RA	Nome	Assinatura

Observações: (a) Resolva as questões nas folhas de papel almaço e **copie o resultado**, quando possível, no **espaço apropriado**. (b) A avaliação é **sem consulta** a qualquer material didático ou equipamento eletrônico, como calculadora, palmtop, celular etc. Apenas lápis, caneta, régua e borracha são permitidos. (c) O tempo de duração da prova é de **100 minutos**. O oferecimento de um possível tempo adicional é prerrogativa do professor. (d) Todas as folhas de almaço deverão ser identificadas com **RA e nome**. (e) O processo de solução de todas as questões deverá **constar no almaço**, caso contrário as questões serão anuladas.

1ª Questão: Considere o sistema de controle apresentado na Figura 1 com as seguintes definições

$$C(s) = 1, \qquad P(s) = \frac{10}{s + 2\alpha}, \qquad F(s) = 1, \qquad (W(s) = V(s) = 0)$$

O valor nominal do parâmetro α é 1. Determine a *magnitude* da função de sensibilidade do sistema em malha fechada em relação a α em $s = j1$. A resposta deve ser expressa somente em termos de números reais.

1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	

2ª Questão: Considere o sistema de controle apresentado na Figura 1 com as seguintes definições

$$C(s) = k_c, \qquad P(s) = \frac{200}{s(s + 20)}, \qquad F(s) = \frac{1}{s + 10}, \qquad (W(s) = V(s) = 0)$$

(a) Determine o tipo do sistema.

(b) Determine o k_p (ganho de posição).

(c) Determine o e_d (erro ao degrau).

(d) Discuta a validade das respostas fornecidas em (b) e (c).

3ª Questão: Considere o sistema de controle apresentado na Figura 1. Determine, se existir, o erro de regime de saída y do sistema de controle em malha fechada em relação a uma entrada de referência do tipo degrau unitário, quando

$$C(s) = 1, \qquad P(s) = \frac{1}{s(s - 4)}, \qquad F(s) = 1, \qquad (W(s) = V(s) = 0)$$

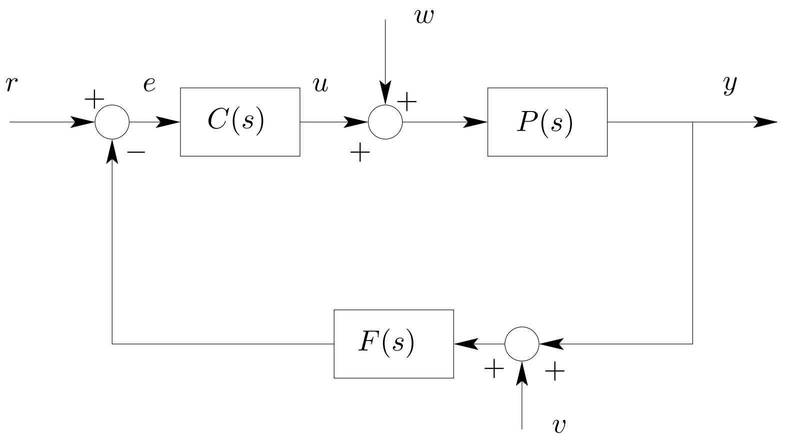


Figura 1: Sistema um-grau-de-liberdade.

4ª Questão: Um sistema de controle possui um ganho de malha $G(s)$ com raízes no semi-plano esquerdo (estável). O diagrama de Nyquist associado a $G(s)$ é mostrado na Figura 2.

(a) Supondo $a = -1 + j0$, verifique se o sistema é estável, marginalmente estável ou instável. Argumente a sua resposta (no almaço).

(b) Faça a mesma análise para $b = -1 + j0$.

(c) Faça a mesma análise para $c = -1 + j0$.

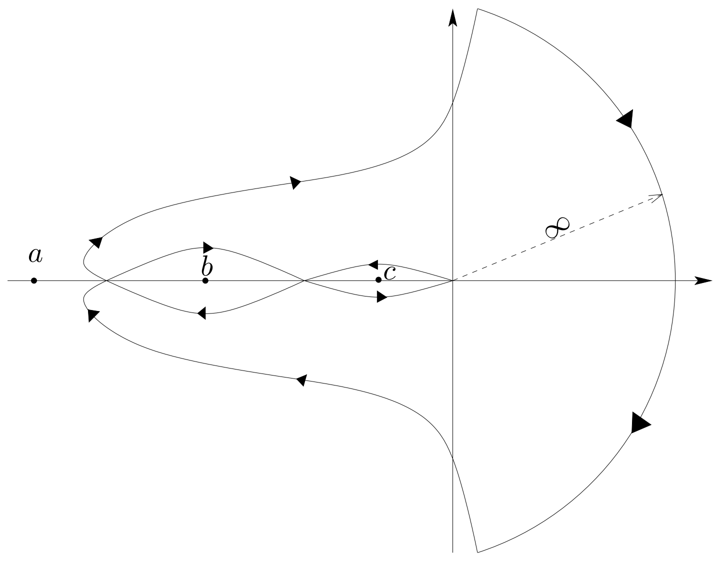


Figura 2: Diagrama de Nyquist associado a $G(s)$ da questão 4.

5ª Questão: Considere o sistema de controle apresentado na Figura 1 com as seguintes definições

$$C(s) = k, \qquad P(s) = \frac{(s+4)}{s(s+6)(s+7)(s+8)}, \qquad F(s) = 1, \qquad (W(s) = V(s) = 0)$$

(a) Determine k tal que exista um erro de 10% em regime permanente.

(b) Sob quais condições a resposta dada em (a) é valida.

6ª Questão: Considere o sistema de controle apresentado na Figura 1 com as seguintes definições

$$C(s) = k, \qquad P(s) = \frac{(s+6)^2}{s(s+1)^2}, \qquad F(s) = 1, \qquad (W(s) = V(s) = 0)$$

Determine os valores de k para que o sistema em malha fechada seja:

(a) Estável.

(b) Marginalmente estável.

(c) Instável.

7ª Questão: Considere o sistema de controle apresentado na Figura 1 com as seguintes definições

$$C(s) = 2k, \qquad P(s) = \frac{1}{(s-2)^2}, \qquad F(s) = 1, \qquad (W(s) = V(s) = 0)$$

Esboce o diagrama de Nyquist do sistema (no almaço), isto é, a curva $\mathcal{C}_G$ no plano $G(s)$ para uma escolha apropriada da curva $\mathcal{C}_s$ no plano s; $G(s)$ é o ganho de malha do sistema. Em seguida, usando o Critério de Nyquist, determine todos os valores de $k > 0$ para os quais o sistema de controle em malha fechada seja estável.

8ª Questão: Verifique para quais valores de x, y e k o polinômio

$$\Delta(s) = s^8 + xys^7 + (k-1)s^6 + \frac{k}{x}s^5 + yks^4 + 3s^3 + ks^2 + s + 2,$$

com as seguintes restrições adicionais $x > 0$, $k < 1$ e $y > 10$, é Hurwitz. Argumente a sua resposta (no almaço).

Formulário

- A tabela abaixo resume os valores dos erros de regime (para uma configuração em realimentação unitária) e das constantes de posição, velocidade e aceleração para as entradas degrau, rampa e parábola em função do tipo do sistema.

N	$1/s$	$1/s^2$	$1/s^3$	Constantes
0	$\frac{1}{1+K_p}$	∞	∞	$k_p = \lim_{s\to 0} C(s)P(s)$
1	0	$\frac{1}{k_v}$	∞	$k_v = \lim_{s\to 0} sC(s)P(s)$
2	0	0	$\frac{1}{k_a}$	$k_a = \lim_{s\to 0} s^2C(s)P(s)$

- Seja P o número de pólos do ganho de malha $G(s)$ dentro da região $\mathcal{C}_s$ e N o número de voltas em torno do ponto $-1+j0$ do mapeamento $\mathcal{C}_G$ obtido a partir de C_s e $G(s)$. Então Z, o número de zeros de $1+G(s)$ (que também são os pólos de malha fechada) é dado por

$$Z = N + P$$

Obs.: N positivo indica voltas no sentido horário.

- A função de sensibilidade de uma função de transferência $G(s)$ em relação a outra função de transferência $Q(s)$ é dada por

$$S_{Q(s)}^{G(s)} = \frac{\partial G(s)}{\partial Q(s)}\frac{Q(s)}{G(s)}$$

Gabarito

1.

$$S_\alpha^T = \frac{2}{\sqrt{145}} = \frac{2\sqrt{145}}{145} = \frac{\sqrt{24^2+2^2}}{145} = \frac{\sqrt{580}}{145}$$

2. Sistema de Tipo 0; $k_p = -\frac{10}{9}$; $e_d = -9$; Sistema em malha fechada deve ser estável.

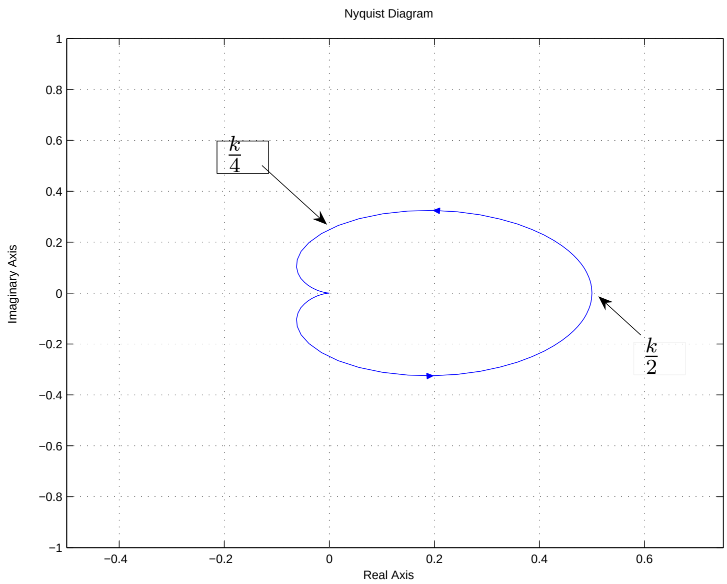
3. Raízes do sistema em malha fechada: $s_1 = 2 - \frac{\sqrt{12}}{2}$ e $s_2 = 2 + \frac{\sqrt{12}}{2}$. Como s_2 tem parte real positiva (sistema em malha fechada instável) não se aplica as análises de erros em regime.

4. Como o sistema em malha aberta é estável, $P = 0$. (a) $N = 0$ (zero voltas) $\Rightarrow Z = 0 + P = 0$ $\Rightarrow$ Estável. (b) $N = 2$ (duas voltas no sentido horário) $\Rightarrow Z = 2 + P = 2 \Rightarrow$ Instável. (c) $N = 0$ (1 volta no sentido horário e uma no sentido anti-horário) $\Rightarrow Z = -1 + 1 + P = 0 \Rightarrow$ Estável.

5. Como o sistema é do tipo 1 (um pólo na origem), para que exista um erro constante é necessário que a entrada seja uma rampa. (a) $k = 840$. (b) O sistema em malha fechada deve ser estável para o valor do ganho determinado em (a).

6. (a) $0 < k < \frac{1}{4}$, $k > \frac{2}{3}$; (b) $k = 0$, $k = \frac{1}{4}$, $k = \frac{2}{3}$; (c) $k < 0$, $\frac{1}{4} < k < \frac{2}{3}$;

7. P=2, N=0 $\Rightarrow Z = 0 + 2 = 2 \Rightarrow$ Instável para qualquer k.



8. Como $k < 1$ (restrição adicional) o coeficiente de s^6 nunca será positivo, logo o polinômio não pode ser Hurwitz para nenhum valor de x, y e k.