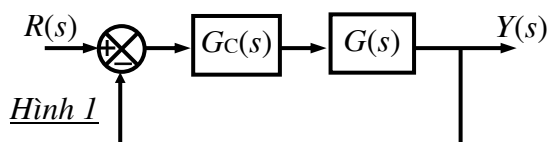


Chú ý: Tổng điểm các câu hỏi trong đề thi là 12 điểm, bài làm hơn 10 điểm sẽ được làm tròn về 10.



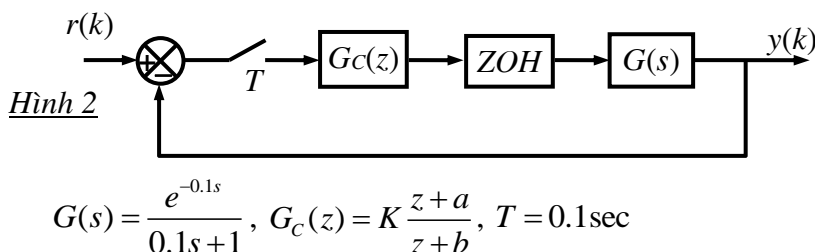
Bài 1: (2.5 điểm) Cho hệ thống có sơ đồ khối ở hình 1. Biết rằng $G(s) = \frac{1}{s(s+5)(s+10)}$.

- Cho $G_c(s) = K$. Xác định K để hệ thống có hệ số vận tốc bằng 10? Với K tìm được, tính độ vọt lố và thời gian quá độ (chuẩn 2%)? (0.75 điểm)
- Thiết kế $G_c(s)$ sao cho hệ kín sau khi hiệu chỉnh có đáp ứng quá độ thỏa yêu cầu: độ vọt lố bằng 9.5% và thời gian quá độ (chuẩn 2%) bằng 2 giây, biết khâu $G_c(s)$ có zero bằng -4? (1.25 điểm)
- Với khâu $G_c(s)$ tìm được ở câu b, hãy tính hệ số vận tốc và so sánh với hệ số vận tốc trong câu a. Rút ra nhận xét? (0.5 điểm)

Bài 2: (2.5 điểm) Cho hệ thống có sơ đồ khối ở hình 1. Biết rằng $G(s) = \frac{10e^{-40s}}{(50s+1)^2}$.

- Khi chưa hiệu chỉnh [$G_c(s) = 1$] thì hệ kín không ổn định. Hãy kiểm tra điều này bằng cách vẽ biểu đồ Bode và xác định độ dự trữ biên và pha của hệ hở. (1 điểm)
- Hãy thiết kế khâu $G_c(s)$ để hệ kín sau hiệu chỉnh ổn định và có sai số xác lập không đổi so với khi chưa hiệu chỉnh. Xác định độ dự trữ biên và pha sau khi hiệu chỉnh? (1.5 điểm)

Bài 3: (3.5 điểm) Cho hệ thống điều khiển có sơ đồ khối như hình 2.



- Cho $a = -0.5, b = 0$, xác định K để hệ kín ổn định? (0.75 điểm)
- Cho $a = 0, b = -0.5$, xác định K để đáp ứng hệ kín có độ vọt lố bằng 9.5%? (0.75 điểm)
- Cho $a = -0.5, b = 0.5$, vẽ quỹ đạo nghiệm số khi $K = 0 \rightarrow +\infty$. (1 điểm)

- d) Cho $a = -0.5, b = 0.5, K = 1$, ngõ vào $r(k)$ là hàm nấc đơn vị, các điều kiện đầu bằng 0. Tính và vẽ đáp ứng ngõ ra $y(k)$ ($k=0 \div 10$). Xác định POT, $t_{qd}(2\%)$? (1 điểm)

Bài 4: (3.5 điểm) Cho hệ thống được mô tả bởi phương trình vi phân sau với các tham số ở bảng 1.

$$\begin{cases} L_a \frac{di_a}{dt} + R_a i_a + K_b \omega_m = v_a \\ J_m \frac{d\omega_m}{dt} + B_m \omega_m = K_i i_a \end{cases}$$

Bảng 1. Giá trị tham số

Tham số	Giá trị	Đơn vị
R_a	2.000	Ω
L_a	0.500	H
K_b	0.015	---
K_i	0.015	---
B_m	0.200	Nms
J_m	0.020	kg.m ²

- a) Xác định phương trình trạng thái mô tả hệ thống với các biến trạng thái, ngõ ra và ngõ vào như sau:
 $x_1 = \omega_m, x_2 = i_a, y = \omega_m, u = v_a$. (0.5 điểm)
- b) Xác định luật điều khiển $u(t) = r(t) - Kx(t)$ để đáp ứng ngõ ra thỏa: POT = 9.5%, $t_{qd}(5\%) = 0.5$ giây. Tính ngõ ra xác lập? Cho ngõ vào là hàm nấc đơn vị. (1.5 điểm)
- c) Cho luật điều khiển $u(t) = r(t) - K\hat{x}(t)$ với K tìm được ở câu b và $\hat{x}(t)$ là trạng thái ước lượng của $x(t)$. Tính độ lợi của bộ ước lượng trạng thái rằng bộ ước lượng có các cực bằng -10 . Viết phương trình trạng thái mô tả bộ ước lượng sau khi thiết kế (1.5 điểm)

(Hết)

CNBM

ĐÁP ÁN

Câu 1: (2.5 điểm)

1.a. (0.75 điểm)

Xác định K để $K_v = 10$

$$K_v = \lim_{s \rightarrow 0} G_c(s)G(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{K}{s(s+5)(s+10)} = 10$$

$$\Rightarrow K_v = \frac{K}{50} = 10 \Rightarrow K = 500 \quad (0.25 \text{ đ})$$

Phương trình đặc trưng:

$$1 + G_c(s)G(s) = 0$$

$$1 + \frac{500}{s(s+5)(s+10)} = 0$$

$$s^3 + 15s^2 + 50s + 500 = 0$$

$$(s + 13.9)(s + 0.51 + j5.96)(s + 0.51 - j5.96) = 0$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \xi = 0.085 \\ \omega_n = 5.98 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} POT = e^{-\pi\xi/\sqrt{1-\xi^2}} \cdot 100\% = 76.43\% \\ t_s = \frac{4}{\xi\omega} = 7.84s \end{cases} \quad (0.5 \text{ đ})$$

1.b. (1.25 điểm) Thiết kế $G_c(s)$:

$$\begin{cases} POT = \exp\left(\frac{-\xi\pi}{\sqrt{1-\xi^2}}\right) 100\% = 9.5\% \\ t_s = \frac{4}{\xi\omega_n} = \frac{4}{0.6 * \omega_n} = 2 \text{ sec} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \xi = 0.6 \\ \omega_n = 3.33 \end{cases} \quad (0.25 \text{ đ})$$

Cặp cực quyết định:

$$s_{1,2} = -\xi\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1-\xi^2} = -2 \pm j2.66 \quad (0.25 \text{ đ})$$

Đề hệ thống sau hiệu chỉnh nhận cặp cực $s_{1,2} = -2 \pm j2.66$ là cực của hệ kín ta chọn bộ điều khiển sớm pha.

$$G_c(s) = K_c \frac{s + (1/\alpha T)}{s + (1/T)} \quad (\alpha > 1)$$

Góc pha cần bù :

$$\begin{aligned} \phi^* &= -180^\circ + \arg s + \arg(s+5) + \arg(s+10) = -180^\circ + 126.9^\circ + 41.6^\circ + 18.4^\circ \\ \phi^* &= 6.9^\circ \end{aligned} \quad (0.25 \text{ đ})$$

Từ điểm $s_{1,2} = -2 \pm j2.66$ kẻ nửa đường thẳng đến điểm zero $s = -\frac{1}{\alpha T} = -4$, từ đó ta kẻ tiếp nửa đường

thẳng tạo bởi góc cần bù $\phi^* = 6.9^\circ$, cắt trục thực tại điểm cực B. Tính tọa độ cực $s = -\frac{1}{T} = -OB$

$$\text{Áp dụng phương pháp hình học} \Rightarrow OB = 4.55 \Rightarrow s = -\frac{1}{T} = -4.55 \quad (0.25 \text{ đ})$$

Vậy :

$$G_C(s) = K_C \frac{s+4}{s+4.55}$$

• Tính K_C :

$$\left| G_C(s)G(s) \right|_{s=s_1} = 1$$

$$\left| K_C \frac{s+4}{s+4.55} * \frac{1}{s(s+5)(s+10)} \right|_{s=s_1} = 1$$

$$\Rightarrow K_C = 121.6$$

(0.25 đ)

• Kết luận :

$$G_C(s) = 121.6 \frac{s+4}{s+4.55}$$

1.c. (0.5 điểm) Tính hệ số tốc độ sau hiệu chỉnh:

$$K_V = \lim_{s \rightarrow 0} G_C(s)G(s) = \lim_{s \rightarrow 0} 121.6 \frac{s+4}{(s+4.55)} * \frac{1}{s(s+4)(s+10)} = 2.14$$

(0.25 đ)

Nhận xét: Khâu hiệu chỉnh sớm pha cải thiện đáp ứng quá độ (độ vọt lố, thời gian quá độ giảm) nhưng lại có khuyết điểm là làm tăng sai số xác lập (hệ số vận tốc giảm). Để làm giảm sai số xác lập như phải sử dụng thêm khâu hiệu chỉnh trễ pha.

(0.25 đ)

Câu 2: (2.5 điểm)

2.a (1.0 điểm) Xác định độ dự trữ biên và pha

• Vẽ biểu đồ Bode :

(0.5 đ)

Hàm $G(s)$ gồm các khâu

+ Khâu tỉ lệ với $K = 10$

+ Hai khâu quán tính bậc nhất có tần số gãy $\omega_1 = 1/T = 1/50 = 2*10^{-2}$ rad/sec

+ Khâu trễ với $T = 40$ sec

+ Công thức tính góc pha :

$$\varphi(\omega) = -2\text{tg}^{-1}(50\omega) - 40\omega$$

+ Khi $\omega < \omega_1 \rightarrow$ vẽ đường song song trục hoành có $L(\omega) = 20 \lg K = 20 \lg 10 = 20$ dB

+ Khi $\omega \geq \omega_1 \rightarrow$ vẽ đường có độ dốc -40 dB/dec

• Xác định độ dự trữ biên và độ dự trữ pha: xem đường màu **Tím** $G(s)$ trên biểu đồ Bode, xác định được :

$$GM = -L(\omega_{-\pi}) = -9.88 \approx -10 \text{ dB} < 0$$

(0.5 đ)

$$\Phi M = 180^0 + \varphi(\omega_C) = 180^0 - 281^0 = -101^0 < 0$$

Vậy, khi chưa hiệu chỉnh thì hệ kín không ổn định.

2.b (1.5 điểm) Thiết kế $G_C(s)$.

• Dựa vào biểu đồ Bode có thể thấy chọn khâu bù trễ pha sẽ thích hợp hơn.

B1. Yêu cầu sai số xác lập không đổi $\rightarrow K_C = 1$

(0.25 đ)

B2. Do $K_C = 1 \rightarrow$ dùng lại biểu đồ Bode đã vẽ

B3. Tần số cắt mới

$$\varphi_1(\omega'_c) = -180^0 + \Phi M^* + \theta$$

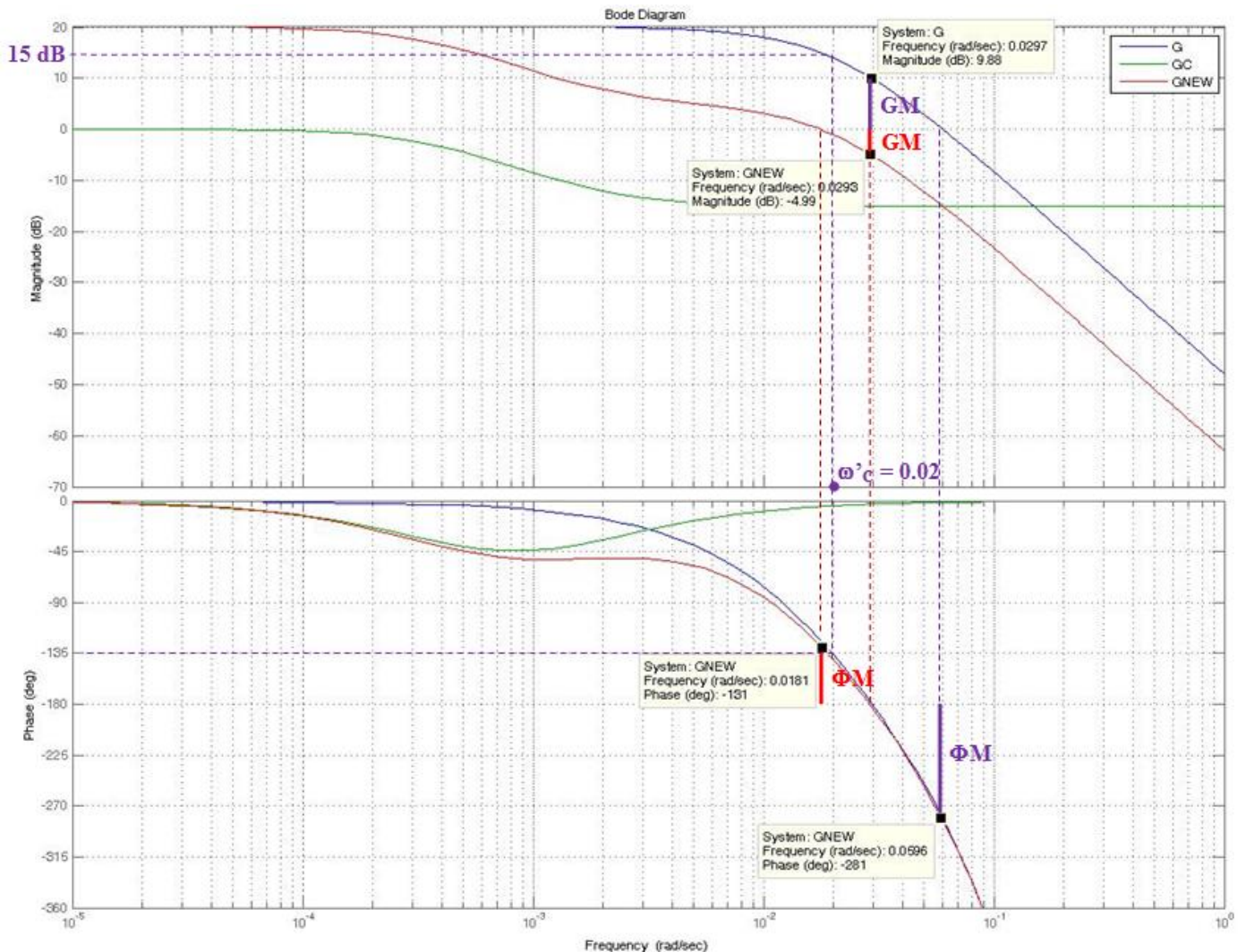
Yêu cầu hệ thống ổn định $\rightarrow \Phi M^* > 0 \rightarrow$ chọn $\Phi M^* = 40^0$ và $\theta = 5^0$.

(chú ý: SV chọn giá trị ΦM^* khác cũng được chấp nhận)

$$\rightarrow \varphi_1(\omega'_c) = -180^0 + 40^0 + 5^0 = -135^0$$

Biểu đồ Bode suy ra : $\omega'_c \approx 0.02$ rad/sec

(0.25 đ)



B4. Tính α

$$L_1(\omega'_c) = -20 \lg \alpha$$

Biểu đồ Bode ta có : $L_1(\omega'_c) \approx 15$ dB

$$-20 \lg \alpha = 15 \rightarrow \lg \alpha = -0.75 \rightarrow \alpha = 0.1778$$

(0.25 đ)

B5. Chọn zero

$$\frac{1}{\alpha T} \square \omega'_c = 0.02 \rightarrow \frac{1}{\alpha T} = 0.002 \rightarrow \alpha T = 500$$

(0.25 đ)

B6. Tính T

$$\frac{1}{T} = \alpha \frac{1}{\alpha T} = 0.1778 \times 0.002 = 3.556 \times 10^{-4} \rightarrow T = 2812 \quad (0.25 \text{ đ})$$

B7. Vẽ lại biểu đồ Bode với khâu bù trễ pha (xem đường màu **Đỏ** GNEW(s))

$$G_C(s) = \frac{500s+1}{2812s+1}$$

• Độ dự trữ biên và pha sau khi hiệu chỉnh

$$GM = -L(\omega_{- \pi}) = 4.99 \approx 5dB > 0$$

$$\Phi M = 180^0 + \varphi(\omega_C) = 180^0 - 131^0 = 49^0 > 0$$

(0.25 đ)

Vậy, khâu trễ pha $G_C(s)$ đạt yêu cầu thiết kế.

Câu 3: (3.5 điểm)

$$G_h(z) = \square \left\{ \frac{G(s)}{s} \right\} = \frac{0.632}{z(z-0.368)} \quad (0.5 \text{ đ})$$

3.a. $a = -0.5, b = 0$ (0.75đ)

- PTĐT vòng kín:

$$1 + K \frac{z-0.5}{z} \frac{0.632}{z(z-0.368)} = 0$$

$$z^3 - 0.368z^2 + 0.632Kz - 0.316K = 0 \quad (0.25đ)$$

- Thay $z = \frac{1+w}{1-w}$

$$\left(\frac{1+w}{1-w} \right)^3 - 0.368 \left(\frac{1+w}{1-w} \right)^2 + 0.632K \left(\frac{1+w}{1-w} \right) - 0.316K = 0$$

$$(1.368 + 0.948K)w^3 + (3.368 - 1.58K)w^2 + (2.632 + 0.316K)w + (0.632 + 0.316K) = 0 \quad (0.25đ)$$

- Áp dụng tiêu chuẩn Routh giải ra:

$$0 < K < 1.5 \quad (0.25đ)$$

3.b. $a = 0, b = -0.5$ (0.75 đ)

- PTĐT vòng kín:

$$1 + K \frac{z}{z-0.5} \frac{0.632}{z(z-0.368)} = 0$$

$$z^2 - 0.868z + 0.632K + 0.184 = 0 \quad (1) \quad (0.25 \text{ đ})$$

$$- POT = \exp \left(\frac{-\xi\pi}{\sqrt{1-\xi^2}} \right) = 9.5\% \Rightarrow \xi = 0.6$$

- PTĐT mong muốn: $z_{1,2}^* = r(\cos \varphi \pm j \sin \varphi) = e^{-0.06\omega} (\cos(0.08\omega) \pm j \sin(0.08\omega))$

$$(z - z_1^*)(z - z_2^*) = 0$$

$$z^2 - 2r \cos \varphi z + r^2 = 0 \quad (2) \quad (0.25 \text{ đ})$$

- Cân bằng (1) và (2):

$$\begin{cases} 2e^{-0.06\omega} \cos(0.08\omega) = 0.868 \\ 0.632K + 0.184 = e^{-0.12\omega} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \omega \approx 9 \\ K = 0.25 \end{cases} \quad (0.25 \text{ đ})$$

3. c. $a = -0.5, b = 0.5$ (1.0 đ)

- PTĐT vòng kín:

$$1 + K \frac{z-0.5}{z+0.5} \frac{0.632}{z(z-0.368)} = 0$$

- Cực: $p_1 = -0.5, p_2 = 0, p_3 = 0.368$

Zero: $z_1 = 0.5$ (0.25đ)

- Tiệm cận:

$$\overline{OA} = -0.32$$

$$\alpha = \pm \pi/2$$

- Điểm tách nhập:

$$z = -0.26$$
 (0.25đ)

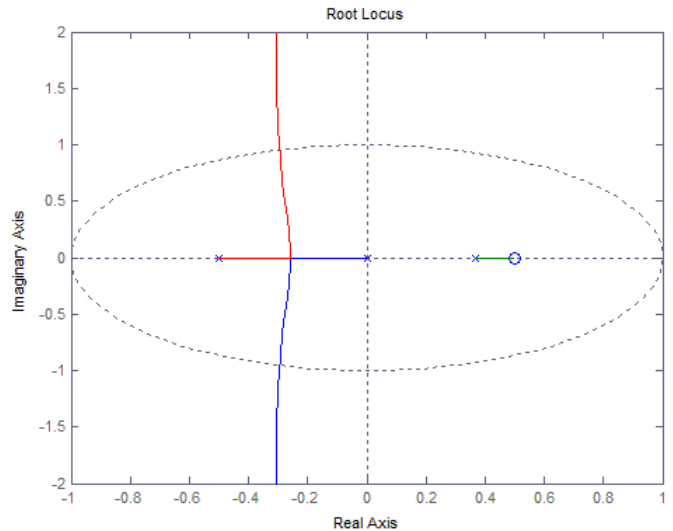
- Giao điểm QĐNS với vòng tròn đơn vị:

$$z = -0.29 \pm 0.95j$$
 (0.25đ)

(nếu SV không tìm giao điểm cũng chấp nhận, nếu có tìm giao điểm thì được thêm 0.25 điểm)

- Vẽ hình

(0.5đ)

**3.d. $a = -0.5, b = 0.5$**

(1đ)

- Hàm truyền vòng kín:

$$G_k(z) = \frac{G_c(z)G_h(z)}{1 + G_c(z)G_h(z)} = \frac{0.632z - 0.316}{z^3 + 0.132z^2 + 0.448z - 0.316}$$
 (0.25đ)

- Đáp ứng ngõ ra:

$$y(k) = -0.132y(k-1) - 0.448y(k-2) + 0.316y(k-3) + 0.632r(k-2) - 0.316r(k-3)$$

$$y(0) = 0, y(1) = 0, y(2) = 0.632,$$

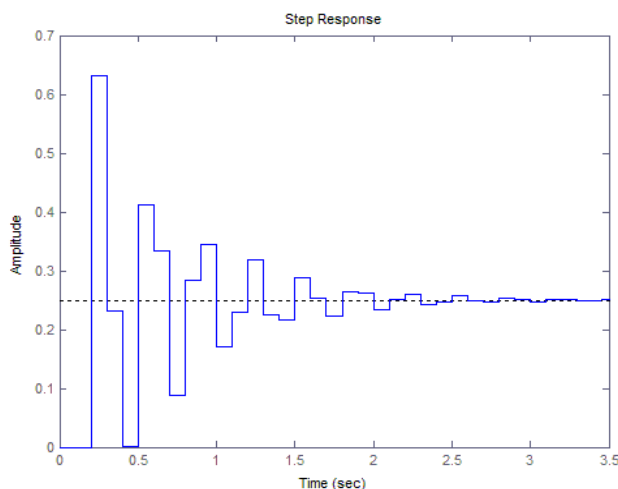
$$y(3) = 0.233, y(4) = 0.002, y(5) = 0.411$$

$$y(6) = 0.334, y(7) = 0.088, y(8) = 0.285$$

(0.25đ)

- Hình vẽ

(0.25đ)



- Chất lượng hệ thống

(0.25đ)

$$POT = \frac{0.632 - 0.25}{0.25} 100\% = 153\%$$

$$t_{qd}(2\%) = 2.4s$$

Câu 4: (3.5 điểm)

4.a Phương trình trạng thái

$$x_1 = \omega$$

$$x_2 = \dot{i}_a$$

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (0.25 \text{ đ})$$

$$\omega = Cx$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{B_m}{J_m} & \frac{K_i}{J_m} \\ -\frac{K_b}{L_a} & -\frac{R_a}{L_a} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{L_a} \end{bmatrix} u$$

$$A = \begin{bmatrix} -10 & 0.75 \\ -0.03 & -4 \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \end{bmatrix}; C = [1 \quad 0] \quad (0.25 \text{ đ})$$

4.b Luật điều khiển $u(t) = r(t) - Kx(t)$

Hệ số tắt và tần số dao động tự nhiên:

$$\xi = \cos(\arctg(\frac{\pi}{\ln(\frac{1}{POT})})) = 0.6 \quad (0.25 \text{ đ})$$

$$\xi\omega = \frac{3}{T_s} = 6 \Rightarrow \omega = 10$$

Phương trình đặc trưng mong muốn:

$$s^2 + 2\xi\omega s + \omega^2 = s^2 + 12s + 100 = 0 \quad (0.25 \text{ đ})$$

Phương trình đặc trưng của hệ thống điều khiển hồi tiếp trạng thái:

$$sI - A + BK = \begin{bmatrix} s+10 & -0.75 \\ 0.03+2k_1 & s+4+2k_2 \end{bmatrix} \quad (0.25 \text{ đ})$$

$$\det(sI - A + BK) = s^2 + (14 + 2k_2)s + 0.15k_1 + 20k_2 + 40.002 = 0$$

Cân bằng hai phương trình trên ta được:

$$14 + 2k_2 = 12$$

$$1.5k_1 + 20k_2 + 40.02 = 100 \quad (0.25 \text{ đ})$$

$$\Rightarrow K = [53.32 \quad -1]$$

Tính giá trị xác lập:

$$(sI - A + BK)X = BU \Rightarrow X = (sI - A + BK)^{-1}BU \quad (0.5 \text{ đ})$$

$$x_{xl} = \lim_{s \rightarrow 0} sX = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{\begin{bmatrix} s+2 & 0.75 \\ -106.6 & s+10 \end{bmatrix}}{s^2 + 12s + 100} \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \end{bmatrix} \frac{1}{s} = \begin{bmatrix} 0.015 \\ 0.2 \end{bmatrix}$$

$$y_{xl} = Cx_{xl}$$

4.c.

PTĐT của sai số ước lượng:

$$\det(sT - A + LC) = 0$$

Trong đó:

$$L = \begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \end{bmatrix}$$

Suy ra:

$$\begin{aligned}
 \det(sT - A + LC) &= \det\left(\begin{bmatrix} s & 0 \\ 0 & s \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -10 & 0.75 \\ -0.03 & -4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix}\right) \\
 &= \det\left(\begin{bmatrix} s+10+l_1 & -0.75 \\ 0.03+l_2 & s+4 \end{bmatrix}\right) \\
 &= s^2 + (14+l_1)s + 0.75(0.03+l_2) + 4(10+l_1) = 0
 \end{aligned}
 \tag{0.5đ}$$

PTĐT mong muốn:

$$s^2 + 20s + 100 = 0 \tag{0.25đ}$$

Cân bằng hệ số, ta được:

$$L = \begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 6 \\ 47.97 \end{bmatrix} \tag{0.5đ}$$

PTTT mô tả bộ ước lượng sau khi thiết kế:

$$\begin{aligned}
 \dot{\hat{x}} &= (A - LC - BK)\hat{x} + Ly \\
 &= \left(\begin{bmatrix} -10 & 0.75 \\ -0.03 & -4 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 6 \\ 47.97 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 53.3 & -1 \end{bmatrix}\right)\hat{x} + \begin{bmatrix} 6 \\ 47.97 \end{bmatrix} y \\
 &= \left(\begin{bmatrix} -16 & 0.75 \\ -154.6 & -2 \end{bmatrix}\right)\hat{x} + \begin{bmatrix} 6 \\ 47.97 \end{bmatrix} y
 \end{aligned}
 \tag{0.25đ}$$