	CONCURSO ITA 2025 EDITAL: 01/ITA/2025 CARGO: PROFESSOR
PERFIL: MS-35	

CADERNO DE QUESTÕES

1. Esta prova tem duração de **4 (quatro) horas**.
2. Você poderá usar **apenas** caneta esferográfica de corpo transparente com tinta preta, lápis ou lapiseira, borracha, régua transparente simples e compasso. **É proibido portar qualquer outro material escolar ou equipamento eletrônico**.
3. Você recebeu este **caderno de questões e um caderno de respostas** que deverão ser devolvidos ao final do exame.
4. O caderno de questões é composto por **7 (sete) questões dissertativas**.
5. As **questões dissertativas devem ser respondidas exclusivamente no caderno de respostas**. Responda sequencialmente as questões, usando caneta preta.
6. **É obrigatória a devolução do caderno de questões e do caderno de respostas**, sob pena de desclassificação do candidato.
7. **Aguarde o aviso para iniciar a prova. Ao terminá-la, avise o fiscal e aguarde-o no seu lugar**.

Questão 1

(15 pontos)
Um veículo aeroespacial possui dinâmica de atitude simplificada no plano descrita por:

$$\dot{\mathbf{x}} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -4 & -3 \end{bmatrix}\mathbf{x} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}u, \quad y = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix}\mathbf{x}$$

onde x_1 representa o ângulo de atitude (rad), x_2 a velocidade angular (rad/s), u o torque de controle (N·m) e y é a medição do ângulo via sensor.
Projete um sistema de controle por realimentação de estados com integrador para rastreamento de referência de atitude, considerando:

- Polos desejados em malha fechada: $\{-2, -3, -5\}$
- Especificação: erro nulo em regime permanente para entrada degrau
- Lei de controle: $u = -K_a\mathbf{x}_a + Nr$ onde $\mathbf{x}_a = [\mathbf{x}^T\ z]^T$ e $z = \int(r-y)dt$

Na prática, apenas o ângulo de atitude é medido diretamente. Projete um observador de Luenberger de ordem completa para estimar a velocidade angular, com polos do observador em $\{-8, -9\}$.
Determine:

1. Determine os ganhos K_a e N.
2. O ganho do observador L
3. Os polos do sistema completo quando $u = -K_a\hat{\mathbf{x}}_a + Nr$ (usando estados estimados)
4. Justifique brevemente o princípio da separação aplicado neste contexto

Questão 2

(10 pontos)
Para $\dot{\mathbf{x}} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}\mathbf{x} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}u$, considere $J = \int_0^\infty (\mathbf{x}^\top Q\mathbf{x} + Ru^2)\,dt$ com $Q = I_2$, $R = 1$.

(a) Calcule o ganho K_{LQR}.

(b) Com $u = -K_{\text{LQR}}\mathbf{x}$, estime a margem de ganho.

(c) Suponha incerteza multiplicativa de ganho na planta de $\pm 20\%$. Essa margem é suficiente? Justifique.

Questão 3

(10 pontos)
Em uma experiência de levitação magnética um objeto metálico é mantido no ar suspenso a partir de um eletroímã. O deslocamento vertical do objeto é descrito pela seguinte equação diferencial não linear:

$$m\frac{d^2H}{dt^2} = mg - \frac{k}{2}\frac{I^2}{H^2} \tag{1}$$

sendo que:

- $m =$ massa do objeto metálico
- $g =$ aceleração da gravidade
- $k =$ uma constante positiva
- $H =$ distância entre o eletroímã e o objeto metálico (sinal de saída)
- $I =$ corrente do eletroímã (sinal de entrada)

(a) Obtenha a relação entre o ponto de equilíbrio para a distância entre o eletroímã e o objeto metálico H_0 e a corrente do eletroímã I_0.

(b) Linearize a equação em torno do ponto de equilíbrio encontrado no **Item a** e obtenha a função de transferência resultante.

Questão 4

(10 pontos)
Considere a seguinte equação de estado,

$$G : \begin{cases} \dot{x} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & -2 & 1 \\ -\theta & 0 & -1 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \theta \end{bmatrix} u \\ y = \begin{bmatrix} 0 & \theta & 1 \end{bmatrix} x \end{cases}$$

Para qual faixa de valores de θ, o sistema G é assintoticamente estável?

Questão 5

(10 pontos)
Um sistema escalar não linear $\dot{x} = x^2 + u$ deve ser estabilizado pelo seguinte controlador (na forma de função de transferência)

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = \frac{k(s+z)}{s(s+p)} \tag{2}$$

em que $\{k, z, p\}$ são parâmetros (ganhos) do controlador; $U(s)$ é a transformada de Laplace de u; e $E(s)$ é a transformada de Laplace de e. Note que e é o sinal de erro de referência $e = y - y_{\text{ref}}$, sendo que a referência é um sinal do tipo degrau. A saída medida é a variável de estado do sistema, $y = x$. Faça o que se pede:

(a) Apresente as equações do sistema em malha fechada no formato de equações de estados.

(b) Deduza o ponto de equilíbrio do sistema em malha fechada.

(c) Linearize o sistema em malha fechada por série de Taylor usando os pontos de equilíbrio encontrados no **Item b**.

(d) Obtenha o polinômio característico do sistema em malha fechada.

(e) Sabendo que para $\Delta = \lambda^3 + a_2\lambda^2 + a_1\lambda + a_0$, o critério de Routh–Hurwitz tem como condição não trivial de estabilidade $a_2 a_1 > a_0$. Verifique essa desigualdade em termos dos parâmetros $\{k, z, p\}$ do controlador.

Questão 6

(15 pontos)
Seja um mecanismo translacional horizontal de um grau de liberdade com dinâmica de movimento modelada pela 2ª lei de Newton, considerando a força de controle f como entrada e a posição x como saída. Considere que o mecanismo tenha uma massa $m = 2\,\text{kg}$ e despreze os atritos.
Projete um controlador PID $C(s) \triangleq F(s)/E(s) = k_P + k_I/s + k_D s$, onde s é a variável complexa da transformada de Laplace (TL), $F(s)$ é a TL de f e $E(s)$ é a TL do erro de controle, tal que:

1. todos os ganhos k_P, k_I e k_D sejam positivos; e
2. o sistema em malha fechada não tenha resposta oscilatória quando excitado por um degrau.

Questão 7

(30 pontos)
Considere um servomecanismo eletromecânico para controle de ângulo de uma superfície aerodinâmica de uma aeronave. Ver diagrama esquemático na figura abaixo. O sistema é composto de um motor de corrente contínua escovado, de uma superfície de controle e o eixo que a acopla ao motor, um controlador e um circuito amplificador de corrente (*drive*). Na figura, θ é a deflexão da superfície de controle, τ é o torque gerado pelo motor, i é a corrente de armadura do motor e u é o sinal de controle (variável manipulada).

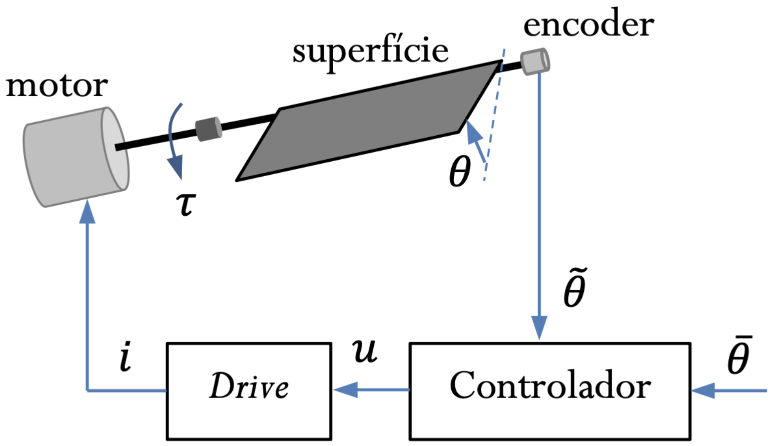

Figura 1: Diagrama esquemático do servomecanismo eletromecânico

Suponha que: 1) o amplificador forneça corrente $i = k_a u$; 2) o motor gere um torque $\tau = k_m i$; 3) a superfície de controle esteja sujeita a um torque de arrasto proporcional à sua velocidade angular $\dot{\theta}$, com coeficiente de proporcionalidade b; 4) que o mecanismo, incluindo o eixo e rotor do motor, tenha momento de inércia J; e que 5) distúrbios desconhecidos, incertezas de modelo e ruídos de medidas sejam desprezíveis.
Considere que a lei de controle implementada no controlador seja do tipo proporcional-derivativa (P-D), com a ação derivativa posta na realimentação e ganhos proporcional e derivativo dados por $k_p = 10$ e $k_d = 1$, respectivamente. Sabe-se que foi realizado um experimento com esse sistema, em que se aplicou um degrau unitário em $\bar{\theta}$ e se mediu na resposta θ uma máxima ultrapassagem de 20% e um tempo de acomodação de 4 segundos (2%) ($\omega_n \approx 2,19$ rad/s, $\zeta \approx 0,45$).
Pede-se para projetar um controlador por realimentação de estados observados, para substituir o atual P-D, de forma que o sistema resultante tenha dois autovalores em -1 e dois em -10 e tenha erro em regime permanente nulo para uma entrada $\bar{\theta}$ do tipo degrau de amplitude arbitrária.

RASCUNHO

RASCUNHO