



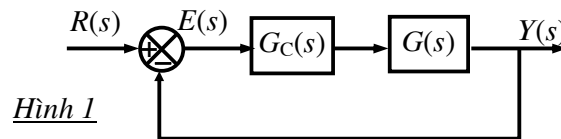
Bài 1: (2.5 điểm) Cho hệ thống điều khiển như hình 1:

1.1 (1.0đ / CĐR2) Cho $G_C(s) = K_P + K_D s$, $G(s) = \frac{2}{s(s^2 + 5s + 4)}$, tìm điều kiện của K_P và

K_D để hệ thống ổn định. Vẽ miền ổn định trên hệ trục tọa độ với trục tung là K_P , trục hoành là K_D .

1.2 (1.5đ / CĐR2) Cho $G_C(s) = 5 + \frac{1}{s}$, $G(s) = \frac{6e^{-0.1s}}{s+3}$, hãy vẽ biểu đồ Bode của hệ hở vào

thang chia logarith kèm theo đề thi, xác định độ dự trữ biên và độ dự trữ pha, từ đó đánh giá tính ổn định của hệ thống kín.



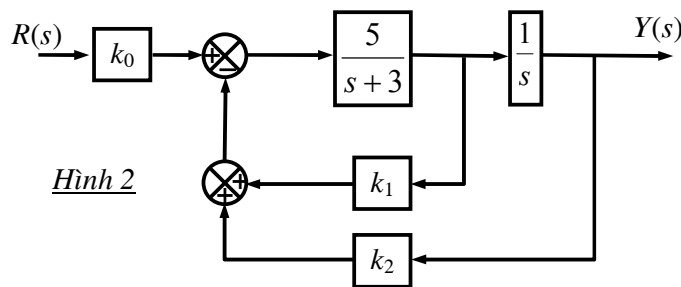
Hình 1

Bài 2: (2.5 điểm) Cho hệ thống điều khiển như hình 1 với $G(s) = \frac{8(s+6)}{s(s+1)(s+5)}$

2.1 (1.0đ / CĐR3) Cho $G_C(s) = 1$, tính độ vọt lố và thời gian quá độ của hệ thống (tiêu chuẩn 2%).

2.2 (2.0đ / CĐR4) Thiết kế bộ điều khiển $G_C(s)$ sao cho bộ điều khiển có zero tại -1 , hệ thống kín có cặp cực phức $s_{1,2}^* = -2 \pm j3$, và sai số xác lập khi tín hiệu vào hàm dốc đơn vị là 0.02.

Bài 3: (2.0 điểm) Cho hệ thống điều khiển như hình 2.



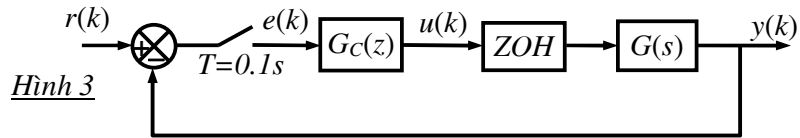
Hình 2

➡ Xem tiếp mặt sau

3.1 (1.5 đ / CĐR4) Tính độ lợi vector hồi tiếp trạng thái $K = [k_1 \quad k_2]$ sao cho hệ kín có cặp cực phức với $\xi = 0.65$, $\omega_n = 4$

3.2 (0.5 đ / CĐR4) Tính giá trị k_0 sao cho sai số xác lập khi tín hiệu vào là hàm nấc đơn vị bằng 0.

Bài 4: (2.5 điểm) Cho hệ thống điều khiển như hình 3.



Cho biết $G(z) = (1 - z^{-1})Z \left\{ \frac{G(s)}{s} \right\} = \frac{0.6z - 0.4}{(z - 0.7)^2}$ và $G_C(z) = \frac{1.5z - 0.6}{z}$

4.1 (1đ / CRĐ1) Chứng minh rằng $G_C(z)$ là bộ điều khiển PD rời rạc, xác định giá trị K_P và K_D . Viết biểu thức quan hệ giữa $u(k)$ và $e(k)$ trong miền thời gian để lập trình trên vi xử lý.

4.2 (0.5đ / CRĐ2) Chứng minh rằng hệ thống kín ổn định.

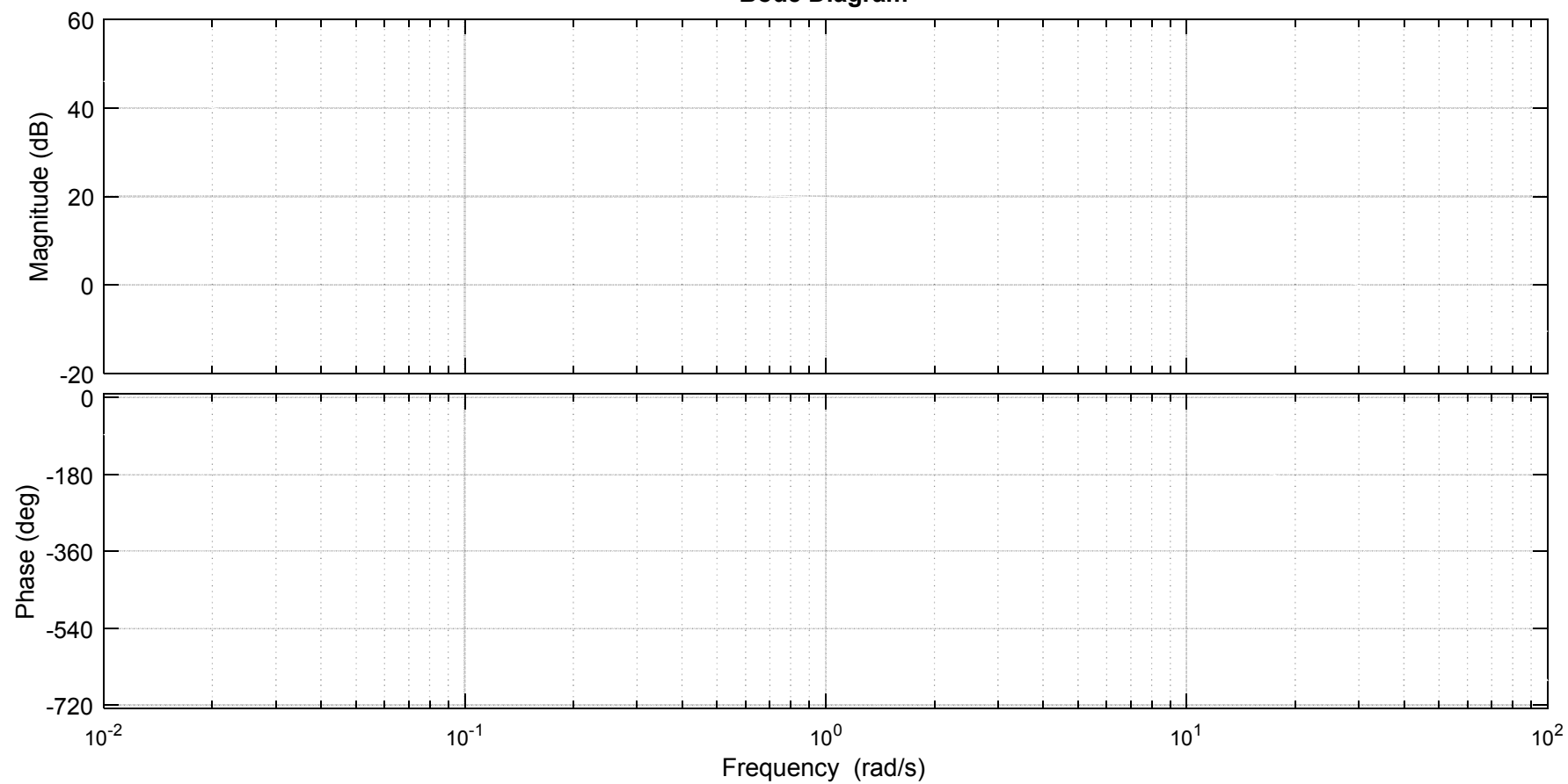
4.3 (1.0đ / CĐR3) Tính $y(k)$ ($k=0 \div 3$). Tính độ vọt lố và sai số xác lập khi tín hiệu vào là hàm nấc đơn vị.

(Hết)

Họ và tên SV:.....

Mã số SV:

Bode Diagram



Bài 1:

1.1 (1.0đ / CĐR2)

$$\text{PTĐT: } 1 + G_c(s)G(s) = 1 + \frac{2(K_p + K_D s)}{s(s^2 + 5s + 4)} = 0$$

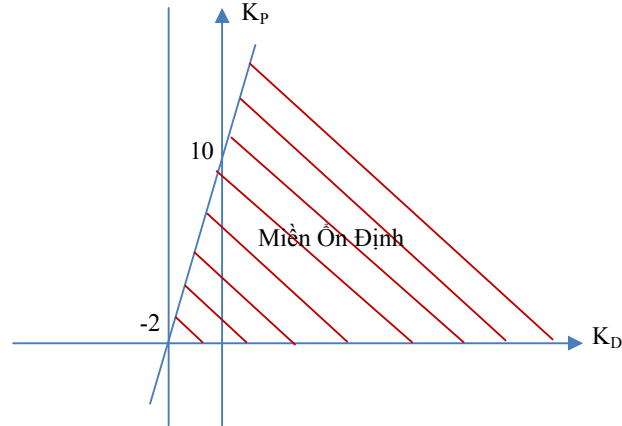
$$\Rightarrow s^3 + 5s^2 + (4 + 2K_D)s + 2K_p = 0$$

Áp dụng hệ quả Hurwitz cho hệ bậc 3 :

$$\begin{cases} a_i > 0 & i = \overline{0,3} \\ a_1 a_2 - a_0 a_3 > 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} 4 + 2K_D > 0 \\ 2K_p > 0 \\ 5(4 + 2K_D) - 2K_p > 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} K_D > -2 \\ K_p > 0 \\ K_p < 5K_D + 10 \end{cases}$$



Miền ổn định được giới hạn bởi 3 đường : $K_D = -2, K_p = 0, K_p = 5K_D + 10$

1.2 (1.5đ / CĐR2)

$$\text{Biểu đồ Bode hệ hở: } G_1(s) = G_c(s)G(s) = \left(5 + \frac{1}{s}\right) \left(\frac{6e^{-0.1s}}{s+3}\right) = \frac{2(5s+1)e^{-0.1s}}{s\left(\frac{1}{3}s+1\right)}$$

Các tần số gây : $\omega_1 = 1/5 = 0.2 \quad \omega_2 = 3 \quad (\text{rad/sec})$

$$\text{Điểm A: } \begin{cases} \omega_0 = 0.1 \\ L(\omega_0) = 20 \lg 2 - 20 \lg 0.1 = 26.02 \end{cases}$$

Tính Bode pha :

$$\varphi(\omega) = -90^\circ + \arctan(5\omega) - \arctan(\omega/3) - \frac{180^\circ}{\pi} 0.1\omega$$

ω	0.1	1	4	10	20	40	60	100
$\varphi(\omega)$	-90	-95	-112	-147	-204	-320	-434	-663

Độ dốc Bode biên :

$\omega(\text{rad/sec})$	$\omega < 0.2$	$\omega < 3$	$3 < \omega$
Độ dốc(dB/dec)	-20	0	-20

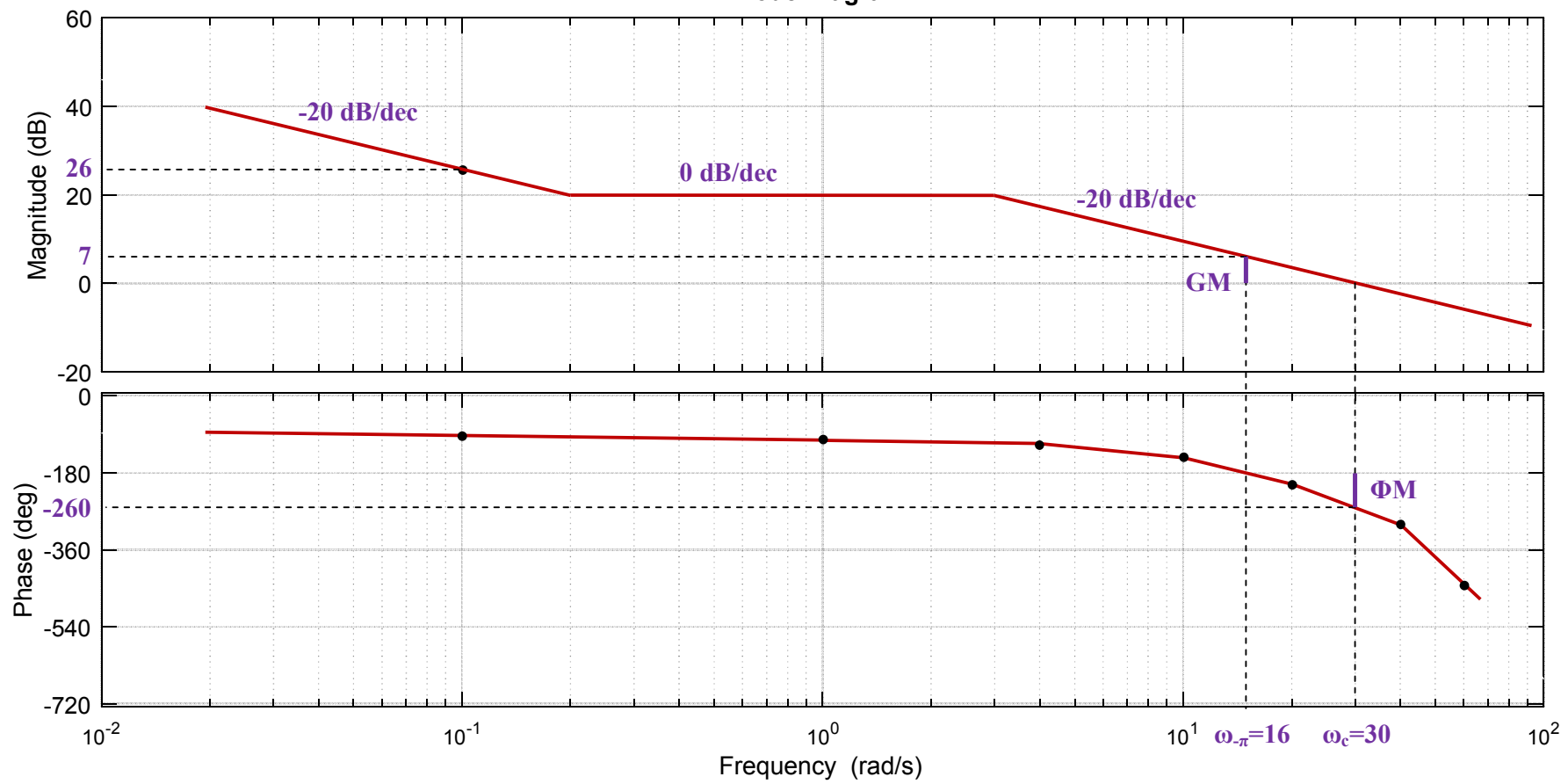
Từ biểu đồ Bode :

$$\omega_c = 30, \varphi(\omega_c) = -260 \rightarrow \Phi M = 180^\circ + \varphi(\omega_c) = -80^\circ$$

$$\omega_\pi = 16, L(\omega_\pi) = 7 \rightarrow GM = -L(\omega_\pi) = -7 \text{ dB}$$

Kết luận, **hệ kín không ổn định** vì $\Phi M < 0$ và $GM < 0$.

Bode Diagram



Bài 2:

2.1. (1.0đ / CDR3)

Phương trình đặc trưng hệ thống:

$$1 + G_c(s)G(s) = 0 \text{ khi } G_c(s) = 1; G(s) = \frac{8(s+6)}{s(s+1)(s+5)}$$

$$1 + \frac{8(s+6)}{s(s+1)(s+5)} = 0$$

$$s^3 + 6s^2 + 13s + 48 = 0$$

Nghiệm của phương trình đặc trưng:
$$\begin{cases} s_1 = -5.263 \\ s_{2,3} = -0.368 \pm j2.997 \end{cases}$$

\Rightarrow Cặp cực quyết định: $s_{2,3} = -0.368 \pm j2.997$

$\Rightarrow \xi = 0.122; \omega_n = 3.02 \text{ rad/s}$

Độ vọt lố :
$$POT = e^{-\pi\xi/\sqrt{1-\xi^2}} \cdot 100\% = 67\%$$

Thời gian xác lập (T/c 2%) :
$$T_{xl} = \frac{4}{\xi\omega_n} = 10.85s$$

2.2. (2.0đ / CDR4)

Yêu cầu thiết kế nhằm cải thiện đáp ứng quá độ (thay đổi vị trí cặp cực quyết định) và giảm sai số xác lập, do đó $G_c(s)$ là bộ điều khiển sớm trễ pha.

$$G_C(s) = G_{C1}(s) \cdot G_{C2}(s)$$

* Thiết kế bộ điều khiển $G_{C1}(s)$ sao cho hệ kín có cặp cực $s_{1,2} = -2 \pm j3$

Các bước thiết kế:

- Xác định góc pha cần bù:

$$\phi^* = -180^\circ - \arg(s+6) + \arg s + \arg(s+1) + \arg(s+5)$$

$$\phi^* = -180^\circ - 36.87^\circ + 123.69^\circ + 108.43^\circ + 45^\circ = 60.25^\circ$$

Chọn bộ điều khiển sớm pha :
$$G_{C1}(s) = K_{C1} \frac{s + \frac{1}{\alpha T_1}}{s + \frac{1}{T_1}} \quad \text{có nghiệm zero tại } s = -1$$

- Xác định cực của khâu hiệu chỉnh :
$$s = \frac{1}{T} = -4.659$$

- Hàm truyền của bộ điều khiển :
$$G_{C1}(s) = K_{C1} \frac{s+1}{s+4.659}$$

- Xác định K_{C1} :
$$K_{C1} = \left| \frac{s(s+4.659)(s+5)}{8(s+6)} \right|_{s=-2+j3} = 1.527$$

Vậy khâu hiệu chỉnh cần thiết kế là:
$$G_{C1}(s) = 1.53 \frac{s+1}{s+4.66}$$

Sau hiệu chỉnh sớm pha :

$$K_v = \lim_{s \rightarrow 0} s G_{C1}(s) G(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s 1.53 \frac{8(s+6)}{s(s+4.27)(s+5)} = 7.8$$

$$\text{Đề sai số vận tốc là: } e_{xl} = \frac{1}{K_v^*} = 0.02 \Rightarrow K_v^* = 50$$

$$\text{Sử dụng bộ điều khiển trễ pha: } G_{C2}(s) = K_{c2} \frac{s + \frac{1}{\beta T_2}}{s + \frac{1}{T_2}}; \beta < 1$$

$$\beta = \frac{K_v}{K_v^*} = \frac{7.8}{50} = 0.155$$

$$\text{Chọn zero: } s = -\frac{1}{\beta T} = -0.1$$

$$\text{Cực: } s = -\frac{1}{T} = -0.1\beta = -0.016$$

Phương trình đặc trưng sau hiệu chỉnh sớm trễ pha :

$$1 + G_{C1}(s) G_{C2}(s) G(s) = 0$$

$$1 + 1.53 \frac{s+1}{s+4.66} K_{c2} \frac{s+0.1}{s+0.016} \frac{8(s+6)}{s(s+1)(s+5)} = 0$$

$$\Rightarrow K_{C2} \approx 1.05$$

$$\text{Hàm truyền bộ điều khiển trễ pha: } G_{C2}(s) = 1.05 \frac{s+0.1}{s+0.016}$$

Kết luận: Hàm truyền bộ điều khiển cần thiết kể là:

$$G_C(s) = G_{C1}(s).G_{C2}(s) = 1.6 \left(\frac{s+1}{s+4.66} \right) \left(\frac{s+0.1}{s+0.016} \right)$$

Bài 3:

Cách 1:

3.1 (1.5 đ / CDR4)

Tìm k_1, k_2 :

Đặt biến trạng thái như hình vẽ.

$$Y(s) = X_1(s) \rightarrow y(t) = x_1(t)$$

$$X_1(s) = \frac{1}{s} X_2(s) \rightarrow \dot{x}_1(t) = x_2(t)$$

$$X_2(s) = \frac{5}{s+3} U(s) \rightarrow \dot{x}_2(t) = 5u(t) - 3x_2(t)$$

PTTT:

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -3 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0 \\ 5 \end{bmatrix} u$$

$$y = [1 \quad 0] x$$

PTĐT hệ kín:

$$\det(sI - A + BK) = 0$$

$$\Rightarrow \det \left(\begin{bmatrix} s & -1 \\ 5k_2 & s + 3 + 5k_1 \end{bmatrix} \right) = s^2 + (3 + 5k_1)s + 5k_2 = 0$$

Theo yêu cầu thiết kế: $\xi = 0.65$, $\omega_n = 4$

→ phương trình đặc trưng mong muốn: $s^2 + 5.2s + 16 = 0$

Cân bằng hệ số 2 PTĐT:

$$K = [k_2 \quad k_1] = [3.2 \quad 0.44]$$

3.2 (0.5 đ / CĐR4)

Tính k_0 :

Hàm truyền kín:

$$G_K(s) = k_0 C[sI - A + BK]^{-1} B$$

Đáp ứng của hệ thống:

$$Y(s) = G_K(s)R(s) = k_0 C[sI - A + BK]^{-1} B R(s),$$

Giá trị xác lập:

$$y(\infty) = \lim_{s \rightarrow 0} sY(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s k_0 C[sI - A + BK]^{-1} B \left(\frac{1}{s} \right) = k_0 C[-A + BK]^{-1} B = 0.3125k_0$$

Sai số xác lập bằng 0 $\rightarrow y(\infty) = 1 \Rightarrow k_0 = 3.2$

Cách 2 : Hàm truyền kín của hệ thống (tính dựa vào sơ đồ khối):

$$G_k(s) = \frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{5k_0}{s^2 + (3 + 5k_1)s + 5k_2}$$

Phương trình đặc trưng của hệ thống :

$$s^2 + (3 + 5k_1)s + 5k_2 = 0 \quad (1)$$

Phương trình đặc trưng mong muốn :

$$s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2 = s^2 + 5.2s + 16 = 0 \quad (2)$$

Đồng nhất (1) và (2) : $K = [k_2 \quad k_1] = [3.2 \quad 0.44]$

3.2. Tính $\Rightarrow k_0$ để $e_{xl} = 0$:

Khi tín hiệu đặt vào là hàm nấc, để sai số bằng 0 thì :

$$y_{xl} = \lim_{s \rightarrow 0} sY(s) = \lim_{s \rightarrow 0} sG_k(s)R(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{5k_0}{s^2 + (3 + 5k_1)s + 5k_2} \cdot \frac{1}{s} = 1$$

$$\Rightarrow k_0 = k_2 = 3.2$$

Bài 4:

4.1 (1đ / CRĐ1)

$$G_C(z) = \frac{1.5z - 0.6}{z} = \frac{0.9z + 0.6(z-1)}{z} = 0.9 + \frac{0.06}{T} \frac{z-1}{z}$$

$\Rightarrow G_C(z)$ là bộ điều khiển PD rời rạc với $K_P = 0.9$, $K_D = 0.06$.

- Biểu thức quan hệ giữa $u(k)$ và $e(k)$:

$$G_C(z) = \frac{U(z)}{E(z)} = \frac{1.5z - 0.6}{z} = 1.5 - 0.6z^{-1}$$

$$\Rightarrow u(k) = 1.5e(k) - 0.6e(k-1)$$

4.2 (0.5đ / CRĐ2)

- Phương trình đặc trưng của hệ thống:

$$1 + G_C(z)G(z) = 0$$

$$\Leftrightarrow z^3 - 0.5z^2 - 0.47z + 0.24 = 0$$

- PTĐT có 3 nghiệm $z_1 = -0.6886$, $z_2 = 0.5258$, $z_3 = 0.6628$ đều có $|z_i| < 1$ nên hệ thống ổn định.

4.3 (1.0đ / CĐR3) Tính $y(k)$ ($k=0 \div 3$). Tính độ vọt lố và sai số xác lập khi tín hiệu vào là hàm nấc đơn vị.

- Hàm truyền vòng kín của hệ thống

$$G_k(z) = \frac{G_C(z)G(z)}{1 + G_C(z)G(z)} = \frac{0.9z^2 - 0.96z + 0.24}{z^3 - 0.5z^2 - 0.47z + 0.24}$$

$$\Leftrightarrow y(k) = 0.5y(k-1) + 0.47y(k-2) - 0.24y(k-3) + 0.9u(k-1) - 0.96u(k-2) + 0.24u(k-3)$$

- Với đầu vào hàm nấc đơn vị: $y(0) = 0$; $y(1) = 0.9$, $y(2) = 0.39$, $y(3) = 0.7980$

- Giá trị xác lập của ngõ ra với đầu vào hàm nấc đơn vị:

$$y_{xl} = \lim_{z \rightarrow 1} (1 - z^{-1}) \cdot G_k(z) \cdot R(z) = \lim_{z \rightarrow 1} G_k(z)$$

$$y_{xl} = 0.6667$$

$$- POT = \frac{y_{max} - y_{xl}}{y_{xl}} 100\% = \frac{0.9 - 0.6667}{0.6667} 100\% = 35\%$$

$$- e_{xl} = u(k) - y_{xl} = 1 - 0.6667 = 0.3333$$

Thang đánh giá (Rubric): mức độ đạt chuẩn đầu ra mỗi câu hỏi được đánh giá qua 5 mức:

0	Không làm gì
1	Làm sai phương pháp
2	Làm đúng phương pháp, nhưng có nhiều sai sót trong tính toán số liệu
3	Làm đúng phương pháp, có vài sai sót nhỏ trong tính toán số liệu
4	Làm đúng phương pháp, tính toán số liệu đúng hoàn toàn

Cách chấm điểm, ghi điểm:

- Đánh giá mỗi câu hỏi dựa vào thang đánh giá ở trên.

- Nhập số liệu vào file excel đính kèm: máy tính sẽ tự tính điểm qui đổi, có thể copy & paste vào bảng điểm online; đồng thời máy tính cũng sẽ tính mức độ đạt chuẩn đầu ra của SV để phục vụ kiểm định ABET.