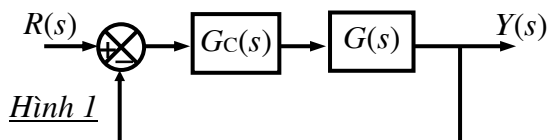




Bài 1: (2.5 điểm) Cho hệ thống có sơ đồ khối ở hình



Hình 1

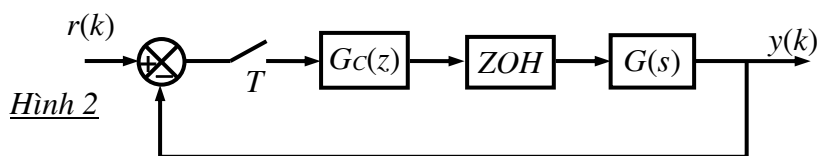
1. Biết rằng $G(s) = \frac{10(0.2s+1)}{s(s+2)^2}$

- Cho $G_c(s) = K \frac{s+2}{s+p}$. Bằng phương pháp quỹ đạo nghiệm số hãy xác định K và p sao cho sau hiệu chỉnh đáp ứng quá độ thỏa yêu cầu POT < 15% và t_{qd} (theo tiêu chuẩn 5%) < 2sec.
- Xác định sai số xác lập đối với ngõ vào hàm dốc đơn vị khi $G_c(s) = 1$ và khi $G_c(s)$ là kết quả ở câu a. Rút ra nhận xét về ảnh hưởng của khâu $G_c(s)$.

Bài 2: (2.5 điểm) Cho hệ thống điều khiển có sơ đồ khối ở hình 1. Cho biểu đồ Bode của đối tượng kèm theo đề thi.

- Dựa vào biểu đồ Bode, thiết kế khâu hiệu chỉnh sớm pha $G_c(s)$ sao cho sau hiệu chỉnh hệ thống có độ dự trữ pha $\Phi M^* \geq 40^\circ$ và sai số xác lập đối với tín hiệu vào là hàm dốc đơn vị bằng 0.01.
- Vẽ biểu đồ Bode và xác định độ dự trữ biên sau hiệu chỉnh.

Bài 3: (3.0 điểm) Cho hệ thống điều khiển có sơ đồ khối như hình 2.



Hình 2

$$G(s) = \frac{4}{s+2}, \quad G_c(z) = K_p$$

- Cho $K_p > 0$, hãy xác định điều kiện của thời gian lấy mẫu T theo K_p để hệ kín ổn định.
- Chọn $T = 0.1\text{sec}$. Tính K_p sao cho hệ thống kín có cực nằm tại gốc tọa độ.
- Với kết quả ở câu b và tín hiệu vào là hàm nấc đơn vị. Tính đáp ứng của hệ thống $y(k)$ với $k = 0 \rightarrow 2$. Tính độ vọt lố và thời gian quá độ theo tiêu chuẩn 2%.

➡ Xem tiếp mặt sau

Bài 4: (2.0 điểm) Chọn 1 trong 2 câu 4A hoặc 4B

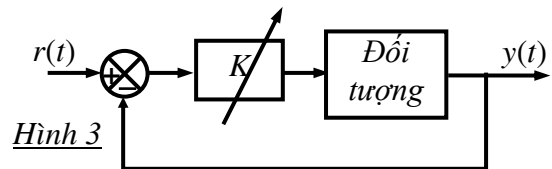
4A. Cho đối tượng rời rạc được mô tả bởi phương trình trạng thái

$$\begin{cases} x(k+1) = A_d x(k) + B_d u(k) \\ y(k) = C_d x(k) \end{cases}$$

với $A_d = \begin{bmatrix} 0.90 & 0.16 \\ -0.50 & 0.23 \end{bmatrix}$, $B_d = \begin{bmatrix} 0.18 \\ 0.12 \end{bmatrix}$, $C_d = [2 \ 0]$

- a) Cho luật điều khiển hồi tiếp trạng thái $u(k) = r(k) - Kx(k)$ với $K = [20 \ 13]$. Xác định phương trình trạng thái mô tả hệ kín. Tính sai số xác lập e_{xl} với $e(k) = r(k) - y(k)$ và $r(k)$ là tín hiệu vào hàm nấc đơn vị ?
- b) Cho luật điều khiển hồi tiếp ngõ ra $u(k) = r(k) - k_0 y(k)$. Xác định điều kiện k_0 để hệ kín ổn định ?

4B. Để xác định các tham số của bộ điều khiển *PI* điều khiển tốc độ động cơ, ta thực hiện theo phương pháp Ziegler-Nichols vòng kín theo sơ đồ nguyên lý như hình 3.



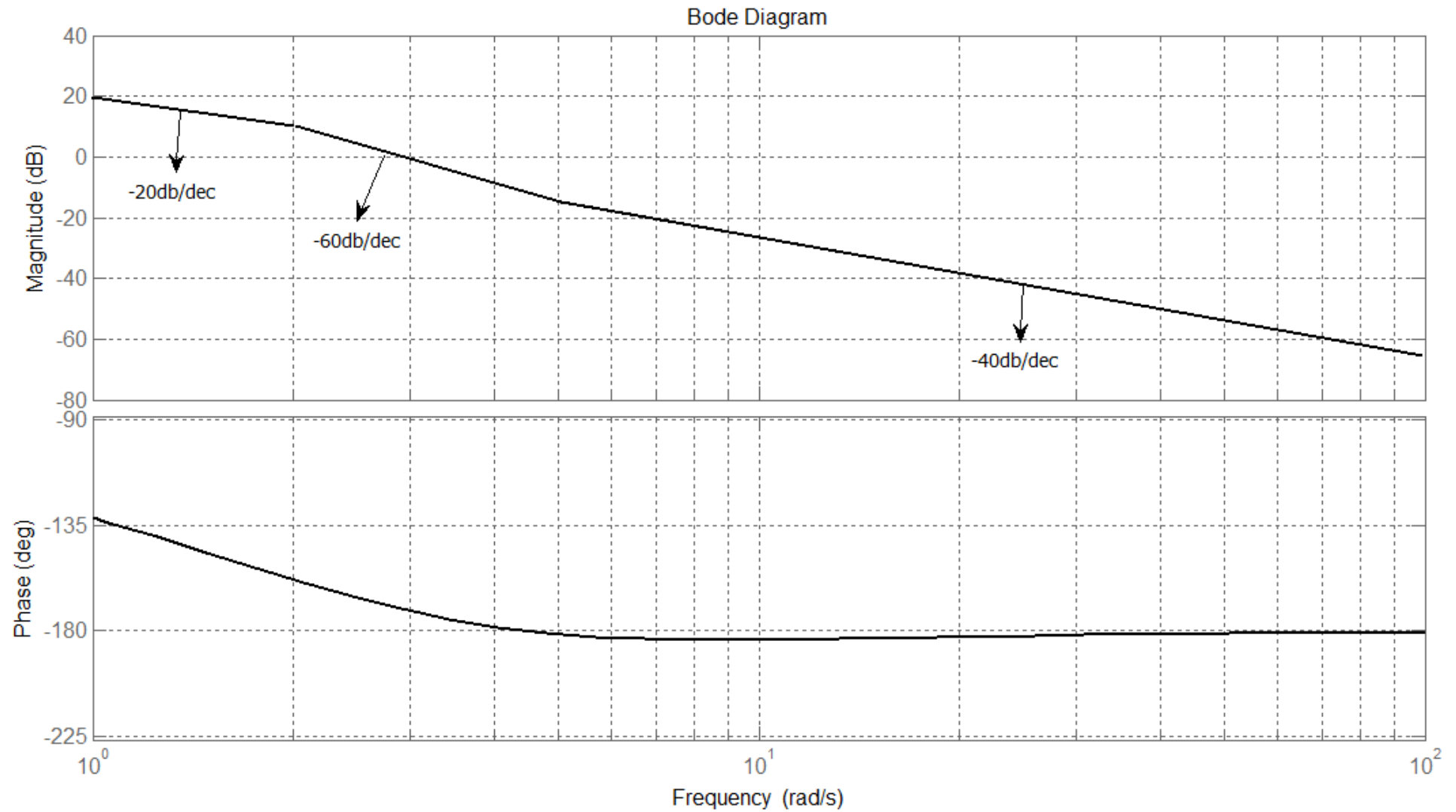
Tăng dần độ lợi K đến giá trị 10 thì ngõ ra động cơ dao động hình sin với chu kỳ 2sec. Xác định các tham số K_P , K_I của bộ điều khiển *PI*. Viết hàm truyền rời rạc của bộ điều khiển *PI* với thời gian lấy mẫu 10ms. Viết phương trình sai phân mô tả quan hệ vào ra của bộ điều khiển *PI* rời rạc với ngõ vào là sai số $e(k)$ và ngõ ra là tín hiệu điều khiển $u(k)$.

(Hết)

CNBM

Họ và tên SV:.....

Mã số SV:



ĐÁP ÁN

Bài 1: (2.5 điểm)

1.a. Xác định K và p. Yêu cầu hiệu chỉnh đáp ứng quá độ nên giải bài toán theo phương pháp bù sớm pha.

$$POT = \exp\left(\frac{-\xi\pi}{\sqrt{1-\xi^2}}\right) < 0.15 \Rightarrow \xi > 0.52 \rightarrow \text{chọn } \xi = 1/\sqrt{2} \quad (0.25 \text{ điểm})$$

$$t_{qd} = \frac{3}{\xi\omega_n} < 2 \Rightarrow \omega_n > \frac{3}{2\xi} = \frac{3}{2 \times 0.6} = 2.5 \rightarrow \text{chọn } \omega_n = 4\sqrt{2} \quad (0.25 \text{ điểm})$$

Cặp cực quyết định :

$$s_{1,2}^* = -\xi\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1-\xi^2} = -4 \pm j4 \quad (0.25 \text{ điểm})$$

Góc pha cần bù :

$$\phi^* = -180^\circ + \arg(s_1^* - 0) + 2\arg(s_1^* + 2) - \arg(s_1^* + 5) = -180^\circ + 135^\circ + 2(116.5^\circ) - 76^\circ = 112^\circ \quad (0.5 \text{ điểm})$$

• Tính p

$G_c(s)$ có điểm zero tại -2 suy ra : $OA = 2$

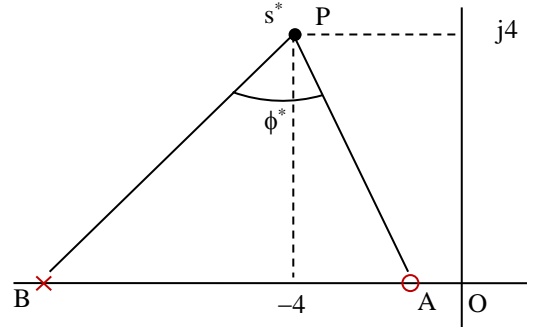
$$AB = PA \frac{\sin \hat{APB}}{\sin \hat{PBA}} = 4.47 \frac{\sin 112^\circ}{\sin(116.5^\circ - 112^\circ)} = 54$$

$$OB = OA + AB = 2 + 54 = 56$$

Vậy : $p = OB = 56$

$$G_c(s) = K \frac{s+2}{s+56}$$

(0.5 điểm)



• Tính K

$$|G_c(s)G(s)|_{s=s_1^*} = \left| K \frac{s+2}{s+56} \times \frac{10(0.2s+1)}{s(s+2)^2} \right|_{s=s_1^*} = 1 \Rightarrow K = 160 \quad (0.25 \text{ điểm})$$

• **Kết luận :** $G_c(s) = 160 \frac{s+2}{s+56}$

1.b. Tính các sai số xác lập.

(0.25 điểm)

• Khi $G_c(s) = 1$: $K_v = \lim_{s \rightarrow 0} sG_c(s)G(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{10(0.2s+1)}{s(s+2)^2} = \frac{10}{4} \Rightarrow e_{xl} = \frac{1}{K_v} = 0.4$

• Khi $G_c(s) = 160 \frac{s+2}{s+56}$:

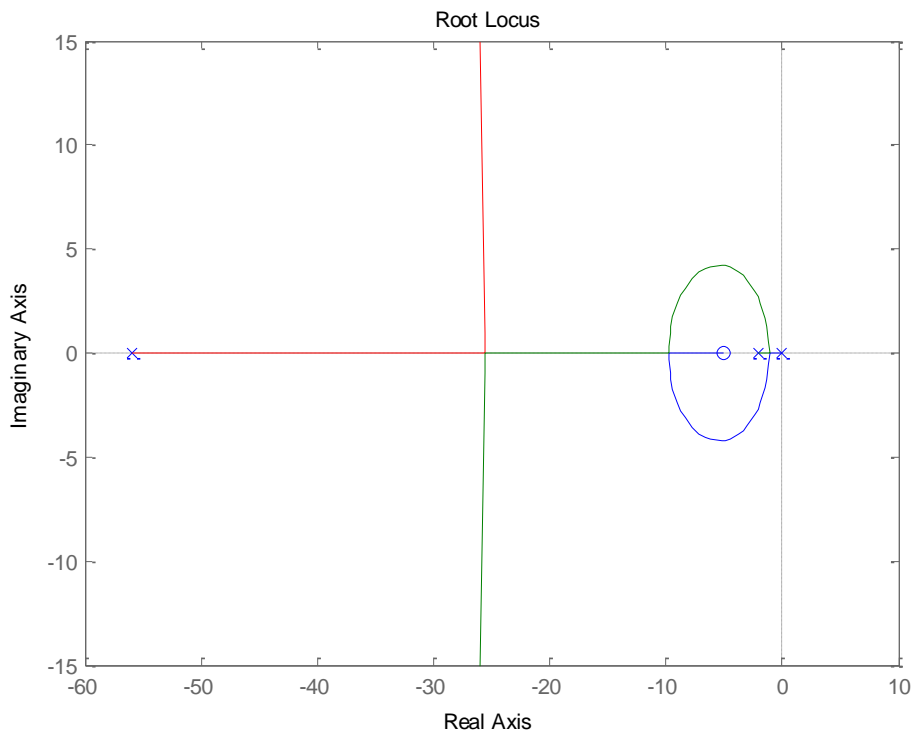
$$K_v = \lim_{s \rightarrow 0} sG_c(s)G(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \left(160 \frac{s+2}{s+56} \right) \frac{10(0.2s+1)}{s(s+2)^2} = 14.28 \Rightarrow e_{xl} = \frac{1}{K_v} = \frac{1}{14.28} = 0.07$$

Nhận xét :

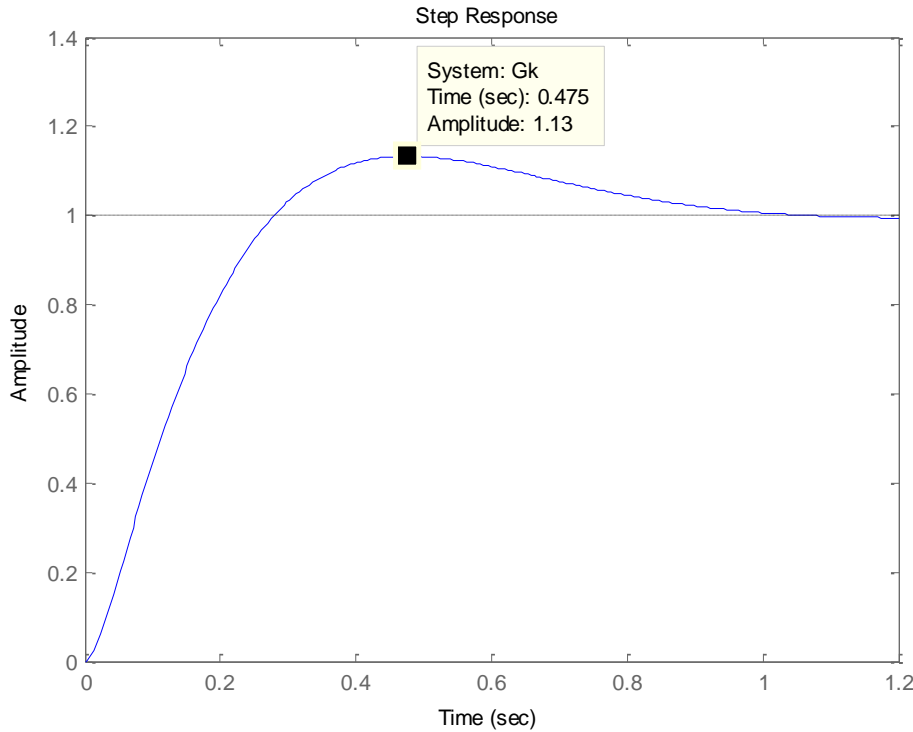
Kiểm tra $G_c(s)$ có $\alpha = \frac{56}{2} > 1$ nên là khâu sớm pha. Khâu sớm pha $G_c(s)$ cải thiện được các chỉ tiêu quá độ (độ vọt lố và thời gian quá độ). Kết quả tính sai số xác lập cho thấy chỉ tiêu này cũng được cải thiện, nhưng đây không là đặc trưng của khâu sớm pha. **Sai số xác lập giảm trong trường hợp này là do ảnh hưởng của hệ số khuếch đại K_C** (0.25 điểm)

(Chú ý: SV chọn cực quyết định khác, nếu ra cực của khâu sớm pha nằm bên trái mp phức vẫn được tính trọn số điểm; nếu tính ra cực của khâu sớm pha nằm bên phải mặt phẳng phức được tối đa 1.5 điểm)

Kiểm tra kết quả thiết kế dùng Matlab (chỉ để làm rõ kết quả, không chấm điểm phần này)



Quỹ đạo nghiệm số sau hiệu chỉnh



Đáp ứng của hệ kín sau hiệu chỉnh

Bài 2: (2.5 điểm)**a. Thiết kế bộ điều khiển sớm pha**

Bộ điều khiển dạng:

$$G_c = K_c \frac{\alpha Ts + 1}{Ts + 1}$$

Từ Bode ta có:

$$L(\omega = 1) \approx 20 \lg \left(\frac{K_0}{1} \right) = 20 \text{ dB} \Rightarrow K_v = K_0 = 10^1 = 10$$

Theo yêu cầu đề bài:

$$e_{xl}^* = 0.01 = \frac{1}{K_v^*} \Rightarrow K_v^* = 100$$

$$\Rightarrow K_c = \frac{K_v^*}{K_v} = 10$$

(0.5 điểm)Đặt $G_1(s) = K_c G(s)$

\Rightarrow Biểu đồ Bode biên độ của $G_1(s)$ dịch $20 \log K_c = 20 \text{ dB}$ theo trục tung so với biểu đồ Bode biên độ của $G(s)$, biểu đồ Bode pha không đổi

Theo biểu đồ Bode, tần số cắt biên của $G_1(s)$ là $\omega_c = 7 \text{ rad/s}$ **(0.25 điểm)**Độ dự trữ pha của $G_1(s)$ tại $\omega_c = 7 \text{ rad/s}$ là

$$\Delta\phi = 180 + \varphi(\omega_c) = -5$$

(0.25 điểm)

Góc pha cực đại cần bổ sung:

$$\varphi_{\max} = \Delta\phi^* - \Delta\phi + 10^0 = 40 - (-5) + 10 = 55^0$$

(0.25 điểm)

$$\alpha = \frac{1 + \sin \varphi_{\max}}{1 - \sin \varphi_{\max}} \approx 10$$

(0.25 điểm)

$$\Rightarrow L_1(\omega'_c) = -10 \lg(\alpha) = -10 \text{ dB}$$

Theo biểu đồ Bode, suy ra:

$$\omega'_c = 12 \text{ rad/s}$$

(0.25 điểm)

$$T = \frac{1}{\omega'_c \sqrt{\alpha}} = \frac{1}{10.5 \sqrt{10}} = 0.026$$

(0.25 điểm)

$$\text{Vậy } G_c = 10 \frac{0.26s + 1}{0.026s + 1}$$

(0.25 điểm)**b. Biểu đồ Bode sau hiệu chỉnh****(0.25 điểm)**

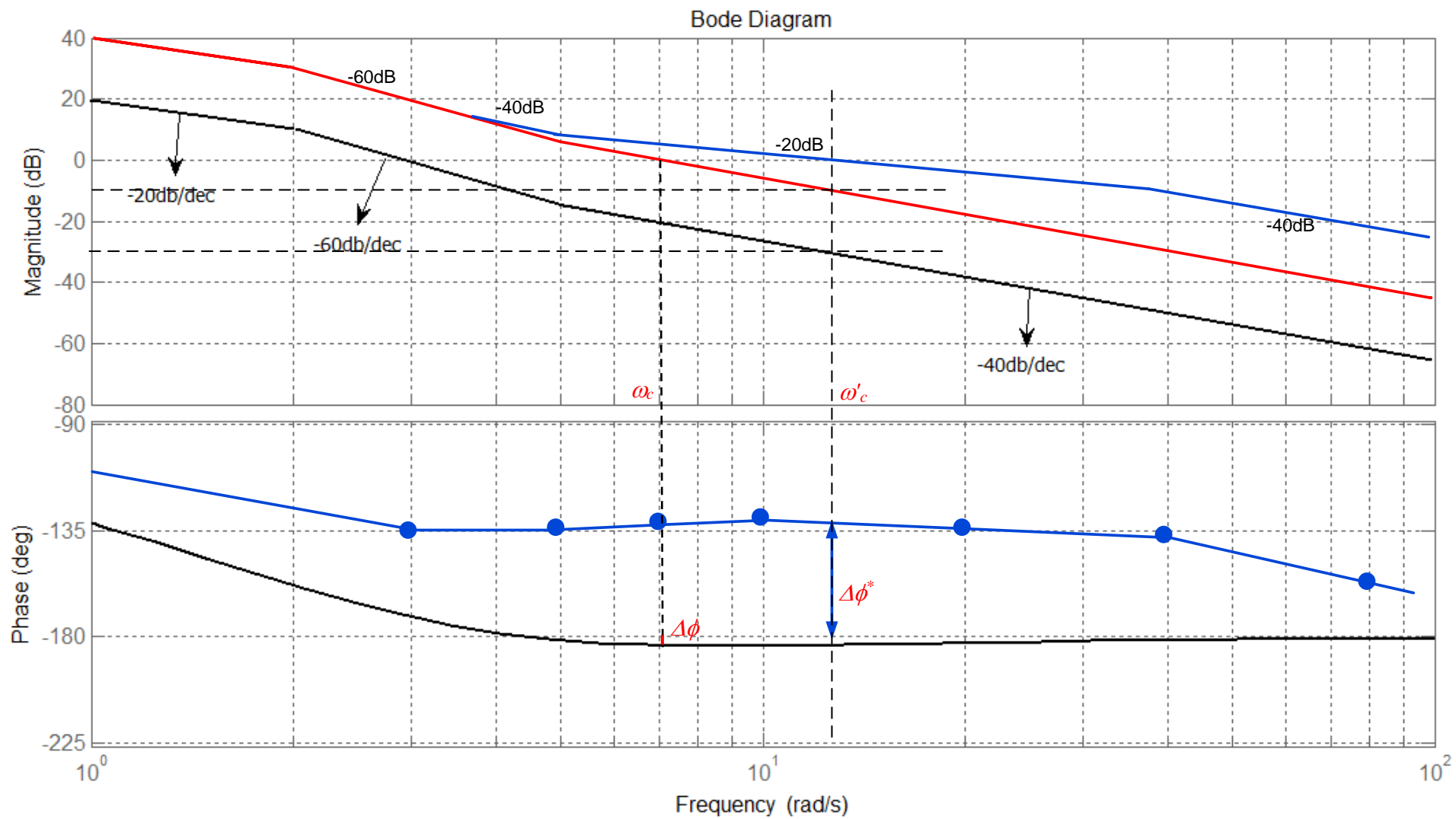
ω (rad/s)	$\omega < 2$	$\omega < 3.8$	$\omega < 5$	$\omega < 38$	$\omega > 38$
Hệ số góc dB/dec	-20	-60	-40	-20	-40

$$\varphi_c = \arctan(0.3\omega) - \arctan(0.03\omega)$$

ω	1	3	5	7	10	20	40	80
φ_c	13.1	33.5	45	50.9	54.6	51.6	38.4	23

Từ Bode ta có : $\Phi M \approx 50^0 \rightarrow$ hệ thống ổn định

Độ dự trữ biên bằng vô cùng lớn vì tần số cắt pha bằng vô cùng.



Lưu ý:

- Sinh viên không lập bảng nhưng vẽ đúng dạng biểu đồ Bode sau hiệu chỉnh, có chú thích đầy đủ tần số cắt biên, độ dự pha vẫn được tính điểm.
- Trường hợp sinh viên chọn $\theta = 5$ vẫn hợp lệ, kết quả như sau:

$$\text{Lúc đó } \alpha = \frac{1 + \sin \varphi_{\max}}{1 - \sin \varphi_{\max}} \approx 7.5$$

$$L(\omega_c) = -10 \log(10) - 20 \log(K_c) = -8.7 - 20 = -28.7 \text{ dB}$$

$$\omega_c \approx 11 \text{ rad/s}$$

$$T = \frac{1}{\omega_c \sqrt{\alpha}} = 0.031$$

Câu 3: (3.0 điểm)

a) Tìm điều kiện của T theo K_p để hệ kín ổn định

$$G(z) = (1 - z^{-1})Z\left\{\frac{4}{s(s+2)}\right\} = \frac{2(1 - e^{-2T})}{z - e^{-2T}} \quad (0.5 \text{ điểm})$$

Phương trình đặc trưng vòng kín :

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

$$\Rightarrow 1 + \frac{2K_p(1 - e^{-2T})}{z - e^{-2T}} = 0$$

$$\Rightarrow z - e^{-2T}(1 + 2K_p) + 2K_p = 0 \quad (0.5 \text{ điểm})$$

$$\Rightarrow z = e^{-2T}(1 + 2K_p) - 2K_p$$

Hệ ổn định khi:

$$|z| < 1$$

$$\Rightarrow |e^{-2T}(1 + 2K_p) - 2K_p| < 1$$

Với : $K_p > 0$

$$\Rightarrow 0 < T < \frac{-\ln \frac{(2K_p - 1)}{2K_p + 1}}{2} \quad (0.5 \text{ điểm})$$

b). Cho $T = 0.1 \text{ sec}$. Tính K_p để hệ thống kín có cực tại gốc tọa độ.

$$z = e^{-2T}(1 + 2K_p) - 2K_p = 0$$

$$\Rightarrow K_p = \frac{e^{-2T}}{2(1 - e^{-2T})} = 2.258 \quad (0.5 \text{ điểm})$$

c). Với $K_p = 2.258$, tính $c(k)$ khi tín hiệu vào là hàm nấc :

$$G_K(z) = \frac{G_C(z)G(z)}{1 + G_C(z)G(z)} = \frac{C(z)}{R(z)} = \frac{2K_p(1 - e^{-2T})}{z - e^{-2T} + 2K_p(1 - e^{-2T})}$$

$$e^{-2T} = 0.818$$

$$G_K(z) = \frac{0.818}{z} = \frac{C(z)}{R(z)}$$

(0.5 điểm)

$$\Rightarrow C(z) = 0.818z^{-1}R(z)$$

$$\Rightarrow C(k) = 0.818r(k-1)$$

$$C(0) = 0; C(1) = 0.818; C(2) = 0.818$$

- Độ vọt lố : $POT = 0$

(0.25 điểm)

- Thời gian quá độ : $T_s = 0.1s$

(0.25 điểm)

Câu 4A:

a) Với luật điều khiển hồi tiếp trạng thái $u(k) = r(k) - Kx(k)$, PTTT hệ thống vòng kín:

$$\begin{cases} x(k+1) = (A_d - B_d K)x(k) + B_d r(k) \\ y(k) = C_d x(k) \end{cases}$$

trong đó $(A_d - B_d K) = \begin{pmatrix} -2.70 & -2.18 \\ -2.90 & -1.33 \end{pmatrix}$

(0.5 điểm)

- Tính sai số xác lập:

(0.5 điểm)

Vì PTĐT vòng kín: $\det(zI - A_d + B_d K) = (z + 2.70)(z + 1.33) - 2.18 \times 2.90 = 0$

có 2 nghiệm $z_1 = -4.621$, $z_2 = 0.591$ với $|z_1| > 1$ nên **hệ thống không ổn định => Không có sai số xác lập**

b) Với luật điều khiển hồi tiếp ngõ ra $u(k) = r(k) - k_0 y(k)$, PTTT hệ thống vòng kín:

$$\begin{cases} x(k+1) = A_d x(k) + B_d (r(k) - k_0 C x(k)) \\ y(k) = C_d x(k) \end{cases}$$

$$\begin{cases} x(k+1) = (A_d - k_0 B_d C) x(k) + B_d r(k) \\ y(k) = C_d x(k) \end{cases}$$

(0.5 điểm)

Sinh viên có thể tính bằng cách 2 như sau vẫn được 0.5 điểm:

- Hàm truyền vòng hở:

$$G_h(z) = C_d (zI - A_d)^{-1} B_d = \frac{0.36z - 0.044}{z^2 - 1.13z + 0.287}$$

- Hàm truyền vòng kín:

$$G_k(z) = \frac{0.36z - 0.044}{z^2 - 1.13z + 0.287 + k_0(0.36z - 0.044)}$$

- PTĐT hệ vòng kín:

$$z^2 - 1.13z + 0.287 + k_0(0.36z - 0.044) = 0$$

Giải ra điều kiện để hệ thống ổn định: $k_0 < 5.97$

(0.5 điểm)

Câu 4B:

Theo đề bài ta có:

$$\begin{cases} K_{gh} = 10 \\ T_{gh} = 2 \end{cases}$$

(0.25 điểm)

Theo phương pháp Zeigler-Nichols, ta tính được hàm truyền bộ điều khiển PI liên tục như sau:

$$G_{PID}(s) = K_P \left(1 + \frac{1}{T_I s} \right)$$

Trong đó:

$$\begin{cases} K_P = 0.45 K_{gh} = 4.5 \\ T_I = 0.83 T_{gh} = 1.66 \text{ (sec)} \end{cases}$$

(0.5 điểm)

Vậy hàm truyền bộ điều khiển PI liên tục là: $G_{PID}(s) = 4.5 + \frac{2.71}{s}$

(0.25 điểm)

Hàm truyền bộ điều khiển PI rời rạc có dạng:

$$G_{PID}(s) = K_P + \frac{K_I T}{2} \left(\frac{z+1}{z-1} \right)$$

Thay $T = 10 \text{ (ms)} = 0.01 \text{ (sec)}$, $K_P = 4.5$; $K_I = 2.71$; ta được:

$$G_{PID}(z) = 4.5 + 0.0136 \left(\frac{z+1}{z-1} \right)$$

(0.5 điểm)

Phương trình sai phân mô tả quan hệ vào ra của bộ điều khiển PI rời rạc:

$$G_{PID}(z) = \frac{U(z)}{E(z)} = 4.5 + 0.0136 \left(\frac{1+z^{-1}}{1-z^{-1}} \right)$$

$$\Rightarrow (1-z^{-1})U(z) = [4.5(1-z^{-1}) + 0.0136(1+z^{-1})]E(z)$$

$$\Rightarrow (1-z^{-1})U(z) = [4.5136 - 4.4864z^{-1}]E(z)$$

$$\Rightarrow u(k) = u(k-1) + 4.5136e(k) - 4.4864e(k-1)$$

(0.5 điểm)