

绪 论

计算机控制系统是在自动控制技术和计算机技术飞速发展的基础上产生的。20 世纪 50 年代中期,经典的控制理论已经发展成熟和完备,并在不少工程技术领域中得到了成功的应用。在这个基础上发展起来的模拟式自动控制系统也达到了相当完善的程度,直到现在,它仍然在许多工业部门占有相当重要的地位,许多元件和系统都已经形成标准化和系列化产品。尽管这种模拟式控制系统对单输入单输出系统是很有效的,对一些较复杂的多输入和多输出的参数相互耦合的系统也曾起过积极的作用。但是,它的进一步发展受到了限制,在控制规律的实现、系统的优化、可靠性等方面越来越不能满足更高的要求。现代控制理论的发展为自动控制系统的分析、设计与综合增添了理论基础,而计算机技术的发展为新型控制规律的实现提供了非常有效的手段,两者的结合极大地推动了自动控制技术的发展。

1.1 计算机控制系统概述

计算机在控制工程中的主要用途有两个方面:在复杂的控制系统的分析、综合任务中进行数字仿真并完成复杂的工程计算;计算机作为控制系统中的一个重要组成部分,完成预先规定的各种控制任务。

1.1.1 计算机控制系统的一般概念

自动控制系统可以按照多种方式组成,但总的归纳起来有两种,即开环控制系统和闭环控制系统,典型结构如图 1.1 所示。

从图 1.1(a)可知,该系统通过测量元件对被控对象的被控参数(如温度、压力、流量、转速、位移等)进行测量,由变换发送单元将被测参数变换成电信号,反馈给控制器。控制器将反馈回来的信号与给定信号进行比较,如有误差,控制器就产生控制信号驱动执行机构工作,使被控参数的值与给定值保持一致。这种负反馈控制,是自动控制的基本形式。

图 1.1(b)是开环控制系统,它与闭环控制系统不同的是不需要被控对象的反馈信

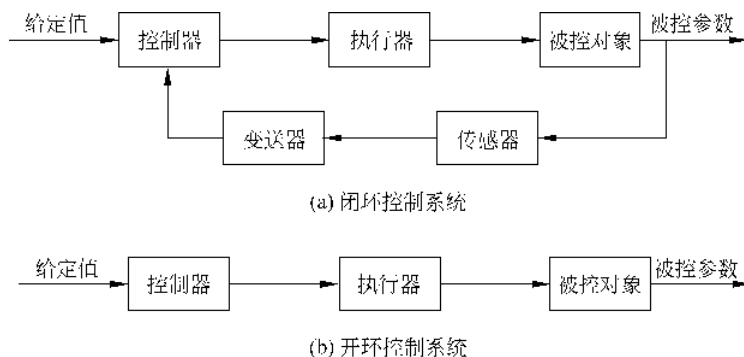


图 1.1 控制系统的一般形式

号。它的控制器直接根据给定信号去控制被控对象工作。这种系统不能自动消除被控参数偏离给定值带来的误差。控制系统中产生的误差全部反映在被控参数上。它与闭环控制系统相比,控制性能要差。

由图 1.1 可见,自动控制系统的基本功能是进行信号的传递、加工、比较和控制。这些功能是由检测、变换发送装置、控制器和执行机构来完成的。其中控制器是控制系统的关键部分,它决定了控制系统的控制性能和应用范围。

若将自动控制系统中的控制器的功能用计算机或数字控制装置来实现,就构成了计算机控制系统,其基本框图如图 1.2 所示。简单说来,计算机控制系统就是由各种各样的计算机参与控制的一类控制系统。

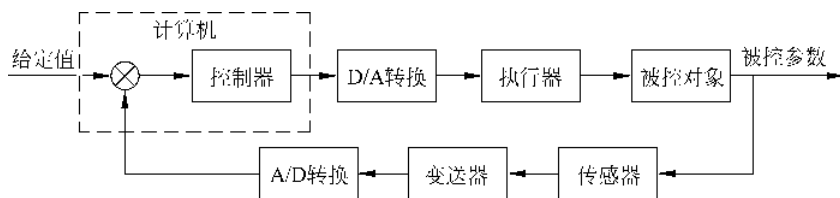


图 1.2 计算机控制系统

在计算机控制系统中,计算机的作用主要有三个方面:

(1) 信息处理,对于复杂的控制系统,输入信号和根据控制规律的要求实现的输出偏差信号的计算工作量很大,采用模拟解算装置不能满足精度要求,因而需要采用计算机进行处理。

(2) 用计算机的软件程序实现对控制系统的校正以保证控制系统具有所要求的动态特性。

(3) 由于计算机具有快速完成复杂工程计算的能力,因而可以实现对系统的最优控制、自适应控制等高级控制功能及多功能计算调节。

在一般的模拟控制系统中,控制规律是由硬件电路产生的,要改变控制规律就要更改硬件电路。而在计算机控制系统中,控制规律是用软件实现的,计算机执行预定的控制程序,就能实现对被控参数的控制。因此,要改变控制规律,只要改变控制程序就可以了。这就使控制系统的设计更加灵活方便。特别是可以利用计算机强大的计算、逻辑判断、记

忆和信息传递能力,实现更为复杂的控制规律,如非线性控制、逻辑控制、自适应控制、自学习控制及智能控制等。

计算机控制系统中,计算机的输入和输出信号都是数字量,因此在这样的系统中,需要将模拟量变成数字量的 A/D 转换器,以及将数字量转换成模拟量的 D/A 转换器。

计算机控制系统,从本质上来看,它的控制过程可以归结为以下三个步骤:

(1) 实时数据采集 对被控参数的瞬时值进行检测并输入。

(2) 实时决策 对采集到的表征被控参数的状态量进行分析,并按已定的控制规律,决定进一步的控制过程。

(3) 实时控制 根据决策,适时地对控制机构发出控制信号。

上述过程不断重复,使整个系统能够按照一定的动态品质指标进行工作,并且对被控参数和设备本身出现的异常状态及时监督并作出迅速处理。

上面所讲的计算机控制系统的一般概念中,计算机直接连在系统中工作,而不必通过其他中间记录介质来间接对过程进行输入输出及决策。生产过程设备直接与计算机连接的方式,称为“联机”方式或“在线”方式;生产过程设备不直接受计算机控制,而是通过中间记录介质,靠人进行联系并作相应操作的方式,称为“脱机”方式或“离线”方式。离线方式不能实时地对系统进行控制。

所谓“实时”是指信号的输入、计算和输出都要在一定的时间内完成,亦即计算机对输入信息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。如炼钢炉的炉温控制,延迟 1s,仍然认为是实时的。而一个火炮控制系统,当目标状态量变化时,一般必须在几毫秒或几十毫秒之内及时控制,否则就不能击中目标了。实时性的指标,涉及到如下一系列的时间延迟: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、控制量输出的延迟和数据传输的延迟等。一个联机系统不一定是实时系统,但一个实时控制系统必定是联机系统。例如,一个只用于数据采集的微型机系统是联机系统,但它不一定是实时系统,而计算机直接数字控制系统,则必定是一个联机系统。

1.1.2 计算机控制系统的组成

计算机控制系统由计算机、外部设备、操作台、输入通道、输出通道、检测装置、执行机构、被控对象以及相应的软件组成,如图 1.3 所示。

1. 计算机

计算机是计算机控制系统的核心,通过接口可以向系统的各个部分发出各种命令,同时对被控对象的被控参数进行实时检测及处理。具体功能是完成程序存储、程序执行、数值计算、逻辑判断和数据处理等工作。

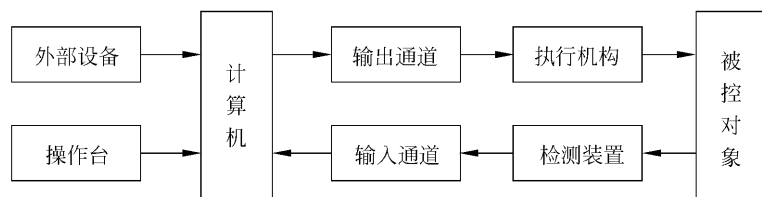


图 1.3 计算机控制系统的组成

2. 过程输入输出通道

过程输入输出通道是计算机和被控对象(或生产过程)之间设置的信息传送和转换的连接通道。过程输入通道把被控对象(或生产过程)的被控参数转换成计算机可以接受的数字代码。过程输出通道把计算机输出的控制命令和数据,转换成可以对被控对象(或生产过程)进行控制的信号。过程输入输出通道一般分为:模拟量输入通道、模拟量输出通道、开关量输入通道、开关量输出通道。

3. 外部设备

实现计算机和外界交换信息的设备称为外部设备(简称外设)。外部设备包括人-机通信设备、输入输出设备和外存储器等。

输入设备有键盘、光电输入机等。它主要用来输入程序和数据。

输出设备有打印机、记录仪、纸带穿孔机、显示器(数码显示器或 CRT 显示器)等。它主要用来向操作人员提供各种信息和数据,以便及时了解控制过程。

外存储器(简称外存)有磁带装置、磁盘装置,它们兼有输入输出功能,主要用来存储系统程序和数据。

4. 操作台

操作台是操作人员与计算机控制系统进行“对话”的装置,主要包括如下几部分:

(1) 显示装置

如显示屏幕或荧光数码显示器,以显示操作人员要求显示的内容或报警信号。

(2) 一组或几组功能键

通过功能键,可向主机申请中断服务。包括复位键、启动键、打印键、显示键等。

(3) 一组或几组数字键

用来送入某些数据或修改控制系统的某些参数。

5. 软件

软件是指能够完成各种功能的计算机控制系统的程序系统,它是计算机系统的神经中枢。整个系统的动作,都是在软件的指挥下进行协调动作的。它由系统软件和应用软件组成。

系统软件是指为提高计算机使用效率,扩大功能,为用户使用、维护和管理计算机提

供方便的程序的总称。系统软件通常包括操作系统、语言加工系统和诊断系统等,其具有一定的通用性,一般随硬件一起由计算机生产厂家提供。

应用软件是用户根据要解决的实际问题而编写的各种程序,在计算机控制系统中则是指完成系统内各种任务的程序,如控制程序、数据采集及处理程序、巡回检测及报警程序等。

1.1.3 计算机控制系统的分类

计算机控制系统的分类方法很多,根据计算机在控制系统中的控制功能和控制目的,可将计算机控制系统分为以下几种类型。

1. 计算机操作指导控制系统

计算机操作指导控制系统的结构如图 1.4 所示,这时计算机只承担数据的采集和处理工作,而不直接参与控制。

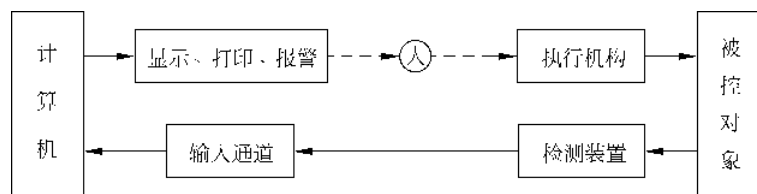


图 1.4 计算机操作指导控制系统

计算机操作指导控制系统对生产过程大量参数作巡回检测、处理、分析、记录以及参数的超限报警。对大量参数的积累和实时分析,可以达到对生产过程进行各种趋势分析,为操作人员提供参考,操作人员根据这些结果去改变调节器的给定值或直接操作执行机构。

操作指导控制系统是一种开环控制结构;该系统的优点是结构简单,控制灵活和安全。缺点是要人工操作,速度受到限制,故不适合用于快速过程的控制和多个对象的控制。

2. 直接数字控制系统

直接数字控制系统(Direct Digital Control, DDC)的构成如图 1.5 所示。计算机通过测量元件对一个或多个物理量进行巡回检测,经采样、A/D 转换等过程把模拟量转换为数字量,并根据规定的控制规律进行运算,然后发出控制信号直接去控制执行机构,使各个被控制量达到预定的要求。

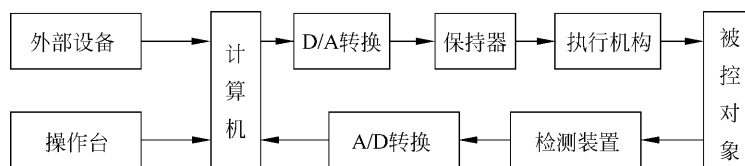


图 1.5 直接数字控制系统

DDC 系统中的计算机参与闭环控制过程,它不仅能完全取代模拟控制器,实现多回路的控制,而且不需改变硬件,只通过改变程序就能有效地实现较复杂的控制。如前馈控制、非线性控制、自适应控制、最优控制等。

3. 监督计算机控制系统

在直接数字控制方式中,对生产过程产生直接影响的被控参数给定值是预先设定的,并且存入计算机的内存中。这个给定值不能根据过程条件和生产工艺信息的变化及时修改,故直接数字控制方式无法使生产过程处于最优状态,这显然是不够理想的。

监督计算机控制(Supervisory Computer Control, SCC)中,计算机根据原始工艺信息和其他参数,按照描述生产过程的数学模型或其他方法,自动地改变模拟调节器或以直接数字控制方式工作的计算机中的给定值,从而使生产过程始终处于最优状态(如保持高质量、高效率、低消耗、低成本等)。从这个角度上说,它的作用是改变给定值,所以又称给定值控制(Set Point Compute Control, SPC)。

监督控制方式的控制效果,主要取决于数学模型的优劣。这个数学模型一般是针对其目标函数设计的,如果这一数学模型能使某一目标函数达到最优状态,那么,这种控制方式就能实现最优控制。当数学模型不理想时,控制效果也不会太理想。监督控制系统也可以实现自适应控制。监督控制系统有两种不同的结构形式:一种是 SCC+模拟控制器控制系统,如图 1.6 所示;另一种是 SCC+DDC 控制系统,如图 1.7 所示。

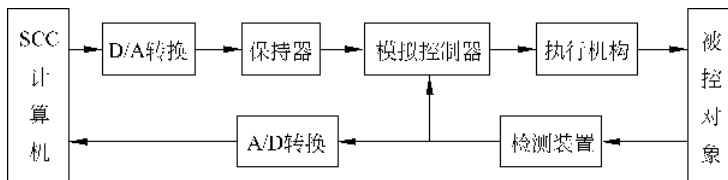


图 1.6 SCC+模拟控制器控制系统

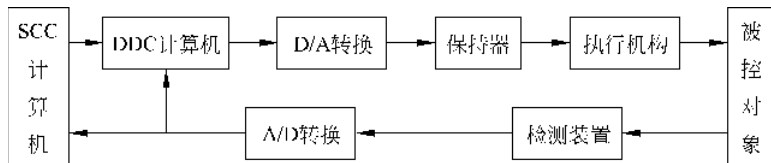


图 1.7 SCC+DDC 控制系统

4. 计算机分级控制系统

生产过程既存在控制问题,也存在大量的管理问题。同时,设备一般分布在不同的区域,其中各工序,各设备同时并行地工作,基本相互独立,故全系统比较复杂。DDC 系统置于分级控制的最底层,管理用计算机置于上层。各级各类计算机之间使用高速通信线路互相连接,传递信息,协调工作。

计算机分级控制系统的结构如图 1.8 所示。其中 DDC 级直接用于控制生产过程,包括数据采集、监督报警等工作。SSC 级既要实现一些高级控制又要向上级反馈信息,以便上一级的管理工作。这种分级(或分布式)计算机控制系统有代替集中控制系统的趋势。该系统的特点是将控制任务分散,用多台计算机分别执行不同的任务,既能进行控制又能实现管理。

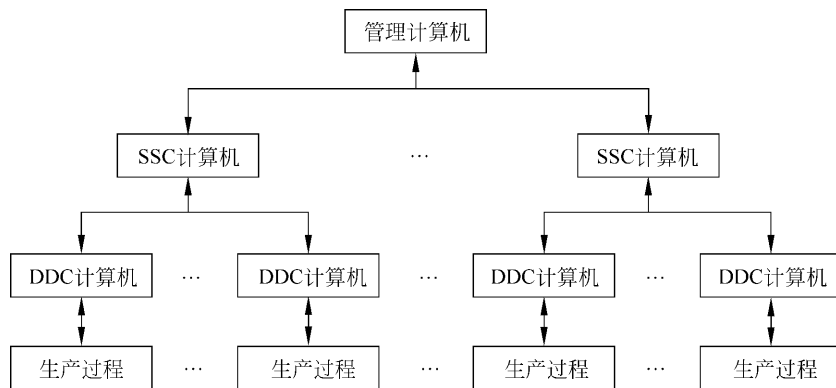


图 1.8 计算机分级控制系统

5. 集散控制系统

集散控制系统(Distributed Control Systems, DCS),是由多台计算机分别控制生产过程中多个控制回路,同时又可集中获取数据和集中管理的自动控制系统。集散控制系统是控制(Control)、计算机(Computer)、数据通信(Communication)和屏幕(CRT)显示技术的综合应用,通常也将集散控制称为 4C 技术。

集散控制系统通常具有二层结构模式、三层结构模式或四层结构模式。图 1.9 给出了二层结构模式的集散控制系统的结构形式。第一级为前端计算机,也称下位机、直接控制单元。前端机直接面对控制对象完成实时控制、前端处理功能。第二层称为中央处理机,又称上位机,完成后续处理功能。中央处理机不直接与现场设备打交道,如果中央处

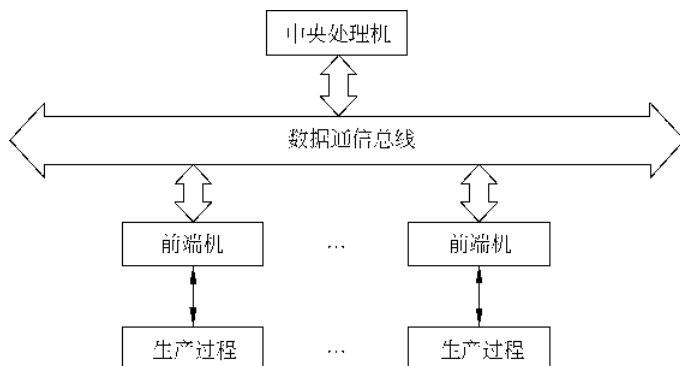


图 1.9 集散控制系统

理机一旦失效,设备的控制功能依旧能得到保证。在前端计算机和中央处理机间再加一层中间层计算机,便构成了三层结构模式的集散控制系统。四层结构模式的离散控制系统中,第一层为直接控制级,第二层为过程管理级,第三层为生产管理级,第四层为经营管理级。集散控制系统具有硬件组装积木化、软件模块化、组态控制系统、应用先进的通信网络并具有开放性、可靠性等特点。

1.1.4 计算机控制系统的特点

计算机控制系统和一般常规模拟控制系统相比有如下特点:

(1) 由于计算机的运算速度快,精度高,含丰富的逻辑判断功能和大容量的存储单元,因此能实现复杂的控制规律,从而达到较高的控制质量。计算机控制实现了常规系统难以实现的多变量控制、最优控制、自适应控制、参数自整定等。

(2) 由于计算机具有分时操作的功能,所以一台计算机能代替多台控制仪器,实现群控。对于连续控制系统,控制回路越多或控制规律越复杂,所需硬件也就越多越复杂,成本也越高。对于计算机控制系统来说,增加一个控制回路的费用是很少的,控制规律的改变和复杂程度的提高由编制程序实现,不需改变硬件而增加成本,有很高的性能价格比。

(3) 由于软件功能丰富,编程方便和硬件体积小,重量轻以及结构设计上的模块化、标准化,使计算机控制系统有很强的灵活性。如一些工控机有操作简易的结构化、组态化控制软件。硬件配置上可装配性、可扩充性好。

(4) 由于采取有效的抗干扰、抗噪声办法,并采用各种冗余、容错等技术,使计算机控制系统有很高的可靠性。

(5) 由于计算机有监控、报警、自诊断功能,使计算机控制系统有很强的可维护性。如有的工控机一旦出现故障,能迅速指出故障点和处理办法,便于立即修复。

另外,技术更新快、信息综合性强、操作便利等也都是计算机控制系统的一些特点。

1.2 信号的采样与恢复

典型的计算机控制系统的结构如图 1.10 所示,计算机只能接收、处理数字信号,其输出也是数字量。因此,一方面从现场检测的连续信号必须经过采样、A/D 转换等量化处理变换为数字信号,才能由计算机进行控制运算或其他处理;另一方面,计算机输出的离散的数字量也必须经过 D/A 转换器和保持器形成连续信号,才能控制需要连续输入的被控对象。

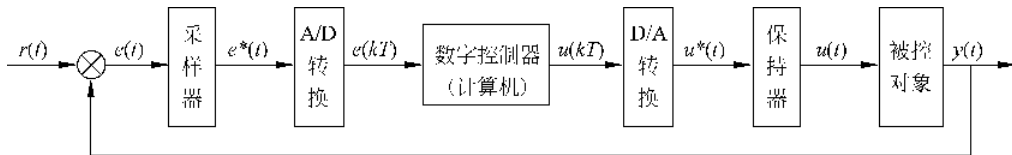


图 1.10 典型计算机控制系统结构框图

其中： $r(t)$ ——输入信号
 $e(t)$ ——误差信号
 $u(t)$ ——控制信号
 $y(t)$ ——输出状态信号
 $e^*(t)$ ——采样后误差模拟信号(离散)
 $e(kT)$ ——采样后误差数字信号
 $u^*(t)$ ——离散的控制模拟信号
 $u(kT)$ ——控制数字信号

采样器、保持器和数字控制器的结构形式和控制规律决定系统动态特性,是研究的主要对象。控制系统的稳态控制精度由 A/D、D/A 转换器的分辨率决定。这说明 A/D 和 D/A 转换器只影响系统稳态控制精度,不影响动态指标。为了突出重点,只讨论影响系统动态特性的基本问题。为了便于数学上分析和综合,在分析和设计计算机控制系统时,常常假定 A/D、D/A 转换器的精度足够高,使得量化误差可以忽略,于是 A/D、D/A 只存在物理上意义而无数学上意义。即:数字信号与采样信号 $e(kT)$ 与 $e^*(t)$, $u(kT)$ 与 $u^*(t)$ 是等价的。图 1.10 可进一步简化为如图 1.11 所示。

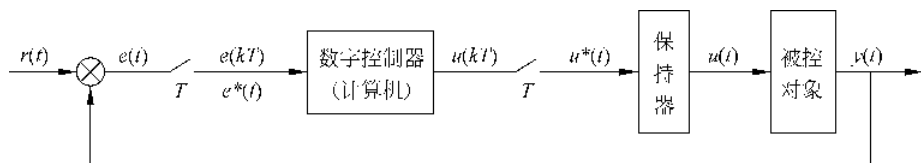


图 1.11 计算机控制系统结构简化框图

1.2.1 信号的采样过程

在计算机控制系统中,信号是以脉冲序列或数字序列的方式传递的,把连续信号变成数字序列的过程叫做采样过程,实现采样的装置叫采样开关。

计算机对某个随时间变化的模拟量进行采样,是利用定时器控制的开关,每隔一定时间使开关闭合而完成一次采样。开关重复闭合的时间间隔 T 为采样周期。所谓采样过程是指:将一个连续的输入信号,经开关采样后,转变为发生在采样开关闭合瞬时刻 $0, T, 2T, \dots, nT$ 的一连串脉冲输出信号。

采样过程的原理见图 1.12 所示,其中采样开关为理想的采样开关,它从闭合到断开以及从断开到闭合的时间均为零。采样开关平时处于断开状态,其输入为连续信号 $f(t)$,在采样开关的输出端得到采样信号 $f^*(t)$ 。

理想的采样开关虽然并不存在,但是实际应用中的采样开关均为电子开关,其动作时间极短,远小于两次采样之间的时间间隔,也远小于被控对象的时间常数,因此可以将实际采样开关简化为理想采样开关,这样做有助于简化系统的描述与分析工作。

$f(t)$ 为被采样的连续信号, $f^*(t)$ 是经采样后的脉冲序列,采样开关的采样周期为 T 。若采样开关的接通时间为无限小,则采样信号 $f^*(t)$ 就是 $f(t)$ 在开关合上瞬时的值,即脉

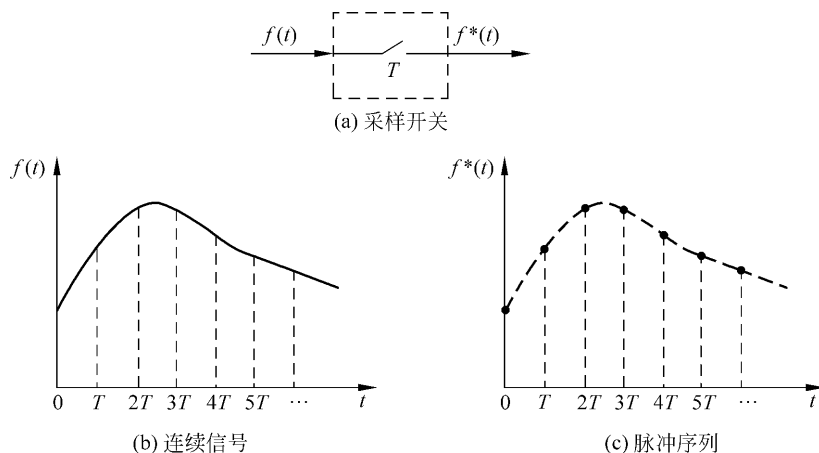


图 1.12 信号的采样过程

冲序列 $f(0), f(T), f(2T), \dots, f(kT), \dots$

可用理想脉冲 δ 函数将采样后的脉冲序列 $f^*(t)$ 表示成:

$$f^*(t) = f(0)\delta(t) + f(T)\delta(t-T) + f(2T)\delta(t-2T) + \dots$$

$$= \sum_{k=0}^{\infty} f(kT)\delta(t-kT) \quad t = kT$$

对于实际系统, 当 $t < 0$ 时, $f(t) = 0$, 故有:

$$f^*(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} f(kT)\delta(t-kT) \quad t = kT$$

根据 δ 函数的性质

$$f^*(t) = f(t) \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(t-kT) = f(t)\delta_T(t)$$

其中: $\delta_T(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(t-kT) \quad t = kT$

由此可见, 采样信号 $f^*(t)$ 是由理想脉冲序列所组成, 幅值由 $f(t)$ 在 $t = kT$ 时刻的值确定。

1.2.2 采样定理

计算机控制系统是利用离散的信号进行控制运算, 这就带来一个问题: 采用离散信号能否实施有效的控制, 或者连续信号所含的信息能否由离散信号表示, 或者离散信号能否一定能代表原来的连续信号。例如: 有两个不同的连续信号 $f_1(t)$ 和 $f_2(t)$, 假设选择采样周期都为 T , 如图 1.13 所示, 从图中可以看出, $f_1(t)$ 和 $f_2(t)$ 具有相同的采样信号 $f^*(t)$, 这说明 $f^*(t)$ 未必能完全反映或近似地反映连续信号。

那么 $f^*(t)$ 如何能完全反映或近似地反映连续信号呢? 上述问题是和采样周期密切相关的, 香农 (Shannon) 采样定理定量地描述了在什么条件下, 一个连续时间信号可由它的采样信号惟一确定。