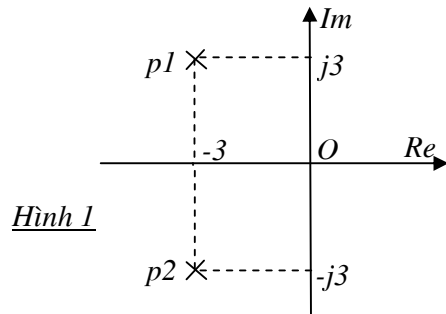
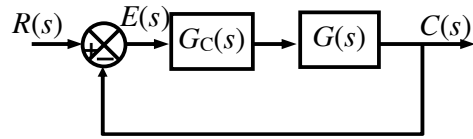


**Bài 1:** (3.5 điểm) Cho đối tượng có giản đồ cực - zero như hình 1.



Hình 1



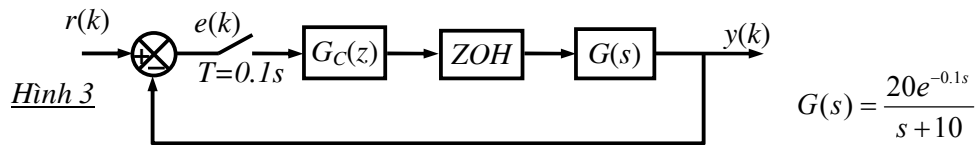
Hình 2

- Đáp ứng nấc đơn vị của đối tượng này (đáp ứng vòng hở) có dạng: dao động điều hòa, dao động hình sin với biên độ giảm dần hay tiến ra vô cùng. Giải thích. (LO2.1) (0.5đ)
- Xác định hàm truyền của đối tượng này, biết đối tượng này có đáp ứng nấc đơn vị xác lập bằng 0.5. (LO1.3) (0.5đ)
- Đối tượng này được điều khiển hồi tiếp âm đơn vị như hình 2.
  - Cho  $G_c(s) = 1$ , xác định POT, tqđ(2%)? (LO3.2) (0.5đ)
  - Bằng phương pháp QĐNS, thiết kế  $G_c(s)$  để sau thiết kế hệ thống có đáp ứng quá độ thỏa :  
 $POT \leq 11\%$ ,  $t_{qd}(2\%) \leq 0.4s$  (LO4.2) (1đ)
  - Xác định  $e_{xl}$  trước và sau hiệu chỉnh. (LO3.1) (0.5đ) Từ đó rút ra nhận xét về ảnh hưởng của bộ điều khiển  $G_c(s)$  trong trường hợp này. (LO4.1) (0.5đ)

**Bài 2:** (3.0 điểm) Cho đối tượng có đáp ứng tần số biên độ và pha như Phụ lục 1 kèm theo đề thi. Đối tượng này được điều khiển hồi tiếp âm đơn vị như hình 2.

- Xác định GM và  $\Phi M$  của hệ hở trước hiệu chỉnh [ $G_c(s) = 1$ ], từ đó nhận xét về tính ổn định của hệ kín. (LO2.4) (0.5đ).
- Cho  $G_c(s) = 100$  thì hệ kín có ổn định không? Giải thích. (LO2.4) (0.5đ).
- Bằng phương pháp Bode, thiết kế bộ điều khiển trễ pha để sau hiệu chỉnh hệ thống thỏa  $K_v^* = 10$ ,  $\Phi M^* \geq 40^\circ$ ,  $GM^* \geq 20dB$ . (LO4.3) (1.5đ)
- Xác định POT trước và sau hiệu chỉnh của hệ thống này. (LO3.3) (0.5đ)

**Bài 3:** (1.5 điểm) Cho hệ thống điều khiển rời rạc như hình 3.



- a) Cho  $G_c(z) = 0.1$ . Xác định  $G_k(z)$ ? (LO1.3) (0.5đ) Tính POT và tqđ(5%) của đáp ứng nấc đơn vị. (LO3.2) (0.5đ).
- b) Cho  $G_c(z) = K_p$ . Xác định  $K_p$  để hệ kín ổn định dùng tiêu chuẩn Jury. (LO2.5) (0.5đ).

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

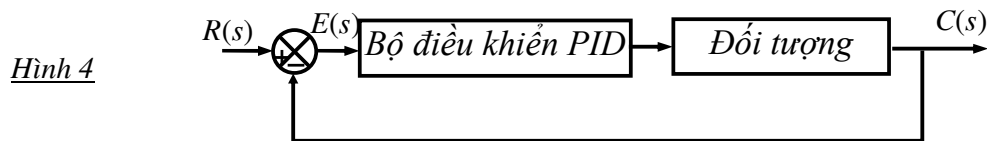
4A. Cho đối tượng vật - lò xo được mô bởi PTTT:

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & -0.2 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \end{bmatrix} u(t) \\ y(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} x(t) \end{cases}$$

Trong đó:  $y(t)$ : vị trí vật,  $x(t) = \begin{bmatrix} x_1(t) & x_2(t) \end{bmatrix}$ : trạng thái hệ thống (vị trí và vận tốc của vật),  $u(t)$ : điện áp cấp cho động cơ.

- a) Với luật điều khiển hồi tiếp ngõ ra  $u(t) = r(t) - k_o y(t)$ . Xác định  $k_o$  để hệ kín ổn định. (LO2.6) (1đ).
- b) Xác định luật điều khiển hồi tiếp trạng thái  $u(t) = r(t) - Kx(t)$  sao cho đáp ứng ngõ ra có POT = 16%, tqđ(5%) = 5s. (LO4.6) (1đ).

4B. Cho đối tượng được điều khiển bằng bộ điều khiển PID như hình 4:

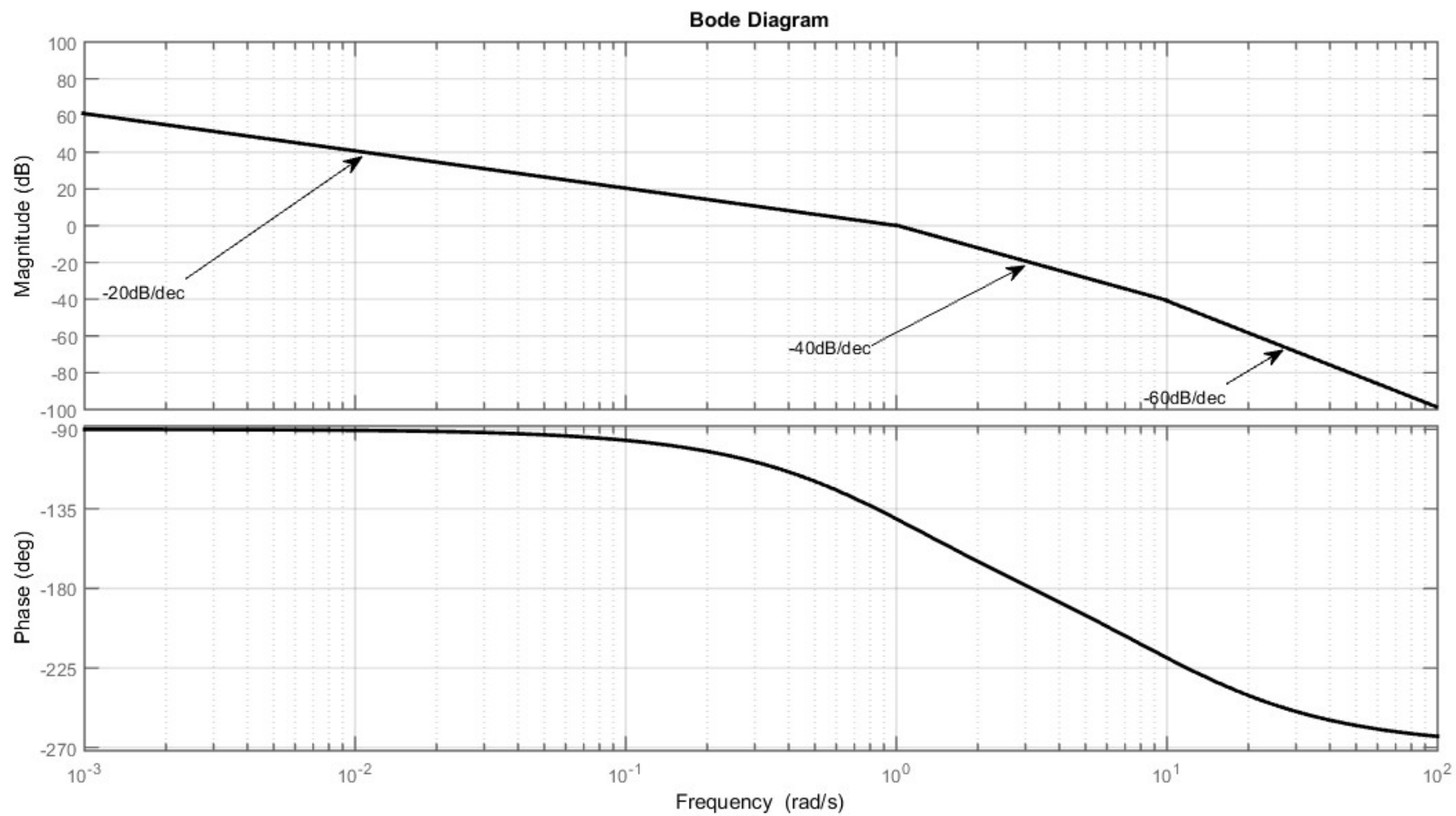


- a) Phụ lục 2 là QĐNS của hệ kín khi  $k_i = 5.5$ ,  $k_d = 0.002$ ,  $k_p = 0 \rightarrow +\infty$ . Dựa vào QĐNS hãy cho biết:
- a1. Tầm ổn định của  $K_p$  (LO2.3) (0.5đ)
- a2. Ảnh hưởng của khâu P lên POT của hệ thống. (LO4.1) (0.5đ)
- (gợi ý: khi tăng  $K_p$  thì POT thay đổi như thế nào)..
- b) Phụ lục 3 là QĐNS của hệ kín khi  $k_p = 0.213$ ,  $k_d = 0.002$ ,  $k_i = 0 \rightarrow +\infty$ . Dựa vào QĐNS hãy cho biết:
- b1. Tầm ổn định của  $K_i$  (LO2.3) (0.5đ)
- b2. Ảnh hưởng của khâu I lên tqđ của hệ thống. (LO4.1) (0.5đ)
- (gợi ý: khi tăng  $K_i$  thì tqđ thay đổi như thế nào).

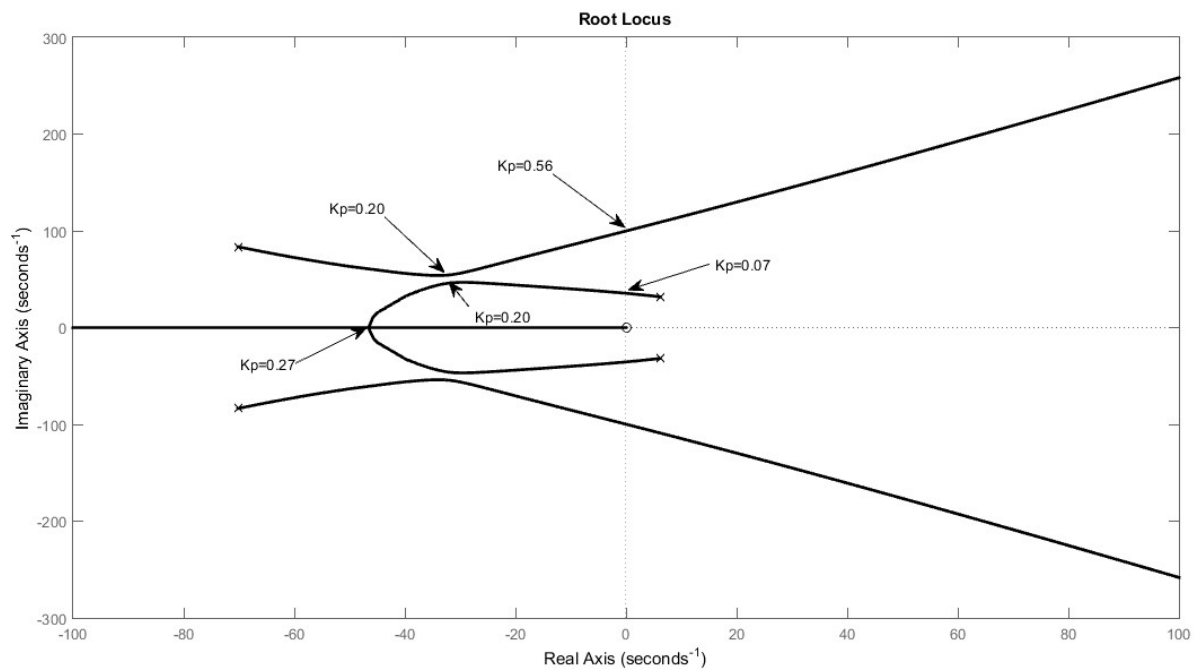
**(Hết)**

Họ và tên SV:.....

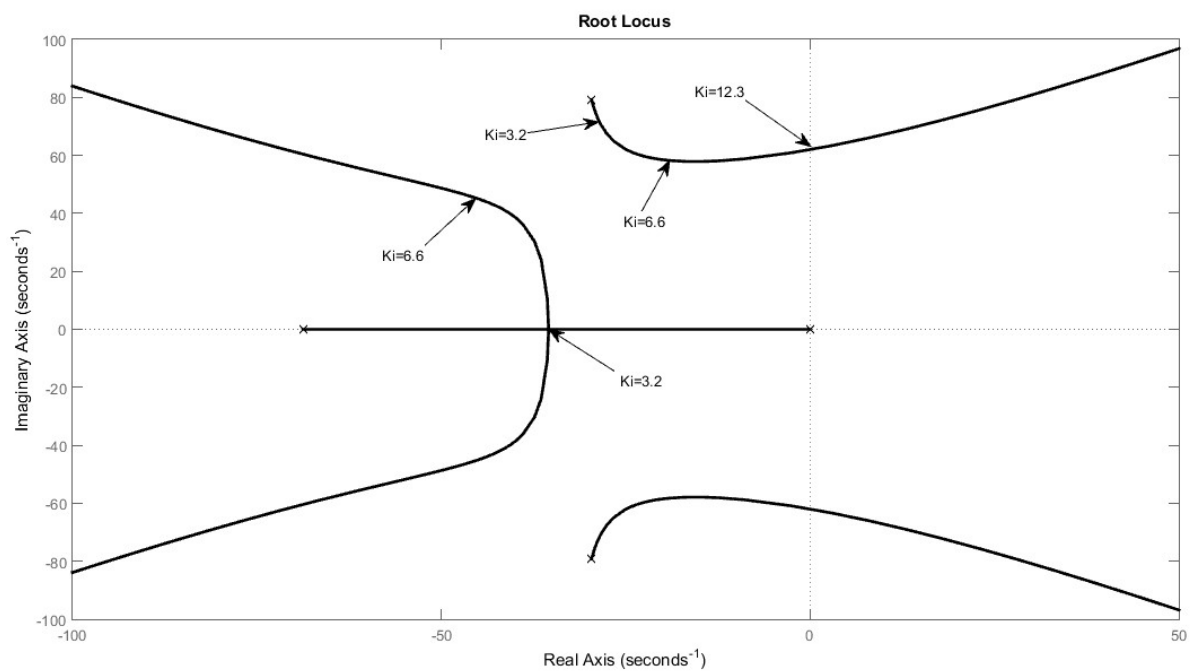
Mã số SV: .....



Phụ lục 1 – Đáp ứng tần số của đối tượng

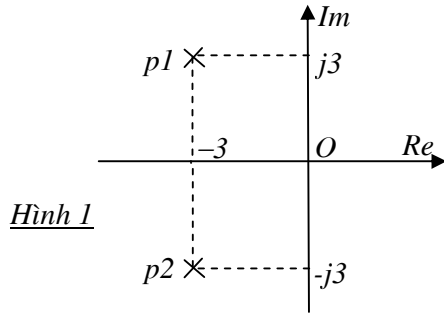


Phụ lục 2 – QĐNS của hệ thống khi  $K_p$  thay đổi

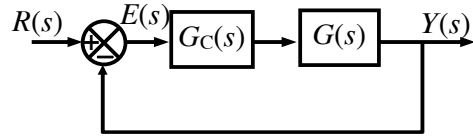


Phụ lục 3 – QĐNS của hệ thống khi  $K_i$  thay đổi

**Bài 1:** (3.5 điểm)



Hình 1



Hình 2

- a.  $G(s)$  có hai cực phức  $p_{1,2} = -3 \pm j3$

Tần số dao động tự nhiên:  $\omega_n = 3\sqrt{2} = 4,243$

Hệ số tắt:  $\xi = 1/\sqrt{2} = 0,707$

$0 < \xi < 1$ : hệ dao động bậc hai, đáp ứng nấc đơn vị có dạng dao động hình sin với biên độ giảm dần.

- b. Hàm truyền có dạng:

$$G(s) = \frac{K}{(s+3-j3)(s+3+j3)} = \frac{K}{s^2 + 6s + 18}$$

Đáp ứng nấc đơn vị:

$$Y(s) = R(s)G(s) = \frac{K}{s(s^2 + 6s + 18)}$$

Giá trị xác lập của  $y(t)$ :

$$\lim_{t \rightarrow \infty} y(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sY(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{K}{s^2 + 6s + 18} = \frac{K}{18} = 0,5 \Rightarrow K = 9$$

Vậy hàm truyền là:

$$G(s) = \frac{9}{s^2 + 6s + 18}$$

- c1. Hàm truyền vòng kín:

$$G_k(s) = \frac{G(s)}{1+G(s)} = \frac{9}{s^2 + 6s + 27}$$

$$\omega_n = \sqrt{27} = 5,196$$

$$\xi = \frac{3}{\sqrt{27}} = 0,577$$

$$POT = e^{-\frac{\xi\pi}{\sqrt{1-\xi^2}}} = 10,85\%$$

$$t_{qd}(2\%) = \frac{4}{\xi\omega_n} = \frac{4}{3} = 1,33 \text{ (s)}$$

c2. Yêu cầu cải thiện đáp ứng quá độ → khâu hiệu chỉnh cần thiết là khâu sớm pha  
Cặp cực quyết định:

$$POT = e^{-\frac{\xi\pi}{\sqrt{1-\xi^2}}} \leq 0.11 \Rightarrow -\frac{\xi\pi}{\sqrt{1-\xi^2}} \leq \ln(0.11) = -2.207$$

$$\Rightarrow \xi \geq 0.575$$

Chọn  $\xi = 0.707$

$$t_{qd}(2\%) = \frac{4}{\xi\omega_n} \leq 0,4 \Rightarrow \omega_n \geq \frac{4}{0,4\xi} = 10\sqrt{2} = 14,14$$

Chọn  $\omega_n = 15$

Cặp cực quyết định là:  $s_{1,2}^* = -10,6 \pm j10,6$

Góc pha cần bù là

$$\begin{aligned}\phi^* &= -180^\circ + \arg(-10,6 + j10,6 - (-3 + j3)) + \arg(-10,6 + j10,6 - (-3 - j3)) \\ &= -180^\circ + \left[ \arctan\left(\frac{7,6}{-7,6}\right) + \arctan\left(\frac{13,6}{-7,6}\right) \right] \\ &= -180^\circ + (135^\circ + 119,2^\circ) = 74,2^\circ\end{aligned}$$

Xác định cực và zero của khâu sớm pha (pp đường phân giác)

$$OB = OP \frac{\sin\left(\frac{OPx}{2} + \frac{\phi^*}{2}\right)}{\sin\left(\frac{OPx}{2} - \frac{\phi^*}{2}\right)} = 28,7$$

$$OC = OP \frac{\sin\left(\frac{OPx}{2} - \frac{\phi^*}{2}\right)}{\sin\left(\frac{OPx}{2} + \frac{\phi^*}{2}\right)} = 7,8$$

$$G_C(s) = K_C \frac{s + 7,8}{s + 28,7}$$

Xác định hệ số khuếch đại

$$|G_C(s)G(s)|_{s=s_1^*} = 1$$

$$\Leftrightarrow \left| K_C \frac{-10,6 + j10,6 + 7,8}{-10,6 + j10,6 + 28,7} \frac{9}{(-10,6 + j10,6 + 3 - j3)(-10,6 + j10,6 + 3 + j3)} \right| = 1$$

$$\Leftrightarrow K_C = 35,6$$

Vậy:

$$G_C(s) = 35,6 \frac{s + 7,8}{s + 28,7}$$

c3. Xác định  $e_{xl}$  trước và sau khi hiệu chỉnh:

**Trước khi hiệu chỉnh:**

$$K_p = \lim_{s \rightarrow 0} G_c(s)G(s)H(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{9}{s^2 + 6s + 18} = 0.5$$

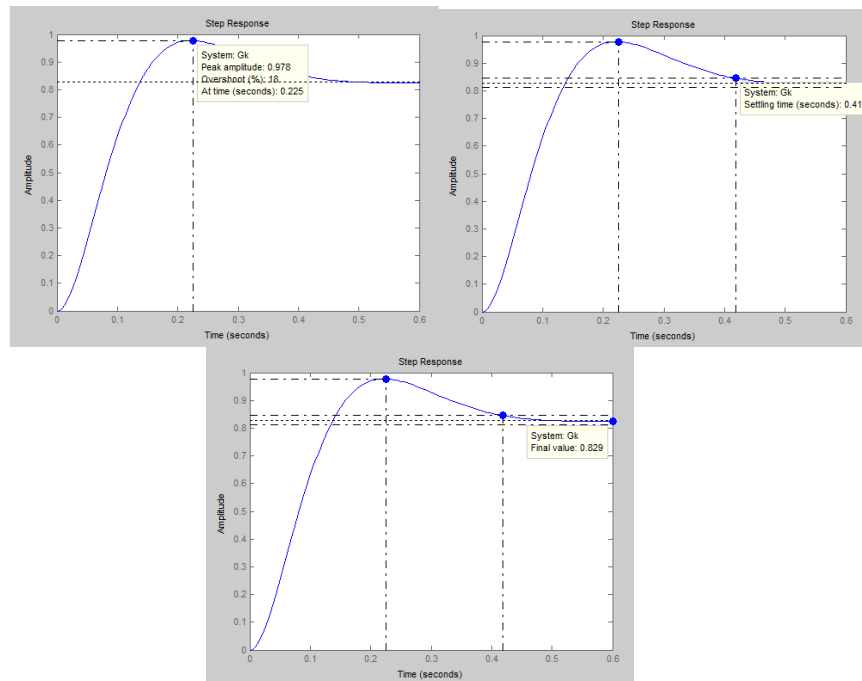
$$e_{xl} = \frac{1}{1+K_p} = \frac{2}{3} = 0.67$$

Sau khi hiệu chỉnh:

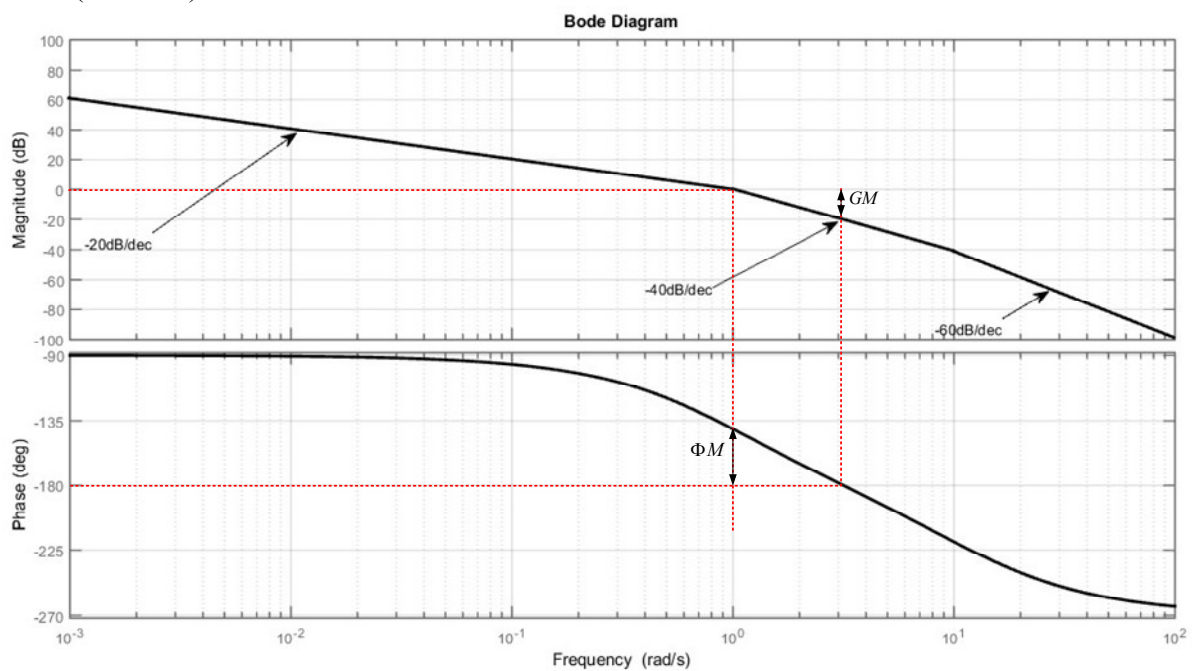
$$K_p = \lim_{s \rightarrow 0} G_c(s)G(s)H(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{320,4s + 2499}{s^3 + 34,7s^2 + 190,2s + 516,6} = 4.837$$

$$e_{xl} = \frac{1}{1+K_p} = 0,17$$

→ Bộ điều khiển  $G_c(s)$  đã thiết kế làm giảm sai số xác lập, giảm thời gian quá độ, **tăng độ vọt lố**.



**Bài 2:** (3.0 điểm)



- a. Từ biểu đồ Bode ta có
- $$\begin{cases} GM = 20 \text{ dB} > 0 \\ \phi M = 40^\circ > 0 \end{cases}$$
- ⇒ Hệ thống ổn định

- b. Khi  $G_c = 100 \rightarrow$  Biểu đồ Bode biên độ dịch lên trên  $20 \log 100 = 40 \text{ dB} \rightarrow GM = -20 \text{ dB}$ , vì vậy hệ thống không ổn định
- c. Từ Bode ta có hàm truyền có dạng:

$$G(s) = \frac{K_0}{s(s+1)(0.1s+1)}$$

$$\text{Từ Bode ta có } L(0.001) = 60 \text{ dB} \rightarrow 20 \log \left( \frac{K_0}{0.001} \right) = 60 \rightarrow K_0 = 1$$

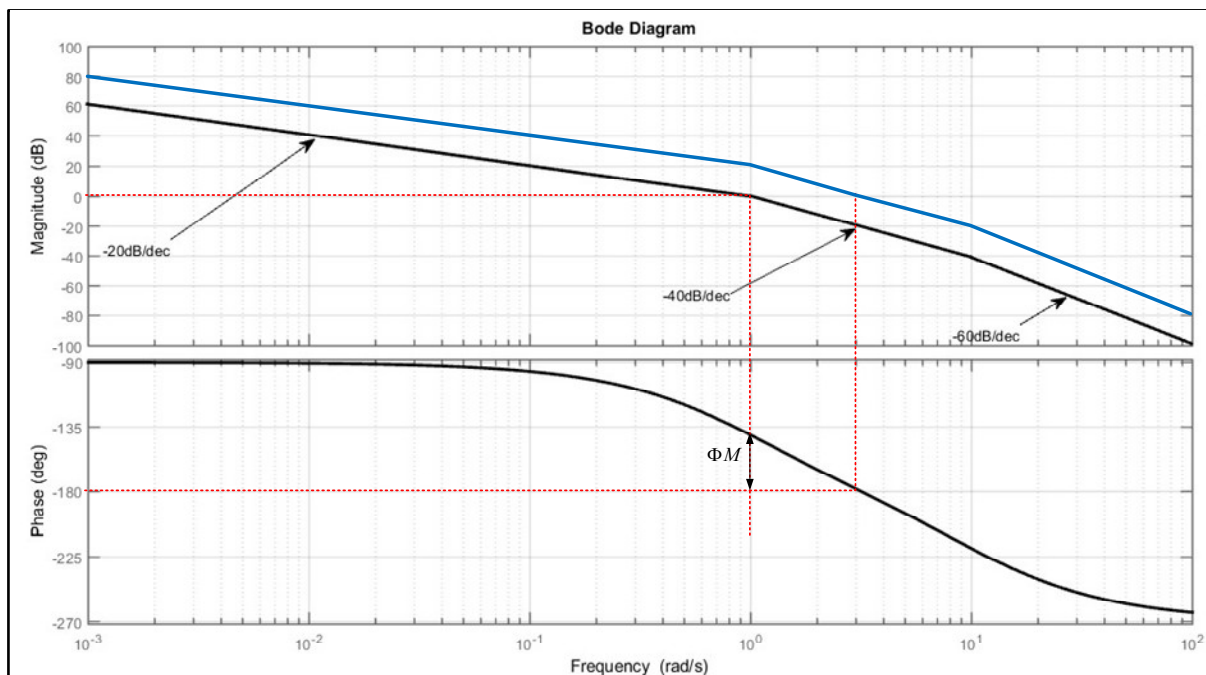
$$\rightarrow K_v = \lim_{s \rightarrow 0} sG(s) = K_0 = 1$$

### Thiết kế

- $K_c = \frac{K_0^*}{K_v} = 10$
- Biểu đồ Bode sau khi thêm  $K_c$  có dạng như hình dưới.
- Bộ điều khiển trễ pha có dạng:  $G_c(s) = K_c \frac{\alpha T s + 1}{T s + 1}$
- Chọn  $\Theta = 10 \rightarrow \varphi(\omega c') = -180 + \phi M + \Theta = -180 + 40 + 10 = 130$
- Từ biểu đồ Bode:  $\omega c' \approx 0.7 \text{ rad/s} \rightarrow L1(\omega c') \approx 24 \text{ dB} - 20 \lg(\alpha) \rightarrow \alpha = 0.063$
- Chọn  $\frac{1}{\alpha T} = \frac{\omega c'}{10} = 0.07 \rightarrow \frac{1}{T} = \alpha \frac{1}{\alpha T} = 0.0044$   
 $\rightarrow uT = 14.3$  và  $T = 226.4$

Vậy bộ điều khiển trễ pha của hệ thống là:

$$G_c(s) = 10 \frac{14.3s + 1}{226.4s + 1}$$





- d. Vì trước và sau khi thiết kế bộ điều khiển trễ pha, hệ thống đều có độ dự trữ pha là  $40^\circ$ , nên POT của hệ thống không đổi.

$$\text{Sử dụng công thức xấp xỉ, } \zeta - \frac{\Phi_M}{180} = 0.4 \Rightarrow \text{POT} = \exp\left(\frac{-\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}\right) = 25.4\%$$

**Bài 3:** (1.5 điểm)

- a. Tính  $G_k(z)$ , POT,  $t_{qd}(5\%)$ .

$$G(z) = (1 - z^{-1}) \mathbb{Z} \left\{ \frac{20e^{-0.1s}}{s(s+10)} \right\} = \frac{z-1}{z} \cdot 2 \cdot \frac{z(1 - e^{-10 \cdot 0.1})}{(z-1)(z - e^{-10 \cdot 0.1})} \cdot z^{-1} = \frac{1.264}{z(z-0.368)}$$

$$G_k(z) = \frac{G_c(z)G(z)}{1 + G_c(z)G(z)} = \frac{0.1264}{z^2 - 0.368z + 0.1264}$$

Cặp cực phức của hệ kín là nghiệm PTĐT :

$$z^2 - 0.368z + 0.1264 = 0 \Rightarrow z_{1,2}^* = 0.1840 \pm j0.3042 = re^{j\varphi}$$

$$r = \sqrt{(0.1840)^2 + (0.3042)^2} = 0.3555, \quad \varphi = \frac{3.14}{180} \tan^{-1} \left( \frac{0.3042}{0.1840} \right) = 1.0263$$

$$\xi = \frac{-\ln r}{\sqrt{(\ln r)^2 + \varphi^2}} = \frac{-\ln 0.3555}{\sqrt{(\ln 0.3555)^2 + (1.0263)^2}} = 0.7098$$

$$\omega_n = \frac{1}{T} \sqrt{(\ln r)^2 + \varphi^2} = \frac{1}{0.1} \sqrt{(\ln 0.3555)^2 + (1.0263)^2} = 14.57$$

$$\text{POT} = \exp \left( -\frac{\xi\pi}{\sqrt{1-\xi^2}} \right) \cdot 100\% = 4.23\%$$

$$t_{qd}(5\%) = \frac{3}{\xi\omega_n} = 0.29 \text{ sec}$$

- b. Tìm điều kiện của  $K_p$  để hệ kín ổn định

Khi  $G_c(z) = K_p$  ta có PTĐT hệ kín :

$$P(z) = 1 + K_p G(z) = 1 + K_p \frac{1.264}{z(z-0.368)} = z^2 - 0.368z + 1.264K_p = 0$$

Áp dụng tiêu chuẩn Jury :

$$1. a_0 > |a_n| \Rightarrow 1 > |1.264K_p| \Rightarrow 0 < K_p < 0.79$$

$$2. P(1) = 0.632 + 1.264K_p > 0 \Rightarrow \text{thỏa } \forall K_p > 0$$

$$3. P(-1) = 1.368 + 1.264K_p > 0 \Rightarrow \text{thỏa } \forall K_p > 0$$

Điều kiện để hệ kín ổn định :  $0 < K_p < 0.79$

**Sinh viên làm bài 4A hoặc 4B**

**Bài 4A**

- a. Luật điều khiển:

$$u(t) = r(t) - k_0 y(t) = r(t) - k_0 x_1(t)$$

$$\Rightarrow u(t) = r(t) - Kx(t), \quad K = [k_0 \quad 0]$$

- PTĐT của hệ thống:

$$\det(sI - A + BK) = 0 \Rightarrow s^2 + 0.2s + 2k_0 + 1 = 0$$

$\Rightarrow$  Để hệ thống ổn định:  $k_0 > -1/2$

b. Luật điều khiển:  $u(t) = r(t) - Kx(t)$ ,  $K = [k_1 \quad k_2]$

- POT= 16%, t<sub>qđ</sub>(5%) = 5s  $\Rightarrow \xi = 0.5, \omega_n = 1.2$

- PTĐT của hệ thống:

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

$$\Rightarrow s^2 + (2k_2 + 0.2)s + 2k_1 + 1 = 0 \quad (1)$$

- PTĐT mong muốn:

$$s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2 = 0$$

$$\Rightarrow s^2 + 1.2s + 1.44 = 0 \quad (2)$$

Từ (1) và (2) ta có:  $K = [k_1 \quad k_2] = [0.22 \quad 0.5]$

#### **Bài 4B:**

a1: Vùng ổn định  $K_P$ :  $0.07 < K_P < 0.56$

a2. Ở đây chỉ xét  $K_P$  trong tầm ổn định.

- Khi bắt đầu tăng  $K_P$  từ 0.07 đến khoảng 0.20, cực quyết định (lúc này nằm ở nhánh trong) tiến xa trục ảo nên POT giảm.
- Khi tiếp tục tăng  $K_P$  từ khoảng 0.20 đến 0.56, cực quyết định (lúc này nằm ở nhánh ngoài) lại tiến gần trục ảo nên POT tăng lại.

b1. Vùng ổn định  $K_I$ :  $0 < K_I < 12.3$

b2. Ở đây chỉ xét  $K_I$  trong vùng ổn định.

- Khi bắt đầu tăng  $K_I$  từ 0, cực quyết định (lúc này là cực thực) tiến xa trục ảo nên  $t_{qđ}$  có xu hướng giảm.
- Khi tiếp tục tăng  $K_I$  cho tới 12.3, cực quyết định (lúc này là cặp cực phức) lại tiến gần trục ảo nên  $t_{qđ}$  có xu hướng tăng lại.

**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.