

- 首先在结构上来看，串级控制由两个反馈控制回路组成，而前馈-反馈控制器由一个反馈和一个开环补偿回路叠加而成。
- 在变量上，串级控制的副参数与前馈-反馈控制的输入量是两截然不同的变量，

前者是串级控制系统中反映主被控变量的中间变量，控制作用对他产生明显的调节效果。

后者是对主被控变量有显著影响的干扰量，是完全不受控制作用约束的独立变量，引入前馈的目的是为了补偿原料干扰对输出的影响。

- 在功能上，前馈控制器与串级控制的副控制器担负不同的功能。
- 图5-73中(a)为串级控制，(b)为前馈-反馈控制。

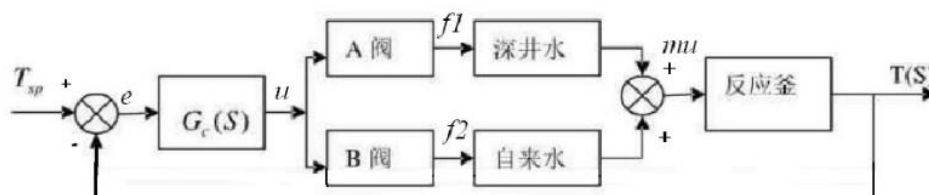
## 习题5-7

- (1) A、B阀均选气开阀时，为正作用，  
控制器为反作用，

$$T(s) \uparrow \quad e \downarrow \quad u \uparrow \quad f \uparrow \quad T'(s) \downarrow$$

- (2) A、B阀均选气关阀时，为反作用，  
控制器为正作用。

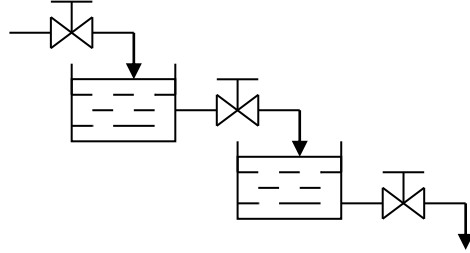
$$T(s) \uparrow \quad e \downarrow \quad u \downarrow \quad f \uparrow \quad T'(s) \downarrow$$



## 二 对象建模 (10)

如图所示，液位过程的输入量为  $q_1$ ，流出量为  $q_3$ ，相应的液位高度  $h$  为被控参数， $c$  为相应的容量系数，设  $R$  为相应的线性液阻。要求

- (1) 列出相应过程的微分方程组
- (2) 求出液位过程的传递函数



$$\text{二 (1) } \Delta q_1 - \Delta q_2 = C_1 \frac{d\Delta h_1}{dt}$$

$$\Delta q_2 = \frac{\Delta h_1}{R_1}$$

$$\Delta q_2 - \Delta q_3 = C_2 \frac{d\Delta h_2}{dt}$$

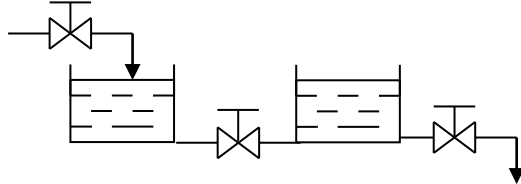
$$\Delta q_3 = \frac{\Delta h_2}{R_3}$$

$$\text{传递函数: } \frac{H_2(s)}{Q_1(s)} = \frac{K}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}, T_1 = R_1 C_1, T_2 = R_2 C_2, K = R_2$$

两只水箱串联工作，输入量为  $q_1$ ，流出量为  $q_2$ ， $q_3$  相应的液位高度为  $h_1$ ， $h_2$ 。

$h_2$  为被控参数变量， $c_1$ ， $c_2$  为相应的容量系数，设  $R_1, R_2, R_3$  为相应的线性液阻。要求 (1) 列出相应过程的微分方程组

- (2) 求出液位过程的传递函数



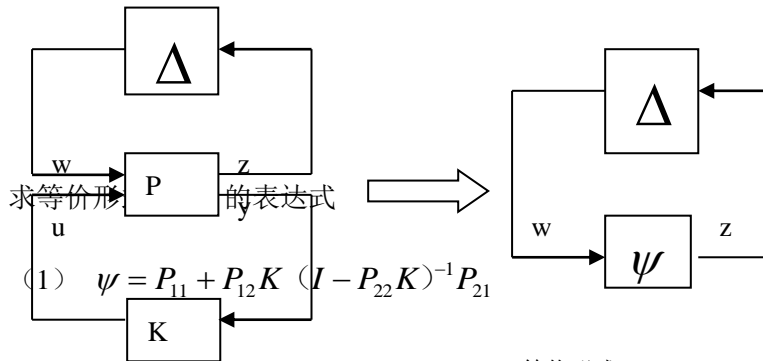
$$\Delta Q_i - \Delta Q_1 = C_1 \frac{d\Delta h_1}{dt} \quad \frac{\Delta h_1 - \Delta h_2}{R_1} = \Delta Q_1 \quad \Delta Q_2 = \frac{\Delta h_2}{R_2} \quad \Delta Q_1 - \Delta Q_0 = C_2 \frac{d\Delta h_2}{dt}$$

$$\frac{\Delta H_2(s)}{\Delta Q_i(s)} = \frac{R_2}{R_1 C_1 R_2 C_2 s^2 + (R_1 C_1 + R_2 C_2 + R_2 C_1) s + 1}$$

#### 四 计算题 (5\*10)

1 假设不确定广义对象的标称模型  $P$  为:

$$\begin{bmatrix} z \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} \\ P_{21} & P_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w \\ u \end{bmatrix} \text{ 其中 } z \text{ 为系统输出, } y \text{ 为测量输出, } w \text{ 为扰动输入, } u \text{ 为控制输入。}$$

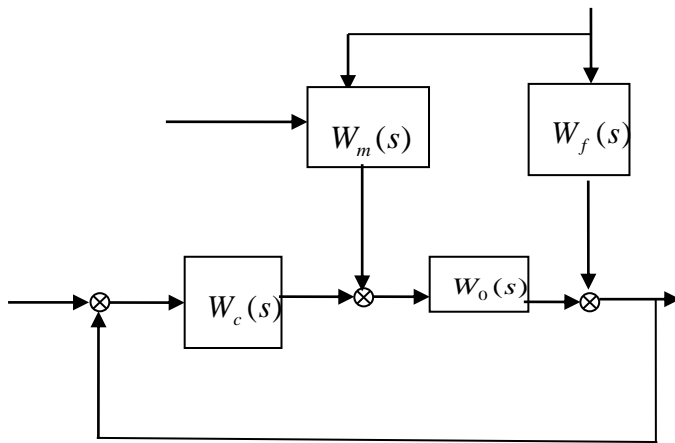


2 冷凝器温度前馈-反馈复合控制系统原理图如图所示, 已知扰动通道特性

$$W_f(s) = \frac{1.05e^{-6s}}{(1+41s)}; \text{ 控制通道特性 } W_o(s) = \frac{0.94e^{-8s}}{(1+55s)^5}; \text{ 温度调节器采用 PI 调节规律。}$$

求该复合控制系统中前馈控制器的数学模型  $W_m(s)$ ;

$$W_M(s) = -\frac{W_F(s)}{W_o(s)} = -\frac{105(1+55s)^5}{94(1+41s)}$$



3 设模糊矩阵  $R, S, T$  分别为:

$$R = \begin{bmatrix} 0.7 & 0.5 \\ 0.9 & 0.2 \end{bmatrix}, S = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.3 \\ 0.6 & 0.8 \end{bmatrix}, T = \begin{bmatrix} 0.7 & 0.6 \\ 0.5 & 0.7 \end{bmatrix}$$

求  $R \cup S \cup T, R \cap S \cap T, R \cup (S \cap T)$

$$R \cup S \cup T = \begin{bmatrix} 0.7 & 0.6 \\ 0.9 & 0.8 \end{bmatrix}$$

$$R \cap S \cap T = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.3 \\ 0.5 & 0.2 \end{bmatrix}$$

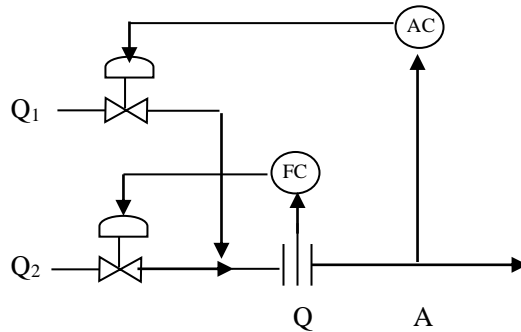
$$R \cup (S \cap T) = \begin{bmatrix} 0.7 & 0.5 \\ 0.9 & 0.7 \end{bmatrix}$$

#### 4 两模糊矩阵

$$Q = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.5 & 1 \\ 0.7 & 0.1 & 0.8 \end{bmatrix}, \quad R = \begin{bmatrix} 0.6 & 0.5 \\ 0.4 & 1 \\ 0.1 & 0.9 \end{bmatrix}, \quad \text{求合成矩阵 } Q * R$$

$$Q * R = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.9 \\ 0.6 & 0.8 \end{bmatrix}$$

4 如图有两种液料  $Q_1$  和  $Q_2$  在管道中均匀混合，产生一种所需成分  $X$  的混合物，混合物的总流量  $Q$  也要进行控制。现在要求混合物的成分  $X$  控制在  $Q_1$  的质量百分数为 0.2。求出操纵变量和被控变量之间的恰当配对。



$$Q = Q_1 + Q_2, \quad X = \frac{Q_1}{Q_1 + Q_2}$$

$$K_{11} = K_{12} = 1, K_{21} = \frac{1-X}{Q}, K_{22} = -\frac{X}{Q},$$

$$\Delta = \begin{bmatrix} X & 1-X \\ 1-X & X \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.8 \\ 0.8 & 0.2 \end{bmatrix}$$

5 设被控耦合对象的传递函数矩阵为  $G_p(s) = \begin{bmatrix} \frac{2.582}{2.7s+1} & \frac{-1.582}{2.7s+1} \\ \frac{1}{4.5s+1} & \frac{1}{4.5s+1} \end{bmatrix}$ ，要求目标矩阵为

$$G_p(s) = \begin{bmatrix} \frac{2.582}{2.7s+1} & 0 \\ 0 & \frac{1}{4.5s+1} \end{bmatrix}, \text{ 试进行静态解耦设计。}$$

$$N = \begin{bmatrix} 0.620 & 0.380 \\ -0.620 & 0.620 \end{bmatrix}$$

6 有一水槽，其横截面积  $F$  为  $0.5\text{m}^2$ 。流出侧阀门阻力实验结果为：当水位  $H$  变化  $20\text{cm}$  时，流出量的变化为  $1000\text{cm}^3/\text{s}$ 。试求流出侧阀门阻力  $R$ ，并计算该水槽的时间常数  $T$ 。

$$1/R=Q/H, \quad R=200, \quad T=RF=100$$

8 某水槽的阶跃响应实验数据如下：

| t/s  | 0 | 10  | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | 150 | 200 | 300 | 400 | 500 |
|------|---|-----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| h/mm | 0 | 9.5 | 18 | 33 | 45 | 55 | 63  | 78  | 86  | 95  | 98  | 99  |

其中阶跃扰动量  $\Delta u = 20\%$ 。若该水位对象用一阶惯性环节近似

- (1) 画出水位阶跃响应曲线；用切线法求出时间常数  $T$ 。
- (2) 用计算法计算出增益  $K$  和时间常数  $T$ 。
- (3) 若系统的滞后时间为  $0.5$  秒，请用动态特性参数法整定  $PI$  控制器参数大小

$$K = \frac{\Delta Y}{\Delta U} = \frac{100}{20\%} = 500, \quad Y_1 = 100 \times 0.39 = 39 \quad t_1 = 50, \quad Y_2 = 100 \times 0.63 = 63, \quad t_2 = 100$$

$$T = 2 \times (t_2 - t_1) = 100$$

$$K_p = 1.1K \left( \frac{\tau}{T} \right) = 1.1 \times 500 \times 0.5 / 100 = 2.75$$

$$K_I = 3.3\tau = 3.3 \times 0.5 = 1.65$$

7. 若比值  $k=Q_A/Q_B=4$ ,  $Q_{A\max}=6 \times 10^3 \text{kg/h}$ ,  $Q_{B\max}=3 \times 10^3 \text{kg/h}$  当流量测量不加开放器，试求出比值系数  $K$ 。

$$\text{解: } K = (1/k)^2 \times (Q_{A\max}^2 / Q_{B\max}^2) = 1/4$$

8 在某生产过程中，需使参与反应的甲乙两种物料流量保持一定比值，若已知正常操作时，甲流量  $q_1=7\text{m}^3/\text{h}$ ，采用孔板测量 并配有差压变送器，其测量范围为  $0 \sim 10\text{m}^3/\text{h}$ ，乙流量  $q_2=250\text{L/h}$ ，相应的测量范围为  $0 \sim 300\text{L/h}$ ，根据要求设计保持  $q_2/q_1$  比值的控制系统。试求在流量和测量信号分别成线性和非线性关系时，采用  $DDZ-III$  型仪表组成系统时的比例系数  $K$ 。

解：线性： $k=q_2/q_1=0.25/7=1/28$

$$K=k \times (Q_{1\max}/Q_{2\max})=25/21$$

非线性： $k=q_2^2/q_1^2=0.25^2/7^2=1/784$

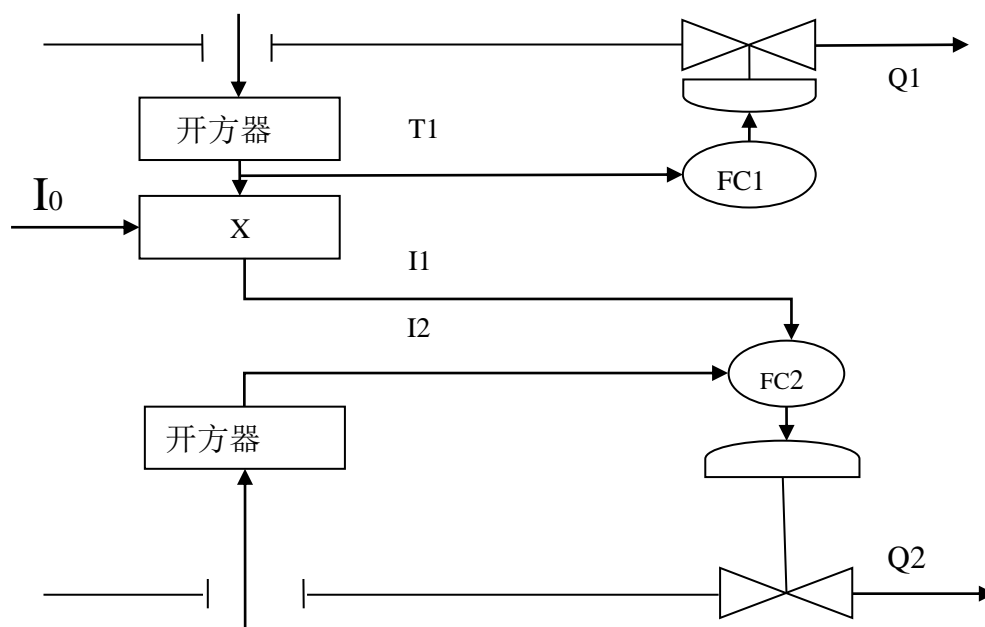
$$K=k^2 \times (Q_{1\max}^2/Q_{2\max}^2)=625/44$$

9.有一双闭环比值控制系统如图 7-5 所示。若采用 DDZ-III型仪表和相乘方案来实现。已知  $Q_{1\max}=7000\text{kg/h}$ ,  $Q_{2\max}=4000\text{kg/h}$ 。要求：

(1) 画出系统方块图；

(2) 若已知  $I_0=18\text{mA}$ , 求该比值系统的比值  $k=?$  比值系数  $K=?$

(3) 待该比值系统稳定时，测得  $I_1=10\text{mA}$ ，试计算此时  $I_2=?$ 。



解：(2)  $K \times 16 + 4 = I_0$  得： $K=7/8$

又因为  $K=k \times (Q_{1\max}/Q_{2\max})$

得： $k=1/2$

(3)  $K = (I_2 - 4) / (I_1 - 4)$

得： $I_2=9.25\text{mA}$

10 有一均匀控制系统（缓冲罐直径 2m，控制器为纯比例读 100%）输入流量为正弦变化，幅度从 240~480m<sup>3</sup>/h，周期为 2min，由此引起的液位变化幅度为 0.3m。

(1) 求相应的输出流量变化幅度

(2) 若将该储罐直径增加到 2.8 米，求液位变化幅度和输出流量变化幅度。

(1) 因为  $\Delta q_1 - \Delta q_2 = C_1 \frac{d\Delta h_1}{dt}$        $\Delta q_1 = 480 - 240$        $\Delta h = 0.3$        $C = \pi, \Delta t = 60$

$$\Delta q_2 = 239.0580$$

所以  $R_2 = \frac{\Delta h_1}{\Delta q_2} = 0.0013$

(2), 同上写出  $\Delta q_1 - \Delta q_2 = C_2 \frac{d\Delta h_1}{dt}$   $C_2 = \pi \times 1.4^2$  以及  $R_2 = \frac{\Delta h_1}{\Delta q_2} = 0.0013$  得

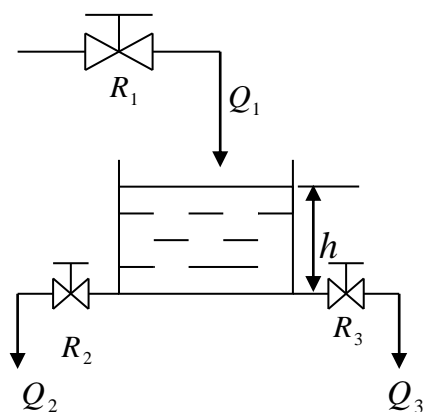
$$\Delta q_2 = 239.9760 \quad \Delta h_1 = 0.3120$$

传递函数:  $\frac{H_2(s)}{Q_1(s)} = \frac{K}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}, T_1 = R_1 C_1, T_2 = R_2 C_2, K = R_2$

11. 题图 3-1 所示液位过程的输入量为  $Q_1$ , 流出量为  $Q_2, Q_3$ , 液位  $h$  为被控参数,  $A$  为

截面积, 并设  $R_1, R_2, R_3$  均为线性液阻。要求:

- ① 列写过程的微分方程组;
- ② 画出过程的方框图;
- ③ 求过程的传递函数  $W_o(s) = \frac{H(s)}{Q_1(s)}$ 。



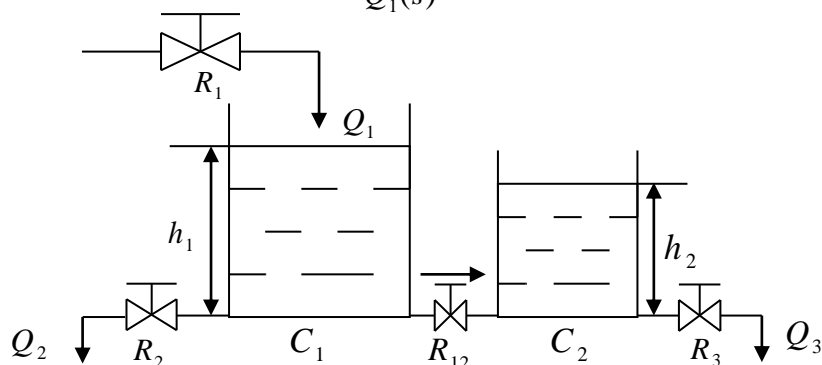
12. 已知两只水箱串联工作 (如题图 3-2 所示), 其输入量为  $Q_1$ , 流出量为  $Q_2, Q_3, h_1,$

$h_2$  分别为两只水箱的水位,  $h_2$  为被控量,  $C_1, C_2$  为其容量系数, 假设  $R_1, R_2, R_{12},$

$R_3$  为线性液阻。要求:

- ① 列写过程的微分方程组;
- ② 画出过程的方框图;

③ 求液位过程的传递函数  $W_o(s) = \frac{H_2(s)}{Q_1(s)}$



13. 在一个串级控制系统中，原来选用口径为 20mm 的气开阀，后来改为口径为 32mm 的气关阀。问

- ① 主、副控制器正反作用要否改变？为什么？
- ② 副控制器的比例度和积分时间要否改变？是变大还是变小？为什么？
- ③ 主控制器的比例度和积分时间要否改变？是变大还是变小？为什么？

14. 在一个串级控制系统中，主变量是温度，温度变送器量程原为 0~200℃，后改为 80~120℃。问

- ① 副控制器比例度和积分时间要否改变？是变大还是变小？为什么？
- ② 主控制器比例度和积分时间要否改变？是变大还是变小？为什么？

15. 在所有回路均为开环时，某一过程的开环增益矩阵为

$$K = \begin{bmatrix} 0.58 & -0.36 & -0.36 \\ 0.73 & -0.61 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

试推导出相对增益矩阵，并选出最好的控制回路，分析此过程是否需要解耦。

16. 设有一个三种液体混合的系统，其中一种是水，混合液流量为  $Q$ ，系统被控变量是混合液的密度  $\rho$  和粘度  $\nu$ 。已知它们之间有下列关系，即

$$\rho = \frac{Au_1 + Bu_2}{Q}, \quad \nu = \frac{Cu_1 + Du_2}{Q}$$

式中， $A$ ， $B$ ， $C$ ， $D$  为物理常数； $u_1$  和  $u_2$  为两个可控流量。

- ① 请求出该系统的相对增益矩阵。
- ② 若设  $A = B = C = 0.5$ ， $D = 1.0$ ，则系统相对增益矩阵是什么？并对计算结果进行分析。



17. 已知一个  $2 \times 2$  相关系统的传递函数矩阵为  $\begin{bmatrix} G_{11} & G_{12} \\ G_{21} & G_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.3 & -0.4 \\ 0.5 & 0.2 \end{bmatrix}$ ，试计算该系统

相对增益矩阵，说明其变量配对的合理性。然后按静态解耦方法进行解耦，求取静态解耦装置的数学模型。

$$\Lambda = \begin{bmatrix} 0.23 & 0.77 \\ 0.77 & 0.23 \end{bmatrix} G_n = \begin{bmatrix} 0.23 & 0.3 \\ -0.58 & 0.23 \end{bmatrix}$$

18. 设对象的传递函数矩阵为  $Gp(s) = \begin{bmatrix} \frac{1}{(s+1)^2} & \frac{-1}{2s+1} \\ \frac{1}{3s+1} & \frac{1}{s+1} \end{bmatrix}$ ，给定的闭环传递函数矩阵为

$$\phi(s) = \begin{bmatrix} \frac{1}{s+1} & 0 \\ 0 & \frac{1}{s+1} \end{bmatrix}$$
，试用给定要求设计法，设计解耦器和控制器结合的  $G_{cn}$ 。

19. 题图中有一加热炉出口温度系统，测取温度对象的过程为：在系统稳定时，在阀上风压作 3% 变化，输出温度记录如下

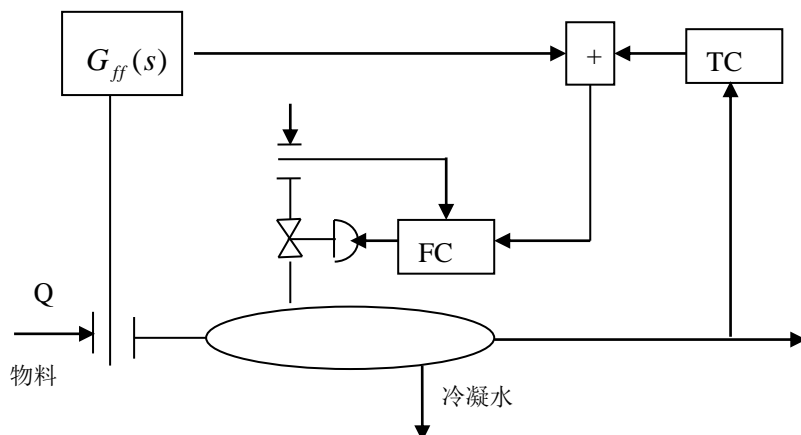
|                           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| t / min                   | 0     | 2     | 4     | 6     | 8     | 10    | 12    | 14    | 16    |
| $\theta / ^\circ\text{C}$ | 270.0 | 270.0 | 267.0 | 264.7 | 262.7 | 261.0 | 259.5 | 258.4 | 257.8 |
| t / min                   | 18    | 20    | 22    | 24    | 26    | 28    | 30    | 32    | 34    |
| $\theta / ^\circ\text{C}$ | 257.0 | 256.5 | 256.0 | 255.7 | 255.4 | 255.2 | 255.1 | 255.0 | 255.0 |

要求整定  $PI$  参数（假定变送器量程为  $200 \sim 300^\circ\text{C}$ ）。

20 某前馈 - 串级控制系统原理图如图所示，已知扰动通道特性

$$G_{pD}(s) = \frac{0.5}{(1+2s)} \quad G_{c1}(s) = G_{c2}(s) = 9; \quad G_{h1}(s) = G_{h2}(s) = 1, \quad G_{p1}(s) = \frac{3}{(1+2s)},$$

$$G_{p2}(s) = \frac{2}{(1+2s)}.$$
求该复合控制系统中前馈控制器的数学模型。



6 设过程输入输出关系如下：

$$Y_1(s) = \frac{u_1(s)}{s+1} + \frac{u_2(s)}{0.1s+1}$$

$$Y_2(s) = \frac{-0.2u_1(s)}{0.5s+1} + \frac{0.8u_2(s)}{s+1} \quad \text{求相对增益}$$

5 设被控耦合对象的传递函数矩阵为  $G_p(s) = \begin{bmatrix} \frac{1}{10s+1-28.4} & \frac{0.42}{10s+1} \\ \frac{1}{(15s+1)(5s+1)} & \frac{1}{(20s+1)(5s+1)} \end{bmatrix}$ ，解耦

器接在控制器和对象之间。试按理想解耦方法设计解耦矩阵 N。