

# **Bài tập Điều khiển quá trình**

## **Chủ đề Chỉnh định bộ điều khiển PID**

Sưu tầm: Thi Minh Nhựt      Email: thiminhnhut@gmail.com

Thời gian: Ngày 3 tháng 11 năm 2017

### **Mục lục**

<b>1</b>	<b>Xấp xỉ mô hình bậc cao theo phương pháp Skogestad (luật chia đôi)</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Hàm truyền của bộ điều khiển PI và PID</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Phương pháp xác định các thông số của bộ điều khiển PI và PID dựa trên mô hình mẫu</b>	<b>2</b>
3.1	Phương pháp Haalman . . . . .	2
3.2	Phương pháp tổng hợp trực tiếp (Direct Synthesis – DS, phương pháp chỉnh định Lamda) . . . . .	3
3.3	Bảng tổng hợp xác định thông số của bộ điều khiển PI, PID theo phương pháp Haalman và phương pháp tổng hợp trực tiếp . . . . .	3
<b>4</b>	<b>Bài tập áp dụng</b>	<b>4</b>

# 1 Xấp xỉ mô hình bậc cao theo phương pháp Skogestad (luật chia đôi)

Cho mô hình của đối tượng có dạng như sau:

$$G(s) = \frac{k \prod_{i=1}^m (-\tau_{zi} + 1)}{\prod_{j=1}^n (\tau_{pj} + 1)} e^{-\tau_0 s} \quad \text{với } \tau_{p1} > \tau_{p2} > \tau_{p3} > \dots$$

- Xấp xỉ về khâu quán tính bậc nhất có trễ với mô hình:  $\tilde{G}(s) = \frac{ke^{-\theta s}}{\tau s + 1}$ , trong đó:

$$\begin{aligned} \tau &= \tau_{p1} + \frac{\tau_{p2}}{2}; & \theta &= \tau_0 + \frac{\tau_{p2}}{2} + \sum_{j=3}^n \tau_{pj} + \sum_{i=1}^m \tau_{zi} \\ & & &= \tau_0 + \frac{\tau_{p2}}{2} + (\tau_{p3} + \tau_{p4} + \dots + \tau_{pn}) + (\tau_{z1} + \tau_{z2} + \dots + \tau_{zm}) \end{aligned}$$

- Xấp xỉ về khâu quán tính bậc hai có trễ với mô hình:  $\tilde{G}(s) = \frac{ke^{-\theta s}}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}$ , trong đó:

$$\begin{aligned} \tau_1 &= \tau_{p1}; & \tau_2 &= \tau_{p2} + \frac{\tau_{p3}}{2}; & \theta &= \tau_0 + \frac{\tau_{p3}}{2} + \sum_{j=4}^n \tau_{pj} + \sum_{i=1}^m \tau_{zi} \\ & & &= \tau_0 + \frac{\tau_{p3}}{2} + (\tau_{p4} + \tau_{p5} + \dots + \tau_{pn}) + (\tau_{z1} + \tau_{z2} + \dots + \tau_{zm}) \end{aligned}$$

## 2 Hàm truyền của bộ điều khiển PI và PID

- Hàm truyền của bộ điều khiển PI cho khâu quán tính bậc nhất có dạng:

$$K(s) = K_P + \frac{K_I}{s} = K_P \left( 1 + \frac{1}{T_I s} \right)$$

- Hàm truyền của bộ điều khiển PID cho khâu quán tính bậc hai có dạng:

$$K(s) = K_P + \frac{K_I}{s} + K_D s = K_P \left( 1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right)$$

## 3 Phương pháp xác định các thông số của bộ điều khiển PI và PID dựa trên mô hình mẫu

### 3.1 Phương pháp Haalman

- Với khâu quán tính bậc nhất  $\tilde{G}(s) = \frac{ke^{-\theta s}}{\tau s + 1}$  (mô hình FOPDT), sử dụng bộ điều khiển PI:

$$K(s) = K_P \left( 1 + \frac{1}{T_I s} \right) \quad \text{với} \quad K_P = \frac{2\tau}{3k\theta}; \quad T_I = \tau$$

- Với khâu quán tính bậc hai  $\tilde{G}(s) = \frac{ke^{-\theta s}}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}$  (mô hình SOPDT), sử dụng bộ điều khiển PID:

$$K(s) = K_P \left( 1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right) \quad \text{với} \quad K_P = \frac{2(\tau_1 + \tau_2)}{3k\theta}; \quad T_I = \tau_1 + \tau_2; \quad T_D = \frac{\tau_1 \tau_2}{\tau_1 + \tau_2}$$

### 3.2 Phương pháp tổng hợp trực tiếp (Direct Synthesis – DS, phương pháp chỉnh định Lamda)

- Với khâu quán tính bậc nhất  $\tilde{G}(s) = \frac{ke^{-\theta s}}{\tau s + 1}$  (mô hình FOPDT), sử dụng bộ điều khiển PI:

$$K(s) = K_P \left( 1 + \frac{1}{T_I s} \right) \quad \text{với} \quad K_P = \frac{\tau}{k(\tau_c + \theta)}; \quad T_I = \tau$$

với  $\tau_c$  là hằng số thời gian quán tính.

- Với khâu quán tính bậc hai  $\tilde{G}(s) = \frac{ke^{-\theta s}}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}$  (mô hình SOPDT), sử dụng bộ điều khiển PID:

$$K(s) = K_P \left( 1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right) \quad \text{với} \quad K_P = \frac{\tau_1 + \tau_2}{k(\tau_c + \theta)}; \quad T_I = \tau_1 + \tau_2; \quad T_D = \frac{\tau_1 \tau_2}{\tau_1 + \tau_2}$$

với  $\tau_c$  là hằng số thời gian quán tính.

### 3.3 Bảng tổng hợp xác định thông số của bộ điều khiển PI, PID theo phương pháp Haalman và phương pháp tổng hợp trực tiếp

Khâu quán tính bậc nhất (FOPDT)		Khâu quán tính bậc hai (SOPDT)	
$\tilde{G}(s) = \frac{ke^{-\theta s}}{\tau s + 1}$		$\tilde{G}(s) = \frac{ke^{-\theta s}}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}$	
$K_{PI}(s) = K_P \left( 1 + \frac{1}{T_I s} \right)$		$K_{PID}(s) = K_P \left( 1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right)$	
Phương pháp Haalman	Phương pháp DS	Phương pháp Haalman	Phương pháp DS
$K_P = \frac{2\tau}{3k\theta}$	$K_P = \frac{\tau}{k(\tau_c + \theta)}$	$K_P = \frac{2(\tau_1 + \tau_2)}{3k\theta}$	$K_P = \frac{\tau_1 + \tau_2}{k(\tau_c + \theta)}$
$T_I = \tau$	$T_I = \tau$	$T_I = \tau_1 + \tau_2$	$T_I = \tau_1 + \tau_2$
		$T_D = \frac{\tau_1 \tau_2}{\tau_1 + \tau_2}$	$T_D = \frac{\tau_1 \tau_2}{\tau_1 + \tau_2}$

## 4 Bài tập áp dụng

**Bài tập 4.1** Cho một thiết bị trao đổi nhiệt với hàm truyền từ tín hiệu điều khiển van dòng mang nhiệt và tín hiệu đo nhiệt độ ra của dòng quá trình là:

$$G(s) = \frac{0.75e^{-1.21s}}{(30s+1)(5s+1)(2s+1)}$$

1. Xấp xỉ hàm truyền theo quy tắc Skogestad:
  - (a) Xấp xỉ hàm truyền  $G(s)$  về dạng bậc nhất có trễ sử dụng quy tắc Skogestad.
  - (b) Xấp xỉ hàm truyền  $G(s)$  về dạng bậc hai có trễ sử dụng quy tắc Skogestad.
2. Thiết kế bộ điều khiển sử dụng phương pháp Haalman:
  - (a) Thiết kế bộ điều khiển PI sử dụng phương pháp Haalman.
  - (b) Thiết kế bộ điều khiển PID sử dụng phương pháp Haalman.
3. Thiết kế bộ điều khiển sử dụng phương pháp tổng hợp trực tiếp Direct Synthesis – DS:
  - (a) Thiết kế bộ điều khiển PI sử dụng phương pháp tổng hợp trực tiếp Direct Synthesis, biết hằng số thời gian của hệ kín là  $\tau_c = 3.17$ .
  - (b) Thiết kế bộ điều khiển PID sử dụng phương pháp tổng hợp trực tiếp Direct Synthesis, biết hằng số thời gian của hệ kín là  $\tau_c = 3.17$ .

### Bài giải 4.1

Ta có hàm truyền  $G(s) = \frac{0.75e^{-1.21s}}{(30s+1)(5s+1)(2s+1)}$ , nên:

$$k = 0.75; \quad \tau_{p1} = 30; \tau_{p2} = 5; \tau_{p3} = 2; \quad \tau_0 = 1.21$$

#### 1. Xấp xỉ hàm truyền theo quy tắc Skogestad:

- (a) Xấp xỉ hàm truyền  $G(s)$  về dạng bậc nhất có trễ sử dụng quy tắc Skogestad.

$$\begin{cases} \tau = \tau_{p1} + \frac{\tau_{p2}}{2} = 30 + \frac{5}{2} = 32.5 \\ \theta = \tau_0 + \left(\frac{\tau_{p2}}{2} + \tau_{p3}\right) + 0 = 1.21 + \left(\frac{5}{2} + 2\right) + 0 = 5.71 \end{cases}$$
$$\Rightarrow \tilde{G}(s) = \frac{ke^{-\theta s}}{\tau s + 1} = \frac{0.75e^{-5.71s}}{32.5s + 1}$$

- (b) Xấp xỉ hàm truyền  $G(s)$  về dạng bậc hai có trễ sử dụng quy tắc Skogestad.

$$\begin{cases} \tau_1 = \tau_{p1} = 30 \\ \tau_2 = \tau_{p2} + \frac{\tau_{p3}}{2} = 5 + \frac{2}{2} = 6 \\ \theta = \tau_0 + \frac{\tau_{p3}}{2} + 0 = 1.21 + \frac{2}{2} + 0 = 2.21 \end{cases}$$
$$\Rightarrow \tilde{G}(s) = \frac{ke^{-\theta s}}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)} = \frac{0.75e^{-2.21s}}{(30s+1)(6s+1)}$$

## 2. Thiết kế bộ điều khiển sử dụng phương pháp Haalman:

(a) Thiết kế bộ điều khiển PI sử dụng phương pháp Haalman.

- Ta có:  $\tilde{G}(s) = \frac{0.75e^{-5.71s}}{32.5s + 1}$ , suy ra:  $k = 0.75; \theta = 5.71; \tau = 32.5$
- Tính giá trị các thông số  $K_P$  và  $K_I$ :

$$\begin{cases} K_P = \frac{2\tau}{3k\theta} = \frac{2 \times 32.5}{3 \times 0.75 \times 5.71} = 5.06 \\ T_I = \tau = 32.5 \end{cases}$$

- Kết luận:  $K(s) = K_P \left(1 + \frac{1}{T_I s}\right) = 5.06 \left(1 + \frac{1}{32.5s}\right)$

(b) Thiết kế bộ điều khiển PID sử dụng phương pháp Haalman.

- Ta có:  $\tilde{G}(s) = \frac{0.75e^{-2.21s}}{(30s + 1)(6s + 1)}$ , suy ra:  $k = 0.75; \theta = 2.21; \tau_1 = 30; \tau_2 = 6$
- Tính giá trị các thông số  $K_P$  và  $K_I$ :

$$\begin{cases} K_P = \frac{2(\tau_1 + \tau_2)}{3k\theta} = \frac{2(30 + 6)}{3 \times 0.75 \times 2.21} = 14.48 \\ T_I = \tau_1 + \tau_2 = 30 + 6 = 36 \\ T_D = \frac{\tau_1 \tau_2}{\tau_1 + \tau_2} = \frac{30 \times 6}{30 + 6} = 5 \end{cases}$$

- Kết luận:  $K(s) = K_P \left(1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s\right) = 14.48 \left(1 + \frac{1}{36s} + 5s\right)$

## 3. Thiết kế bộ điều khiển sử dụng phương pháp tổng hợp trực tiếp Direct Synthesis – DS:

(a) Thiết kế bộ điều khiển PI sử dụng phương pháp tổng hợp trực tiếp Direct Synthesis, biết hằng số thời gian của hệ kín là  $\tau_c = 3.17$ .

- Ta có:  $\tilde{G}(s) = \frac{0.75e^{-5.71s}}{32.5s + 1}$ , suy ra:  $k = 0.75; \theta = 5.71; \tau = 32.5$
- Tính giá trị các thông số  $K_P$ ,  $K_I$  và  $T_D$ :

$$\begin{cases} K_P = \frac{\tau}{k(\tau_c + \theta)} = \frac{32.5}{0.75 \times (3.17 + 5.71)} = 4.88 \\ T_I = \tau = 32.5 \end{cases}$$

- Kết luận:  $K(s) = K_P \left(1 + \frac{1}{T_I s}\right) = 4.88 \left(1 + \frac{1}{32.5s}\right)$

(b) Thiết kế bộ điều khiển PID sử dụng phương pháp tổng hợp trực tiếp Direct Synthesis, biết hằng số thời gian của hệ kín là  $\tau_c = 3.17$ .

- Ta có:  $\tilde{G}(s) = \frac{0.75e^{-2.21s}}{(30s + 1)(6s + 1)}$ , suy ra:  $k = 0.75; \theta = 2.21; \tau_1 = 30; \tau_2 = 6$

- Tính giá trị các thông số  $K_P$ ,  $K_I$  và  $T_D$ :

$$\begin{cases} K_P = \frac{\tau_1 + \tau_2}{k(\tau_c + \theta)} = \frac{30 + 6}{0.75 \times (3.17 + 2.21)} = 8.92 \\ T_I = \tau_1 + \tau_2 = 30 + 6 = 36 \\ T_D = \frac{\tau_1 \tau_2}{\tau_1 + \tau_2} = \frac{30 \times 6}{30 + 6} = 5 \end{cases}$$

- Kết luận:  $K(s) = K_P \left( 1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right) = 8.92 \left( 1 + \frac{1}{36s} + 5s \right)$

**Bài tập 4.2** Một quá trình bao gồm cả cảm biến và van điều khiển có thể được mô hình hoá bởi hàm truyền bậc 4 như sau:

$$G(s) = \frac{0.5e^{-6s}}{(10s + 1)(8s + 1)(3s + 1)(s + 1)}$$

1. Xấp xỉ hàm truyền theo quy tắc Skogestad:
  - (a) Xấp xỉ hàm truyền  $G(s)$  về dạng bậc nhất có trễ sử dụng quy tắc Skogestad.
  - (b) Xấp xỉ hàm truyền  $G(s)$  về dạng bậc hai có trễ sử dụng quy tắc Skogestad.
2. Thiết kế bộ điều khiển sử dụng phương pháp Haalman:
  - (a) Thiết kế bộ điều khiển PI sử dụng phương pháp Haalman.
  - (b) Thiết kế bộ điều khiển PID sử dụng phương pháp Haalman.
3. Thiết kế bộ điều khiển sử dụng phương pháp tổng hợp trực tiếp Direct Synthesis – DS:
  - (a) Thiết kế bộ điều khiển PI sử dụng phương pháp tổng hợp trực tiếp Direct Synthesis, biết hằng số thời gian của hệ kín là  $\tau_c = 0.51$ .
  - (b) Thiết kế bộ điều khiển PID sử dụng phương pháp tổng hợp trực tiếp Direct Synthesis, biết hằng số thời gian của hệ kín là  $\tau_c = 0.51$ .

**Bài tập 4.3** Một quá trình bao gồm cả cảm biến và van điều khiển có thể được mô hình hoá bởi hàm truyền bậc 4 như sau:

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

1. Xấp xỉ hàm truyền theo quy tắc Skogestad:
  - (a) Xấp xỉ hàm truyền  $G(s)$  về dạng bậc nhất có trễ sử dụng quy tắc Skogestad.
  - (b) Xấp xỉ hàm truyền  $G(s)$  về dạng bậc hai có trễ sử dụng quy tắc Skogestad.
2. Thiết kế bộ điều khiển sử dụng phương pháp Haalman:
  - (a) Thiết kế bộ điều khiển PI sử dụng phương pháp Haalman.
  - (b) Thiết kế bộ điều khiển PID sử dụng phương pháp Haalman.

3. Thiết kế bộ điều khiển sử dụng phương pháp tổng hợp trực tiếp Direct Synthesis – DS:
  - (a) Thiết kế bộ điều khiển PI sử dụng phương pháp tổng hợp trực tiếp Direct Synthesis, biết hằng số thời gian của hệ kín là  $\tau_c = 0.51$ .
  - (b) Thiết kế bộ điều khiển PID sử dụng phương pháp tổng hợp trực tiếp Direct Synthesis, biết hằng số thời gian của hệ kín là  $\tau_c = 0.51$ .

**Bài tập 4.4** Một quá trình bao gồm cả cảm biến và van điều khiển có thể được mô hình hoá bởi hàm truyền bậc 4 như sau:

$$G(s) = \frac{100(-0.1s + 1)}{(5s + 1)(3s + 1)(0.04s + 1)(0.5s + 1)}$$

1. Xấp xỉ hàm truyền theo quy tắc Skogestad:
  - (a) Xấp xỉ hàm truyền  $G(s)$  về dạng bậc nhất có trễ sử dụng quy tắc Skogestad.
  - (b) Xấp xỉ hàm truyền  $G(s)$  về dạng bậc hai có trễ sử dụng quy tắc Skogestad.
2. Thiết kế bộ điều khiển sử dụng phương pháp Haalman:
  - (a) Thiết kế bộ điều khiển PI sử dụng phương pháp Haalman.
  - (b) Thiết kế bộ điều khiển PID sử dụng phương pháp Haalman.
3. Thiết kế bộ điều khiển sử dụng phương pháp tổng hợp trực tiếp Direct Synthesis – DS:
  - (a) Thiết kế bộ điều khiển PI sử dụng phương pháp tổng hợp trực tiếp Direct Synthesis, biết hằng số thời gian của hệ kín là  $\tau_c = 0.51$ .
  - (b) Thiết kế bộ điều khiển PID sử dụng phương pháp tổng hợp trực tiếp Direct Synthesis, biết hằng số thời gian của hệ kín là  $\tau_c = 0.51$ .

**Bài tập 4.5** Một quá trình bao gồm cả cảm biến và van điều khiển có thể được mô hình hoá bởi hàm truyền bậc 4 như sau:

$$G(s) = \frac{100(1 - s)e^{-s}}{(12s + 1)(3s + 1)(0.2s + 1)(0.05s + 1)}$$

1. Xấp xỉ hàm truyền theo quy tắc Skogestad:
  - (a) Xấp xỉ hàm truyền  $G(s)$  về dạng bậc nhất có trễ sử dụng quy tắc Skogestad.
  - (b) Xấp xỉ hàm truyền  $G(s)$  về dạng bậc hai có trễ sử dụng quy tắc Skogestad.
2. Thiết kế bộ điều khiển sử dụng phương pháp Haalman:
  - (a) Thiết kế bộ điều khiển PI sử dụng phương pháp Haalman.
  - (b) Thiết kế bộ điều khiển PID sử dụng phương pháp Haalman.
3. Thiết kế bộ điều khiển sử dụng phương pháp tổng hợp trực tiếp Direct Synthesis – DS:

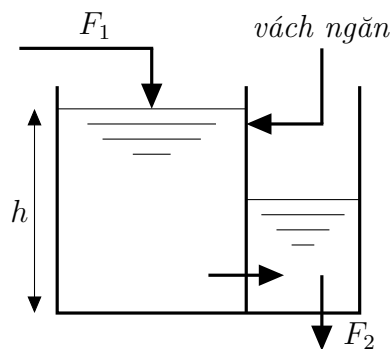
- (a) Thiết kế bộ điều khiển PI sử dụng phương pháp tổng hợp trực tiếp Direct Synthesis, biết hằng số thời gian của hệ kín là  $\tau_c = 0.51$ .
- (b) Thiết kế bộ điều khiển PID sử dụng phương pháp tổng hợp trực tiếp Direct Synthesis, biết hằng số thời gian của hệ kín là  $\tau_c = 0.51$ .

**Bài tập 4.6** Một quá trình bao gồm cả cảm biến và van điều khiển có thể được mô hình hoá bởi hàm truyền bậc 4 như sau:

$$G(s) = \frac{2(s + 0.5)e^{-5s}}{(s + 2)(2s + 1)}$$

1. Xấp xỉ hàm truyền theo quy tắc Skogestad:
  - (a) Xấp xỉ hàm truyền  $G(s)$  về dạng bậc nhất có trễ sử dụng quy tắc Skogestad.
  - (b) Xấp xỉ hàm truyền  $G(s)$  về dạng bậc hai có trễ sử dụng quy tắc Skogestad.
2. Thiết kế bộ điều khiển sử dụng phương pháp Haalman:
  - (a) Thiết kế bộ điều khiển PI sử dụng phương pháp Haalman.
  - (b) Thiết kế bộ điều khiển PID sử dụng phương pháp Haalman.
3. Thiết kế bộ điều khiển sử dụng phương pháp tổng hợp trực tiếp Direct Synthesis – DS:
  - (a) Thiết kế bộ điều khiển PI sử dụng phương pháp tổng hợp trực tiếp Direct Synthesis, biết hằng số thời gian của hệ kín là  $\tau_c = 0.51$ .
  - (b) Thiết kế bộ điều khiển PID sử dụng phương pháp tổng hợp trực tiếp Direct Synthesis, biết hằng số thời gian của hệ kín là  $\tau_c = 0.51$ .

**Bài tập 4.7** Cho hệ thống như hình 1: Biết lưu lượng ra  $F_2$  tỉ lệ với chiều cao chất lỏng theo công thức  $F_2 = R.h^{4/3}$  với  $R$  là hằng số. Tiết diện của bồn chứa là  $A$ .



Hình 1: Hệ thống 1 bồn chứa

1. Xác định các biến vào, biến ra, biến điều khiển, biến cần điều khiển và biến nhiễu.
2. Viết phương trình động học cho mức chất lỏng trong bồn chứa.



3. Tuyến tính hóa phương trình xây dựng được xung quanh vị trí cân bằng dựa trên phương pháp khai triển Taylor.
4. Xác định hàm truyền  $G(s) = \frac{H(s)}{F_1(s)}$
5. Thiết kế bộ điều khiển PI sử dụng phương pháp tổng hợp trực tiếp Direct Synthesis, biết hằng số thời gian của hệ kín là  $\tau_c = 0.5$ .