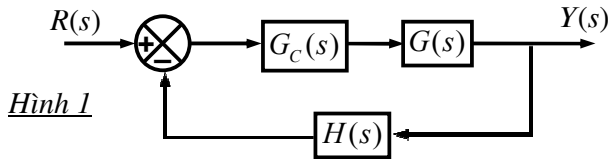


Bài 1: (3.0đ) Cho hệ thống có sơ đồ khối ở hình 1.

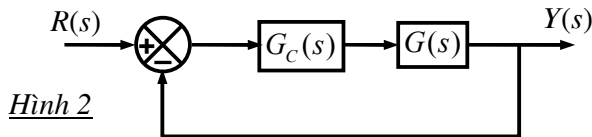


Hình 1

$$G(s) = \frac{8}{s(s+2)} \quad H(s) = \frac{10}{s+10}$$

- 1.1 (1.0đ – CĐR3) Cho $G_C(s) = 1$, tính độ vọt lố, thời gian quá độ (tiêu chuẩn 2%) và sai số xác lập khi tín hiệu vào là hàm dốc đơn vị.
 1.2 (2.0đ – CĐR4) Thiết kế bộ điều khiển sớm trễ pha $G_C(s)$ sao cho hệ thống sau khi thiết kế có cặp cực phức với $\xi = 0.8$, $\omega_n = 3$ và sai số xác lập khi tín hiệu vào là hàm dốc đơn vị là 0.02.

Bài 2: (3.0đ) Cho hệ thống điều khiển ở hình 2.



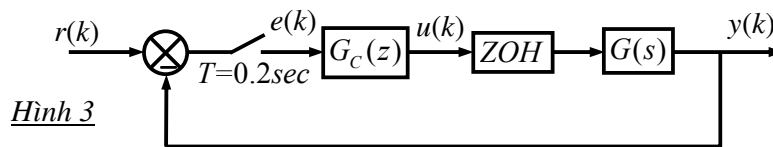
Hình 2

$$G(s) = \frac{20}{s(s^2 + 4s + 16)}$$

- 2.1 (2.0đ – CĐR4) Thiết kế bộ điều khiển $G_C(s)$ sao cho hệ kín có độ dự trữ pha $\Phi M^* \geq 60^\circ$, và sai số xác lập khi tín hiệu vào là hàm dốc $e_{xl}^* \leq 0.02$
 2.2 (1.0đ – CĐR4) Vẽ biểu đồ Bode của hệ thống sau khi thiết kế, từ đó kiểm tra lại độ dự trữ biên của hệ thống sau khi thiết kế.

Bài 3: (2.0đ – CĐR2) Sử dụng tiêu chuẩn Jury hoặc tiêu chuẩn Routh-Hurwitz mở rộng đánh giá tính ổn định của hệ thống điều khiển có sơ đồ khối ở hình 3, biết rằng $G_C(z) = 2 + 10 \frac{z+1}{z-1}$ và

$$(1-z^{-1})\mathcal{Z} \left\{ \frac{G(s)}{s} \right\} = \frac{0.0085z + 0.0072}{z^2 - 1.56z + 0.61}$$



Hình 3

Bài 4: (2.0đ) Cho hệ thống điều khiển có sơ đồ khối ở hình 3, biết rằng $u(k) = 2e(k)$ và $G(s) = \frac{2e^{-0.2s}}{s+4}$

- 4.1 (1.0đ – CĐR3) Tính đáp ứng $y(k)$, ($k = 0 \div 8$) khi tín hiệu vào là hàm nấc đơn vị.
 4.2 (1.0đ – CĐR3) Tính độ vọt lố, thời gian quá độ (tiêu chuẩn 5%) và sai số xác lập khi tín hiệu vào là hàm nấc đơn vị

(Hết)

Bài 1:

1.1 (1.0đ / CĐR3)

- Phương trình đặc trưng của hệ thống kín:

$$\begin{aligned}1 + G_C(s)G(s)H(s) &= 0 \\ \Rightarrow 1 + \frac{8}{s(s+2)} \frac{10}{s+10} &= 0 \\ \Rightarrow s^3 + 12s^2 + 20s + 80 &= 0\end{aligned}$$

Hệ kín có 3 cực $p_1 = 10.836$, $p_{2,3} = -0.582 \pm j2.654$

Do cực $p_1 = 10.836$ nằm cách xa trục ảo so với cặp cực phức $p_{2,3}$ của khâu dao động bậc 2 nên cặp cực quyết định của hệ thống là:

$$\begin{aligned}p_{2,3} &= -0.582 \pm j2.654 = -\xi\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1-\xi^2} \\ \Rightarrow \begin{cases} \xi = 0.215 \\ \omega_n = 2.717 \end{cases}\end{aligned}$$

Suy ra:

$$\begin{aligned}POT &= 50.09\% \\ t_{qd}(2\%) &= 6.85(\text{sec})\end{aligned}$$

- Sai số với đầu vào hàm dốc

$$K_v = \lim_{s \rightarrow 0} sG(s)H(s) = 4 \quad \Rightarrow e_{xl} = \frac{1}{K_v} = 0.25$$

1.2 (2.0đ / CĐR4) Khâu HC sớm trễ pha có dạng: $G_c(s) = G_{c1}(s)G_{c2}(s)$

Thiết kế khâu sớm pha:

- Khâu HC sớm pha $G_{c1}(s) = K_{c1} \frac{s + 1/\alpha T_1}{s + 1/T_1}$

- Cặp cực quyết định: $s_{1,2}^* = -\xi\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1-\xi^2} = -2.4 \pm 1.8j$

- Góc pha cần bù: $\Phi^* = -180 + 143.1 + 102.5 + 13.3 \approx 79^\circ$

- Cực và zero của khâu sớm pha (thể pp đường phân giác):

$$\frac{1}{\alpha T_1} = 1.71, \quad \frac{1}{T_1} = 5.27$$

- Tính K_{c1} :

$$\left| K_{c1} \frac{s+1.71}{s+5.38} G(s)H(s) \right|_{s=s_{1,2}^*} = 1 \Rightarrow K_{c1} = 0.95$$

Thiết kế khâu trễ pha:

- Khâu HC trễ pha $G_{c2}(s) = K_{c2} \frac{s+1/\beta T_2}{s+1/T_2}$

- Hệ số vận tốc sau khi HC sớm pha:

$$K_v = \lim_{s \rightarrow 0} s G_{c1}(s) G(s) H(s) = 1.23$$

- Hệ số vận tốc sau mong muốn:

$$K_v^* = \frac{1}{e_{xl}^*} = 50$$

$$\Rightarrow \beta = \frac{K_v}{K_v^*} = \frac{1.23}{50} \approx 0.025$$

$$-\frac{1}{\beta T_2} \ll |\operatorname{Re}\{s_{1,2}^*\}|, \text{ Chọn } \frac{1}{\beta T_2} = 0.2 \Rightarrow \frac{1}{T_2} = 0.005$$

- Tính K_{c2} :

$$\left| K_{c2} \frac{s+0.2}{s+0.005} G_{c1}(s) G(s) H(s) \right|_{s=s_{1,2}^*} = 1 \Rightarrow K_{c2} = 1.05$$

\Rightarrow Khâu HC sớm trễ pha cần thiết kế:

$$G_c(s) = G_{c1}(s) G_{c2}(s) = \frac{s+1.71}{s+5.27} \frac{s+0.2}{s+0.05}$$

Bài 2:

2.1 (2.0đ / CĐR4)

Thiết kế bộ điều khiển $G_c(s)$ để hệ thống có độ dự trữ pha $\Phi M^* \geq 60^\circ$ và sai số khi tín hiệu vào là hàm dốc $e_{xl}^* \leq 0.02$.

Theo yêu cầu của đề bài ta chọn bộ điều khiển trễ pha.

- Xác định K_c :

$$K_v^* = \lim_{s \rightarrow 0} s G_c(s) G(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s K_c \frac{\alpha T s + 1}{T s + 1} \frac{20}{s(s^2 + 4s + 16)} = \frac{1}{e_{xl}^*} = \frac{1}{0.02} = 50$$

$$\Rightarrow K_c = 40$$

- Từ yêu cầu thiết kế, pha tại tần số cắt mới là:

$$\varphi(\omega_c') = -180^\circ + \Phi M^* + \theta = -115^\circ (\theta = 5^\circ)$$

$$\varphi(\omega_c') = -90^\circ + \arctg \frac{2\xi\omega_c' T}{1 - \omega_c'^2 T^2} = -115^\circ$$

$$\Rightarrow \omega_c' = 1.575 (\text{rad} / \text{s}) \approx 1.6 (\text{rad} / \text{s})$$

- Tính α

$$|G_1(j\omega'_c)| = \frac{1}{\alpha} \Rightarrow \left| \frac{K_c \cdot 20}{j\omega'_c[(j\omega'_c)^2 + 4j\omega'_c + 16]} \right| = 37.55 = \frac{1}{\alpha}$$

$$\Rightarrow \alpha = 0.031$$

(Nếu SV sử dụng biểu đồ Bode, tính hệ số α gần bằng giá trị trên cũng chấp nhận)

$$\text{Chọn zero : } \frac{1}{\alpha T} \leq \omega'_c = 1.6 \Rightarrow \frac{1}{\alpha T} = 0.16 \Rightarrow \alpha T = 6.25$$

$$\text{Cực : } \frac{1}{T} = \alpha \cdot \frac{1}{\alpha T} = 0.031 \cdot 0.16 = 0.005 \Rightarrow T = 200$$

$$\text{Hàm truyền của bộ điều khiển trễ pha : } G_c(s) = 40 \frac{6.25s + 1}{200s + 1}$$

(SV chọn cực và zero khác nếu đúng cũng chấp nhận)

2.2 (1.0đ / CĐR4)

Vẽ biểu đồ bode sau hiệu chỉnh:

Hàm truyền hệ hở sau hiệu chỉnh :

$$G_h(s) = G_c(s) \cdot G(s) = 40 \frac{6.25s + 1}{200s + 1} \cdot \frac{20}{s(s^2 + 4s + 16)}$$

$$\text{Tần số gãy : } \omega_{g1} = 0.004, \omega_{g2} = 0.16; \omega_{g3} = 4$$

$$\text{Biên độ tại } \omega_0 = 0.001(\text{rad} / \text{sec}) :$$

$$K = 800 / 16 = 50$$

$$L(\omega_0) = 20 \log K - 20[-3 - 0] = 93.8$$

Biểu thức pha:

$$\varphi(\omega) = -90^\circ + \arctg 6.25\omega - \arctg 200\omega - \arctg \frac{2\xi T \omega}{1 - T^2 \omega^2}$$

ω	0.001	0.005	0.01	0.03	0.1	0.16	1	$\omega_c = 1.6$	4	10
$\varphi(\omega)$	-101°	-133°	-150°	-160°	-147°	-135°	-114°	-120°	-180°	-245°

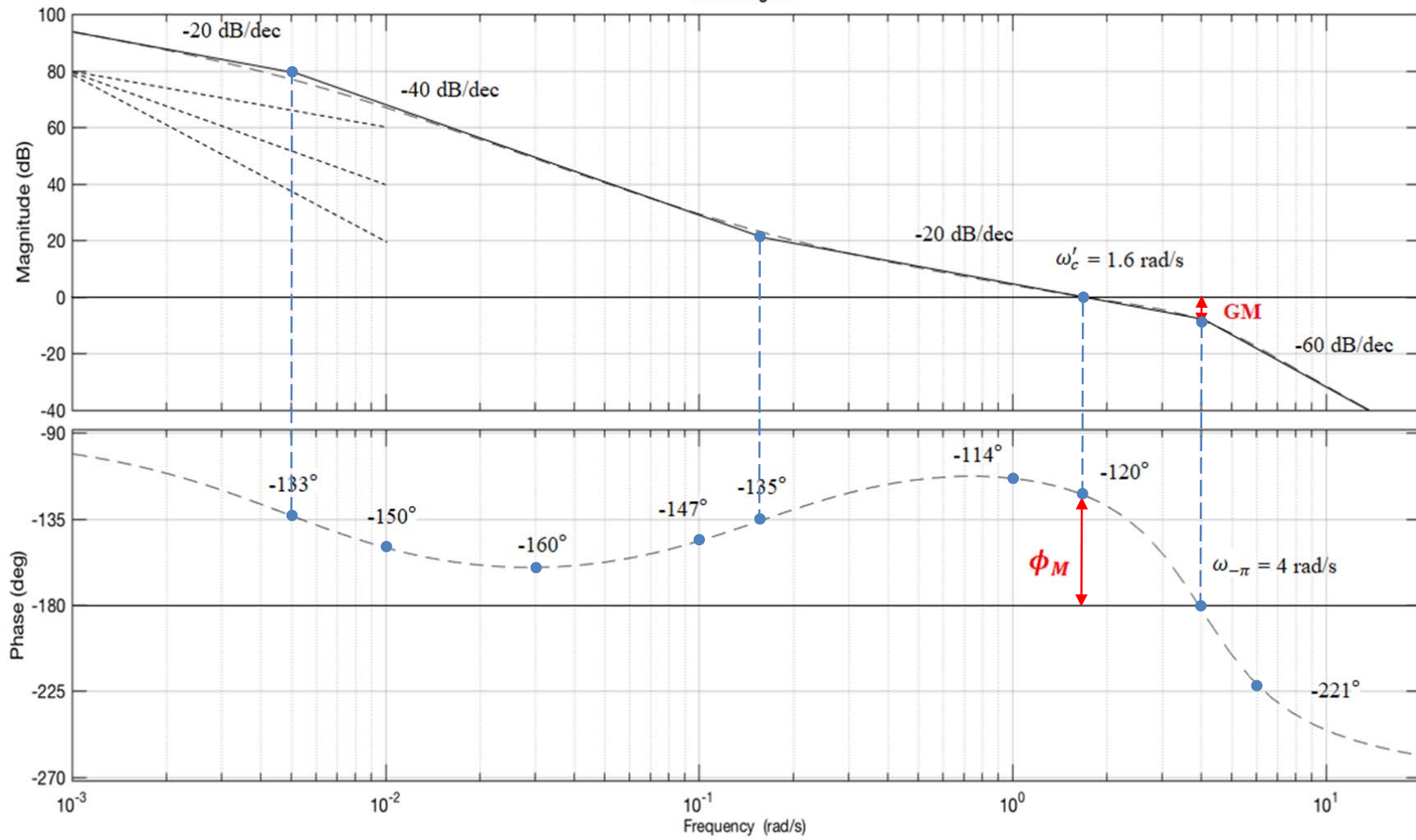
$$\omega_c = 1.6 \Rightarrow \varphi(\omega_c) = -120^\circ \Rightarrow \Phi M = 60^\circ$$

$$\omega_{-\pi} = 4 \Rightarrow GM = 8dB$$

Bộ điều khiển trễ pha đã chọn thỏa yêu cầu thiết kế.

Biểu đồ Bode : (trang sau)

Bode Diagram



Bài 3: (2.0đ / CDR2)

Phương trình đặc trưng:

$$1 + G_c(z)G(z) = 0 \Leftrightarrow 1 + \left(2 + \frac{10(z+1)}{z-1}\right) \frac{0.0085z + 0.0072}{z^2 - 1.56z + 0.61} = 0$$

$$P(z) = z^3 - 2.458z^2 + 2.324z - 0.552 = 0$$

$$(\text{dạng } P(z) = a_0z^n + a_1z^{n-1} + \dots + a_{n-1}z + a_n = 0, a_0 > 0)$$

Điều kiện cần:

1. $P(1) = 0.314 > 0$: thỏa
2. $(-1)^n P(-1) = 6.334 > 0$: thỏa.

Điều kiện đủ:

3. $|a_n| < a_0$: thỏa

Bảng Jury:

Hàng 1	-0.552	2.324	-2.458	1
Hàng 2	1	-2.458	2.324	-0.552
Hàng 3	-0.695	1.175	-0.967	

4. $|b_2| = 0.695 < |b_0| = 0.967$: hệ thống không ổn định.

(nếu SV kết luận đúng tính ổn định dựa vào vị trí cực thì đánh giá đạt mức 2)

Bài 4: (2.0đ / CDR2)

Vì $u(k) = 2e(k)$ nên $G_c(z) = 2$

$$\text{Mặt khác: } G_h(z) = (1 - z^{-1})Z\left\{\frac{G(s)}{s}\right\} = (1 - z^{-1}) \cdot z^{-1} \cdot Z\left\{\frac{1}{s(s+4)}\right\} = \frac{0.275}{z(z-0.449)}$$

$$\text{Suy ra } G_k(z) = \frac{G_c(z) \cdot G_h(z)}{1 + G_c(z) \cdot G_h(z)} = \frac{0.5506}{z^2 - 0.449z + 0.5506}$$

$$\text{Từ đó: } Y(z) = 0.499 \cdot z^{-1} \cdot Y(z) - 0.5506z^{-2}Y(z) + 0.5506z^{-2} \cdot R(z)$$

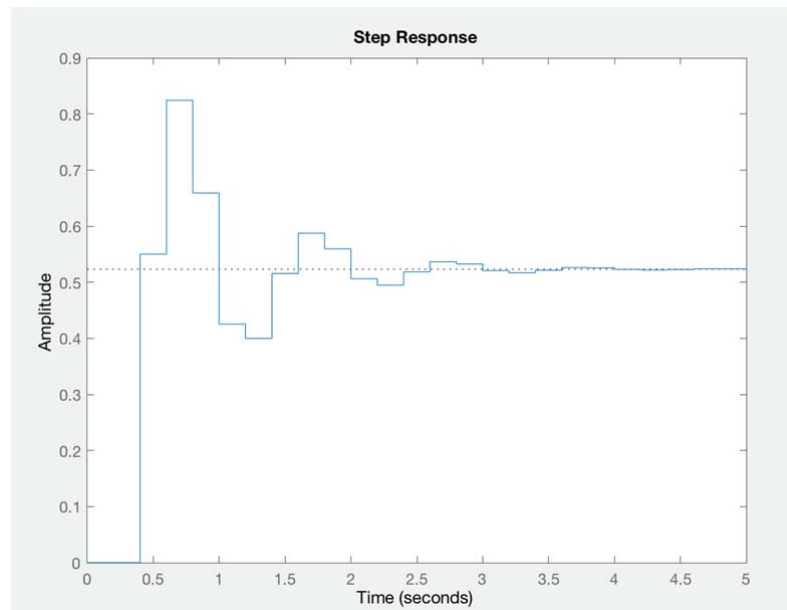
$$\text{Nên: } y(k) = 0.499 \cdot y(k-1) - 0.5506 \cdot y(k-2) + 0.5506 \cdot r(k-2)$$

Theo đề bài ta có: $y(0)=y(1)=0$, hàm nấc đơn vị nên $r(k)=1$ với $k>0$

Suy ra:

$$\begin{aligned} y(2) &= 0.55, \\ y(3) &= 0.796, \\ y(4) &= 0.605, \\ y(5) &= 0.38, \\ y(6) &= 0.389, \\ y(7) &= 0.516, \\ y(8) &= 0.56; \end{aligned}$$

(không yêu cầu SV vẽ hình đáp ứng)



- Chất lượng hệ thống

Cách 1: Tính chính xác dựa vào đáp ứng $y(k)$

$$POT = \frac{0.83 - 0.52}{0.52} 100\% = 59.6\%$$

$$t_{qd}(5\%) = 2.7s$$

$$\text{Sai số xác lập: } e_{xl} = r_{xl} - y_{xl} = 1 - 0.52 = 0.48$$

Cách 2: Tính gần đúng dựa vào cặp cực

Phương trình đặc trưng:

$$z^2 - 0.459z + 0.55 = 0$$

$$\Rightarrow z_{1,2} = 0.2245 \pm 0.7073i = 0.74e^{\pm j1.26} = e^{Ts} = e^{T(-\xi\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1-\xi^2})}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} e^{-T\xi\omega_n} = 0.74 \\ \omega_n\sqrt{1-\xi^2} = 1.26 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \xi = 0.23 \\ \omega_n = 6.5 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} POT \approx 47.6\% \\ t_s \approx 2 \text{ sec} \end{cases}$$

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.