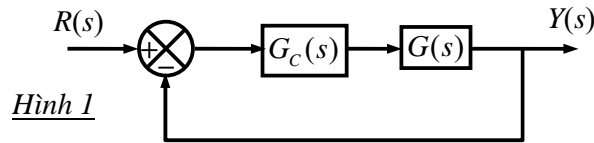


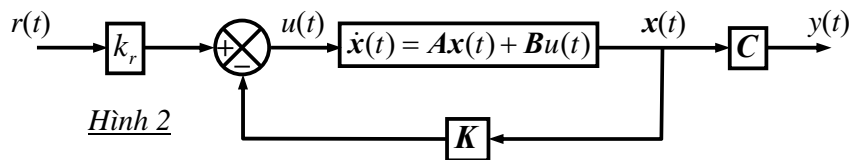
LƯU Ý: - Sinh viên **được phép** sử dụng tài liệu viết tay.
- Đề thi gồm 03 câu, 02 trang.

Bài 1: (3.5đ) Cho hệ thống điều khiển ở hình 1, biểu đồ Bode của đối tượng cho kèm theo đề thi, biết rằng đối tượng có khâu trễ với thời gian trễ là 0.02 giây.



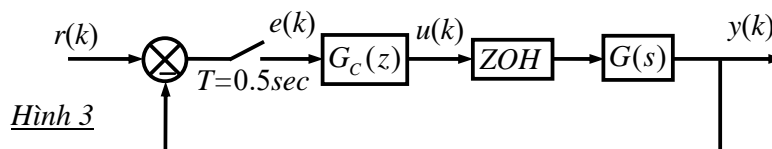
- 1.1 (1.0đ – CĐR3) Cho $G_C(s) = 1$, dựa vào biểu đồ Bode hãy nhận xét về độ vọt lố, thời gian quá độ và sai số xác lập khi tín hiệu vào là nấc đơn vị.
- 1.2 (2.5đ – CĐR4) Thiết kế bộ điều khiển $G_C(s)$ sao cho hệ thống sau khi thiết kế thỏa mãn:
- sai số xác lập đối với tín hiệu vào là hàm nấc đơn vị là $e_{xl}^* = 0.02$
 - độ dự trữ pha $\Phi M^* \geq 60^\circ$, độ dự trữ biên $GM^* \geq 0dB$

Bài 2: (2.5đ) Cho hệ thống điều khiển ở hình 2, trong đó $A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -5 & -3 \end{bmatrix}$, $B = \begin{bmatrix} 4 \\ 1 \end{bmatrix}$, $C = [1 \ 0]$



- 2.1 (2.0đ – CĐR4) Hãy thiết kế bộ điều khiển hồi tiếp trạng thái sao cho hệ thống có cặp cực phức tại $-5 \pm j4$
- 2.2 (0.5đ – CĐR4) Với giá trị K tìm được ở câu 2.1, hãy tính k_r sao cho ở xác lập $y_{xl} = r_{xl}$ khi tín hiệu vào là hàm nấc.

Bài 3: (4.0đ) Cho hệ thống điều khiển có sơ đồ khối ở hình 3, biết rằng $G(s) = \frac{1}{(s+1)^2}$ và $u(k) = u(k-1) + 5e(k) - 4e(k-1)$. Cho bảng biến đổi Laplace và biến đổi Z kèm theo đề thi.



- 3.1 (2.0đ – CĐR2) Hãy tính phương trình đặc trưng của hệ thống kín, từ đó đánh giá tính ổn định của hệ thống.
- 3.2 (1.0đ – CĐR3) Tính đáp ứng $y(k)$, ($k = 0 \div 8$) khi tín hiệu vào là hàm nấc đơn vị.
- 3.3 (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.

(Cán bộ coi thi không giải thích gì thêm)

CHỦ NHIỆM BỘ MÔN

GIÁO VIÊN RA ĐỀ



TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA
KHOA ĐIỆN – ĐIỆN TỬ
BỘ MÔN ĐIỀU KHIỂN TỰ ĐỘNG

**PHỤ LỤC CHUẨN ĐẦU RA MÔN HỌC
TƯƠNG ỨNG VỚI ĐỀ THI**

Môn thi: Cơ sở điều khiển tự động – EE2019
Ngày thi: (07/06/2019) – Thời lượng: 90 phút

Nội dung câu hỏi trên đề thi		Nội dung chuẩn đầu ra môn học	
Câu 1			
Câu 1.1	Xem đề thi	L.O.3	Chất lượng hệ thống điều khiển
Câu 1.2	Xem đề thi	L.O.4	Thiết kế hệ thống điều khiển
Câu 2			
Câu 2.1	Xem đề thi	L.O.4	Thiết kế hệ thống điều khiển
Câu 2.2	Xem đề thi	L.O.4	Thiết kế hệ thống điều khiển
Câu 3			
Câu 3.1	Xem đề thi	L.O.2	Đánh giá tính ổn định
Câu 3.2	Xem đề thi	L.O.3	Chất lượng hệ thống điều khiển
Câu 3.3	Xem đề thi	L.O.3	Chất lượng hệ thống điều khiển

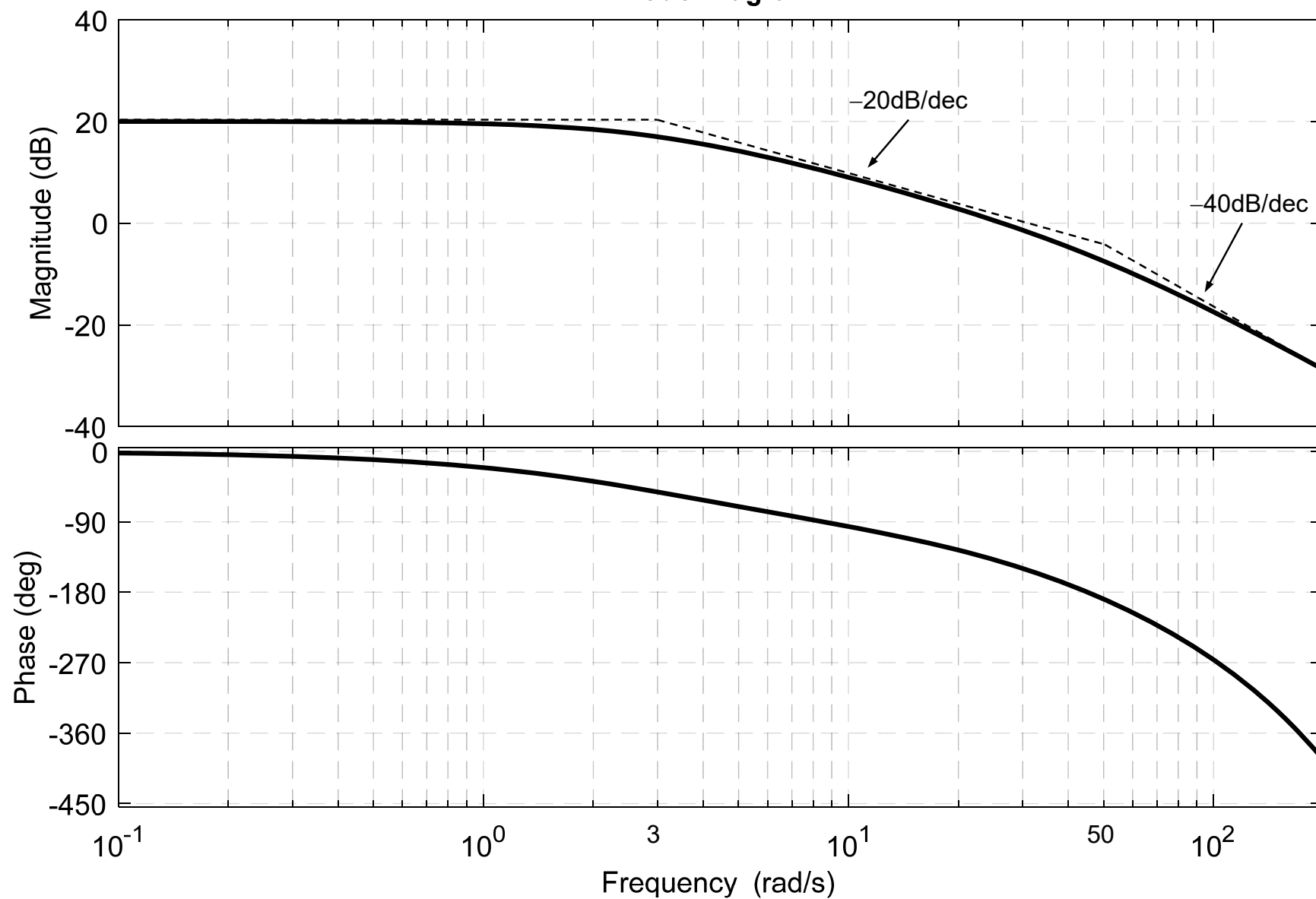
CHỦ NHIỆM BỘ MÔN

GIÁO VIÊN RA ĐỀ



Họ và tên SV:
Mã số SV:

Bode Diagram



Bảng biến đổi Laplace và biến đổi Z

Laplace Domain	Time Domain	Z Domain ($t=kT$)
1	$\delta(t)$ unit impulse	1
$\Gamma(s) = \frac{1}{s}$	$\gamma(t)$	$\frac{z}{z-1}$
$\frac{1}{s^2}$	t	$T \frac{z}{(z-1)^2}$
$\frac{2}{s^3}$	t^2	$T^2 \frac{z(z+1)}{(z-1)^3}$
$\frac{n!}{s^{(n+1)}}$	t^n	
$\frac{1}{s+a}$	e^{-at}	$\frac{z}{z-e^{-aT}}$
	$b^k \quad (b = e^{-aT})$	$\frac{z}{z-b}$
$\frac{1}{(s+a)^2}$	te^{-at}	$T \frac{ze^{-aT}}{(z-e^{-aT})^2}$
$\frac{1}{s(s+a)}$	$\frac{1}{a}(1-e^{-at})$	$\frac{z(1-e^{-aT})}{a(z-1)(z-e^{-aT})}$
$\frac{1}{(s+a)(s+b)}$	$\frac{e^{-at} - e^{-bt}}{(b-a)}$	$\frac{z(e^{-aT} - e^{-bT})}{(b-a)(z-e^{-aT})(z-e^{-bT})}$
$\frac{1}{s(s+a)^2}$	$\frac{1}{a^2}(1-e^{-at} - ate^{-at})$	$\frac{(1-e^{-Ta}(1+Ta))z^2 + e^{-Ta}(Ta-1+e^{-Ta})z}{a^2(z-e^{-Ta})^2(z-1)}$
$\frac{s}{(s+a)^2}$	$(1-at)e^{-at}$	$\frac{z(z-(Ta+1)e^{-Ta})}{(z-e^{-Ta})^2}$

Bài 1:

1.1 Đánh giá chất lượng hệ thống trước khi hiệu chỉnh

Cách 1: Ước lượng gần đúng dựa vào biểu đồ Bode

Dựa vào biểu đồ Bode, ta có:

Hệ số vị trí:

$$\begin{aligned}K_p &= \lim_{s \rightarrow 0} G(s) = \lim_{\omega \rightarrow 0} G(j\omega) \\ \Rightarrow 20 \lg K_p &= 20 \lg \left[\lim_{\omega \rightarrow 0} G(j\omega) \right] = 20 \text{dB} \\ \Rightarrow K_p &= 10\end{aligned}$$

Sai số xác lập khi tín hiệu vào là hàm nấc:

$$e_{xl} = \frac{1}{1 + K_p} = 0.09$$

Thời gian quá độ:

$$\omega_c \approx 25(\text{rad/s}) \Rightarrow \frac{\pi}{\omega_c} < t_{xl} < \frac{4\pi}{\omega_c} \Rightarrow 0.126(\text{sec}) < t_{xl} < 0.50(\text{sec})$$

(nếu SV dựa vào tiệm cận ước tính $\omega_c \approx 30$ (rad/sec) cũng được tính điểm)

Độ vọt lố:

$$\varphi(\omega_c) \approx -135^\circ \Rightarrow \Phi M = 180^\circ + \varphi(\omega_c) \approx 45^\circ < 60^\circ \Rightarrow POT > 10\%$$

Vậy dựa vào biểu đồ Bode ta có nhận xét là sai số xác lập khi tín hiệu vào là hàm nấc là 0.09; độ vọt lố lớn hơn 10% và thời gian quá độ nằm trong khoảng [0.126; 0.5] giây.

Cách 2: Tính chính xác dựa vào hàm truyền

$$\text{Hàm truyền hở của hệ thống có dạng : } G(s) = \frac{Ke^{-0.02s}}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}$$

$$\text{Trong đó : } \quad 20 \lg K = 20 \text{dB} \Rightarrow K = 10$$

$$\omega_{g1} = 3 \text{ rad} / s \Rightarrow T_1 = \frac{1}{\omega_{g1}} = \frac{1}{3}$$

$$\omega_{g2} = 50 \text{ rad} / s \Rightarrow T_1 = \frac{1}{\omega_{g2}} = \frac{1}{100} = 0.02$$

$$\Rightarrow G(s) = \frac{10e^{-0.02s}}{(\frac{1}{3}s + 1)(0.02s + 1)}$$

Từ hàm truyền suy ra:

$$\omega_c \approx 26 \text{ rad} / s$$

$$\varphi(\omega) = -\arctg \frac{1}{3} \omega - \arctg 0.02 \omega - 0.02 \omega \frac{180^\circ}{\pi}$$

$$\varphi(\omega_c) = -\arctg(\frac{1}{3} * 26^\circ) - \arctg(0.02 * 26^\circ) - 0.02 \omega \frac{180^\circ}{\pi}$$

$$\varphi(\omega_c) = -141^\circ$$

$$\phi M = 180^\circ + \varphi(\omega_c) = 39^\circ$$

Tính độ vọt lố , Thời gian xác lập và sai số xác lập khi tín hiệu vào là hàm nấc đơn vị:

$$\phi M = \tan^{-1} \frac{2\xi}{\sqrt{-2\xi + \sqrt{1 + 4\xi^4}}} = 39^\circ$$

$$\Rightarrow \xi = 0.357$$

Độ vọt lố :

$$POT = e^{-\pi\xi/\sqrt{1-\xi^2}} \cdot 100\% = 30.1\%$$

Thời gian xác lập:

$$\omega_c = \omega_n \sqrt{-2\xi^2 + \sqrt{1 + 4\xi^4}} = 26 \text{ rad} / s$$

$$\Rightarrow \omega_n = 29.49 \text{ rad} / s$$

$$t_{xl} = \frac{3}{\xi \omega_n} = 0.285 \text{ s}$$

Sai số xác lập :

$$K_p = \lim_{s \rightarrow 0} G(s) = \frac{10e^{-0.02s}}{(\frac{1}{3}s + 1)(0.02s + 1)} = 10$$

$$\Rightarrow e_{xl} = \frac{1}{1 + K_p} = 0.09$$

1.2 . Thiết kế bộ điều khiển:

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 $e_{xl} = 0.02$.

-Xác định K_C :

$$e_{xl}^* = \frac{1}{1 + K_p^*} = 0.02 \Rightarrow K_p^* = 49$$

$$\Rightarrow K_C = \frac{K_p^*}{K_p} = 4.9$$

$$\text{Về biểu đồ Bode } G_1(s) = K_C G(s) = \frac{4.9 \times 10 e^{-0.02s}}{(\frac{1}{3}s + 1)(0.02s + 1)}$$

Do tính chất cộng của biểu đồ Bode:

- Biểu đồ Bode biên độ của $G_1(s)$ bằng biểu đồ Bode của $G(s)$ cộng thêm 1 lượng bằng $20 \lg K_C = 20 \lg 4.9 = 13.8 \text{ dB}$.
- Biểu đồ Bode pha của $G_1(s)$ bằng biểu đồ Bode của $G(s)$

Biểu đồ Bode : xem hình đính kèm đáp án.

Phân thiết kế dưới đây, nếu SV chỉ dựa vào biểu đồ Bode để thiết kế, không cần tính toán chính xác dựa vào hàm truyền vẫn được tính điểm

Độ dự trữ pha trước khi hiệu chỉnh

$$\omega'_c = 79 \text{ rad/s} \Rightarrow \varphi(\omega'_c) = -\arctg \frac{1}{3} \omega'_c - \arctg 0.02 \omega'_c - 0.02 \omega'_c \frac{180^\circ}{\pi} = -236^\circ$$

$$\Rightarrow \phi M = 180^\circ + \varphi(\omega'_c) = -56^\circ < 0$$

$G_1(s)$ không ổn định, độ dự pha trước khi hiệu chỉnh quá âm nên không thể bù sớm pha

\Rightarrow Chọn bộ điều khiển trễ pha.

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

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

$$\varphi(\omega'_c) = -\arctg \frac{1}{3} \omega'_c - \arctg 0.02 \omega'_c - 0.02 \omega'_c \frac{180^\circ}{\pi} = -115^\circ \Rightarrow \omega'_c = 15.8 \text{ rad/s} \approx 16 \text{ rad/s}$$

Thay ω_c' vào $|G_1(\omega)| = \left| \frac{K_c 10e^{-0.02j\omega}}{(\frac{1}{3}j\omega + 1)(0.02j\omega + 1)} \right| = 8.657$

Biên độ tại tần số cắt mới:

$$L_1(\omega_c') = -20 \log \alpha = 20 \log |G_1(i\omega)| = 18.747 \text{ dB}$$

$$\Rightarrow \alpha = 0.115$$

nếu chọn $L_1(\omega_c') = -20 \log \alpha = 20 \log |G_1(i\omega)| = 18.8 \text{ dB}$

$$\Rightarrow \alpha = 0.115$$

Sinh viên chọn thông số nào cũng được (gần đúng hoặc chính xác)

Chọn zero : $\frac{1}{\alpha T} \leq \omega_c' = 16 \Rightarrow \frac{1}{\alpha T} = 1.6 \Rightarrow \alpha T = 0.625$

Cực : $\frac{1}{T} = \alpha \cdot \frac{1}{\alpha T} = 0.115 \cdot 1.6 = 0.184 \Rightarrow T = 5.434$

Hàm truyền của bộ điều khiển trễ pha : $G_c(s) = 4.9 \frac{0.625s + 1}{5.434s + 1}$

Bài 2:

2.1 Thiết kế bộ điều khiển hồi tiếp trạng thái

Phương trình đặc trưng của hệ kín:

$$\det(sI - A + BK) = 0 \Rightarrow \det \left(s \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -5 & -3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 4 \\ 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} k_1 & k_2 \end{bmatrix} \right) = 0$$

$$\Rightarrow s^2 + (4k_1 + k_2 + 3)s + (13k_1 - 20k_2 + 5) = 0$$

Phương trình đặc trưng mong muốn :

$$(s + 5 - j4)(s + 5 + j4) = s^2 + 10s + 41 = 0$$

Cân bằng hệ số hai PTĐT :

$$\begin{cases} 4k_1 + k_2 + 3 = 10 \\ 13k_1 - 20k_2 + 5 = 41 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} k_1 = 1.89 \\ k_2 = -0.569 \end{cases}$$

Vậy luật điều khiển là :

$$u(t) = k_r r(t) - 1.89x_1(t) + 0.56x_2(t)$$

2.2 Tính k_r

Hàm truyền kín : $G_k(s) = k_r C[sI - A + BK]^{-1} B$

Giá trị xác lập khi tín hiệu vào là hàm nấc :

$$\begin{aligned} y(\infty) &= \lim_{s \rightarrow 0} sY(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s k_r C[sI - A + BK]^{-1} B \left(\frac{1}{s} \right) = k_r C[-A + BK]^{-1} B \\ &= k_r \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 7.56 & -3.24 \\ 6.89 & 2.44 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 4 \\ 1 \end{bmatrix} = k_r \times 0.32 = 1 \quad \Rightarrow \quad k_r = 1 / 0.32 = 3.125 \end{aligned}$$

Bài 3:

3.1 Hãy tính phương trình đặc trưng của hệ thống kín, từ đó đánh giá tính ổn định của hệ thống

Ta có $u(k) = u(k-1) + 5e(k) - 4e(k-1)$

$$\Leftrightarrow U(z) = z^{-1}U(z) + 5E(z) - 4z^{-1}E(z)$$

$$\Leftrightarrow G_c(z) = \frac{U(z)}{E(z)} = \frac{5 - 4z^{-1}}{1 - z^{-1}} = \frac{5z - 4}{z - 1}$$

Mặt khác:

$$\begin{aligned} G_h(z) &= (1 - z^{-1})Z \left\{ \frac{G(s)}{s} \right\} = (1 - z^{-1})Z \left\{ \frac{1}{s(s+1)^2} \right\} = (1 - z^{-1})Z \left\{ \frac{1}{s} - \frac{1}{s+1} - \frac{1}{(s+1)^2} \right\} \\ &= (1 - z^{-1}) \left[\frac{z}{z-1} - \frac{z}{z-e^{-T}} - \frac{Tze^{-T}}{(z-e^{-T})^2} \right] = \frac{0.0902z + 0.0646}{(z - 0.6065)^2} \end{aligned}$$

Suy ra

$$G_k(z) = \frac{Y(z)}{R(z)} = \frac{G_c(z)G_h(z)}{1 + G_c(z)G_h(z)} = \frac{-0.2585z^{-3} - 0.0377z^{-2} + 0.4510z^{-1}}{-0.6263z^{-3} + 1.5432z^{-2} - 1.7620z^{-1} + 1}$$

Phương trình đặc trưng: $-0.6263 + 1.5432z - 1.7620z^2 + z^3 = 0$

Có 3 nghiệm: $0.8114 + 0.0000i$

$$0.4753 + 0.7389i$$

$$0.4753 - 0.7389i$$

đều nằm trong vòng tròn đơn vị nên hệ thống kín ổn định.

3.2 (Tính đáp ứng $y(k)$, ($k = 0 \div 8$) khi tín hiệu vào là hàm nấc đơn vị.

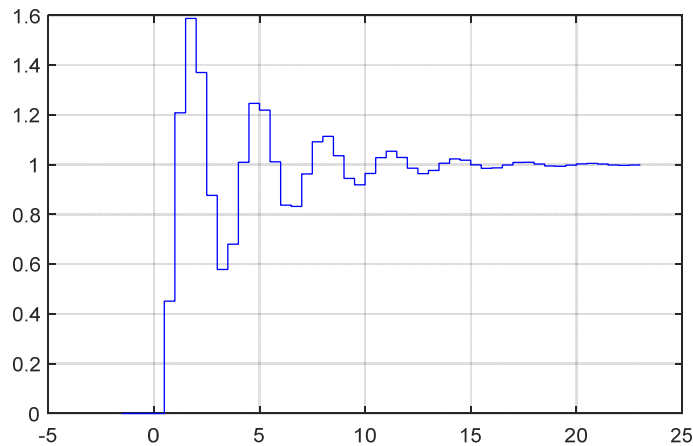
Từ hàm truyền kín ta có

$$y(k) = 0.6263y(k-3) - 1.5432y(k-2) + 1.7620y(k-1) - 0.2585r(k-3) - 0.0377r(k-2) + 0.4510r(k-1)$$

Điều kiện đầu: $y(-3) = y(-2) = y(-1) = 0$.

Tín hiệu vào là hàm nấc đơn vị nên $r(k) = 1$ với $k \geq 0$

Suy ra: $y(0:8) = [0 \quad 0.4510 \quad 1.2080 \quad 1.5873 \quad 1.3701 \quad 0.8760 \quad 0.5783 \quad 0.6800 \quad 1.0094]$



3.3 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.

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

$$POT = \frac{1.5873 - 1}{1} 100\% = 58.7\%$$

$$t_{qd}(5\%) = 11 \text{ sec}$$

Sai số xác lập: $e_{xl} = r_{xl} - y_{xl} = 1 - 1 = 0$

Cách 2: Tính gần đúng dựa vào cặp cực quyết định

$$z_{2,3} = 0.4753 \pm 0.7389i = 0.8786e^{\pm j0.9992} = e^{Ts} = e^{T(-\xi\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1-\xi^2})}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} e^{-T\xi\omega_n} = 0.8786 \\ T\omega_n\sqrt{1-\xi^2} = 0.9992 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \xi = 0.128 \\ \omega_n = 1.196 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} POT \approx \exp\left(-\frac{\xi\pi}{\sqrt{1-\xi^2}}\right) \cdot 100\% = 66.67\% \\ t_s \approx \frac{3}{\xi\omega_n} = 11.6 \text{ sec} \end{cases}$$

=====

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.

Bode Diagram

