

第五章

过程装备控制技术应用

计算机控制系统



CONTENTS

目录

第一节
概述

第三节
测试软件设计

第二节
计算机控制系统的组成及分类

第四节
直接数字控制系统

■ 5.1 概述

一、计算机直接数字控制系统构成

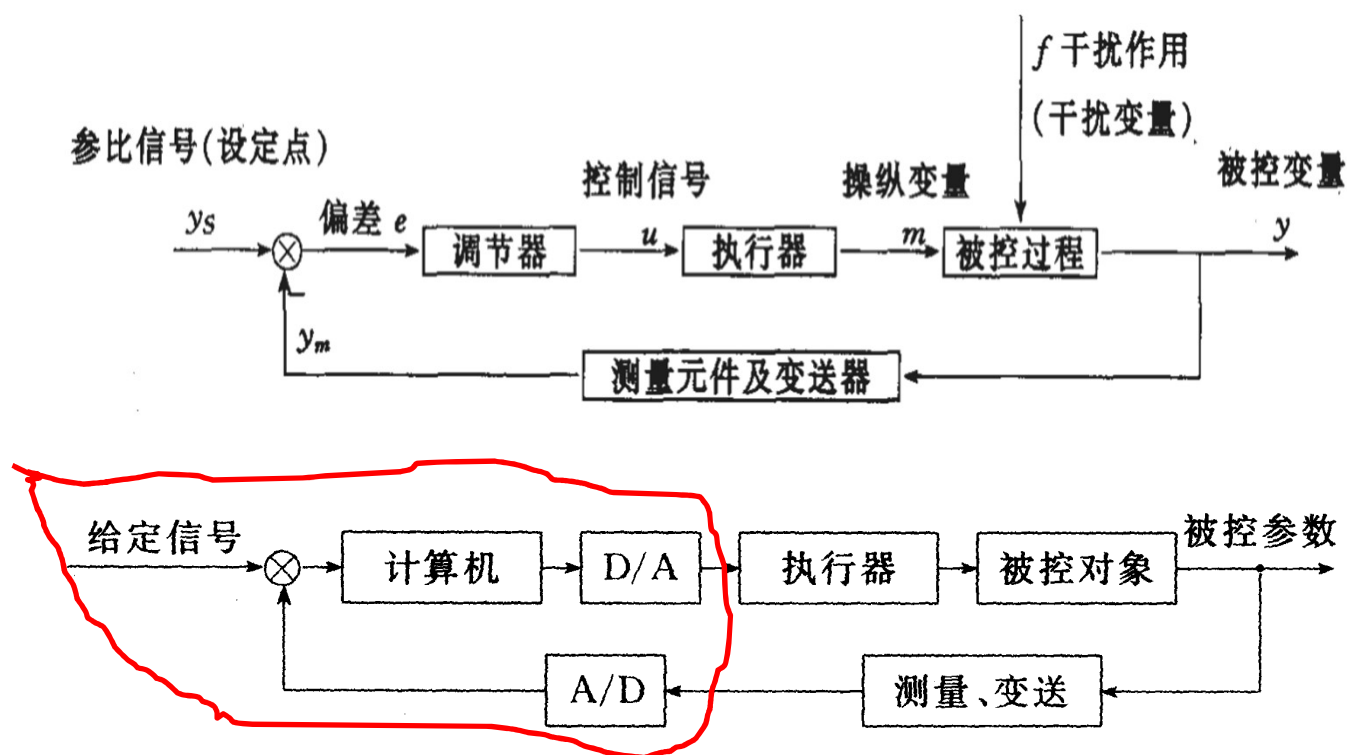
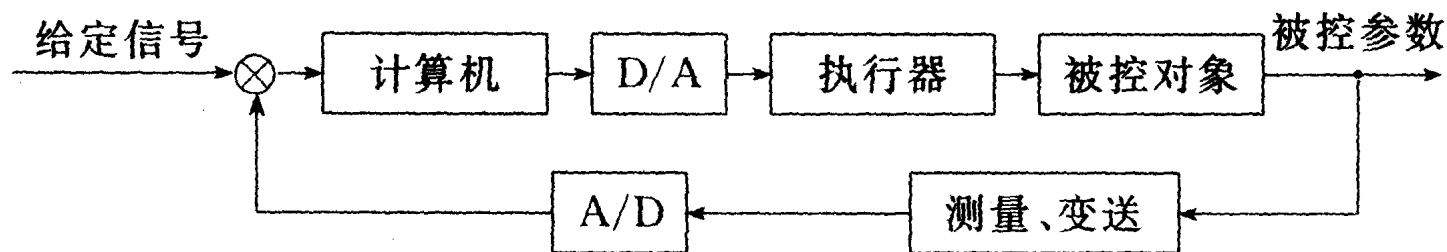


图 5-1 计算机直接数字控制系统的方框图

二、计算机控制系统的控制步骤

1. 实时数据采样：测量被控量的当前值，转换成离散数字化信号；
2. 实时判断：判断被控量当前值与给定值的偏差 e ；
3. 实时控制：根据偏差 e ，作出控制决策，即按照预定的算法对偏差进行运算，向执行机构发出控制信号；
控制信号包括：
 - a. 经过D/A转换输出的模拟控制信号；
 - b. 开关量输出(控制电平、脉冲)：报警、限位\延时等特定操作；
 - c. 数字量输出。



三、计算机控制系统的优点

1. 用分时操作实现对多个被控对象、多个回路的控制；
2. 操作由计算机程序完成，扩充修改方便，硬件改动少；
3. 在模拟控制系统中很多由硬件难以完成的功能，可以方便地由软件完成。

如：大时间常数的滤波，线性补偿、系统的误差补偿。



■ 5.2 计算机控制系统的组成及分类

一、计算机控制系统的组成

1. 硬件部分

- ① 主机
- ② 过程输入输出通道
- ③ 操作设备
- ④ 外部设备
- ⑤ 通讯设备
- ⑥ 系统支持功能

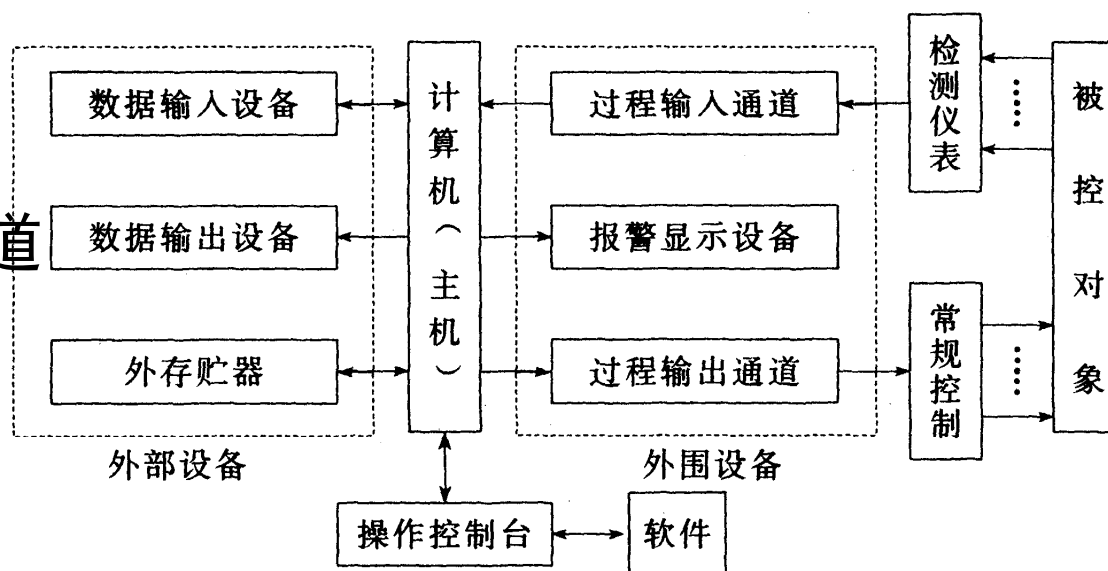


图 5-2 计算机控制系统基本组成

监控定时器、掉电保护、后备存储器、实时日历、总线匹配等

■ 5.2 计算机控制系统的组成及分类

2. 软件部分

- ① 系统软件：操作系统、数据库系统、通讯网络软件、调试程序及诊断程序等。
- ② 应用软件：系统设计人员针对生产过程要求而编制的控制和管理程序。包括：过程输入程序、过程控制程序、过程输出程序、打印显示程序、人机接口程序等。

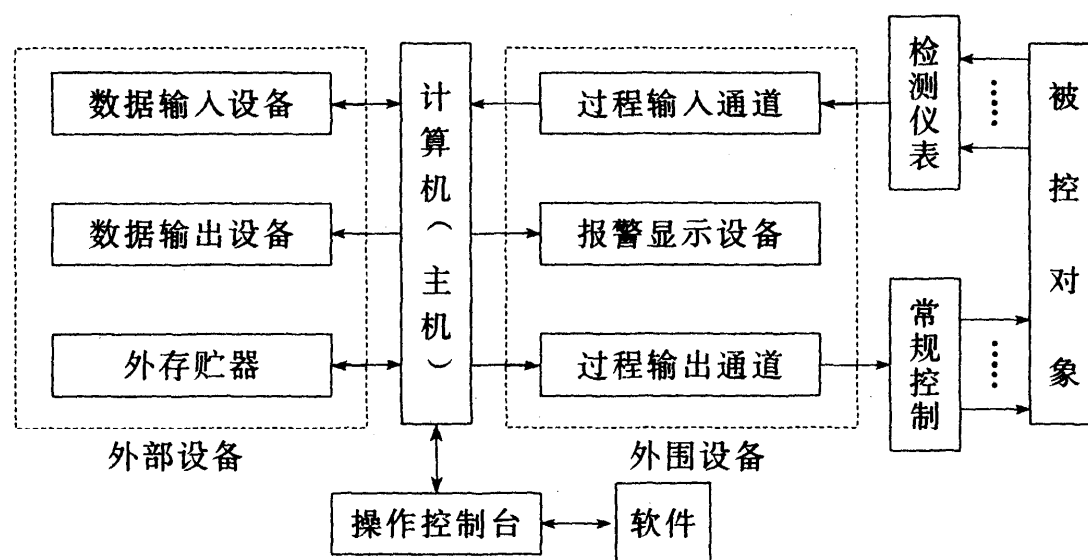


图 5-2 计算机控制系统基本组成

■ 5.2 计算机控制系统的组成及分类

二、计算机控制系统的分类

1. 数据采集和数据处理系统

①数据采集：由传感器把温度、压力、流量、位移等物理量转换来的模拟电信号经过处理并转换成计算机能识别的数字量，输入并存贮到计算机中。

②数据处理：计算机将采集来的数字量进行实时数据分析，得出所需要的结果。

计算机不直接参与过程控制，属于计算机应用于过程控制的低级阶段。

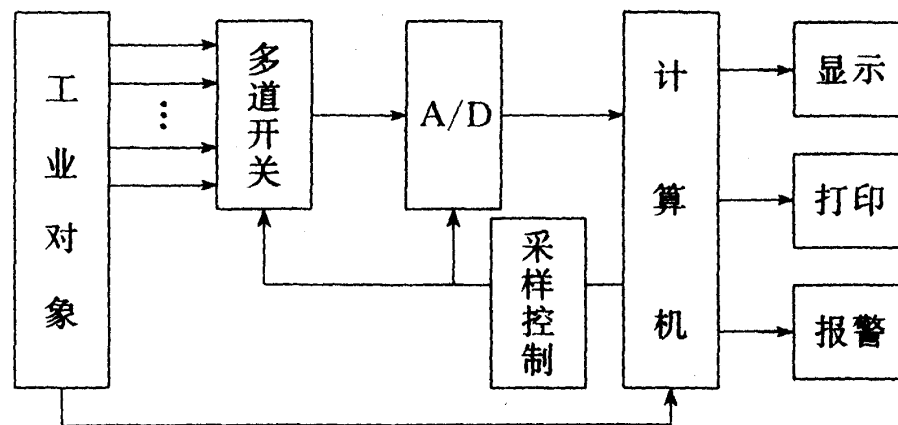


图 5-3 数据采集与数据处理系统的典型结构

■ 5.2 计算机控制系统的组成及分类

2. 直接数字控制系统 (Direct Digital Control, DDC)

- ①分时地对被控对象的状态参数进行测试；
- ②将测试的结果与给定值比较得到偏差 e ，按预定的控制算法进行数字分析、运算；
- ③将控制量直接输出到调节阀等执行机构上，使各个被控参数保持在给定值上，实现对被控对象的闭环自动调节。

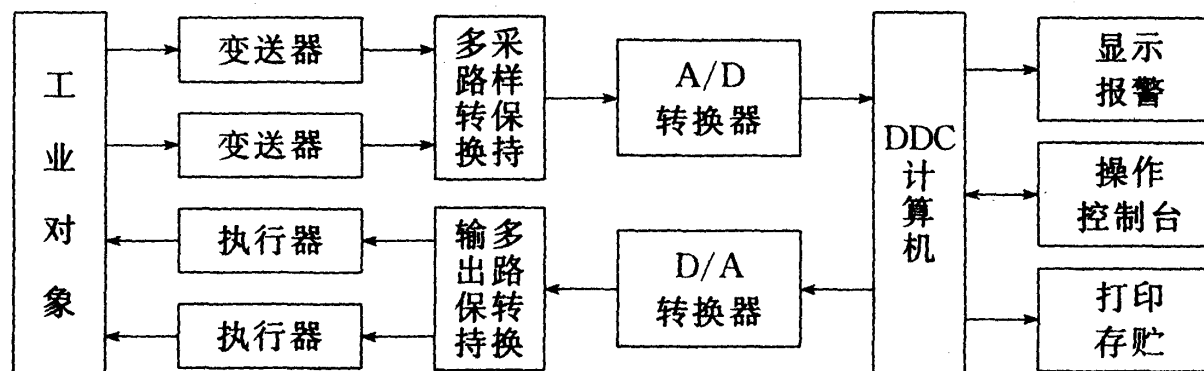


图 5-4 DDC 的构成方框图

■ 5.2 计算机控制系统的组成及分类

DDC系统的特点：

- ① 用计算机代替模拟调节器，实现了几个至更多的控制回路（一般大于50个回路时，比较经济）；
- ② 实现新型控制规律的运用，如串级控制、前馈控制、自动选择性控制、具有大纯滞后对象的控制等；
- ③ 将显示、记录、报警和给定值设定等功能都集中在操作控制台上，给操作人员带来了很大方便；
- ④ 只要改变程序即可实现控制规律转换；
- ⑤ 要求工业控制计算机的可靠性高。

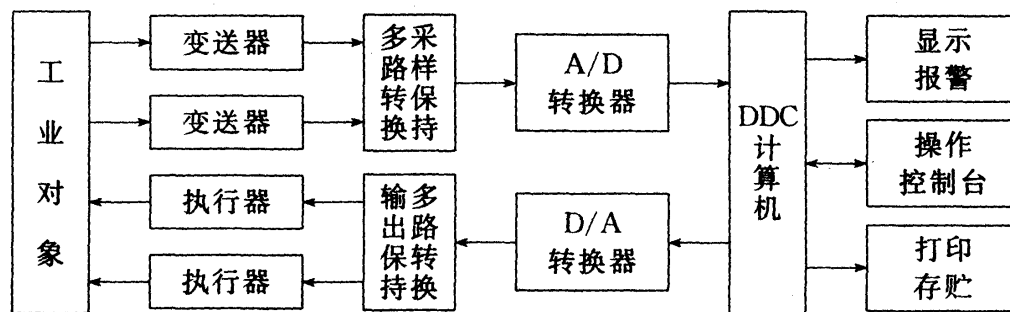


图 5-4 DDC 的构成方框图

■ 5.2 计算机控制系统的组成及分类

3. 监督控制系统 (Supervisory Process Computer Control, SCC)

由一台高档的微型计算机SCC与若干台DDC系统构成对生产过程的直接控制。

SCC和DDC计算机之间可以进行双向数据传送。

SCC计算机根据原始工艺信息和工业过程现行状态参数，按照生产过程的数学模型进行最优化的分析计算，并将其算出的最优化操作条件去重新设定DDC计算机的给定值；然后再由DDC系统对生产过程进行控制。

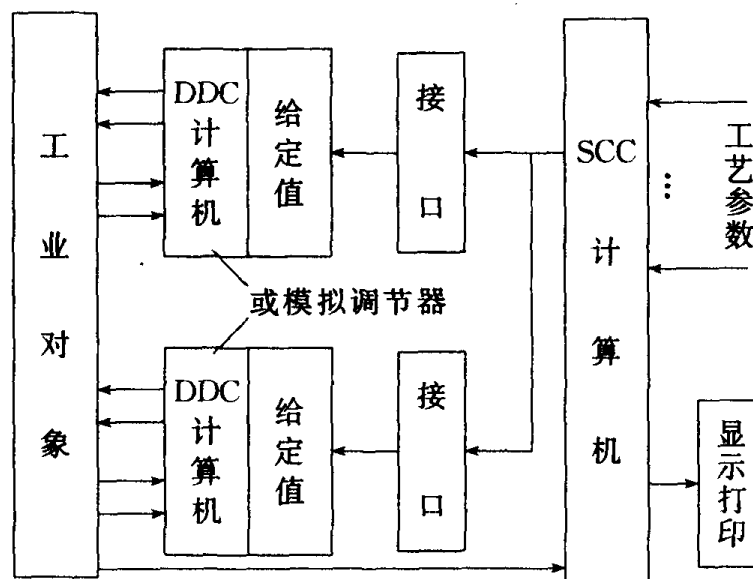


图 5-5 SCC+DDC 的控制系统

■ 5.2 计算机控制系统的组成及分类

4. 分级计算机控制系统

使用若干台计算机分别承担部分任务，以一个主计算机和两个或两个以上的“从”计算机为基础构成。

分级控制一般分为三级，生产管理级MIS、监督控制级SCC、直接数字控制级DDC。

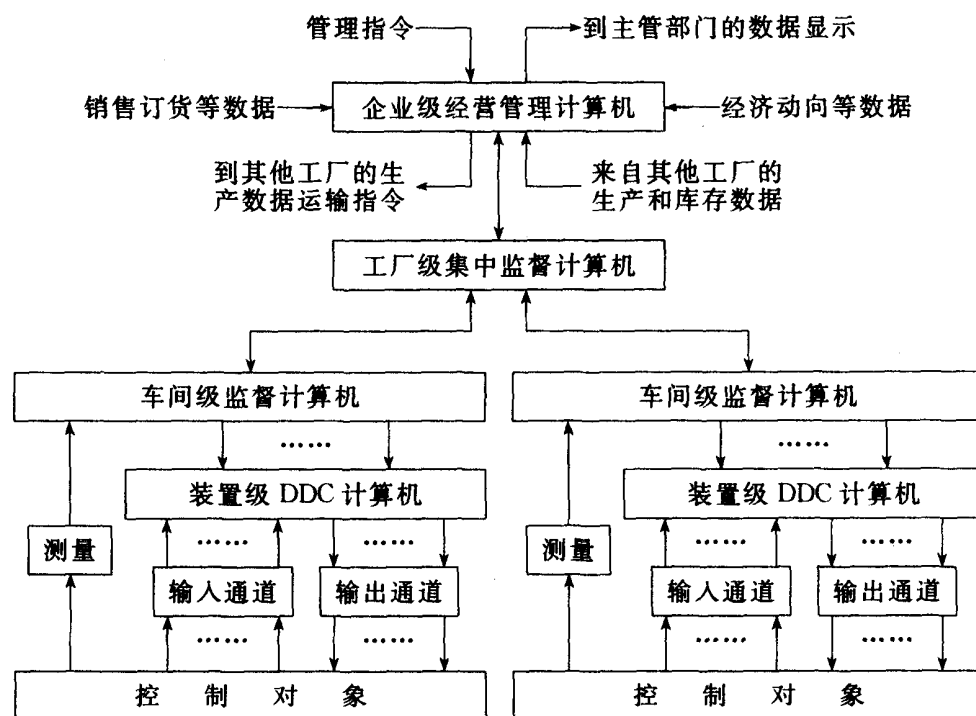


图 5-6 分级计算机控制系统

将控制功能分散，用多台计算机分别执行不同的控制功能，既能进行控制，又能实现管理，灵活方便、可靠性高、通讯简单。

■ 5.2 计算机控制系统的组成及分类

5. 集散型控制系统 (Total Distributed Control System, TDCS)

以数台乃至数百台计算机分散的分布在各个生产现场，作为现场控制站或基本调节器实现对生产过程的检测与控制。控制站通过高速数据通道与监督计算机SCC通信，通过CRT操作站实现对系统的监视和干预。

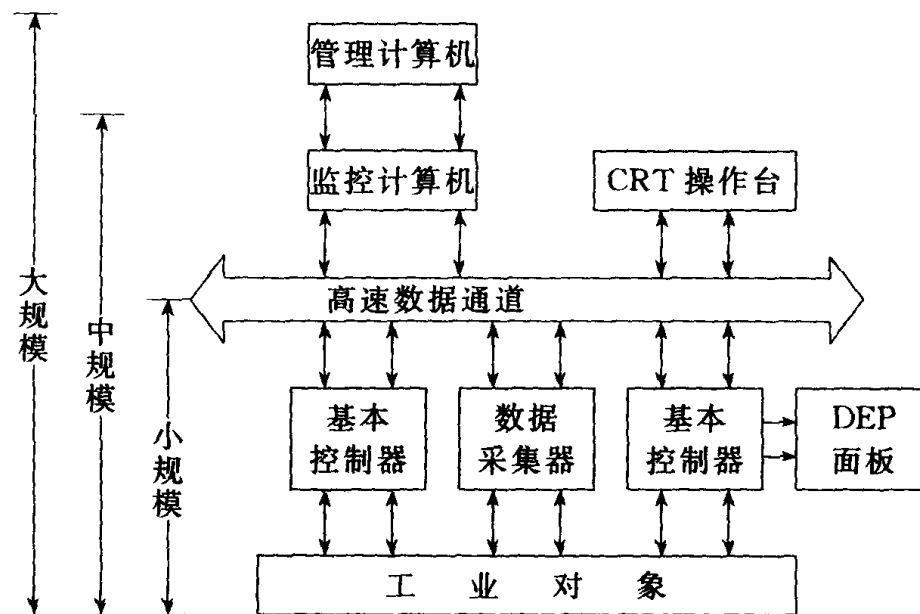


图 5-7 集散型控制系统

该结构比分级分层结构更灵活，扩充更方便；硬件冗余度大，某个回路出现故障时可以相互支援，可靠性高。

■ 5.2 计算机控制系统的组成及分类

集散型控制系统特点：

- 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
- 具有开放性
- 可靠性高

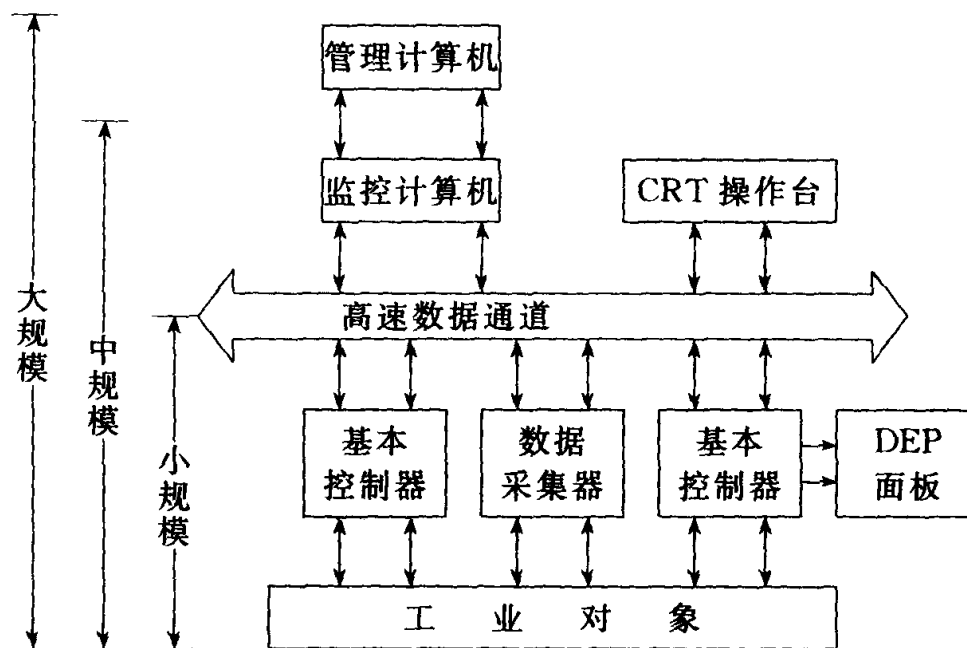



图 5-7 集散型控制系统

三、计算机测试系统

1. 计算机在测试技术中的作用

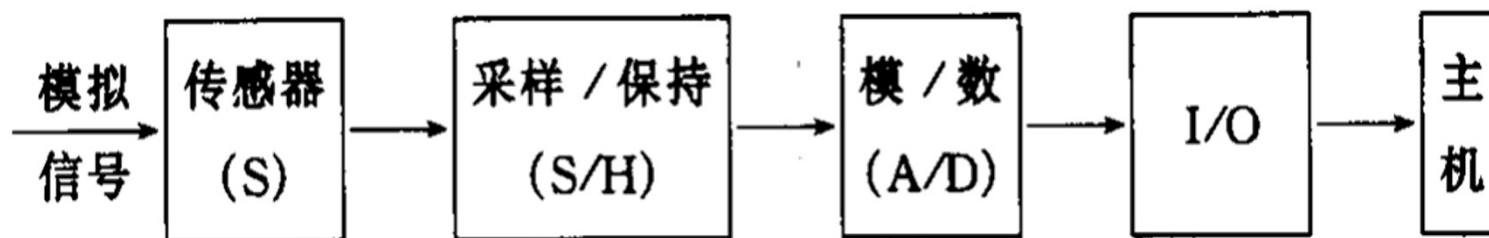
- (1) 扩展了测量参数的数目，提高了测量的准确度；
 - (2) 革新了检测方法，使过去不能进行的某些测量，现在能够进行了；
 - (3) 简化了仪表，实现了集中控制；
 - (4) 具有数据处理功能，以及专家推断、分析与决策功能。
- 

■ 5.2 计算机控制系统的组成及分类

2. 计算机模拟信号测试系统的基本结构

(1) 单通道数据采集

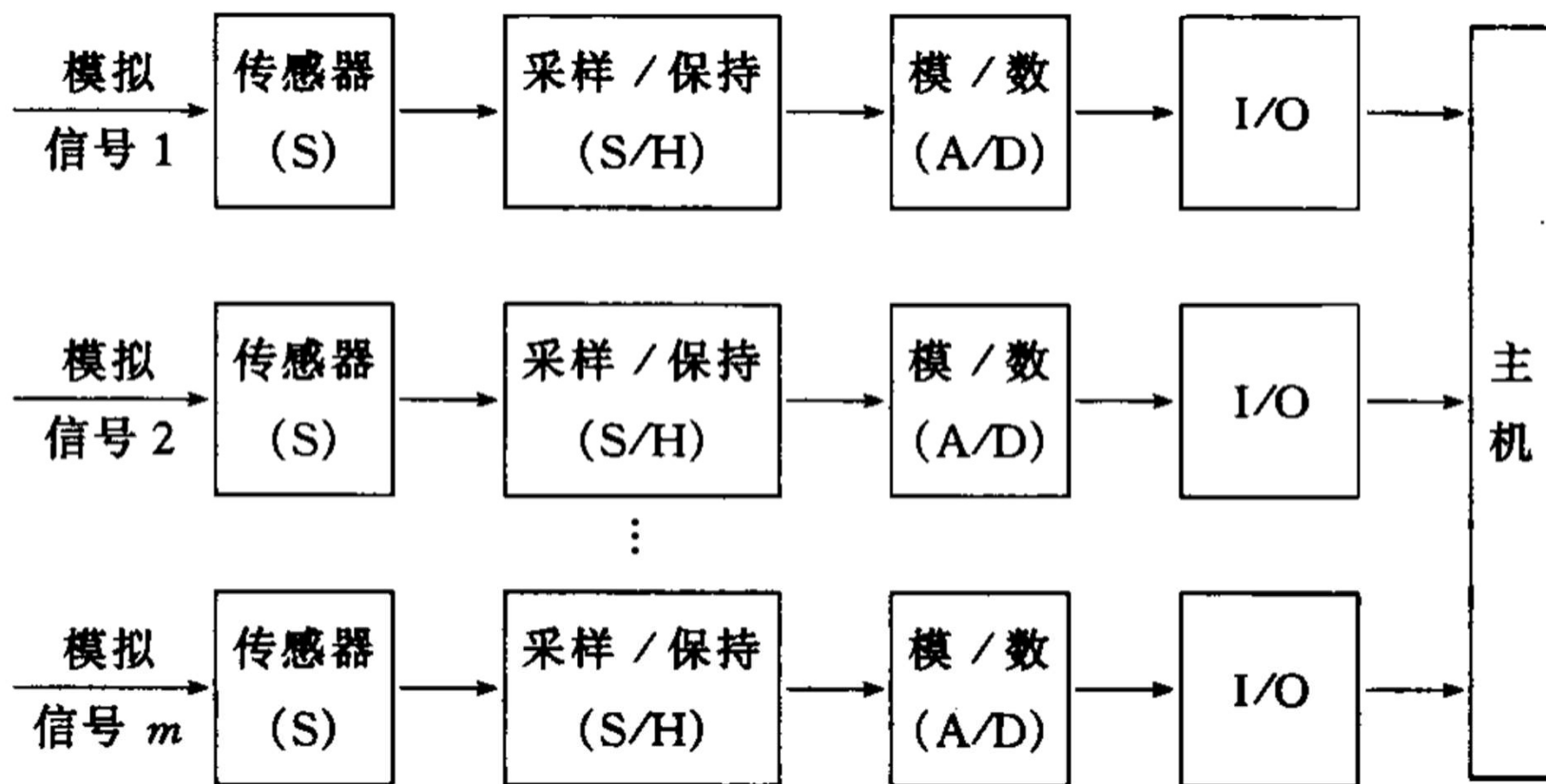
只有一个被采集的模拟信号。



■ 5.2 计算机控制系统的组成及分类

(2) 多通道数据采集

① 多路A / D转换方式

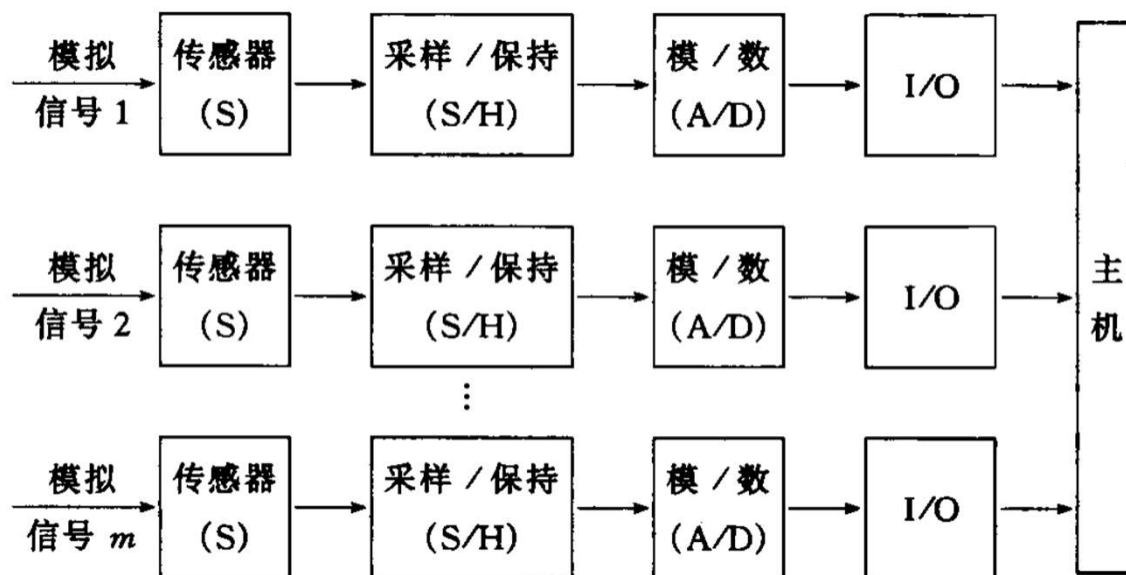


■ 5.2 计算机控制系统的组成及分类

(2) 多通道数据采集

① 多路A / D转换方式

- 每路信号都有独立的采样保持电路S/H，A/D转换电路及I/O接口电路，每一路占一个通道。
- 通道数增加，最高采样率不会受到影响，可同时采集多路数据信号，保持了各信号间的同步性。
- 用于高速采集和需要同时采集多路数据的系统。



■ 5.2 计算机控制系统的组成及分类

② 多路共享A / D转换方式

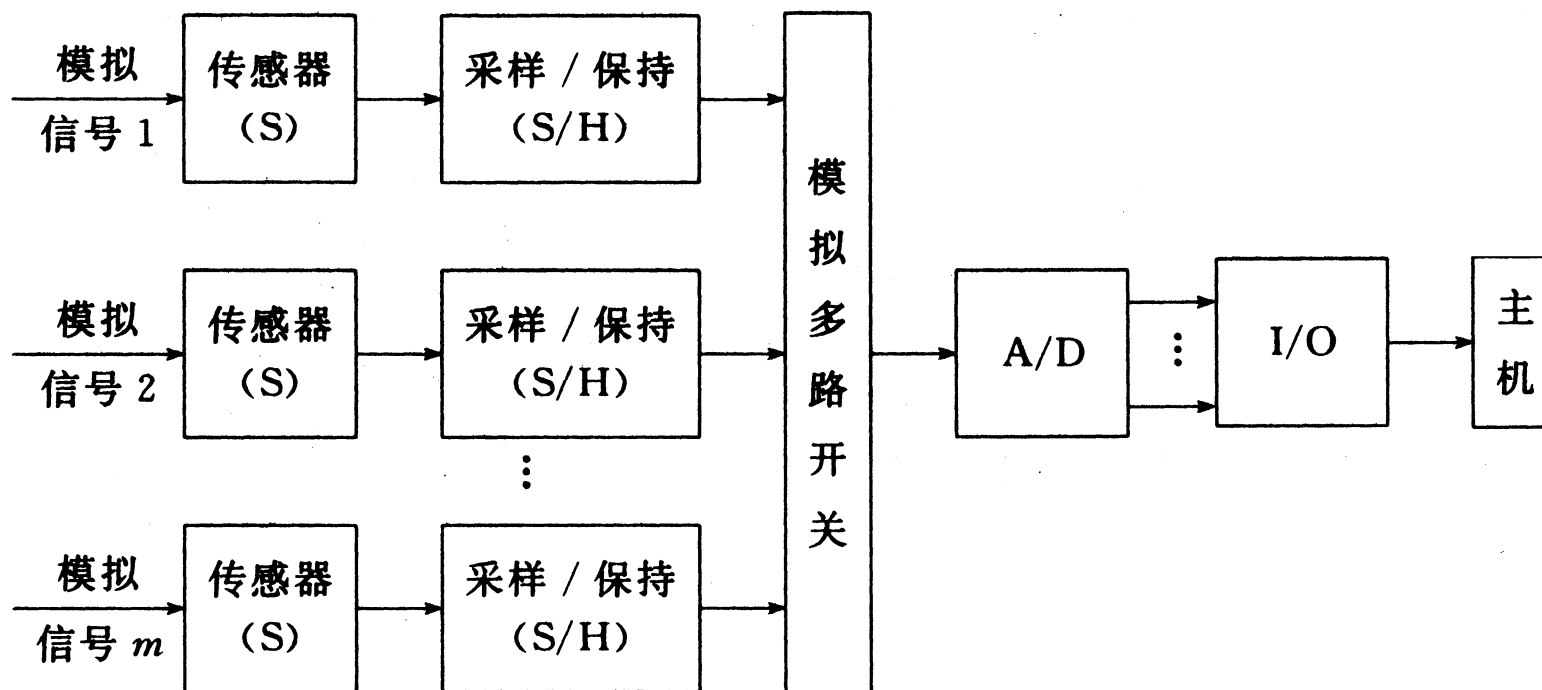


图 5-13 多路共享 A/D 转换方式框图

■ 5.2 计算机控制系统的组成及分类

② 多路共享A / D转换方式

- 输入信号进入各路采样保持电路，然后由多路开关可选择地将各路信号送入A/D转换器进行转换。
- 转换速度要慢一些，且各路信号是断续的。
- 通道数增加时，采用频率受到影响。
- 适用于对采集率要求不高的多路信号采集系统。

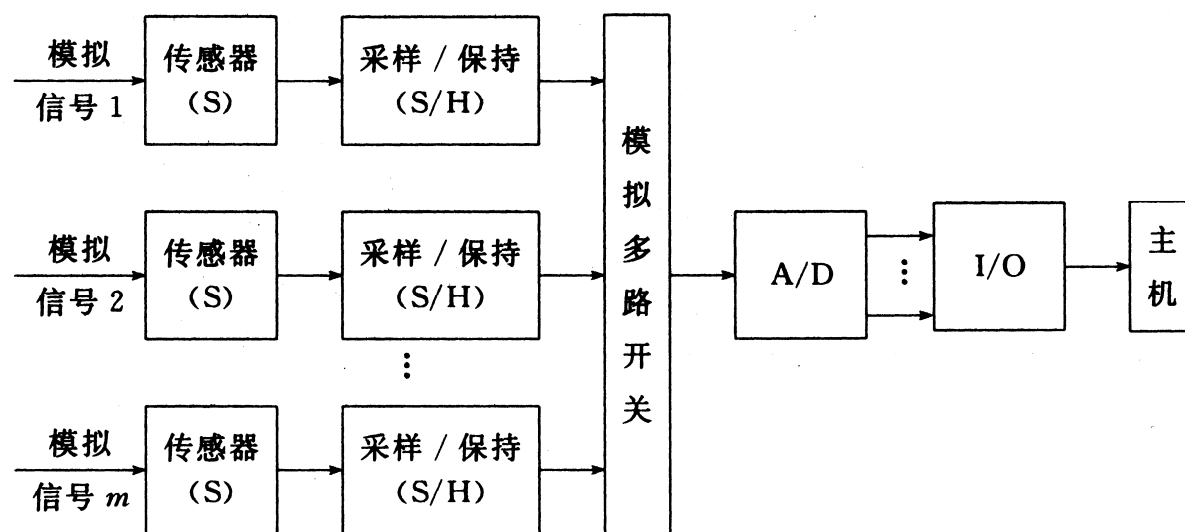


图 5-13 多路共享 A/D 转换方式框图

■ 5.2 计算机控制系统的组成及分类

③ 多路开关转换方式

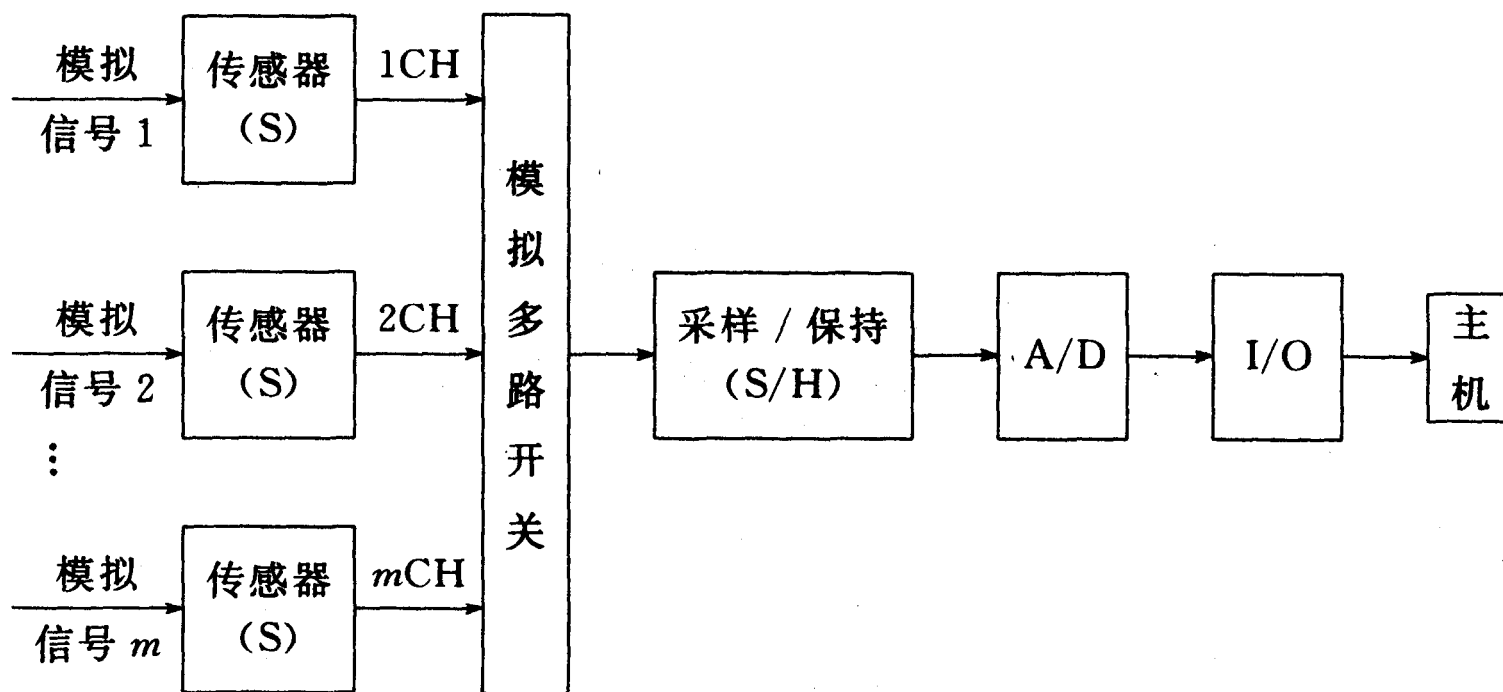


图 5-14 多路开关方式框图

■ 5.2 计算机控制系统的组成及分类

③ 多路开关转换方式

- 这种方式的转换速度比以上两种方式都慢，但节省硬件。
- 不能同时采到同一时刻的各种参数。
- 适用于采集多路变化缓慢的信号，如温度变化信号、应变信号等。

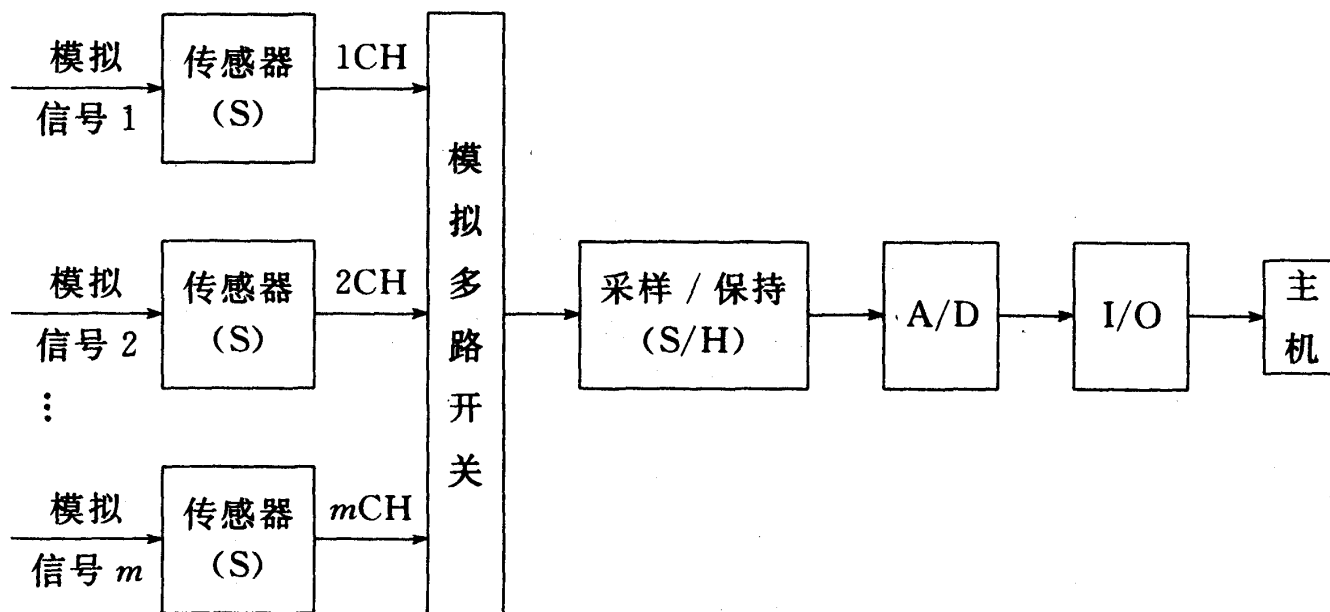


图 5-14 多路开关方式框图

■ 5.2 计算机控制系统的组成及分类

3. 数据采集

(1) 采样定理

① 信号的采样

将一个连续时间函数 $e(t)$ 用时间离散的连续函数 $e^*(t)$ 来表示。

把时间上连续的模拟信号，转变为时间上离散的信号。

这一过程称为信号的采样。

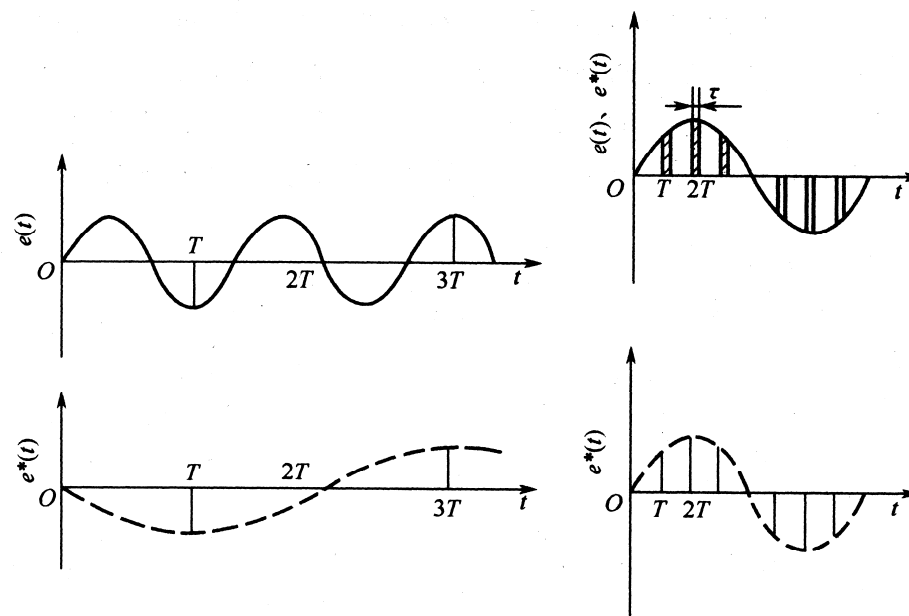


图 5-15 正弦信号的采样

■ 5.2 计算机控制系统的组成及分类

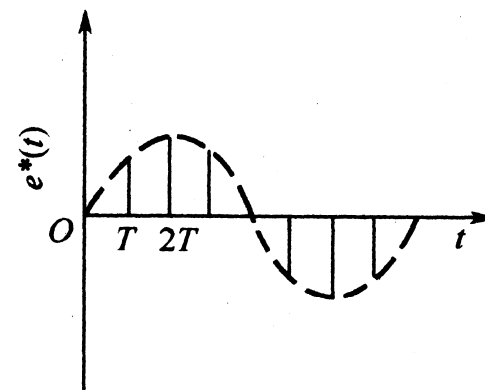
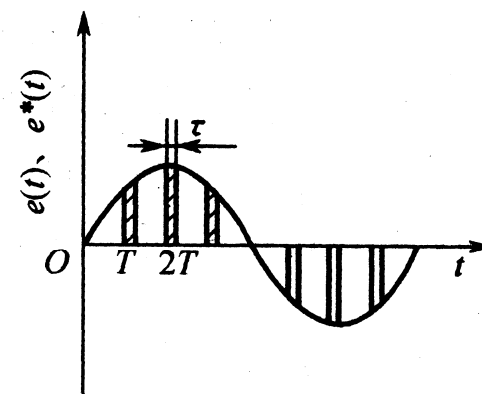
采样周期 T :

两次采样之间的时间间隔。

采样定理:

一个带宽为 $(0 \sim f_m)$ 的信号 $e(t)$,
用间隔时间为: $T \leq 1/(2f_m)$ 的若干个
采样值来代表。

反之, 若用采样值表示原来的信号 $e(t)$, 只要将采样值通过一个截止频率为 f_m 低通滤波器即可还原 $e(t)$,
即无失真采样频率应满足 $f_s \geq 2f_m$ 。



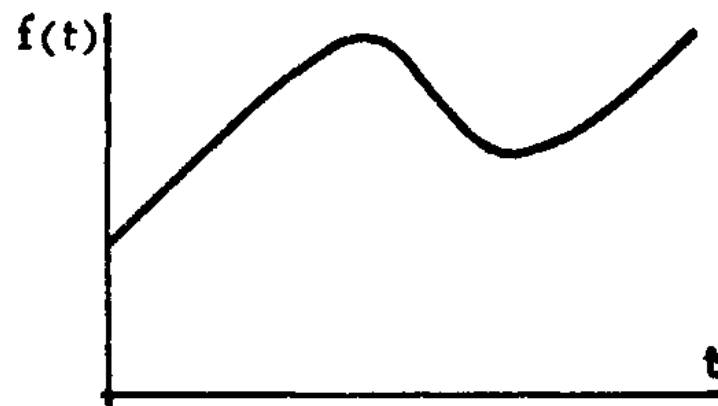
■ 5.2 计算机控制系统的组成及分类

采样周期 T 越小，越接近连续系统，采样精度越高。

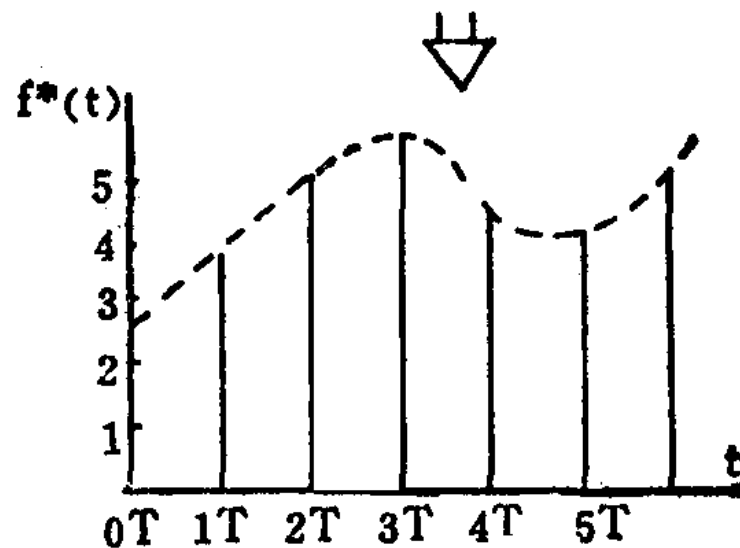
但这将加重计算机的负担，因此合理选择采样周期显得非常重要。

取：

$$T \leq \frac{1}{10f_m}$$



(a) 模拟信号

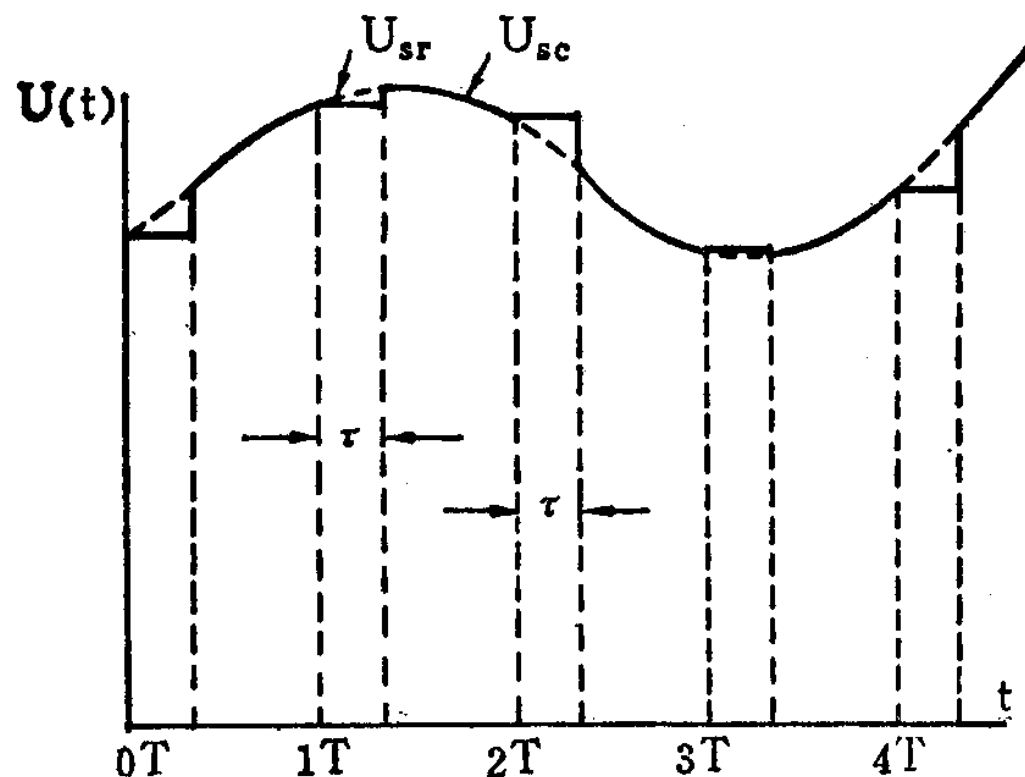


(b) 采样信号

■ 5.2 计算机控制系统的组成及分类

② 信号保持：

在采样时信号应保持幅值不变，直到变换完成。这个保持时间 τ ，称为**采样时间**。一般 $\tau \ll T$ ， τ 可忽略不计。



采样保持器输入与输出波形



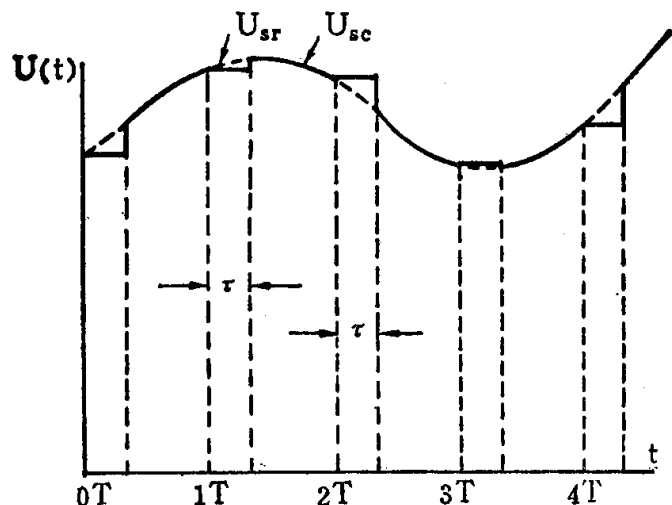
■ 5.2 计算机控制系统的组成及分类

(2) 采样 / 保持电路

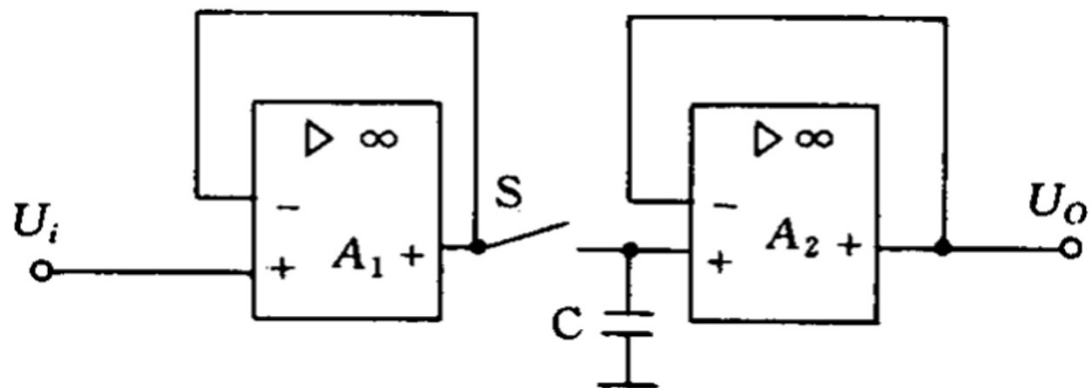
在微机测试系统中，由于A / D转换器的转换过程需要一定的时间，在A / D转换器转换过程中必须保持参数值不变，完成上述功能的电路称：采样 / 保持 (Sample / Hold)电路。



■ 5.2 计算机控制系统的组成及分类



采样保持器输入与输出波形



A1、A2—输入输出缓冲运算放大器

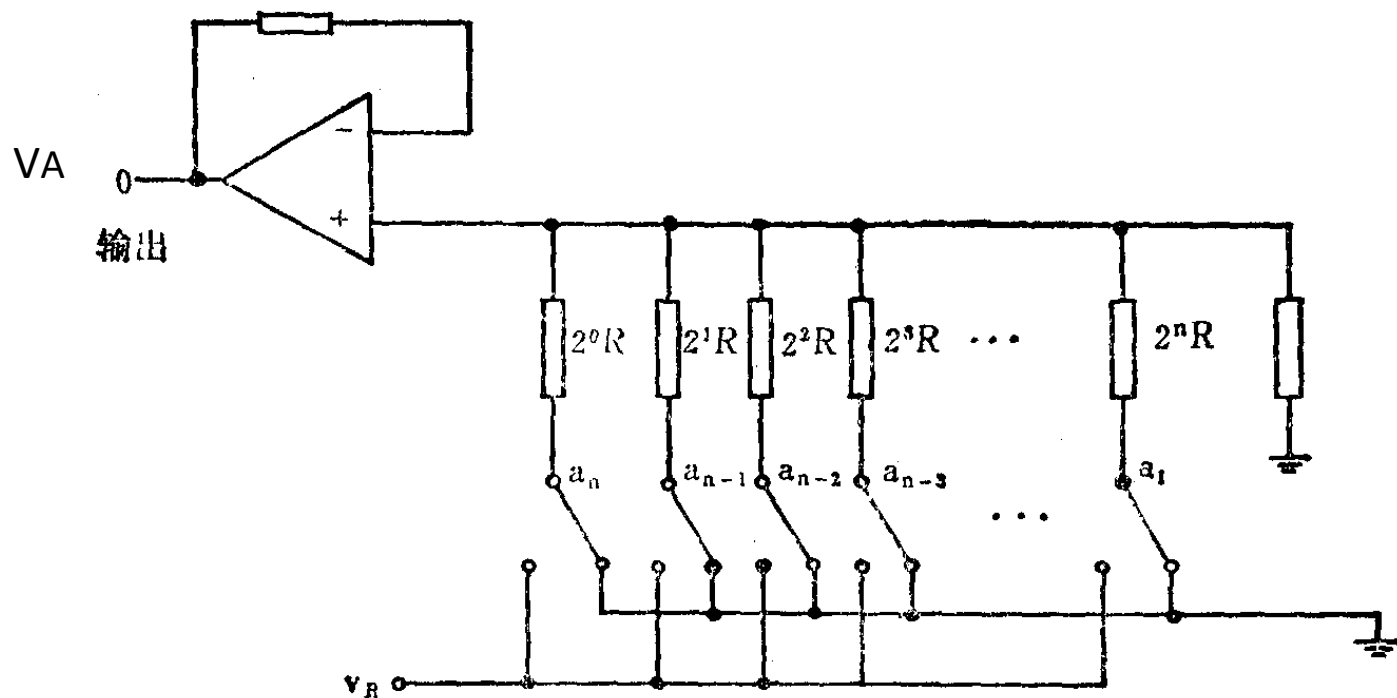
- ◆ 采样期间，开关S闭合，输入信号 U_i 经高增益放大器A1输出，向电容C充电；
- ◆ 保持期间，开关S断开，由于A2运算放大器输入阻抗很高，在理想情况下，电容C上的电压将保持充电时的最终值。

■ 5.2 计算机控制系统的组成及分类

4. 数/模 (D/A) 转换器

功能：将输入D/A转换器的数字量转换成模拟量。

方法：利用译码电路控制D/A内部的电阻网络开关，输出与数字量D呈比例的模拟电压 V_A 。



数/模转换器原理图

■ 5.2 计算机控制系统的组成及分类

数字量D与模拟量 V_A 的关系：

$$V_A = D \cdot V_R$$

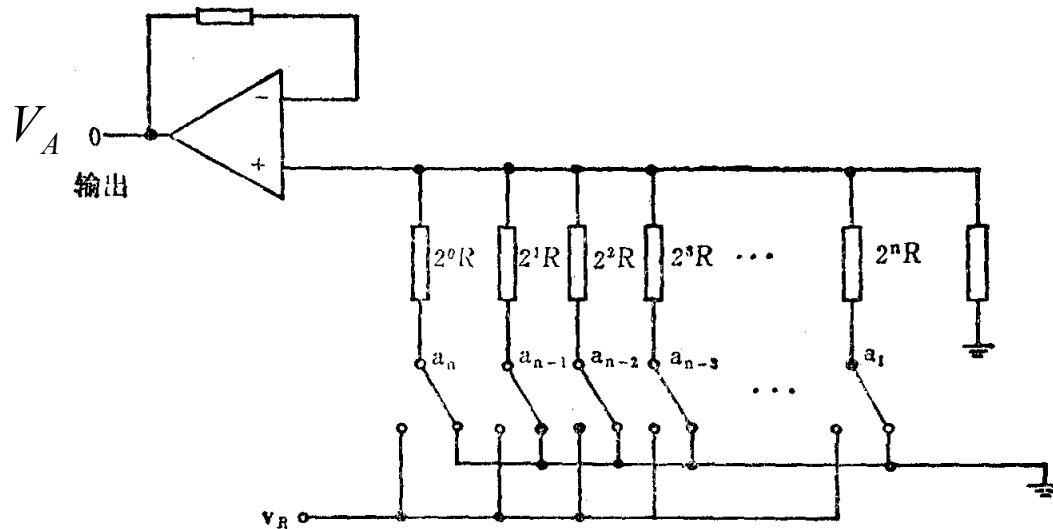
式中： $D = a_{n-1} \cdot 2^{n-1} + a_{n-2} \cdot 2^{n-2} + \cdots + a_1 \cdot 2^1 + a_0 \cdot 2^0$

$$V_A = V_R (a_{n-1} \cdot 2^{n-1} + a_{n-2} \cdot 2^{n-2} + \cdots + a_1 \cdot 2^1 + a_0 \cdot 2^0)$$

开关 a_i :

向左： $a_i = 1$

向右： $a_i = 0$



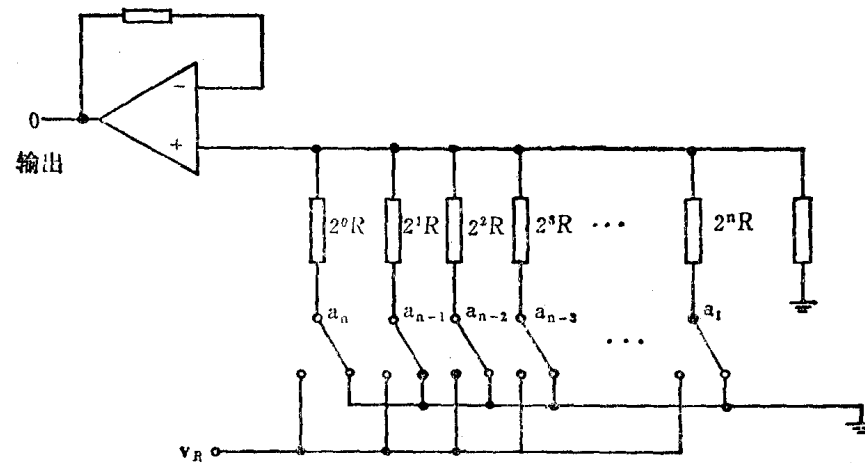
数/模转换器原理图

■ 5.2 计算机控制系统的组成及分类

电路中的电阻值与二进制数码每位的权有关，称权电阻电路。

二进制数码控制 a_i 的开与关， $a_i = 1$ 该路电阻与基准电压 V_R 接通； $a_i = 0$ 该路电阻与地接通。

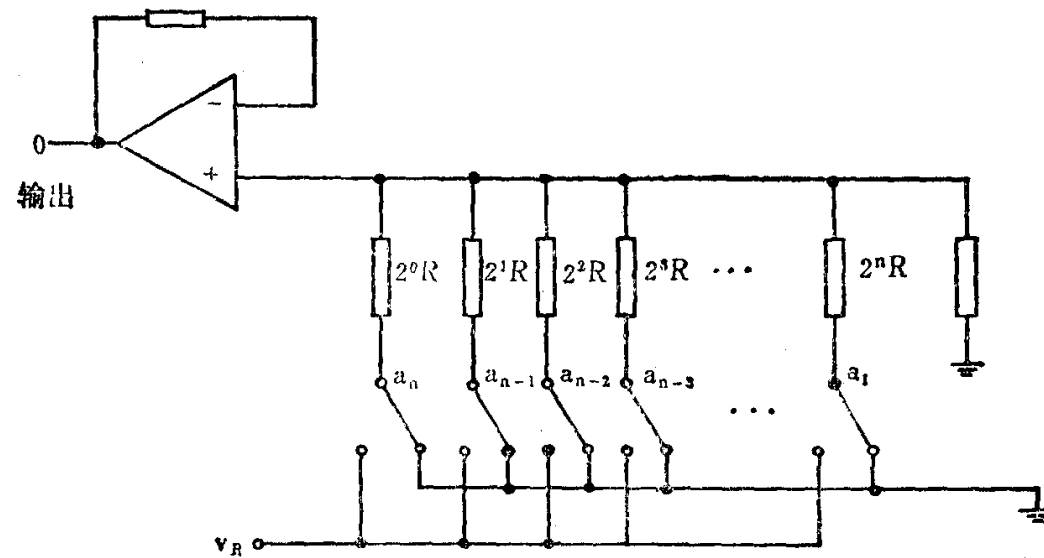
在转换器的输出端由运算放大器把各个支路产生的电流线性叠加且转换为电压输出。



数/模转换器原理图

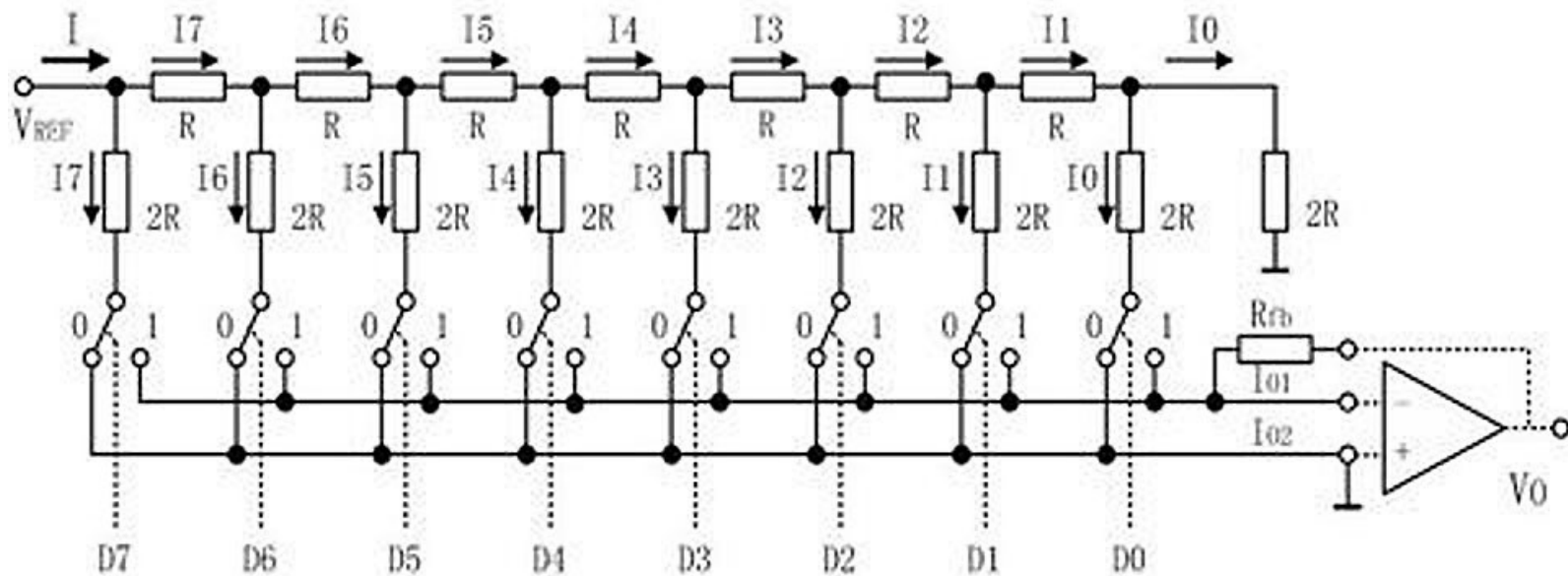
■ 5.2 计算机控制系统的组成及分类

权电阻网络



数/模转换器原理图

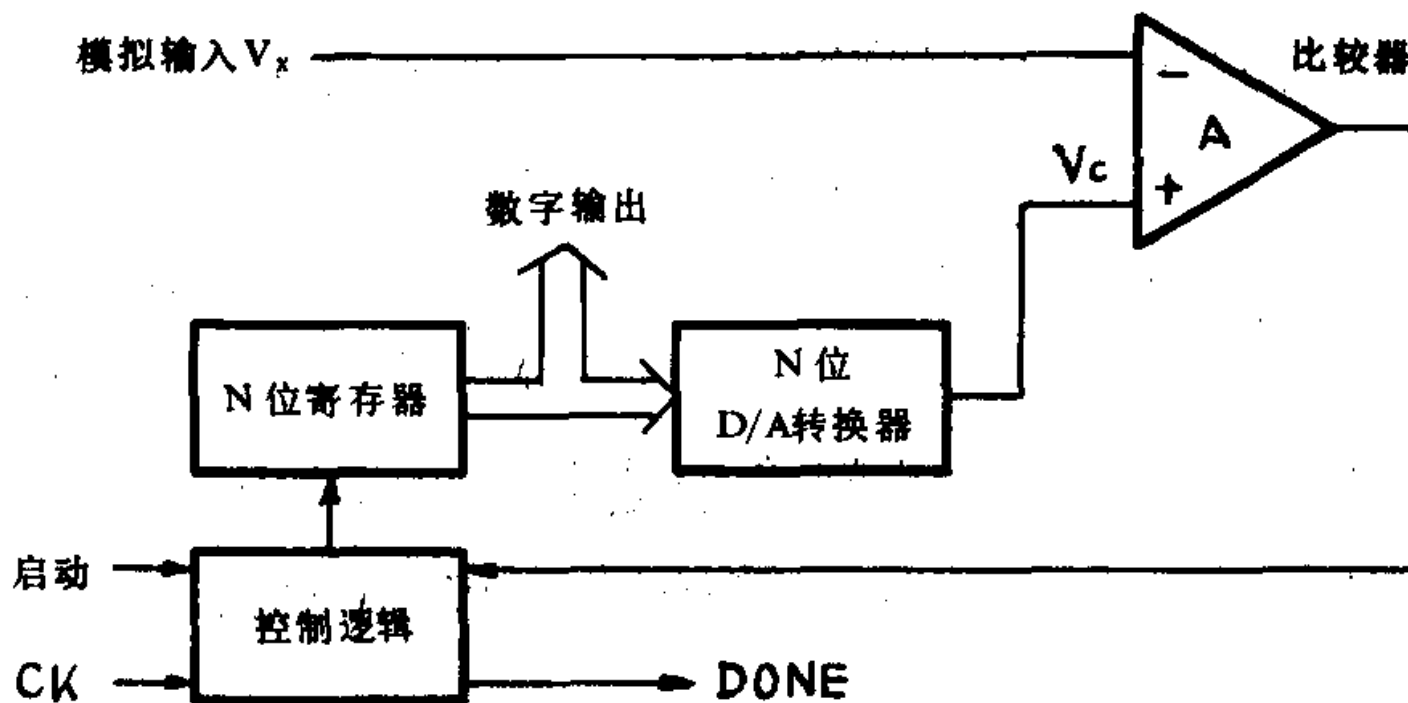
倒R-2R电阻网络



■ 5.2 计算机控制系统的组成及分类

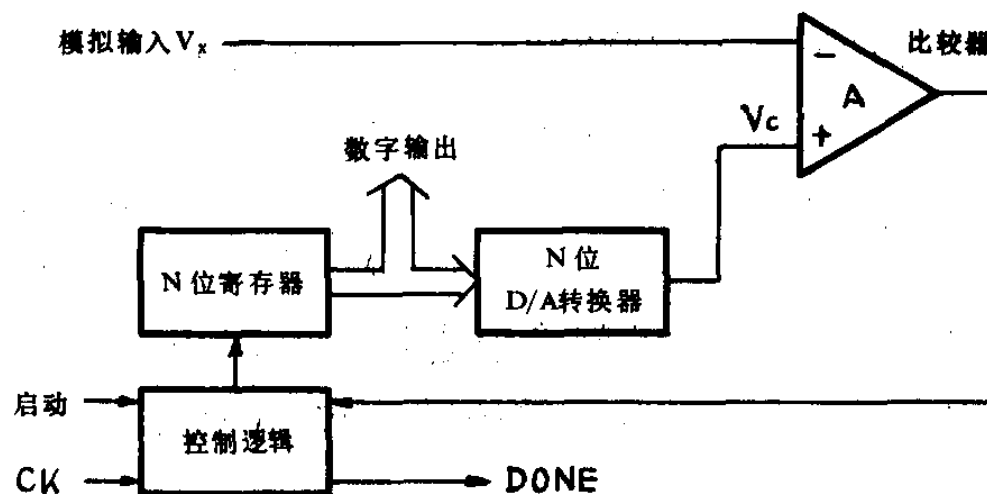
5. 逐次逼近型A / D转换器工作原理

组成：N位寄存器、N位D / A转换器、比较器以及控制逻辑。



■ 5.2 计算机控制系统的组成及分类

由控制器使寄存器 $D_N=1$ ，
经D / A转换成模拟量 V_c
(满量程一半) 送到比较器。



在比较器中与被转换的模拟量 V_x 进行比较：

若 $V_x \geq V_c$ ：则 $D_N=1$ ；若 $V_x < V_c$ ：则 $D_N=0$ ；

再对 D_{N-1} 位进行比较，使 $D_{N-1}=1$ ，与上一位 D_N 一起进入D / A转换器，转换后再进入比较器，再与 V_x 比较，如此一位一位地继续下去，直到最后一位 D_0 比较完毕为止。

N位寄存器的数字量即为 V_x 所对应的数字量。



■ 5.2 计算机控制系统的组成及分类

这种比较方法类似于对分搜索。

一个N位A / D转换器只需比较N次，由此可见，逐次逼近型A / D转换器速度比较快，因而得到了广泛的应用。目前，很多集成电路A / D转换器，大都是采用这种原理。如：

8位的ADC0804、ADC0809；

10位的AD7570；

12位的AD574。



■ 5.2 计算机控制系统的组成及分类

6. A / D转换器的技术指标

(1) 分辨率:

分辨率是A / D转换器对微小输入量变化的敏感程度。对于一个N位的A / D转换器，其分辨率为

$$\text{分辨率} = \frac{1}{2^N} \text{ 满刻度值}$$

实际上分辨率就等于1LSB(Least Significant Bit, 最低有效位)。

(2) 转换时间

A / D转换器完成一次转换所需要的时间叫转换时间。

AD574 转换时间15μs



■ 5.2 计算机控制系统的组成及分类

四. 脉冲信号的采集

脉冲频率与周期;

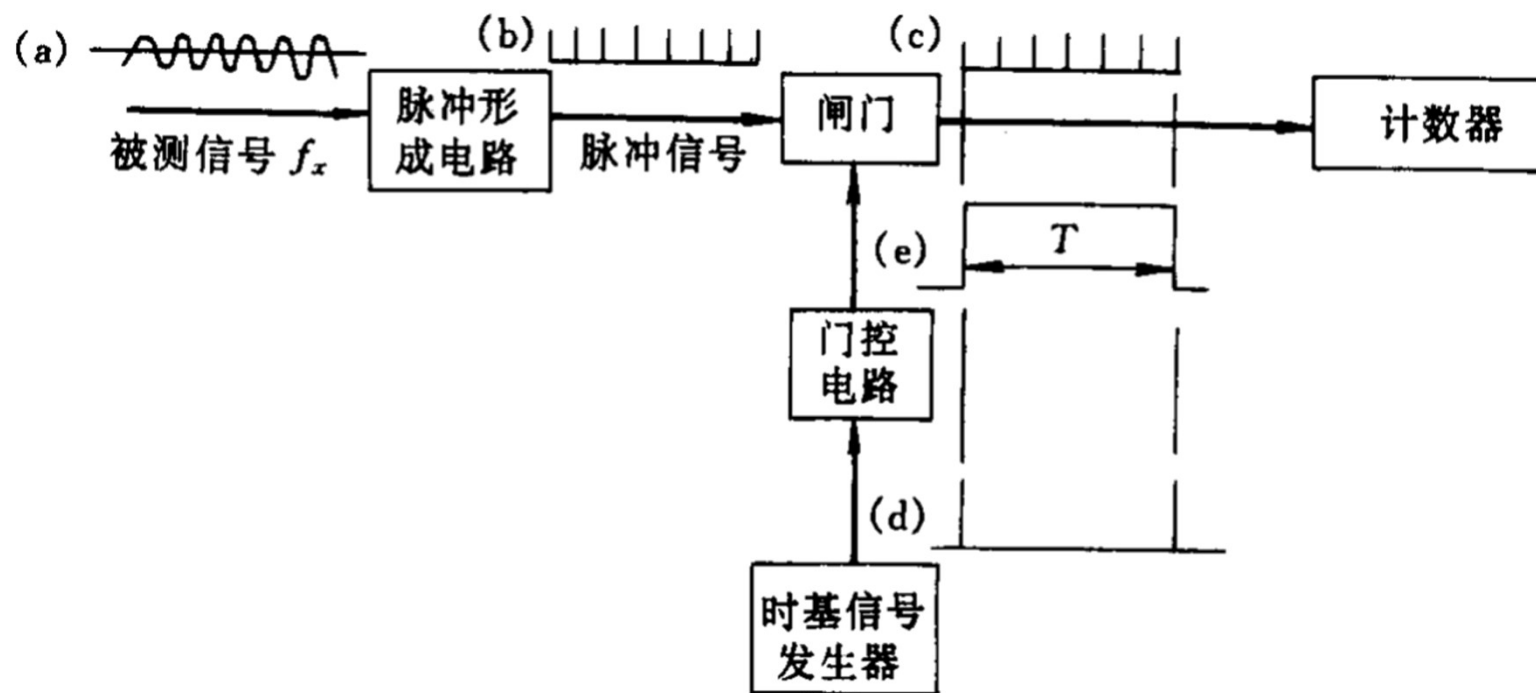
脉冲个数的检测;

脉冲宽度的检测。



■ 5.2 计算机控制系统的组成及分类

脉冲频率检测电路（测频法）：



信号频率：

$$f_x = \frac{N}{T}$$

■ 5.2 计算机控制系统的组成及分类

脉冲宽度检测（测周法）：

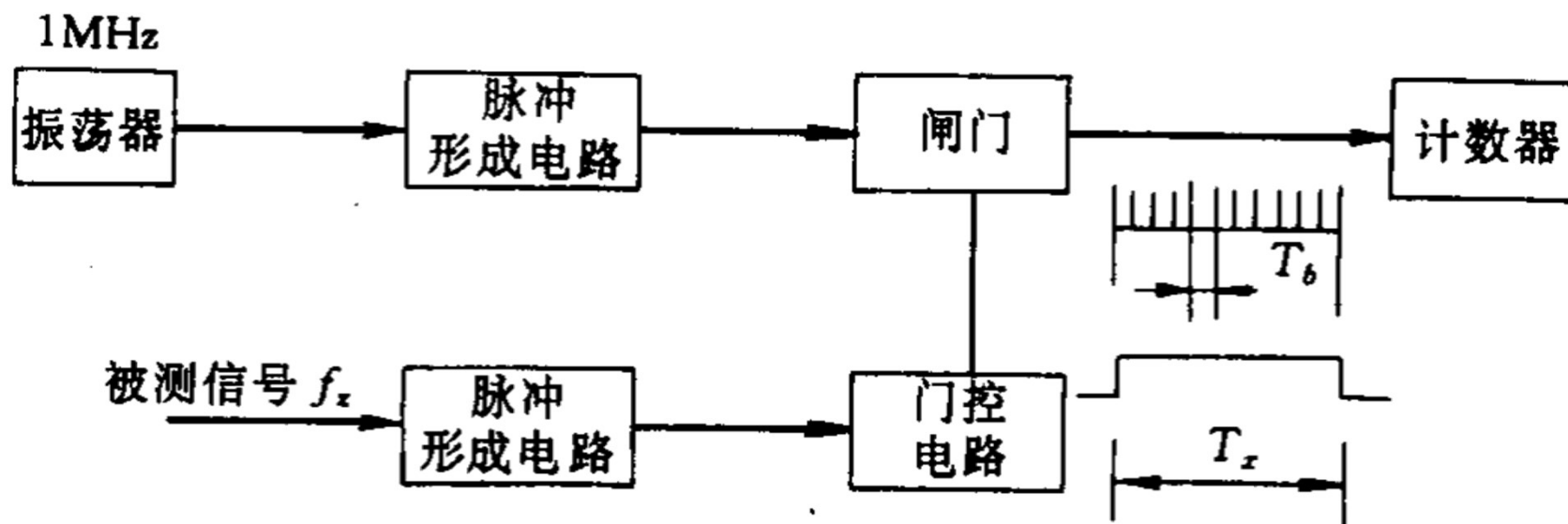



图 3-78 脉冲宽度测量原理图

五. 计算机测试系统的设计

1. 设计任务

- (1) **主机选型** 对于以测试(或控制)为主要任务的工程设计, 一般选择现有合适的微机产品。
 - (2) **输入通道结构** 按照测试参数的多少, 采样频率的高低等来选择输入通道的数量。
 - (3) **输出通道结构** 根据测试系统的功能要求, 确定是否需要打印机打印数据, 是否需要绘图仪绘制动态参数图形, 是否需要各种形式的超限报警设施等。
- 



■ 5.2 计算机控制系统的组成及分类

2. 输入通道电路的设计分析

(1) 传感器选型

在计算机测试系统中，传感器是影响系统性能的主要因素之一。根据测试的参数是压力、温度，选择对应的温度、压力传感器。对于间接测量，首先要找出直接测量参数，然后根据参数选择合适的传感器。



■ 5.2 计算机控制系统的组成及分类

(2) A / D转换器的选择:

按被测参数的精度, 计算A / D的分辨率。

例: 分配到A / D转换器的允许误差为0.1%, 以此作为量化误差, 则A / D的数字量位数应满足关系式:

$$\frac{1}{2^n} \leq 0.1\%$$

取n=10时: $1LSB = \frac{1}{2^{10}} = 0.098\% < 0.1\%$

■ 5.2 计算机控制系统的组成及分类

A / D转换器的输入电压：

按单极性设计，选为：0 — 10V ；

按双极性设计，选为：-5 — +5V。

(3) 转换数码与模拟电压值的对应关系：

单极性 0 — 10V：

$$V = \frac{N \cdot A}{2^n}$$

双极性 -5 — +5V：

$$V = \frac{N \cdot A}{2^n} - 5(V)$$

V — 模拟电压值；
N — 转换数码；
A — 满量程电压；
n — 转换器位数。

一、基本功能：

1. 对输入 / 输出通道的控制管理功能；
2. 测试数据的处理功能；
3. 系统本身自检测和自诊断功能；
4. 软件开发和调试修改用的系统监控操作功能等。




二、数字滤波程序的设计

a. 硬件滤波：

在工业过程控制系统中，由于被控对象的环境比较恶劣，干扰源比较多，在模拟系统中为了消除干扰，常常采用RC滤波电路。

b. 软件滤波：

由微型机组成的自动检测系统中，为了减少对采样值的干扰，提高系统的可靠性，采用数字滤波的方法（程序滤波）。





■ 5.3 测试软件设计

数字滤波是通过一定的计算程序对采样信号进行平滑加工，提高其有用信号，消除或减少各种干扰和噪音，以保证计算机系统的可靠性。

优点：

（1）不需增加任何硬设备，只要在程序进入数据处理和控制算法之前，附加一段数字滤波即可。

（2）由于数字滤波器不需增加硬设备，所以系统可靠性高，不存在阻抗匹配问题。

（3）模拟滤波是每个通道都有，而数字滤波器则可以多个通道共用，降低成本。





■ 5.3 测试软件设计

(4) 可对频率很低的信号进行滤波，而模拟滤波器由于受电容容量的影响，频率不能太低。

(5) 使用灵活、方便，可根据需要选择不同的滤波方法，或改变滤波器的参数。

数字滤波具有上述优点，在计算机测试与控制系统中得到了广泛的应用。



1. 程序判断滤波

当采样信号由于随机干扰和误检测或者变送器不稳定而引起严重失真时，可采用程序判断滤波。

方法：

根据生产经验，确定两次采样输入信号可能出现的最大偏差 ΔY ，若超过此偏差值，则表明该输入信号是干扰信号，应该去掉；若小于此偏差值，可将信号做为本次采样值。





■ 5.3 测试软件设计

$|Y(k) - Y(k-1)| < \Delta Y$ $Y(k) = Y(k)$ 取本次采样值

$|Y(k) - Y(k-1)| \geq \Delta Y$ $Y(k) = Y(k-1)$ 取上次采样值

式中， $Y(k)$ ---第 k 次采样值；

$Y(k-1)$ ---第 $k-1$ 次采样值；

ΔY ---两次采样值所允许的最大偏差。



■ 5.3 测试软件设计

程序判断滤波应用场合：

用于变化比较缓慢的参数，如温度、物位等测量系统。

程序判断滤波关键问题：最大允许误差 ΔY 的选取。

ΔY 太大，各种干扰信号将“乘机而入”使系统误差增大；

ΔY 太小，将会使某些有用信号也被拒之门外，使计算机采样效率变低。

门限值 ΔY 的选取是非常重要的。通常可根据经验数据获得，必要时可由实验得出。


2. 中值滤波程序

对被测参数连续采样 n 次(n 取奇数), 然后把 n 次的采样从小到大(或从大到小)排队, 取中间值作为本次采样值。

特点: 中值滤波程序对于去掉脉冲性质的干扰比较有效, 但对快速变化过程的参数(如流量)则不宜采用。

改变循环次数 n , 则可推广到对任意采样值进行中值滤波, n 值越大滤波效果越好。

但总的采样控制时间将增长, 所以 n 值不能太大(一般取5~9即可)。



3. 算术平均滤波程序

把N个采样值相加，然后取其算术平均作为本次采样值，即：

$$\bar{Y}(k) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n X(i)$$

式中： $\bar{Y}(k)$ ---第k次N个采样值的算术平均值；

$X(i)$ ----第i次采样值，

N ----采样次数。





■ 5.3 测试软件设计

特点：

算术平均滤波程序主要用于对压力、流量等周期脉动的采样值进行平滑加工。

平均次数 N ，取决于平滑度和灵敏度。随着 N 值的增大，平滑度提高，灵敏度降低。通常流量取12次，压力取4次。温度如无噪声可不平均。



4. 五点三次平滑

$$\bar{Y}_{-2} = \frac{1}{70}(69Y_{-2} + 4Y_{-1} - 6Y_0 + 4Y_1 - Y_2) \quad (1)$$

$$\bar{Y}_{-1} = \frac{1}{35}(2Y_{-2} + 27Y_{-1} + 12Y_0 + 8Y_1 + 2Y_2) \quad (2)$$

$$\bar{Y}_0 = \frac{1}{35}(-3Y_{-2} + 12Y_{-1} + 17Y_0 + 12Y_1 - 3Y_2) \quad (3)$$

$$\bar{Y}_1 = \frac{1}{35}(2Y_{-2} - 8Y_{-1} + 12Y_0 + 27Y_1 + 2Y_2) \quad (4)$$

$$\bar{Y}_2 = \frac{1}{70}(-Y_{-2} + 4Y_{-1} - 6Y_0 + 4Y_1 + 69Y_2) \quad (5)$$

■ 5.3 测试软件设计

$$\bar{Y}_{-2} = \frac{1}{70}(69Y_{-2} + 4Y_{-1} - 6Y_0 + 4Y_1 - Y_2) \quad (1)$$

$$\bar{Y}_{-1} = \frac{1}{35}(2Y_{-2} + 27Y_{-1} + 12Y_0 + 8Y_1 + 2Y_2) \quad (2)$$

$$\bar{Y}_0 = \frac{1}{35}(-3Y_{-2} + 12Y_{-1} + 17Y_0 + 12Y_1 - 3Y_2) \quad (3)$$

$$\bar{Y}_1 = \frac{1}{35}(2Y_{-2} - 8Y_{-1} + 12Y_0 + 27Y_1 + 2Y_2) \quad (4)$$

$$\bar{Y}_2 = \frac{1}{70}(-Y_{-2} + 4Y_{-1} - 6Y_0 + 4Y_1 + 69Y_2) \quad (5)$$

在多个采样值中：

前2个平滑数分别用式（1）和式（2）；

最后2个平滑数分别用式（4）和式（5）；

其余均采用式（3）

三、标度变换

对线性仪表系统，标度变换公式为：

$$A_x = A_0 + (A_m - A_0) \frac{N_x - N_0}{N_m - N_0}$$

式中： A_0 ---测量仪表的下限值；

A_m ---测量仪表的上限值；

A_x ---实际测量值(工程量)；

N_0 ---仪表下限所对应的数字量；

N_m ---仪表上限所对应的数字量；

N_x ---测量值所对应的数字量。



■ 5.3 测试软件设计

$$A_x = A_0 + (A_m - A_0) \frac{N_x - N_0}{N_m - N_0}$$

式中：A₀，A_m，N₀，N_m 对于某一个固定的被测参数来说是常数，为了使程序简单，把被测参数的起点A₀（输入信号为0）所对应的A / D转换器值定为0，即N₀=0，则：

$$A_x = A_0 + (A_m - A_0) \frac{N_x}{N_m}$$

■ 5.3 测试软件设计

例：压力测量。已知：压力传感器输入0-1.6MPa，输出2-10V，12位AD转换器输入范围0-10V。求：AD转换器输出值为3600时，对应的压力

$$P_x = ?$$

解：12位AD转换器输入范围0-10V，输出：0-4095；
输入2V电压时，AD值为：819。

$$A_x = A_0 + (A_m - A_0) \frac{N_x - N_0}{N_m - N_0}$$

$$A_0 = 0 \quad A_m = 1.6 \quad A_x = P_x \quad N_0 = 819 \quad N_m = 4095 \quad N_x = 3600$$

$$P_x = 0 + (1.6 - 0) \frac{3600 - 819}{4095 - 819} = 1.358(MPa)$$

一、概述

1. DDC系统：计算机直接参与闭环控制过程。

2. 操作功能：

(1)从被控对象中获取各种信息；

(2)执行能够反映控制规律的控制算法，把计算结果以一定形式送到执行器和(或)显示报警装置；

(3)实现操作人员—控制台—微型计算机系统之间的联系等。

DDC系统特有的功能：“执行能够反映控制规律的控制算法”和“把计算结果以一定形式送到执行器”。



■ 5.4 直接数字控制系统

3. 核心功能：

控制规律是反映计算机控制系统性能的核心。

(1) 执行控制算法，以实现控制规律。

(2) 直接对几十以至几百个控制回路进行自动巡回检测和数字控制。



■ 5.4 直接数字控制系统

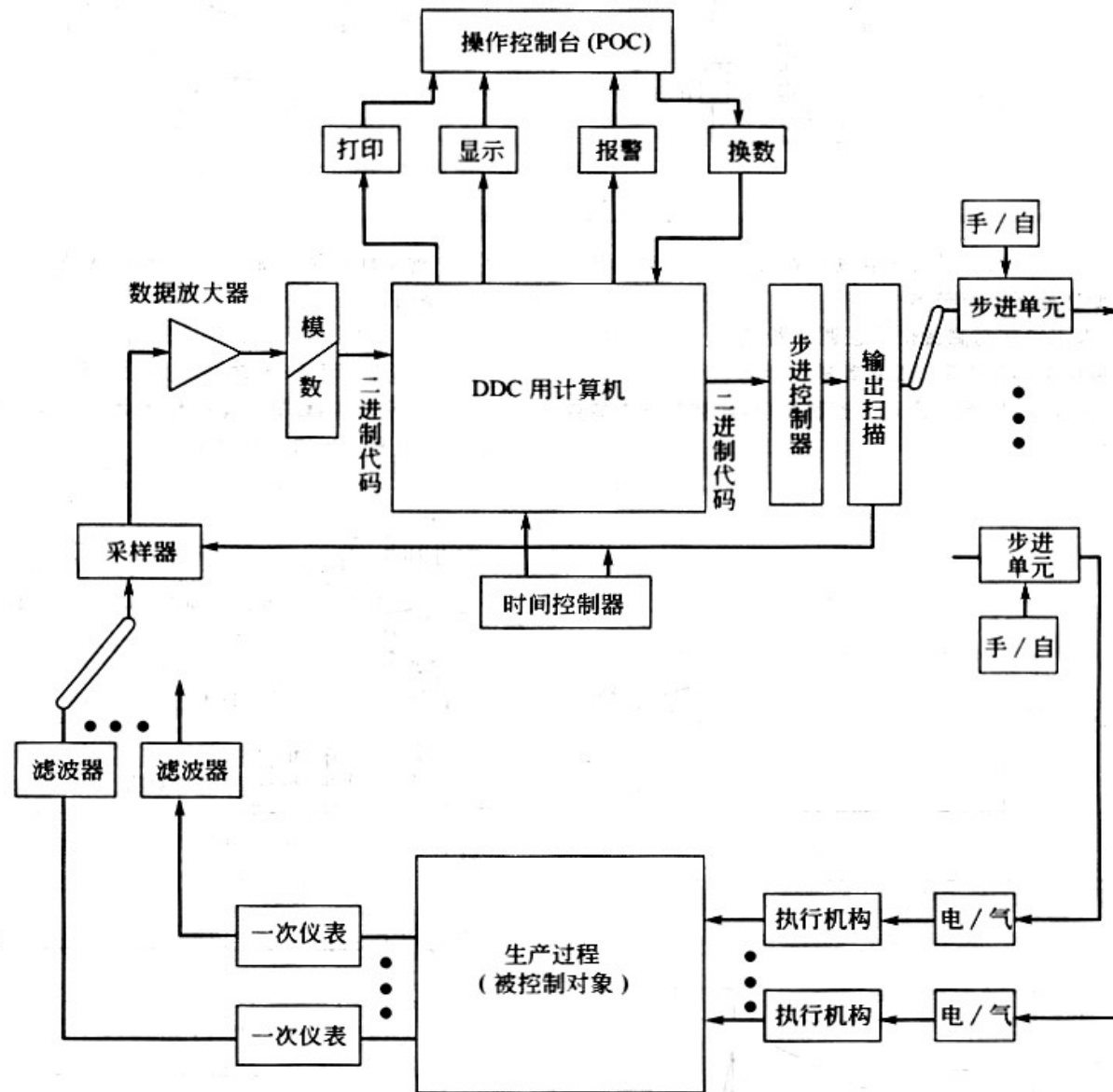


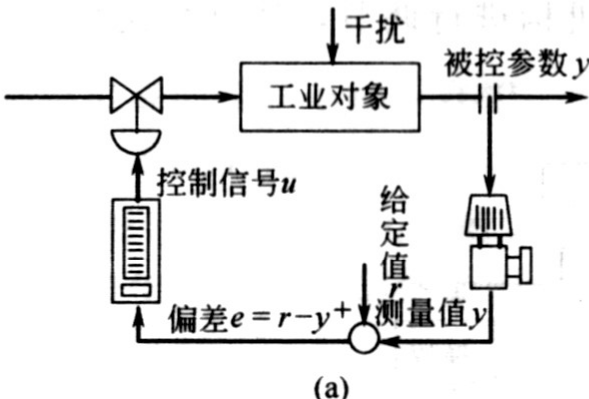
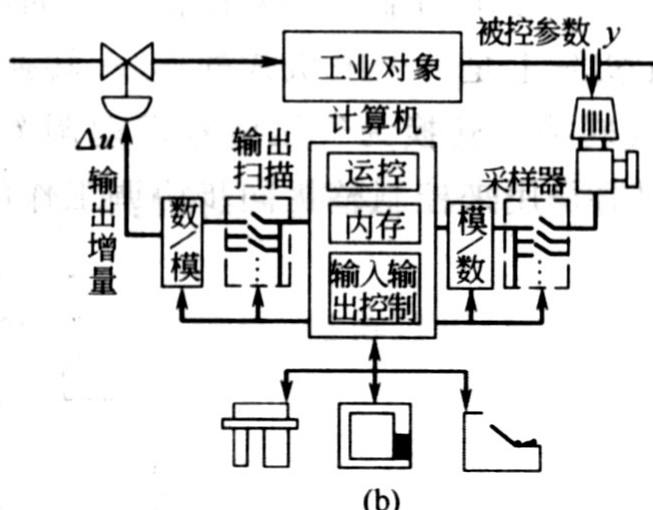
图 5-19 DDC 系统的组成方框图

DDC是利用计算机的分时处理能力对多个回路完成多种控制的一种计算机控制方式。

■ 5.4 直接数字控制系统

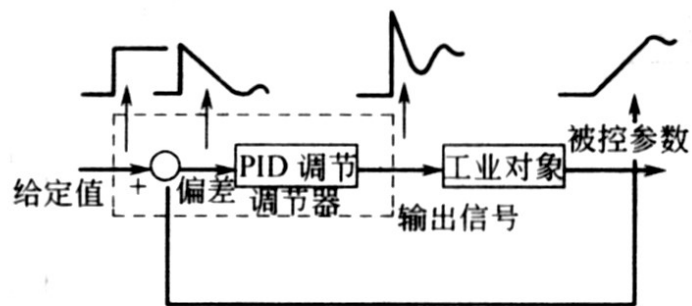
4. 模拟调节与DDC控制的比较

表 5-1 DDC 系统与模拟调节系统的比较

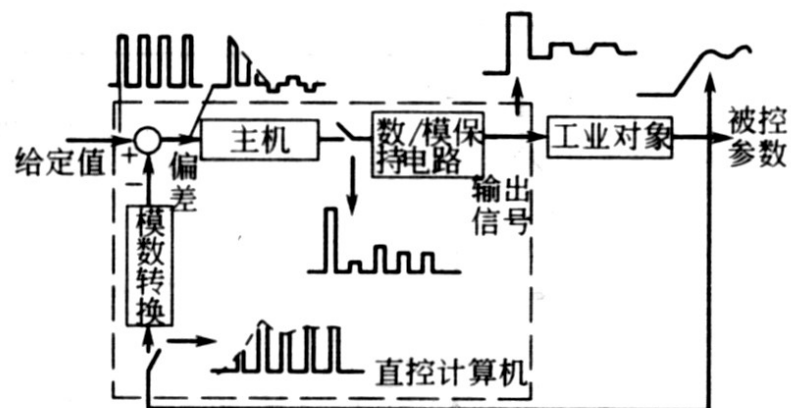
类别	常规仪表的连续自动调节系统	DDC 系 统
系 统 图	 <p>(a)</p>	 <p>(b)</p>
原 理	<p>(1) 系统的内部、外部干扰使被控参数发生变化,其变化经变送器送至调节器</p> <p>(2) 人工给定与测量信号在调节器里进行比较。根据偏差值调节器按 PID、PI、P 等进行运算</p> <p>(3) 运算结果,输出值 u 去控制阀门,使被控的参数控制在给定值上</p>	<p>(1) 是一种采样控制系统,一台计算机代替多台调节器控制多个控制回路</p> <p>(2) 通过人们预先编好的程序,按人们要求的规律自行自动控制(包括 PID、PI、P、前馈、自适应、顺序等)</p> <p>(3) 根据直控算式,计算机定时输出增量 Δu 去控制阀门,使参数测量值和给定值达到平衡</p>

■ 5.4 直接数字控制系统

控制信号的比较

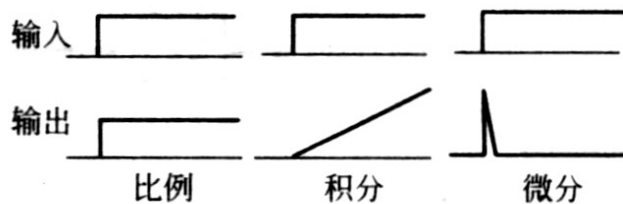


(c)

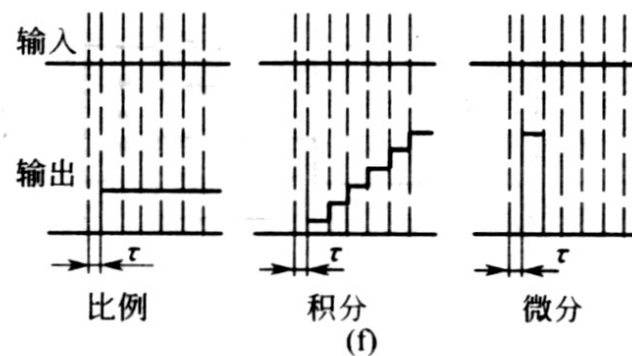


(d)

在阶跃信号作用下的比较



(e)



(f)

■ 5.4 直接数字控制系统

5. DDC系统具备的功能

- (1)直接控制程序;
- (2)数据处理程序;
- (3)控制模型程序;
- (4)报警程序;
- (5)操作指导程序;
- (6)数据记录程序;
- (7)人机联系程序等。

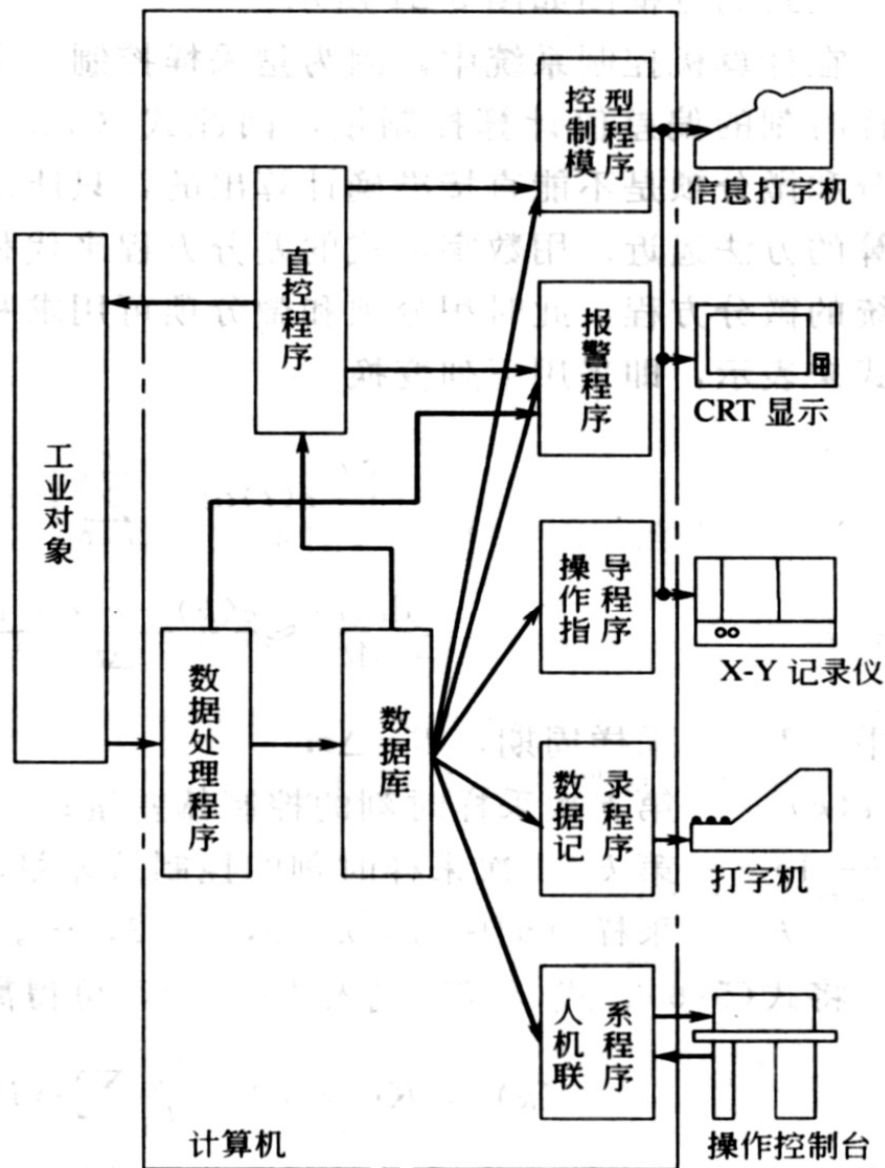


图 5-20 DDC 系统具备的功能



■ 5.4 直接数字控制系统

6. DDC系统应用场合

- i . 过程回路很多的大规模生产过程；
- ii . 被控参数需要进行一些计算的生产过程；
- iii . 各参数间相互关联的生产过程；
- iv . 原料、产品和产量经常变更的生产过程；
- v . 具有较大滞后时间的工业对象。




二、DDC基本算法

PID调节器在模拟控制系统中应用最为广泛、技术最成熟，参数选择与调整都在长期的应用中积累了丰富的经验，且这些经验和方法为广大工程技术人员所熟悉。

DDC的基本算法：

将控制模型数字化，通过计算机数字运算来实现对生产过程的控制。

利用数字PID调节器取代模拟调节器，编制PID算法的程序。即：PID调节规律的数字化。





■ 5.4 直接数字控制系统

实践证明：数字化PID能取得近似于PID模拟调节器的控制效果，而且在很多方面具有突出的优势：

i. 可用一台微型计算机控制几十个回路，大量节省设备和费用，提高了系统的可靠性；

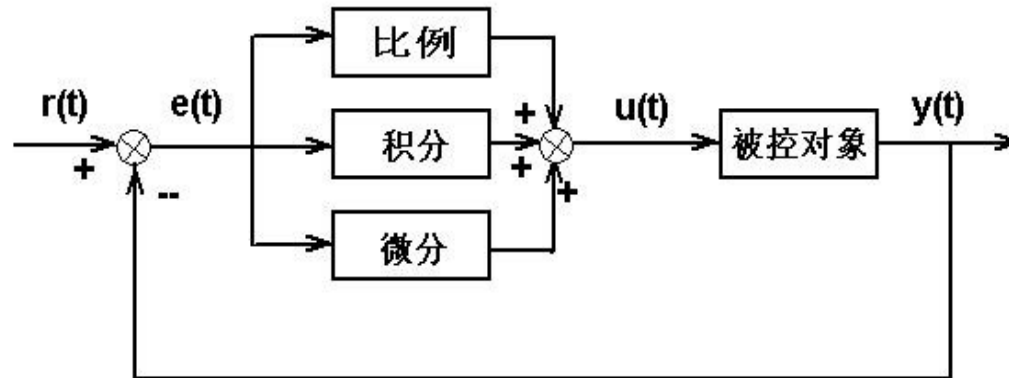
ii. 不仅用软件代替了物理的PID调节器，而且由于编程灵活，可以很方便地对PID规律进行各种改进，衍生多种形式的PID算法，如带死区的PID、带自动比率的PID等。

PID参数的调整也只要改变程序的数据，十分方便。



■ 5.4 直接数字控制系统

1. 模拟PID控制



在连续控制系统中，PID控制器的输出 $u(t)$ 与输入 $e(t)$ 之间成比例、积分、微分的关系。即

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(t) dt + T_D \frac{de(t)}{dt} \right]$$

式中： $e(t)=r(t)-y(t)$ ，设定值 $r(t)$ 与测量值 $y(t)$ 的偏差。

K_p 为比例增益， T_I 为积分时间常数， T_D 为微分时间常数。

■ 5.4 直接数字控制系统

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(t) dt + T_D \frac{de(t)}{dt} \right]$$

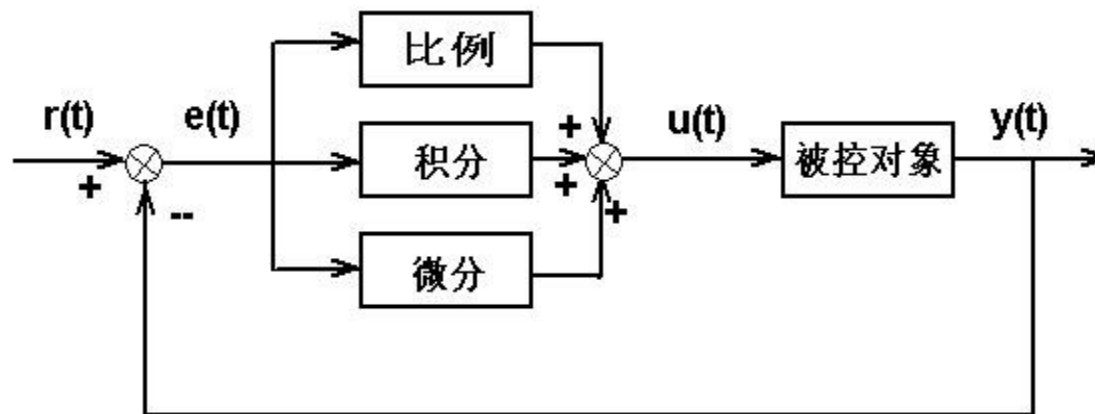
式中： $u(t)$ —模拟调节器输出；

$e(t)$ —控制偏差；

K_p —比例系数；

T_I —积分时间常数；

T_D —微分时间常数。



■ 5.4 直接数字控制系统

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_I} \int e(t) dt + T_D \frac{de(t)}{dt} \right]$$

上式可写成传递函数形式：

$$W(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left[1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right]$$

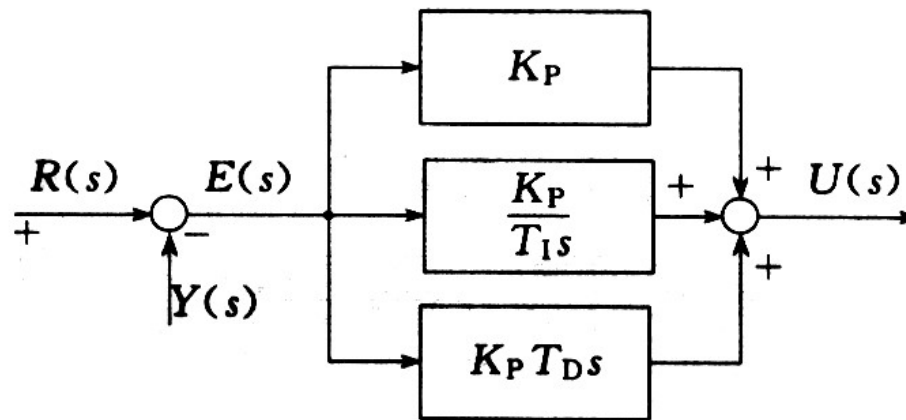
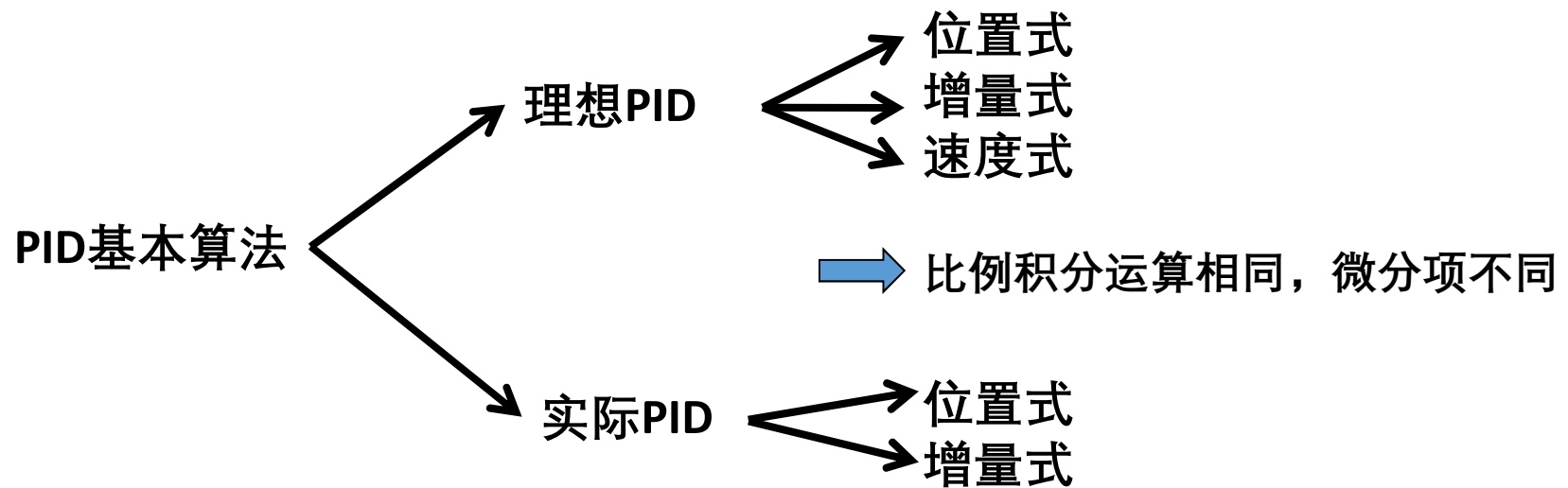


图 5-21 理想 PID 算法的方框图

■ 5.4 直接数字控制系统

2. 数字PID控制

在DDC系统中，用数字运算实现PID的调节规律。



■ 5.4 直接数字控制系统

(1)位置式理想PID算法：

计算机控制是采样控制，要根据采样时刻的偏差值计算控制量

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(t) dt + T_D \frac{de(t)}{dt} \right]$$

式中的积分和微分不能直接使用，需要进行离散化处理。即用数值计算方法逼近，用差分方程代替连续系统的微分方程，此时：

积分项—用求和方式表示；

微分项—用增量式表示。

■ 5.4 直接数字控制系统

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(t) dt + T_D \frac{de(t)}{dt} \right]$$

求和方式

增量方式

$$\int_0^t e(t) dt = \sum_{i=0}^k e(i) \Delta t = T \sum_{i=0}^k e(i)$$

$$\frac{de(t)}{dt} \approx \frac{e(k) - e(k-1)}{\Delta t} = \frac{e(k) - e(k-1)}{T}$$

式中：

T —采样周期， $T = \Delta t$

$e(k)$ —第 k 次采样时刻输入的偏差值；

$e(k-1)$ —第 $(k-1)$ 次采样时刻输入的偏差值；

k —采样时刻序号， $k=0, 1, 2 \dots$ 。

■ 5.4 直接数字控制系统

将：

$$\int_0^t e(t)dt = T \sum_{i=0}^k e(i) \quad \frac{de(t)}{dt} \approx \frac{e(k) - e(k-1)}{T}$$

代入：

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_I} \int e(t)dt + T_D \frac{de(t)}{dt} \right]$$

为方便将 $e(t)$ 简化表示为 $e(k)$ ，得到离散后的数字PID算法：

$$u(k) = K_p \left\{ e(k) + \frac{T}{T_I} \sum_{i=0}^k e(i) + \frac{T_D}{T} [e(k) - e(k-1)] \right\}$$

■ 5.4 直接数字控制系统

$$u(k) = K_P \{e(k) + \frac{T}{T_I} \sum_{i=0}^k e(i) + \frac{T_D}{T} [e(k) - e(k-1)]\}$$

式中：K_P—比例系数；

T_I—积分时间常数；

T_D—微分时间常数；

T—采样周期；

k—采样序号，k=0,1,2,...；

u(k)—第k次采样时刻的计算机输出值；

e(k)—第k次采样时刻输入的偏差值；

e(k-1)—第(k-1)次采样时刻输入的偏差值。

■ 5.4 直接数字控制系统

$$u(k) = K_p \left\{ e(k) + \frac{T}{T_I} \sum_{i=0}^k e(i) + \frac{T_D}{T} [e(k) - e(k-1)] \right\}$$

控制器输出值 $u(k)$ 直接控制执行机构(如阀门)， $u(k)$ 与执行机构的位置(如阀门开度)将一一对应，称位置式PID控制算法。

缺点：①由于全量输出，所以每次输出均与过去的状态有关，计算积分时要对 $e(k)$ 进行累加，计算机运算的工作量大。

②计算机的输出与执行机构的实际位置相对应，若计算机出现故障， $u(k)$ 的大幅度变化，会引起执行机构的位置的大幅度变化，这种情况往往是生产实践中不允许的，在某些场合，还可能造成重大的生产事故。

■ 5.4 直接数字控制系统

(2) 理想增量式PID算法

当数字PID的输出值 $u(t)$ 是执行器位置的增量时，称增量式PID算法。

增量式数字PID的输出增量是前后2次采样所对应的输出差： $\Delta u(k) = u(k) - u(k-1)$ ，将 $u(k-1)$ 代入

$$u(k) = K_p \left\{ e(k) + \frac{T}{T_I} \sum_{i=0}^k e(i) + \frac{T_D}{T} [e(k) - e(k-1)] \right\}$$

$$\text{得： } u(k-1) = K_p \left\{ e(k-1) + \frac{T}{T_I} \sum_{i=0}^{k-1} e(i) + \frac{T_D}{T} [e(k-1) - e(k-2)] \right\}$$

两式相减得：

$$\Delta u(k) = K_p \left\{ [e(k) - e(k-1)] + \frac{T}{T_I} e(k) + \frac{T_D}{T} [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \right\}$$

■ 5.4 直接数字控制系统

$$\Delta u(k) = K_p \{ [e(k) - e(k-1)] + \frac{T}{T_I} e(k) + \frac{T_D}{T} [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \}$$

若： $K_I = K_p \cdot T / T_I$ 一积分系数

$K_D = K_p \cdot T_D / T$ 一微分系数，得：

$$\Delta u(k) = K_p [e(k) - e(k-1)] + K_I e(k) + K_D [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)]$$

以上两式称：理想增量式PID算法，其输出 $\Delta u(k)$

表示：阀位在第k-1次采样时刻输出基础上的增量。

■ 5.4 直接数字控制系统

(3)速度式PID算法

当数字PID的输出值 $u(t)$ 是指直流伺服电机的转速时，称速度式PID算法。

将：
$$\Delta u(k) = K_p \{ [e(k) - e(k-1)] + \frac{T}{T_i} e(i) + \frac{T_D}{T} [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \}$$

两边除以T，即为速度式PID算法：

$$\begin{aligned} v(t) &= \frac{\Delta u(k)}{T} \\ &= K_p \left\{ \frac{1}{T} [e(k) - e(k-1)] + \frac{1}{T_i} e(i) + \frac{T_D}{T^2} [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \right\} \end{aligned}$$

由于T为常数， $v(t)$ 与 $u(t)$ 无本质差别。

■ 5.4 直接数字控制系统

在实际应用中，增量式PID算法应用较多，与位置式相比，增量式PID的优点如下：

i . 位置式PID算法中的积分项包含了过去误差的累积值 $\sum e(t)$ ，容易产生累积误差。当该项累积值很大时，使输出控制量难以减小，调节缓慢，发生积分饱和，对控制调节不利。

由于计算机字长的限制，当该项值超过字长时，又引起积分丢失现象。增量式PID则没有这种缺点。



■ 5.4 直接数字控制系统

ii. 系统进行手动和自动切换时，增量式PID由于执行元件保存了过去的位置，因此冲击较小。即使发生故障时，也由于执行元件的寄存作用，仍可保存原位，对被控过程的影响较小。

在实际应用时，以上各理想PID算法形式的选用要结合执行器的形式、被控对象特性以及客观条件而定。



(4)实际PID位置式算法

理想PID算法在有些工业过程中难以得到满意的控制效果，原因：

i . 理想PID算法本身存在不足，如位置式PID积分饱和现象严重，增量式PID算法在给定值发生跃变时，可能出现比例和微分的饱和，且动态过程慢等；

ii . 有的过程希望控制动作不要过于频繁，有的过程对象具有很大的纯滞后特性，理想PID算法难于胜任，有的过程运行环境恶劣，希望PID算法有较强的干扰抑制能力等。这些原因都促使人们对理想PID算法进行改进。

■ 5.4 直接数字控制系统

① 实际PID的位置式

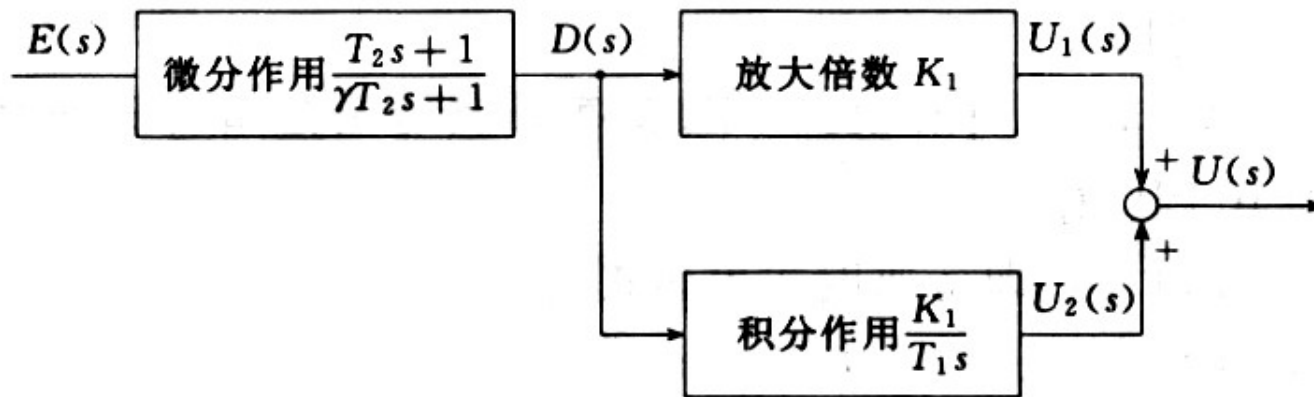


图 5-22 实际 PID 算法的方框图

实际PID的差分算法可先分别推得图中每个方框的表达式，然后按图叠加而得，其表达式为：

$$u(k) = u_2(k-1) + K_I \left(1 + \frac{T}{T_1} \right) \left[\frac{\gamma T_2}{\gamma T_2 + T} D(k-1) + \left(\frac{T_2 + T}{\gamma T_2 + T} \right) e(k) - \frac{T_2}{\gamma T_2 + T} e(k-1) \right]$$

■ 5.4 直接数字控制系统

$$u(k) = u_2(k-1) + K_I \left(1 + \frac{T}{T_1}\right) \left[\frac{\gamma T_2}{\gamma T_2 + T} D(k-1) + \left(\frac{T_2 + T}{\gamma T_2 + T}\right) e(k) - \frac{T_2}{\gamma T_2 + T} e(k-1) \right]$$

式中：K_I—比例系数；

T₁—积分时间常数；

T₂—微分时间常数；

γ—微分放大倍数， $\gamma = T_F / T_2$ ；

T_F—低通滤波器时间常数。

实际PID的阶跃响应比较平滑，保留微分作用持续时间更长，因此能得到更好的控制效果。

■ 5.4 直接数字控制系统

②实际PID的增量式

$$\Delta u(k) = \Delta u_2(k-1) + K_I \left(1 + \frac{T}{T_I}\right) \left[\frac{\gamma T_2}{\gamma T_2 + T} \Delta D(k-1) + \left(\frac{T_2 + T}{\gamma T_2 + T}\right) \Delta e(k) - \frac{T_2}{\gamma T_2 + T} \Delta e(k-1) \right]$$

式中：

$$\Delta u_2(k-1) = u_2(k-1) - u_2(k-2)$$

$$\Delta D(k-1) = D(k-1) - D(k-2)$$

$$\Delta e(k) = e(k) - e(k-1)$$

$$\Delta e(k-1) = e(k-1) - e(k-2)$$



本章结束

