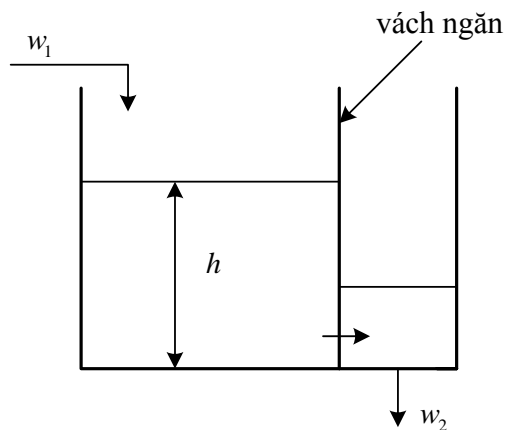


Câu 1: (3 điểm)

Cho bồn chứa có vách ngăn như sau. Biết lưu lượng ra w_2 tỉ lệ với chiều cao chất lỏng theo công thức:



$$w_2 = R.h^{3/2}, \quad R: \text{hằng số}$$

A: tiết diện ngang của bồn chứa.

a. Viết phương trình toán mô tả quan hệ giữa chiều cao mức chất lỏng và lưu lượng vào.

b. Tuyến tính hóa phương trình trên quanh điểm cân bằng. Tìm hàm truyền

$$G(s) = \frac{H(s)}{W_1(s)} \quad ?$$

a (1 đ). Phương trình cân bằng khối:

$$\rho A \frac{dh}{dt} = \rho w_1 - \rho w_2 \Rightarrow A \frac{dh}{dt} = w_1 - R h^{1.5}$$

$$\text{Phương trình toán: } A \frac{dh}{dt} + R h^{1.5} = w_1 \quad (1)$$

b (2 đ). Tại điểm cân bằng: $R h_s^{1.5} = w_{1s}$

$$\text{Đặt } \begin{cases} w_1 = w_{1s} + W_1 \\ h = h_s + H \end{cases} \quad (0.5 \text{ đ}) \quad (2)$$

với W_1, H lần lượt là lượng thay đổi nhỏ của w_1, h quanh điểm cân bằng

$$\text{Từ (1), ta có } \frac{dh}{dt} = \frac{1}{A} (w_1 - R h^{1.5}) = f(w_1, h) \quad (3)$$

Khai triển Taylor (3) quanh điểm ổn định:

$$\frac{dh}{dt} = \dot{H} = f(w_{1s}, h_s) + \left. \frac{\partial f}{\partial w_1} \right|_{w_{1s}, h_s} W_1 + \left. \frac{\partial f}{\partial h} \right|_{w_{1s}, h_s} H \quad (0.5 \text{ đ})$$

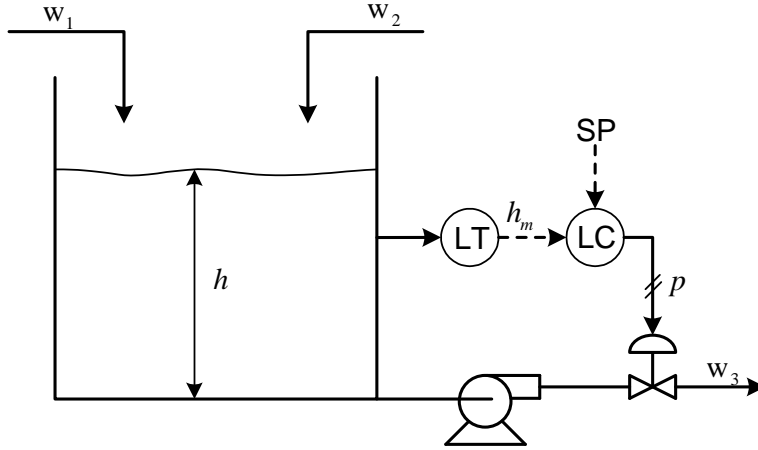
$$\begin{aligned} \dot{H} &= \frac{1}{A} W_1 - \frac{1.5 R \sqrt{h_s}}{A} H \\ \Rightarrow A \frac{dH}{dt} &= W_1 - 1.5 R \sqrt{h_s} H \end{aligned} \quad (0.5 \text{ đ}) \quad (4)$$

Biến đổi Laplace pt (4), (ĐK đầu, tại điểm ổn định, = 0)

$$\begin{aligned} A s H(s) &= W_1(s) - 1.5 R \sqrt{h_s} H(s) \\ \Rightarrow G(s) = \frac{H(s)}{W_1(s)} &= \frac{1}{A s + 1.5 R \sqrt{h_s}} \end{aligned} \quad (0.5 \text{ đ})$$

Câu 2: (4 điểm)

Cho hệ thống điều khiển mức như hình vẽ. Các thông số của hệ như sau: $A = 3 \text{ [ft}^2\text{]}$, $w_{3s} = 10 \text{ [gal/min]}$, $K_v = -1.3 \text{ [gal/min/mA]}$, $K_m = 4 \text{ [mA/ft]}$. Van điều khiển có hằng số thời gian $\tau_v = 10 \text{ [s]}$, bỏ qua hằng số thời gian của cảm biến.



- Viết phương trình toán mô tả hệ bồn chứa. Phân tích các biến quá trình?
- Vẽ sơ đồ khối mô tả chi tiết hệ thống?
- Biết kỹ sư sử dụng bộ điều khiển PI để điều khiển mức. Tìm 2 thông số của bộ điều khiển để hệ kín ổn định.

a (1 đ). Phương trình toán mô tả hệ bồn chứa:

$$\frac{dH}{dt} = \frac{1}{A} (W_1 + W_2 - W_3)$$

$$\text{Với } \begin{cases} H = h - h_s \\ W_1 = w_1 - w_{1s} \\ W_2 = w_2 - w_{2s} \\ W_3 = w_3 - w_{3s} \end{cases} \text{ là biến thiên các đại lượng tương ứng quanh giá trị cân bằng}$$

Biến đổi Laplace, ta có:

$$H(s) = \frac{1}{As} (W_1(s) + W_2(s) - W_3(s))$$

Dựa trên hình vẽ ta có nhận xét sau:

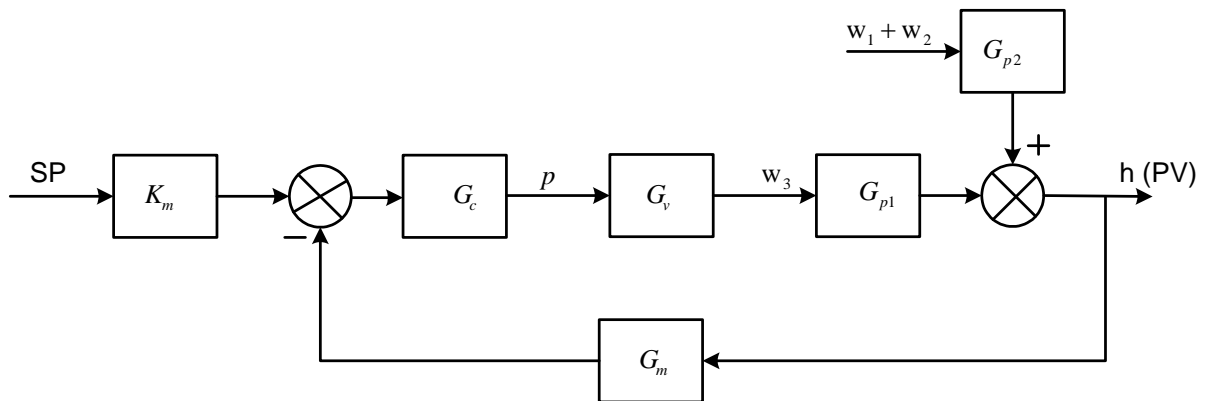
h : là biến được điều khiển (CV)

w_3 : là biến điều khiển (MV)

w_1, w_2 : là các nhiễu quá trình (DV)

Lưu ý: Vẫn chấm đúng nếu SV có dùng ρ trong phương trình

b. (1.5 đ)



Trong đó:

G_c : hàm truyền bộ điều khiển

G_v : hàm truyền của van; $\tau_v = 10(s) = 1/6 \text{ (min)}$

$$G_v = \frac{K_v}{\tau_v s + 1} = -\frac{1.3}{\frac{1}{6}s + 1} = -\frac{7.8}{s + 6}$$

Từ câu a, ta có: $G_{p1} = -\frac{1}{As}$; $G_{p2} = \frac{1}{As}$

G_m : hàm truyền của cảm biến; bỏ qua hằng số thời gian của cảm biến $\tau_m = 0$

$$\Rightarrow G_m = K_m = 4$$

c. (1.5 đ)

$$G_c = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s}\right) \quad (0.5 \text{ đ})$$

Phương trình đặc trưng hệ kín:

$$1 + G_c(s)G_v(s)G_{p1}(s)G_m = 0$$

$$1 + K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s}\right) \frac{7.8}{s + 6} \frac{4}{3s} = 0$$

$$3T_i s^3 + 18T_i s^2 + 31.2K_p T_i s + 31.2K_p = 0 \quad (0.5 \text{ đ})$$

Sử dụng tiêu chuẩn ổn định Routh, ta có điều kiện của K_p , T_i là:

$$\begin{cases} K_p > 0 \\ T_i > \frac{1}{6} \end{cases} \quad (0.5 \text{ đ})$$

Câu 3: (3 điểm)

Một quá trình bao gồm cả cảm biến và van điều khiển có thể được mô hình hóa bởi hàm truyền bậc 4 như sau:

$$G(s) = \frac{1}{(s+1)(0.2s+1)(0.04s+1)(0.08s+1)}$$

a. Xấp xỉ hàm truyền về dạng khâu quán tính bậc 2 có trễ sử dụng quy tắc Skogestad.

b. Thiết kế bộ điều khiển PID, sử dụng phương pháp trực tiếp (Direct Synthesis), biết hằng số thời gian của hệ kín $\tau_c = 0.51 \text{ (s)}$.

a. (1 đ)

Khâu quán tính bậc 2 có trễ có dạng sau:

$$G(s) = \frac{K}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)} e^{-\theta s}$$

Sử dụng quy tắc xấp xỉ của Skogestad, ta có:

$$K = 1$$

$$\tau_1 = 1$$

$$\tau_2 = 0.2 + \frac{0.08}{2} = 0.24$$

$$\theta = 0.04 + \frac{0.08}{2} = 0.08$$

Vậy ta có hàm truyền xấp xỉ

$$G(s) = \frac{1}{(s+1)(0.24s+1)} e^{-0.08s}$$

b. (2 đ)

Hàm truyền bộ điều khiển PID: $G_c(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s\right)$

Theo phương pháp trực tiếp (DS) cho đối tượng bậc 2 có trễ, ta có các thông số của bộ điều khiển như sau:

$$K_p = \frac{1}{K} \frac{\tau_1 + \tau_2}{\tau_c + \theta} = \frac{1 + 0.24}{0.51 + 0.08} \approx 2.1$$

$$T_i = \tau_1 + \tau_2 = 1 + 0.24 = 1.24$$

$$T_d = \frac{\tau_1 \tau_2}{\tau_1 + \tau_2} = \frac{0.24}{1.24} \approx 0.1935$$

Vậy bộ điều khiển PID có hàm truyền như sau:

$$G_c(s) = 2.1 \left(1 + \frac{1}{1.24s} + 0.1935s\right)$$