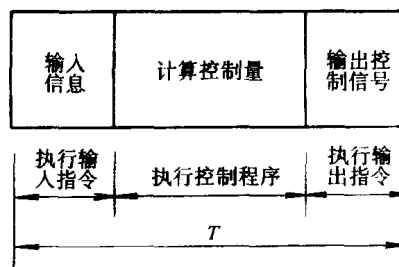


图 2-1 一个控制循环

计算机不断重复上述循环,所以它只能每隔一定时间间隔 T 采入一次模拟信号的瞬时值,这样就将模拟信号抽样成了离散模拟信号,这个过程称为采样,时间间隔 T 称为采样周期。

采样过程是由采样开关实现的,如图 2-2 所示(这里假定采样开关通断动作时间远小于 T ,可忽略不计)。采样开关每隔一定时间 T 闭合一次,于是原来在时间上连续的信号 $f(t)$ 就变成了时间上离散的信号 $f^*(t)$ 。

在计算机控制系统中,采样信号 $f^*(t)$ 是一数字序列,该数字序列可以看作是以数字表示其幅值的脉冲序列,可分解成一系列单脉冲之和,即

$$f^*(t) = f_0 + f_1 + f_2 + \dots$$

式中, f_0 为 $t=0T$ 时刻的单脉冲,脉冲的幅值为 $f(0T)$; f_1 为 $t=1T$ 时刻的单脉冲,脉冲的幅

值为 $f(1T)$; ……; f_k 为 $t=kT$ 时刻的单脉冲, 脉冲的幅值为 $f(kT)$ 。

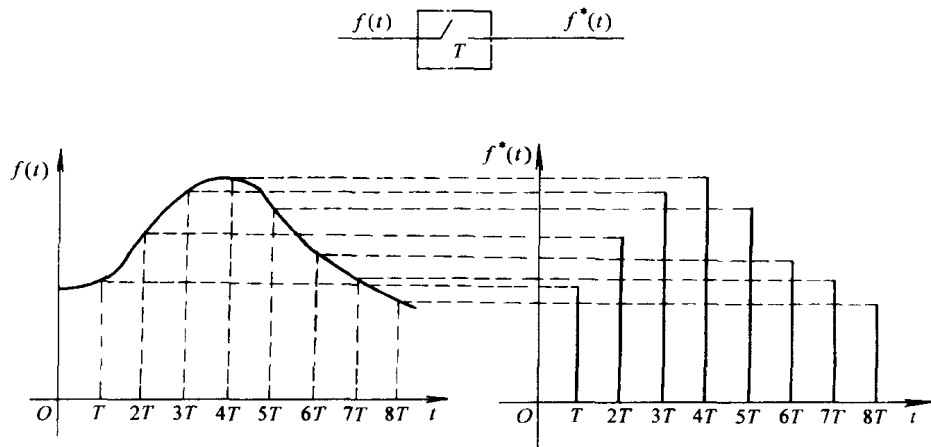


图 2-2 采样过程

除上述离散值之外, 在 $t \neq kT$ 的所有时刻, f_k 的值均为零, 因而 f_k 可以用下面的表达式来描述, 即

$$f_k = f(kT)\delta(t - kT)$$

式中, 函数 $\delta(t)$ 为单位脉冲函数, 其数学表达式为

$$\delta(t) = \begin{cases} 0 & t \neq 0 \\ \infty & t = 0 \end{cases}$$

且

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t) dt = 1$$

因此 $\delta(t - kT)$ 表示脉冲出现在 $t = kT$ 时刻。只有在 $t = kT$ 时刻, 才有 $\delta(t - kT) \neq 0$, 而在 $t \neq kT$ 的所有时刻都有 $\delta(t - kT) = 0$ 。应该指出, 单位脉冲函数 $\delta(t - kT)$ 在这里只作为一个数学工具, 而没有实际的物理意义, 它仅用来表示脉冲出现在 $t = kT$ 时刻, 而它在 $t = kT$ 时刻的幅值 ∞ 并不代表单脉冲 f_k 的值, 单脉冲的幅值仅由 $f(kT)$ 来表示, 如图 2-3 所示。

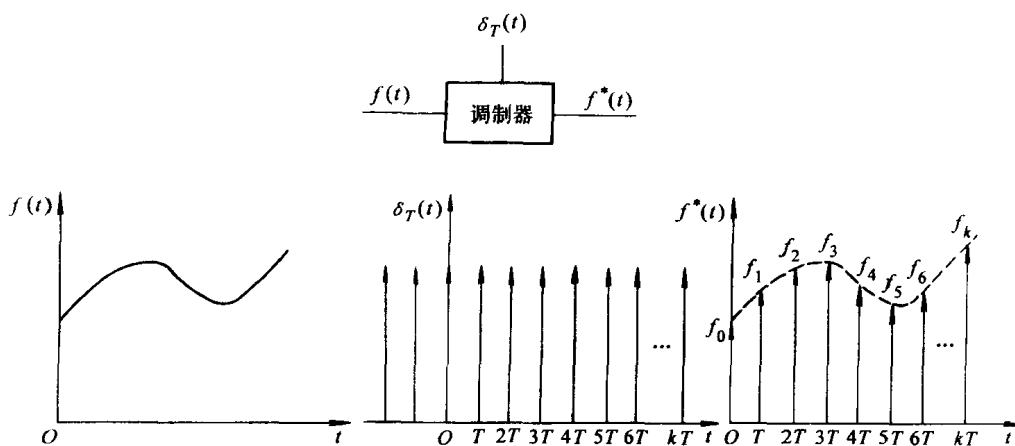


图 2-3 f_k 对单位脉冲序列的调制

这样, 采样信号 $f^*(t)$ 可以用下列数学表达式来描述

$$f^*(t) = \sum_{n=0}^{\infty} f(kT)\delta(t - kT) \tag{2-1}$$

2. 量化和编码

采样函数 $f^*(t)$ 是在时间上离散, 在幅值上连续变化的函数, 我们称它为离散模拟信号。所谓量化, 就是采用一组数码(如二进制码)来逼近离散模拟信号的幅值, 将其转换成数字信号。

离散模拟信号不能直接进入计算机, 必须经量化后成为数字信号, 才能为计算机接受。这个经量化使采样信号成为数字信号的过程称为量化过程。

为说明量化过程, 可以将离散模拟信号的变化范围分成若干层, 每一层都由一个二进制数码来代表幅值最接近的那一层。如图 2-4a 所示, 采样信号 A_1 为 1.8V, 则图 2-4b 中的 A'_1 量化值为 2V, 用数字量 010 来代表; 采样信号 A_2 为 3.2V, 则图 2-4b 中的 A'_2 的量化值为 3V, 用数字量 011 来代表。

假设 f_{\max} 和 f_{\min} 分别为信号的最大值和最小值, 则量化单位为

$$q = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{2^n}$$

式中, n 为二进制数字长。

可见, 对采样信号进行编码, 用数字量表示时, 只能用量化单位 q 的整数倍来表示, 因此存在“舍”和“入”的问题。在计算机控制系统中, 这个量化的过程是由 A/D 转换器来完成的。A/D

转换器有两种量化方法。一种是“只舍不入”, 另一种是“有舍有人”。由于“只舍不入”方法误差大, 因此大部分 A/D 转换器均采用“有舍有人”的方法。图 2-5 给出了量化过程示意图。

“有舍有人”的量化过程类似于“四舍五入”法。小于 $q/2$ 的舍去, 大于 $q/2$ 的进入, 所以会产生误差。这种量化器输入与输出信号之差称为量化误差。

即

$$e(t) = f(t) - f^*(t)$$

图 2-6a 和 b 分别表示了对同一信号 $f(t)$ 用两种位数的 A/D 进行模数转换时所产生的量化噪声。图 a 中, A/D 转换器位数少, 量化单位 q 较大, 噪声 $e(t)$ 的峰值较大, 变化频率较低。相反, 在图 b 中 A/D 转换器位数较多, q 较小, 则产生高频、小振幅的量化噪声。再比较一下图 2-

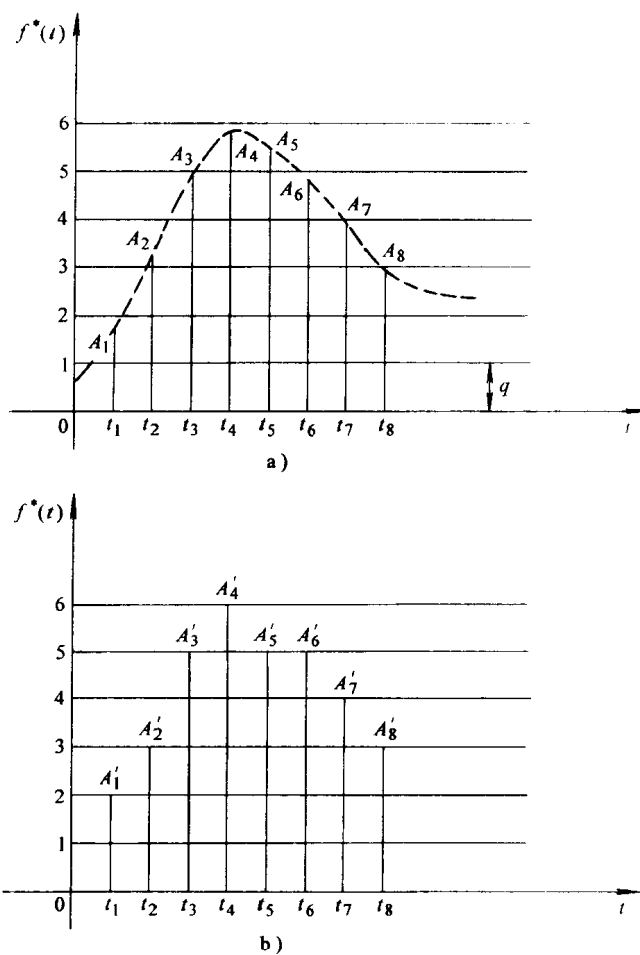


图 2-4 量化过程
a) 离散模拟信号 b) 量化

6 中 $f(t)$ 的上升段和下降段, 在上升段, 信号变化快; 下降段, 信号变化慢。可以发现, 对相同的量化单位 q , 信号变化越慢, 量化噪声的频率越低。

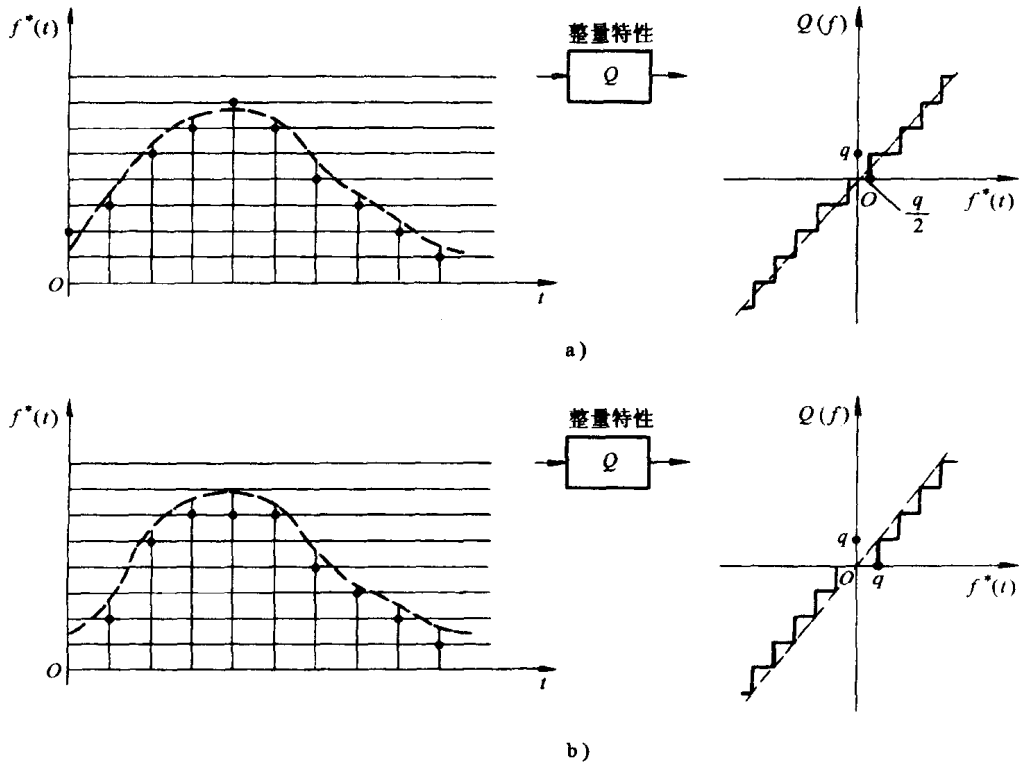


图 2-5 量化过程示意图

a) “有舍有入”的量化过程 b) “只舍不入”的量化过程

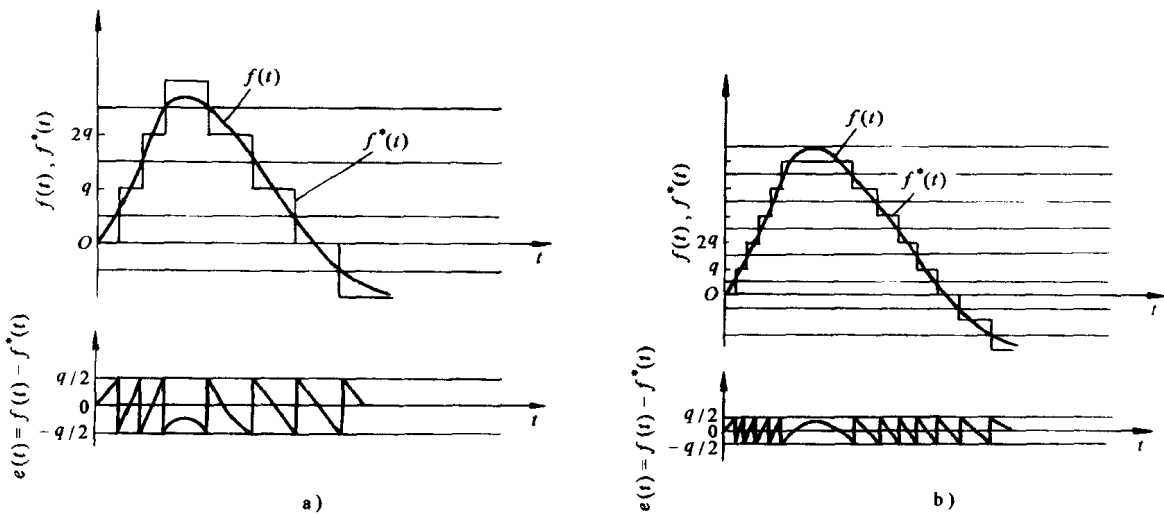


图 2-6 量化噪声

a) A/D 位数较少时的量化噪声情况 b) A/D 位数较多时的量化噪声情况