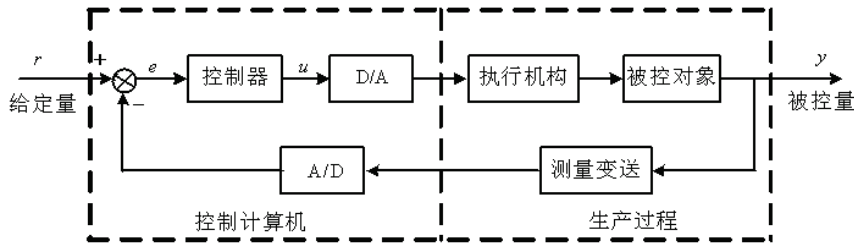


# 计算机控制系统部分习题参考答案

## 第一章 计算机控制系统概述

### 1-1 什么是计算机控制系统？它由哪几部分组成？

- 1) 计算机控制系统是利用计算机及其外部控制设备来实现生产过程自动化的系统。
- 2) 计算机控制系统由硬件系统和软件系统两部分组成。软件系统包括系统软件和应用软件，硬件主要是由计算机系统（包括主机和外部设备）和过程输入输出通道、被控对象、执行器、检测变送环节等组成；软件由系统软件和应用软件组成。硬件结构图如下，



对于如图，各部分的作用如下

- ① 测量变送单元：测量被控对象的控制参数，并变换成一定形式的电信号；
- ② A/D 转换单元：将电信号转换成数字信号反馈给计算机；
- ③ 控制器：将反馈信号与给定值信号进行比较，得到的偏差信号按照一定的控制算法输出数字控制信号；
- ④ D/A 转换单元：将数字控制信号转换为模拟控制信号，指挥执行器；
- ⑤ 执行机构：接受模拟控制信号，改变被控对象的控制量；
- ⑥ 被控对象：工艺参数需要控制的生产过程、设备或机器等。

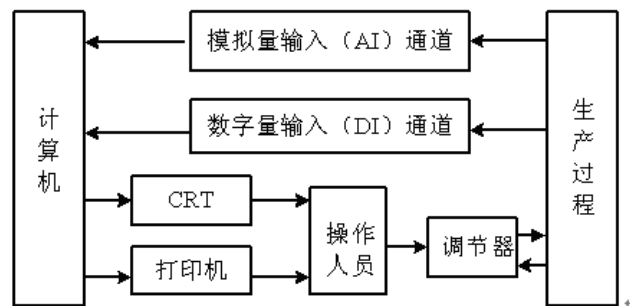
### 1-2 简述计算机控制系统硬件组成结构中各部分的作用。

- 1) 计算机控制系统硬件包括计算机主机和外部设备。  
计算机主机是控制系统的运算与逻辑判断的核心设备，主机根据过程输入设备送来的实时生产过程的各种信息以及预定的控制算法，自动地进行信息处理与计算，并实时地通过过程输出设备向生产过程发送控制命令。
- 2) 过程输入输出通道完成系统计算机与工业对象之间的物理连接与信息转换，它在两者之间起到桥梁作用。
- 3) 控制对象是指所要控制的生产设备或装置，是生产的主要设备。
- 4) 执行机构作用是根据调节器的控制信号来改变输出的角度或直线位移，并改变被调介质的流量或能量等，使生产过程满足预定的要求。
- 5) 测量变送环节通常由传感器和信号调理电路组成，其作用是将检测的各种物理量转换成统一标准的电信号，与计算机接口时需要满足计算机的接口标准。

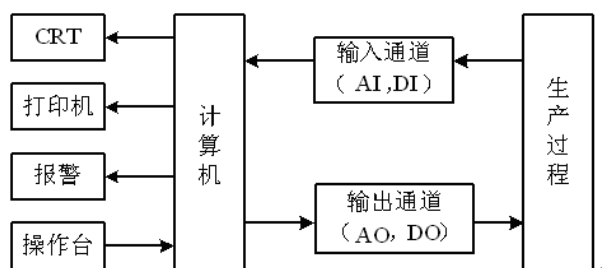
### 1-3 计算机控制系统的典型形式是什么？其优缺点？

计算机控制系统的典型形式有：

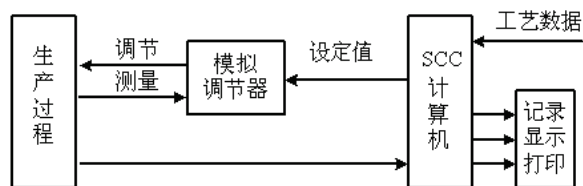
- 1) 数据采集和监视系统，其工作过程：对大量的过程参数进行巡回检测、数据记录、计算、统计和处理、参数的越限报警以及实时分析等，为操作人员提供操作指导信息，供操作人员参考。计算机不直接参与控制。系统结构如下图：



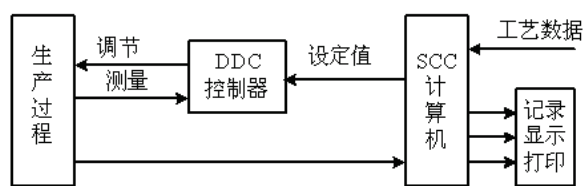
2) 直接数字控制系统 (DDC)，其工作过程：计算机作为数字式调节器进行闭环控制，在没有人的参与时也能完成工作，它通过过程输入通道对一个或多个物理量进行巡回检测，并根据规定的控制规律进行运算。系统结构如下图：



3) 监督控制系统，其工作过程：相对于常规调节器不能考虑的因素，如环境温度、压力和湿度等对生产过程的影响，可以进行在线过程操作的优化；SCC 计算机对于生产过程有监督和改变设定参数的功能，对于调节器的控制规律可以进行调整，系统功能强。



(a)



(b)

其他类型的计算机控制系统还有：

4) 集散控制系统：可以实现分散控制，集中监视、操作与管理。将危险分散化，系统具有分级管理、综合协调、可以实现高级复杂的控制等功能。系统成本较高，且各厂商的 DCS 有各自的标准，有一些不能互联。

5) 现场总线控制系统：将控制网络安排到设备现场，现场控制仪表之间用统一标准网络连接，实现分散、分层控制，环境适应性强，维护简易，成本低，可靠性高，可以在同一国际标准下可实现开放式互联系统结构。

## 第二章 线性离散系统的数学描述和分析方法

### 2-1 简述离散控制系统中信号变换的原理。

先经过采样过程，采样开关按一定的周期进行闭合，输入连续信号，将原来在时间上连续的信号  $f(t)$  变成时间上离散、幅值上连续的离散模拟信号  $f^*(t)$ 。再经过幅值量化过程，采用一组数字编码来逼近离散模拟信号的幅值，将其转换成离散数字信号。在采样过程中，如果采样频率足够高，并选用足够的数字编码字长，可以使量化误差达到足够小。

### 2-2 已知函数 $F(s)$ ，求取 $Z$ 变换 $F(z)$ 。

$$(1) \quad F(s) = \frac{1}{(s+a)(s+b)}$$

$$\begin{aligned} F(s) &= \frac{1}{(s+a)(s+b)} \\ &= \frac{1}{(b-a)} \frac{(b-a)}{(s+a)(s+b)} \end{aligned}$$

查表可知：

$$F(Z) = \frac{1}{b-a} \cdot \frac{z(e^{-aT} - e^{-bT})}{(z - e^{-aT})(z - e^{-bT})}$$

$$(2) \quad F(s) = \frac{1 - e^{-Ts}}{s^2(s+1)}$$

$$F(s) = \frac{1 - e^{-Ts}}{s^2(s+1)}$$

$$F(Z) = Z \left[ \frac{1 - e^{-Ts}}{s^2(s+1)} \right] = (1 - Z^{-1}) Z \left[ \frac{1}{s^2(s+1)} \right]$$

查表可知：

$$F(Z) = (1 - z^{-1}) \left[ \frac{Tz}{(z-1)^2} - \frac{z(1 - e^{-T})}{(z-1)(z - e^{-T})} \right]$$

$$= \frac{z-1}{z} \left[ \frac{Tz}{(z-1)^2} - \frac{z(1 - e^{-T})}{(z-1)(z - e^{-T})} \right]$$

$$= \frac{T}{(z-1)} - \frac{(1 - e^{-T})}{(z - e^{-T})}$$

## 第三章 开环数字程序控制

### 3-1 什么是数字程序控制？有哪几种方式？

根据输入的指令和数据，控制生产机械按规定的工作顺序、运动轨迹、运动距离和运动速度等规律自动完成工作的自动控制，称为数字程序控制。

按控制运动的轨迹分类可分为：点位控制、直线控制和轮廓控制。

按控制环路方式分类可分为：开环控制和闭环控制。

### 3-2 什么是逐点比较插补法？直线插补计算过程和圆弧插补计算过程各有哪几个步骤？

逐点比较插补法：刀具或绘图笔等每走一步都要和给定轨迹上的坐标值进行比较，看这一点是在给定轨迹的上方还是下方，或是在给定轨迹的里面还是外面，然后按一定算法计算，决定下一步的进给运行的方向。

直线插补计算有 4 个步骤：偏差判别、坐标进给、偏差计算、终点判断。

圆弧插补计算有 5 个步骤：偏差判别、坐标进给、偏差计算、坐标计算、终点判断。

### 3-3 三相步进电机有哪几种常用的工作方式？

以三相步进电机为例，有以下三种工作方式：

单三拍工作方式，各相通电顺序为：

$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$ ，或  $A \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow A$ ；

双三拍工作方式，各相通电顺序为：

$AB \rightarrow BC \rightarrow CA \rightarrow AB$ ，或  $AC \rightarrow CB \rightarrow BA \rightarrow AC$ ；

三相六拍工作方式，各相通电顺序为：

$A \rightarrow AB \rightarrow B \rightarrow BC \rightarrow C \rightarrow CA \rightarrow A$ ，或  $A \rightarrow AC \rightarrow C \rightarrow CB \rightarrow B \rightarrow BA \rightarrow A$ 。

### 3-4 第一象限直线插补方法如何判断进给的方向？

判别式：
$$F_m = y_m x_e - x_m y_e$$

若  $F_m = 0$ ，表明点  $m$  在直线上；

$F_m > 0$ ，表明点  $m$  在直线上方；

$F_m < 0$ ，表明点  $m$  在直线下方。

第一象限直线逐点比较法插补原理为：

从直线的起点出发，当  $F_m \geq 0$  时，沿  $+x$  轴方向走一步；当  $F_m < 0$  时，沿  $+y$  方向走一步；当两方向所走的步数与终点坐标  $(x_e, y_e)$  相等时，发出终点到信号，停止插补。

### 3-5 第一象限圆弧插补方法如何判断进给的方向？

判别式：
$$F_m = R_m^2 - R^2 = x_m^2 + y_m^2 - R^2$$

$F_m = 0$ ，表明加工点  $m$  在圆弧上；

$F_m > 0$ ，表明加工点  $m$  在圆弧外；

$F_m < 0$ ，表明加工点  $m$  在圆弧内。

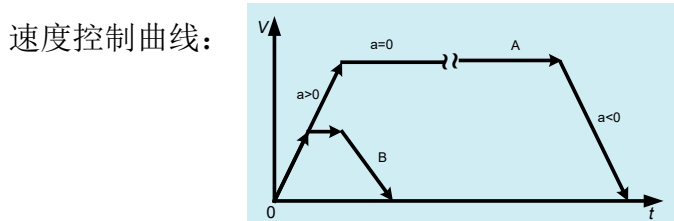
第一象限逆圆弧插补原理为：

当  $F_m \geq 0$  时， $-x$  轴方向进给一步，并计算新的偏差；当  $F_m < 0$  时，向  $+y$  轴方向进给一步，并计算新的偏差。如此，一步步计算，一步步进给，并在到达终点时停止计算，就可插补出如图所示的第一象限逆圆弧。

### 3-6 直线插补有哪几个步骤？简述各步骤的进行方法。

- ① 偏差判别：判断上一步进给后的偏差是  $F \geq 0$  还是  $F < 0$ ；
- ② 坐标进给：根据所在象限和偏差判别的结果，决定进给坐标轴及其方向；
- ③ 偏差计算：计算进给一步后新的偏差，作为下一步进给的偏差判别依据；
- ④ 终点判断：进给一步后，终点计数器减 1，判断是否到达终点，到达终点则停止运算；若没有到达终点，返回①。如此不断循环直到到达终点。

### 3-7 步进电机控制过程中的速度控制曲线是怎样的，并解释其原因。



曲线 A: 代表总步数大于达到最高速度的加速和减速步数，曲线 B: 代表进给步数较少，不能达到最高运行速度。

如果要产生一个接近线性上升的加速过程，就可控制进给脉冲序列的时间间隔，由疏到密地命令步进电机产生步进动作。否则就会产生步进电机的失速现象。

## 第四章 计算机控制系统的常规控制技术

### 4-1 在 PID 调节器中，参数 $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$ 各有什么作用？他们对调节品质有什么影响？

在 PID 调节器中，参数  $K_p$ 、 $T_i$ 、 $T_d$  对于控制系统的静态、动态响应及其调节品质有什么影响？

#### (1) 比例系数 $K_p$ 的作用与对系统性能的影响

对稳态特性的影响：在系统稳定的情况下，稳态误差与  $K_p$  成反比关系，加大比例作用系数  $K_p$ ，可以减小稳态误差，提高控制精度，反之减小控制精度。但是，加大  $K_p$  不能完全消除稳态误差。

对动态特性的影响：比例作用系数  $K_p$  加大，会使系统的动作灵敏、响应速度加快。 $K_p$  偏大，振荡次数变多，调节时间加长；当  $K_p$  太大时，系统会趋于不稳定。若  $K_p$  太小，又会使系统的响应缓慢。

#### (2) 积分时间常数 $T_i$ 的作用与对系统性能的影响

对稳态特性的影响：积分控制能消除系统的稳态误差，提高控制系统的控制精度；但若  $T_i$  太大，积分作用太弱，将不能减小稳态误差。

对动态特性的影响：积分时间常数  $T_i$  偏小，积分作用强，由于积分具有迟后的特性，系统振荡次数较多； $T_i$  太大，对系统性能的影响减小。当时间常数  $T_i$  合适时，动态过渡过程的性能比较理想。

#### (3) 微分时间常数 $T_d$ 的作用与对系统性能的影响

微分控制的作用反映偏差信号的变化率与一定的趋势，通过微分控制能够预先控制偏差，产生超前的校正作用，可用于改善系统动态特性。如减少超调量，缩短调节时间，允许加大比例控制，使稳态误差减小，提高控制精度等。仅当  $T_d$  偏大时，超调量较大，调节时间较长。当  $T_d$  偏小时，同样超调量和调节时间也都较大。只有  $T_d$  取得合适，系统动态过程的调节才能得到比较满意的效果。

### 4-2 什么是数字 PID 位置型控制算法和增量型控制算法？比较它们的优缺点。

数字 PID 位置型控制算法：

$$u(k) = K_p \left[ e(k) + \frac{T}{T_i} \sum_{j=0}^k e(j) + T_d \frac{e(k) - e(k-1)}{T} \right] + u_0$$

数字 PID 增量型控制算法:

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

增量型算法较位置型算法比较有如下特点:

- ① 增量型算法不需要做偏差累加计算, 计算误差或计算精度问题对控制量的计算影响较小。而位置型算法要用到过去误差的所有累加值, 容易产生大的累加误差。
- ② 增量型算法得出的是控制量的增量, 误动作影响小, 而位置型算法的输出是控制量的全量输出, 一旦控制指令误动作影响大。
- ③ 采用增量型算法, 由于算式中不出现  $u_0$  项, 则易于实现手动到自动的无冲击切换。
- ④ 增量型算法需要有记忆和累加功能的执行器配合控制。 ④

#### 4-3 什么叫积分饱和和作用? 它是怎样引起的, 如何消除?

在 PID 控制算法中, 由于积分累加算出的控制量超出限制范围, 但实际控制量只能取限定值而非计算值, 因此出现了饱和作用, 它是由积分累加引起, 故称为积分饱和作用。例如计算获得的控制量大于上界值时, 控制量只能取上界值而不是计算值, 使得被控对象输出量的增长比没有限制时要慢, 偏差将持续较长的时间保持在正值, 使积分项有较大的累积, 产生了积分饱和。

消除积分饱和可以采取①积分分离式 PID 控制算法和②变速积分 PID 控制算法。

积分分离式 PID 控制算法, 其基本思想是大偏差时, 不进行积分作用, 以免积分作用使系统稳定性变差; 小偏差时, 投入积分作用, 以便消除静差, 提高控制精度。

变速积分 PID 控制算法, 其基本思想是设法改变积分项的累加速度, 使其与偏差大小相对应, 偏差越大, 积分越慢, 反之则越快。

#### 4-4 在数字 PID 中, 采样周期 T 的选择要考虑哪些因素?

- 1) 要满足香农定理。
- 2) 采样周期要小, 离散系统接近连续系统。
- 3) 采样周期应比对象的时间常数小得多。
- 4) 采样周期应远小于对象扰动信号周期, 一般使二者成整数倍关系。
- 5) 当系统纯滞后占主导地位时, 尽可能使纯滞后时间等于采样周期的整数倍。
- 6) 如果执行器的响应速度比较慢, 采样周期要大一些, 过小的采样周期将失去意义。
- 7) 对单回路而言, 采样周期的下限是完成采样、运算和输出三件工作所需的总时间。

#### 4-5 试述试凑法、扩充临界比例度法、扩充响应曲线法整定 PID 参数的方法。

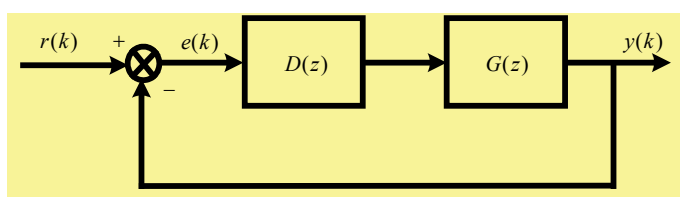
##### 1) 试凑法整定 PID 参数的步骤:

- ① 系统只投入比例部分。将比例系数由小变大, 并观察相应的系统响应, 直至得到系统反应快、超调小的响应曲线, 衰减比在 4:1 至 10:1 之间。
- ② 如果比例调节时系统静差不能满足要求, 则需加入积分环节。先置积分时间常数  $T_i$  为较大值, 将第一步整定得到的比例系数略缩小, 系统稳定运行, 再减小积分时间常数, 使静差消除。并反复调整, 得到满意的过渡过程指标。
- ③ 若此时系统的动态过程仍不能令人满意, 则可加入微分环节, 构成 PID 调节器。先置微分时间为最小值, 在第二步整定基础上, 增大微分时间同时相应改变比例系数与积分时间常数, 逐步试凑直至过渡过程指标满意。

##### 2) 扩充临界比例度法整定 PID 参数的步骤:

- ① 选择一合适的足够小的采样周期。
  - ② 投入纯比例控制，逐渐增大比例系数  $K_p$ ，使控制系统处于临界振荡，记下此时的临界比例系数  $K_\tau$  和临界振荡周期  $T_\tau$ 。
  - ③ 选择控制度在 1.05~2.0 之间。
  - ④ 查表选择相应的经验公式，求取采样周期  $T$ 、比例系数  $K_p$ 、积分时间常数  $T_i$  和微分时间常数  $T_d$ 。
  - ⑤ 按求得的参数运行系统，观察动态过程，用试凑法适当调整有关整定参数，达到满意的控制效果。
- 3) 扩充响应曲线法整定 PID 参数的步骤：
- ① 断开数字 PID 控制器，使系统在手动状态下工作，人为改变手动信号，给被控对象一个阶跃输入信号。
  - ② 用仪表记录被控参数的变化过程，即对象的阶跃响应曲线。
  - ③ 在响应曲线上的拐点处作切线，找出对象纯滞后时间  $\tau$  及等效时间常数  $T_m$ 。
  - ④ 选择控制度在 1.05~2.0 之间。
  - ⑤ 查表选择相应的经验公式，求取控制参数  $T$ 、 $K_p$ 、 $T_i$  和  $T_d$ 。
  - ⑥ 按求得的参数运行系统，观察动态过程，用试凑法适当调整有关整定参数，达到满意的控制效果。

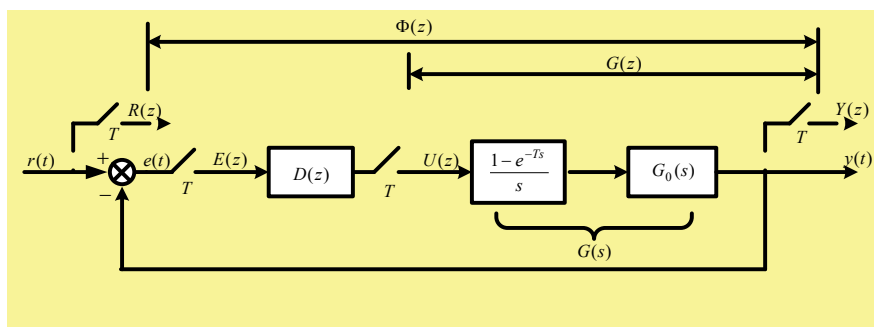
4-6 画出单位负反馈离散控制系统方框图，写出系统闭环  $Z$  传递函数和误差传递函数。



$$\Phi(z) = \frac{Y(z)}{R(z)} = \frac{D(z)G(z)}{1 + D(z)G(z)}$$

$$\Phi_e(z) = \frac{E(z)}{R(z)} = \frac{1}{1 + D(z)G(z)}$$

4-7 画出典型计算机控制系统方框图，说出如何求取被控对象的  $Z$  传递函数。



$$G(z) = Z \left[ \frac{1 - e^{-Ts}}{s} G_0(s) \right] = (1 - z^{-1}) Z \left[ \frac{G_0(s)}{s} \right]$$

4-8 什么是最少拍系统？设计最少拍系统必须满足哪些要求？

最少拍控制就是要求闭环系统对于系统输入在最少个采样周期时间内达到无静差的稳态，使系统输出在最短的时间跟踪输入。

设计最小拍系统必须满足如下要求：

- ① 系统的稳定性：闭环系统和数字控制器都是稳定的。
- ② 系统的准确性：对输入信号，在达到稳态后，系统在采样点的输出准确跟踪输入，不存在



静差。

③ 系统的快速性：在各种使系统在有限拍（采样周期）内达到稳态，系统准确跟踪输入信号所需的采样周期数应为最少。

④ 物理可实现性：数字控制器  $D(z)$  必须在物理上可以实现。

#### 4-9 什么是数字直接设计方法？

把计算机控制系统中的被控对象等连续单元首先离散化，把整个系统转换为离散系统，然后根据采样理论，用离散化的方法设计数字控制器，称为数字直接设计法。

#### 4-10 最少拍系统有哪些局限性？对输入函数的适应性如何？

最少拍系统的局限性：

① 最少拍系统对不同输入信号的适应性较差；

② 最少拍系统对系统参数变化的适应性较差。

对输入函数的适应性：

以不同的输入设计的最少拍控制器不能相互适应。

**4-11** 已知被控对象的传函为  $G_0 = \frac{10}{s(0.1s+1)}$ ，采样周期  $T=1s$ ，采用零阶保持器，单位负反馈系统。

要求：

(1) 针对单位阶跃输入信号设计最少拍无纹波系统的  $D(z)$ ，并计算输出响应  $y(kT)$ 、控制信号  $u(kT)$  和误差  $e(kT)$  序列。

(2) 针对单位速度输入信号设计最少拍无纹波系统的  $D(z)$ ，并计算输出响应  $y(kT)$ 、控制信号  $u(kT)$  和误差  $e(kT)$  序列。

解：

##### (1) 单位阶跃输入信号

① 广义被控对象  $G(z)$

$$G(z) = Z\left[\frac{1-e^{-Ts}}{s} \cdot \frac{10}{s(0.1s+1)}\right] = (1-z^{-1})Z\left[\frac{10}{s^2(0.1s+1)}\right] = \frac{9z^{-1}(1+0.11z^{-1})}{(1-z^{-1})(1-e^{-10}z^{-1})}$$

广义对象零极点分布：

圆外极点 无，  $i=0$

圆内外零点  $p_1=-0.11$ ，  $j=1$

延时因子  $z^{-1}$ ，  $r=1$

输入函数  $R(z) = \frac{1}{1-z^{-1}}$  的阶次  $p=1$

② 确定期望的闭环结构

$$\begin{cases} \Phi_e(z) = (1-z^{-1})^p F_2(z) \\ \Phi(z) = z^{-(r-1)} (b_1 z^{-1}) (1+0.11z^{-1}) F_1(z) \end{cases}$$

取  $F_1(z)$ 、 $F_2(z)$  为最低阶，即  $F_1(z)=1$ ； $F_2(z)=1+c_1 z^{-1}$



$$\text{则} \begin{cases} \Phi_e(z) = (1-z^{-1})(1+c_1 z^{-1}) \\ \Phi(z) = b_1 z^{-1}(1+0.11 z^{-1}) \end{cases}$$

- ③ 根据  $\Phi(z) = 1 - \Phi_e(z)$  联立方程，解得：  $b_1 = 0.9$ ；  $c_1 = 0.1$

$$\text{所以} \begin{cases} \Phi_e(z) = (1-z^{-1})(1+0.1 z^{-1}) \\ \Phi(z) = 0.9 z^{-1}(1+0.11 z^{-1}) \end{cases}$$

- ④ 确定控制器结构

$$D(z) = \frac{\Phi(z)}{\Phi_e(z)G(z)} = \frac{1-e^{-10}z^{-1}}{10+z^{-1}}$$

- ⑤ 检验控制序列的收敛性

$$U(z) = D(z)E(z) = \frac{\Phi(z)}{G(z)}R(z) = 0.1 - 4.54 \times 10^{-6} z^{-1}$$

控制序列为 0.1,  $-4.54 \times 10^{-6}$ , 0, 0, ... 故收敛。

- ⑥ 检验输出响应的跟踪性能

$$Y(z) = \Phi(z)R(z) = \frac{0.9 z^{-1}(1+0.11 z^{-1})}{1-z^{-1}} = 0.9 z^{-1} + z^{-2} + z^{-3} + \dots$$

输出量序列为 0, 0.9, 1, 1, ... 故可得稳定的系统输出。

- ⑦  $D(z)$  的控制算法

$$U(z) = E(z)D(z) = \frac{1-e^{-10}z^{-1}}{10+z^{-1}} E(z)$$

$$u(k) = 0.1e(k) - 4.54 \times 10^{-6}e(k-1) - 0.1u(k-1)$$

## (2) 单位速度输入信号

- ① 广义被控对象  $G(z) = \frac{9z^{-1}(1+0.11z^{-1})}{(1-z^{-1})(1-e^{-10}z^{-1})}$

广义对象零极点分布：

圆外极点 无,  $i=0$

圆内外零点  $p_1 = -0.11$ ,  $j=1$

延时因子  $z^{-1}$ ,  $r=1$

$$\text{输入函数 } R(z) = \frac{z^{-1}}{(1-z^{-1})^2} \quad p=2$$

- ② 确定期望的闭环结构

$$\begin{cases} \Phi_e(z) = (1-z^{-1})^p F_2(z) \\ \Phi(z) = z^{-(r-1)}(b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2})(1+0.11 z^{-1}) F_1(z) \end{cases}$$

取  $F_1(z)$ 、 $F_2(z)$  为最低阶，即  $F_1(z)=1$ ； $F_2(z)=1+c_1z^{-1}$

$$\text{则} \begin{cases} \Phi_e(z)=(1-z^{-1})^2(1+c_1z^{-1}) \\ \Phi(z)=(b_1z^{-1}+b_2z^{-2})(1+0.11z^{-1}) \end{cases}$$

③ 根据  $\Phi(z)=1-\Phi_e(z)$  联立方程，解得：  $b_1=1.89$ ；  $b_2=-0.99$ ；  $c_1=0.11$

$$\text{所以} \begin{cases} \Phi_e(z)=(1-z^{-1})^2(1+0.11z^{-1}) \\ \Phi(z)=(1.89z^{-1}-0.99z^{-2})(1+0.11z^{-1}) \end{cases}$$

④ 确定控制器结构

$$D(z)=\frac{\Phi(z)}{\Phi_e(z)G(z)}=\frac{0.21(1-0.52z^{-1})(1-e^{-10}z^{-1})}{(1-z^{-1})(1+0.11z^{-1})}$$

⑤ 检验控制序列的收敛性

$$\begin{aligned} U(z)=D(z)E(z)=\frac{\Phi(z)}{G(z)}R(z)&=\frac{(0.21z^{-1}-0.11z^{-2})(1-e^{-10}z^{-1})}{1-z^{-1}} \\ &=0.21z^{-1}+0.1z^{-2}+0.1z^{-3}+0.1z^{-4}+\dots \end{aligned}$$

⑥ 检验输出响应的跟踪性能

$$Y(z)=\Phi(z)R(z)=1.89z^{-2}+3z^{-3}+4z^{-4}+5z^{-5}+\dots$$

输出量序列为 0, 0, 1.89, 3, 4, 5, ……故可得稳定的系统输出。

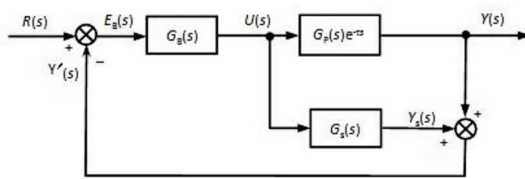
⑦  $D(z)$  的控制算法

$$U(z)=E(z)D(z)=\frac{0.21(1-0.52z^{-1})(1-e^{-10}z^{-1})}{(1-z^{-1})(1+0.11z^{-1})}E(z)$$

$$U(z)=0.21E(z)-0.11z^{-1}E(z)+4.99\times 10^{-6}z^{-2}E(z)+0.89z^{-1}U(z)+0.11z^{-2}U(z)$$

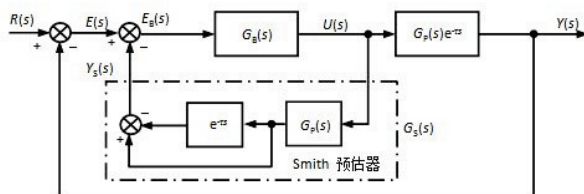
$$u(k)=0.21e(k)-0.11e(k-1)+4.99\times 10^{-6}e(k-2)+0.89u(k-1)+0.11u(k-2)$$

4-12 画图说明施密斯预估控制的基本原理。



$$\frac{Y'(s)}{U(s)} = G_p(s)e^{-\tau s} + G_s(s)$$

完全补偿对象的纯滞后： $\frac{Y'(s)}{U(s)} = G_p(s)e^{-\tau s} + G_s(s) = G_p(s)$



$$\Phi(s) = \frac{D'(s)G_p(s)e^{-\tau}}{1 + D'(s)G_p(s)e^{-\tau}} = \frac{D(s)G_p(s)}{1 + D(s)G_p(s)} e^{-\tau}$$

$$D'(s) = \frac{D(s)}{1 + D(s)G_p(s)(1 - e^{-\tau})}$$

## 第五章 计算机控制系统的先进控制技术

### 5-1 DMC 算法的优越性表现在哪里？原因何在？

模型预测控制算法对被控对象模型的精度要求低、形式简单；形成的控制系统具有良好的准确性与鲁棒性，综合控制质量高。

形成该优越性的原因是：控制算法充分考虑对象的动态特性，控制系统设计中以输出误差与执行量的加权指标最小为目标，并以此求出控制的最优解。总体结构上，DMC 系统运用模型预测、滚动优化和反馈校正三个步骤来实现闭环控制。

DMC 的三个步骤分别是：

(1) 模型预测：系统在预测模型的基础上根据对象的历史信息和未来输入预测其未来的输出，并根据被控变量实际值与设定值之间的误差确定当前时刻的控制作用，使之适应动态控制系统的存储性和因果性的特点，这比仅由当前误差确定控制作用的常规控制有更好的控制效果。

(2) 滚动优化：模型预测控制不是采用一个不变的全局优化指标，而是在每一时刻有一个相对于该时刻的优化性能指标。不同时刻的优化性能指标的相对形式是相同的，但其绝对形式，即所包含的时间区域是不同的。因此，在模型预测控制中，优化计算不是一次离线完成，而是在线反复进行。

(3) 反馈校正：模型预测控制是一种闭环控制算法。在通过优化指标计算确定一系列未来的控制作用后，为防止模型失配或环境扰动引起控制对理想状态的偏离，预测控制通常不把这些控制作用逐一全部实施，而只是执行当时时刻的控制作用。到下一控制周期，则需首先检测对象的实际输出，并利用这一实时信息对给予模型的预测进行修正，然后再进行新的优化。校正的形式是通过实际输出与对象预测模型输出之间的偏差来修正控制实现的。

### 5-2 动态矩阵控制算法由哪些部分组成？各有哪些功能？

DMC 控制包括模型预测、滚动优化和反馈校正三个组成部分。

(1) 模型预测功能是：测定对象单位阶跃响应的采样值，以此建立对象的模型。根据执行量作用于对象模型，按迭加原理预测其未来 P 个时刻的输出。

(2) 滚动优化功能是：通过系统的误差加权平方和、执行量加权平方和取最小的优化策略，求出从该时刻起的未来 M 个控制增量，使系统在控制量作用下，未来 P 个时刻的输出预测值尽可能接近期望值。在每一执行周期只执行 M 个控制量中的第一个，当控制系统进入到下一个执行周期时，重新求取控制增量进行控制，过程动态进行。

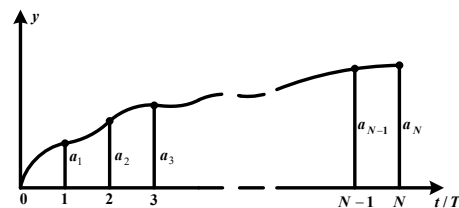
(3) 反馈校正功能是：对象受到控制作用后，将输出与模型预测值进行比较，计算误差量，反馈到控制算法中，对在模型预测基础上进行的在未来各个时刻的输出预测值加以校正，使控制算法更加适合对象的特性，控制效果得到提高。

**5-3 动态矩阵控制算法为何只能适用于渐进稳定的对象？对模型时域长度  $N$  有什么要求？若  $N$  取的太小会有什么问题？**

- ① 动态矩阵控制算法的被控对象的预测模型是从对象阶跃响应出发，通过阶跃响应求出的系数  $a_1, \dots, a_N$  进行描述；为便于计算，模型系数的长度是有限的。用有限的系数来描述对象，那么在有限系数之外的部分将不计入模型，这就要求对象是渐近稳定的对象，使模型可以截断，即对象有限之外部分的特性包含在了有限系数之中。
- ② 在一般情况下， $N$  的选择应使  $a_i (i > N)$  的值与阶跃响应的静态终值  $a_s$  之差与控制系统测量误差、计算误差具有相同的数量级，以至在实际上可以忽略。
- ③ 若  $N$  取得太小， $a_1, \dots, a_N$  将不能覆盖被控对象的主要动态特性，会使模型预测的结果不准确，系统的控制质量会受到较大影响。

**5-4 动态矩阵控制适合哪一类被控对象，理由是什么？**

1) 适合渐近稳定的对象，如图：

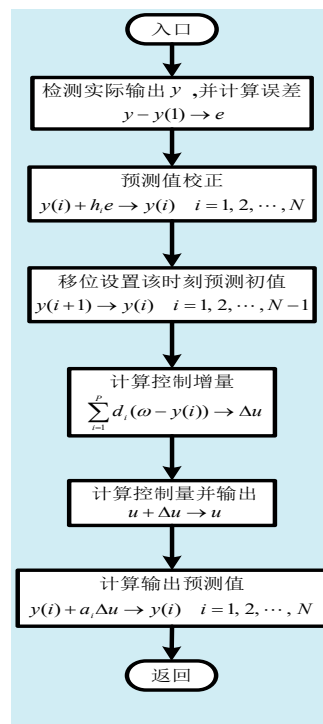


2) 对于渐近稳定的对象，阶跃响应在某一时刻  $t_N = NT$  后将趋于平稳， $a_N$  已近似等于阶跃响应的稳态值  $a_s = a(\infty)$

3)  $N$  为截断步长，使  $a_N - a_s$  得到的值与系统的误差处于同一个数量级。

**5-5 动态矩阵控制中，在线运算有哪些内容？**

在线运算有哪些内容有：



## 第六章 计算机网络控制

### 6-1 简述计算机控制网络的特点以及控制网络与信息网络的区别。

计算机控制网络的特点如下：

- ① 要求有高实时性和良好的时间确定性；
- ② 传送的信息多为短帧信息，且信息交换频繁；
- ③ 容错能力强，可靠性、安全性好；
- ④ 控制网络协议简单实用，工作效率高；
- ⑤ 控制网络结构具有高度分散性；
- ⑥ 控制设备的智能化与控制功能的自治性；
- ⑦ 与信息网络之间有高效的通信，易于实现与信息网络的集成。

控制网络与信息网络的区别如下：

- ① 控制网络中数据传输的及时性和系统响应的实时性是控制系统最基本的要求；
- ② 控制网络强调在恶劣环境下数据传输的完整性、可靠性；
- ③ 在企业自动化系统中，分散的单一用户必须借助控制网络进入系统，所以通信方式多使用广播和组播方式，在信息网络中某个自主系统与另外一个自主系统一般都建立一对一的通信方式；
- ④ 控制网络必须解决多家公司产品和系统在同一网络中相互兼容问题，即互操作性问题。

### 6-2 什么是集散控制系统，其主要特点有哪些？

所谓分散控制是用多台微型计算机，分散应用于生产过程进行控制；所谓集中管理是用通信网络技术把多台计算机构成网络系统，可以集中进行信息处理、监视。

主要特点是兼顾：分散性与集中性、自治性与协调性、灵活性与扩展性、先进性与继承性、可靠性与适应性、友好性与新颖性。

### 6-3 集散控制系统(DCS)有哪些特点？

- 1) 分散性与集中性；
- 2) 自治性与协调性；
- 3) 灵活性与扩展性；
- 4) 先进性与继承性；
- 5) 可靠性与适应性；
- 6) 友好性与新颖性。

### 6-4 现场总线有哪些特点？

- 1) 系统的分散性；
- 2) 系统的开放性；
- 3) 产品的互操作性；
- 4) 环境的适应性；
- 5) 使用的经济性；
- 6) 维护的简易性；
- 7) 系统的可靠性。

### 6-5 计算机控制系统的网络拓扑结构有哪几种，各有什么特点？

#### a. 星形结构

- (1) 结构简单，便于管理。
- (2) 控制简便，建网容易，通信功能实现方便。

(3) 网络延迟时间小，传输误差较低。

b. 环形结构

(1) 在环路上，每个节点的地位是相同的，每个节点都可以获得网络的控制权。

(2) 不需要进行路径选择，控制比较简单，意味在环形结构中，信息从源地址到目的地的路径只有一条。

(3) 传输信息的延迟时间固定，有利于实时控制

c. 总线形结构

(1) 较好的扩充性，网络上节点的增删容易，网络大小可通过转接部件延伸和扩展。

(2) 不需要中央控制器，有利于分布式控制，可靠性高。

d. 树形结构

树形结构是分层结构，适用于分级管理和分级控制系统。与星形结构相比，由于通信线路总长度较短，故它连网成本低，易于维护和扩展，但结构较星形结构复杂。