Sinais e Sistemas Mecatrónicos

LEMec / LEAN. Professor responsável: Carlos Cardeira

Exame, 2.º Semestre 2025/2026 (2 horas, 20 perguntas, 1 valor cada)

1 de julho de 2026 **Versão 017**

Nome completo: _____

Número: ☐☐☐☐☐☐

Instruções

- **Identifique todas as folhas** (incluindo esta) com o seu número e nome nos campos assinalados.
- Pode **desagrafar** e entregar as folhas soltas. Faça-o com cuidado, para não rasgar as folhas nem dificultar a leitura pelo scanner automático.
- Prova sem consulta, exceto um máximo de seis páginas A4 (incluindo o formulário) que traga já preenchidas com o que achar necessário, **exceto exercícios ou exames resolvidos**.
- Escreva **a caneta** (azul ou preta).
- Só é permitido o uso de calculadoras com as **funções básicas de uma calculadora científica** (não são permitidas calculadoras programáveis, gráficas, nem com acesso a internet ou IA).
- **Cada pergunta vale 1 valor**; a cotação de cada grupo é igual ao seu número de perguntas.
- **Respostas numéricas:** escreva cada valor em **notação científica** nas células, com sinal, um algarismo, ponto, duas casas decimais e, à direita de $\times 10$, o expoente (sinal e algarismo). Exemplos: $810 = +8{,}10 \times 10^{+2}$; $0{,}0195 = +1{,}95 \times 10^{-2}$; $45 = +4{,}50 \times 10^{+1}$. Para ordem ou contagem (n, n.º de polos) escreva o inteiro.
- Em campos de inteiros com mais quadrados do que algarismos (como o n.º de níveis), escreva os algarismos **juntos**, alinhados à esquerda ou à direita como preferir, deixando vazias as células que sobrarem.
- Para **emendar uma resposta numérica**, risque as células com o valor errado e escreva o valor corrigido, em notação científica, ao lado; as emendas são conferidas à mão.
- **Escolha múltipla:** preencha por completo o círculo da opção correta. Para emendar, risque o círculo errado com um X e preencha o correto, valendo o círculo preenchido que não está riscado.
- Use bem o **rascunho**. **Só é avaliado o que está dentro do retângulo de resolução e nas células ou círculos**; o que escrever fora não conta. Passe para a folha as respostas numéricas e os círculos preenchidos, e escreva a resolução no retângulo de forma sintética, como no exame resolvido.
- O docente só deve ser chamado quando o **enunciado** suscitar dúvida; havendo ambiguidade ou gralha, fará uma comunicação a toda a sala. Não são autorizadas perguntas como: «não me lembro desta fórmula, é mais ou menos assim?»; «como é que isto se resolve? assim está certo?»; «justifiquei assim, chega ou tenho de escrever mais?».

Grupo 1. Aquário (sistema de 1.ª ordem) (4 valores)

Um aquário tem de ser aquecido antes de receber peixes tropicais. O aquecedor liga-se à meia-noite ($t = 0$) e a temperatura segue um sistema de 1.ª ordem, do balanço térmico $C\dot{T} = P - (T - T_{amb})/R$ (com perdas para o ambiente). **Dados:** $R = 0{,}50$ °C/W, $C = 27\,000$ J/°C, $P = 22{,}5$ W, $T_{amb} = 16{,}0$ °C; temperatura inicial $T_0 = 16{,}0$ °C. (1 h = 3600 s.)

Q1.1. Determine a temperatura de regime permanente T_{ss} e a constante de tempo τ (em horas).

Resposta final:

$T_{ss} =$ ± □□.□□ $\times 10^{\pm\,\square\square}$ °C

$\tau =$ ± □□.□□ $\times 10^{\pm\,\square\square}$ h

Q1.2. Só se podem introduzir os peixes quando a temperatura ultrapassa $T_{lim} = 24{,}3$ °C. Determine o instante t (em horas após a meia-noite) em que esse limiar é atingido.

Resposta final:

$t =$ ± □□.□□ $\times 10^{\pm\,\square\square}$ h

Q1.3. As entregas de peixes só se fazem a horas certas (05:00, 06:00, ...). A que hora certa (indique o número da hora) deve ser agendada a entrega?

Resposta final:

hora = □□ (h)

Q1.4. Que percentagem da subida total de temperatura (de T_0 a T_{ss}) está atingida ao fim de $t = 0{,}5\,\tau$?

Resposta final:

fração = $\pm\square\square.\square\square \times 10^{\pm\square\square}$ %

Grupo 2. Sistema de 2.ª ordem: tempo e frequência (5 valores)

Considere o sistema de 2.ª ordem

$$G(s) = \frac{32}{s^2 + 3{,}5\,s + 16}.$$

Q2.1. Determine a frequência natural ω_n, o coeficiente de amortecimento ξ e o ganho estático K_{dc}.

Resposta final:

$\omega_n = \pm\square\square.\square\square \times 10^{\pm\square\square}$ rad/s

$\xi = \pm\square\square.\square\square \times 10^{\pm\square\square}$

$K_{dc} = \pm\square\square.\square\square \times 10^{\pm\square\square}$

Q2.2. ***(Resposta no tempo.)*** **Para um degrau, determine o sobreimpulso M_p (em %) e o tempo de pico t_p.**

Resposta final:

$M_p = \square^{\pm}\square\square.\square\square \times 10^{\square^{\pm}\square\square}$ %

$t_p = \square^{\pm}\square\square.\square\square \times 10^{\square^{\pm}\square\square}$ s

Q2.3. ***(Resposta na frequência.)*** **Determine a sobreelevação M_r na curva de amplitude (em dB, sobre o ganho estático) e a frequência de ressonância ω_r.**

Resposta final:

$M_r = \square^{\pm}\square\square.\square\square \times 10^{\square^{\pm}\square\square}$ dB

$\omega_r = \square^{\pm}\square\square.\square\square \times 10^{\square^{\pm}\square\square}$ rad/s

Q2.4. Determine a frequência natural amortecida ω_d da resposta ao degrau.

Resposta final:

$\omega_d = \square^{\pm}\square\square.\square\square \times 10^{\square^{\pm}\square\square}$ rad/s

Q2.5, escolha múltipla. Sobre os limiares de amortecimento de um sistema de 2.ª ordem, é correto afirmar:

◯ (A) Há sobreimpulso se $\xi < \frac{1}{\sqrt{2}}$; há sobreelevação se $\xi < 1$.

◯ (B) Tanto o sobreimpulso como a sobreelevação ocorrem para $\xi < 1$.

◯ (C) Há sobreimpulso na resposta ao degrau se $\xi < 1$; há sobreelevação (ressonância) na curva de amplitude se $\xi < \frac{1}{\sqrt{2}}$.

◯ (D) Tanto o sobreimpulso como a sobreelevação ocorrem para $\xi < \frac{1}{\sqrt{2}}$.

◯ (E) Nenhuma das anteriores.

Grupo 3. Malha fechada: estabilidade e erro (4 valores)

Sistema em malha fechada com realimentação unitária, controlador proporcional de ganho K e processo, com função de transferência de malha aberta

$$L(s) = \frac{K}{s\,(s+2)\,(s+10)}.$$

Q3.1. Pela tabela de Routh-Hurwitz, determine o ganho crítico K_{crit} acima do qual a malha fechada se torna instável.

Resposta final:

$K_{crit} =$ $\square^{\pm}\square\square.\square\square \times 10^{\square^{\pm}\square\square}$

Q3.2. Para $K = 96$, determine a constante de erro de velocidade K_v e o erro estacionário a uma rampa unitária.

Resposta final:

$K_v =$ $\square^{\pm}\square\square.\square\square \times 10^{\square^{\pm}\square\square}$

$e_\infty =$ $\square^{\pm}\square\square.\square\square \times 10^{\square^{\pm}\square\square}$

Q3.3. Para $K = 480$, construa a tabela de Routh e indique o número de polos instáveis.

Resposta final:

n.º de polos instáveis = $\square$

Q3.4, escolha múltipla. Na tabela de Routh-Hurwitz, o número de mudanças de sinal ao longo da primeira coluna é igual a:

- ◯ (A) o número de polos na origem.
- ◯ (B) a ordem do sistema menos um.
- ◯ (C) o número total de polos do sistema.
- ◯ (D) o número de polos no semiplano complexo direito (polos instáveis).
- ◯ (E) Nenhuma das anteriores.

Grupo 4. Filtros e cadeia de medida (4 valores)

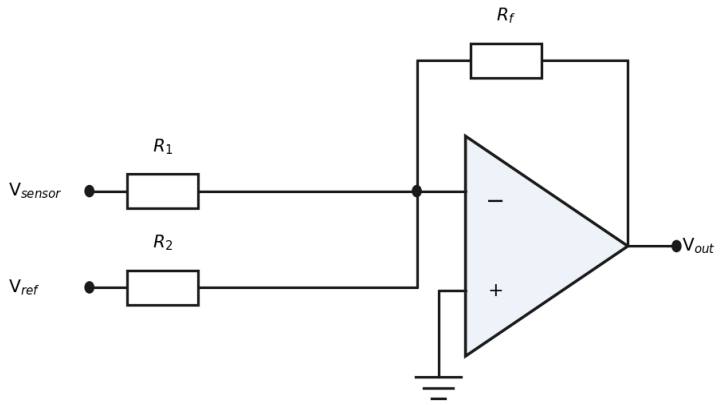
Q4.1. Para atenuar ruído usa-se um filtro passa-baixo de 2.ª ordem com polo duplo real, $H(s) = \dfrac{\omega_c^2}{(s+\omega_c)^2}$, com $f_c = 400$ Hz. O sinal útil vai até $f_1 = 40$ Hz e há ruído a $f_2 = 5{,}0$ kHz. Determine (a) a percentagem do sinal a f_1 que passa e (b) a atenuação (em dB) ao ruído a f_2.

Resposta final:

$|H(f_1)| =$ $\square^{\pm}\square\square.\square\square \times 10^{\square^{\pm}\square\square}$ %

atenuação = $\square^{\pm}\square\square.\square\square \times 10^{\square^{\pm}\square\square}$ dB

Q4.2. Um sensor de deslocamento tem sensibilidade 25 mV/mm e mede de 0 a 100 mm. A saída é amplificada pelo amplificador não-inversor da figura ($R_1 = 1{,}2$ kΩ) de modo a atingir 5 V no final de escala. Determine o ganho de tensão e a resistência R_2.



Resposta final:

ganho = $\square\square.\square\square \times 10^{\square\square}$

$R_2 = \square\square.\square\square \times 10^{\square\square}$ kΩ

Q4.3. O sinal amplificado (gama 0 a 5 V) entra num conversor A/D de 10 bits com tensão de referência 5 V. Determine (a) a resolução em tensão e (b) a resolução referida ao deslocamento.

Resposta final:

$\Delta V = \square\square.\square\square \times 10^{\pm\square\square}$ V

$\Delta x = \square\square.\square\square \times 10^{\pm\square\square}$ mm

Q4.4. Pretende-se distinguir variações de deslocamento de 0,020 mm em toda a gama de 0 a 100 mm. Determine o número mínimo de bits do conversor A/D e o número de níveis correspondente.

Resposta final:

$n = \square\square$ (bits)

n.º de níveis = $\square\square\square\square\square$

Grupo 5. Questões teóricas (3 valores)

Q5.1, escolha múltipla. Num sistema de 2.ª ordem sub-amortecido, sobre a relação entre a resposta no tempo e na frequência, é correto:

◯ (A) O sobreimpulso no tempo e a sobreelevação em frequência só ocorrem para $\xi > 1$.

◯ (B) Quanto maior o amortecimento ξ, maior a sobreelevação M_r.

◯ (C) A frequência de ressonância ω_r é sempre igual à frequência natural ω_n.

◯ (D) Verifica-se $\omega_r < \omega_d < \omega_n$, onde ω_d é a frequência natural amortecida.

◯ (E) Nenhuma das anteriores.

Q5.2, escolha múltipla. Numa cadeia de medida com sensor, condicionador e conversor A/D, é correto:

◯ (A) O ruído de quantização diminui com o aumento do período de amostragem.

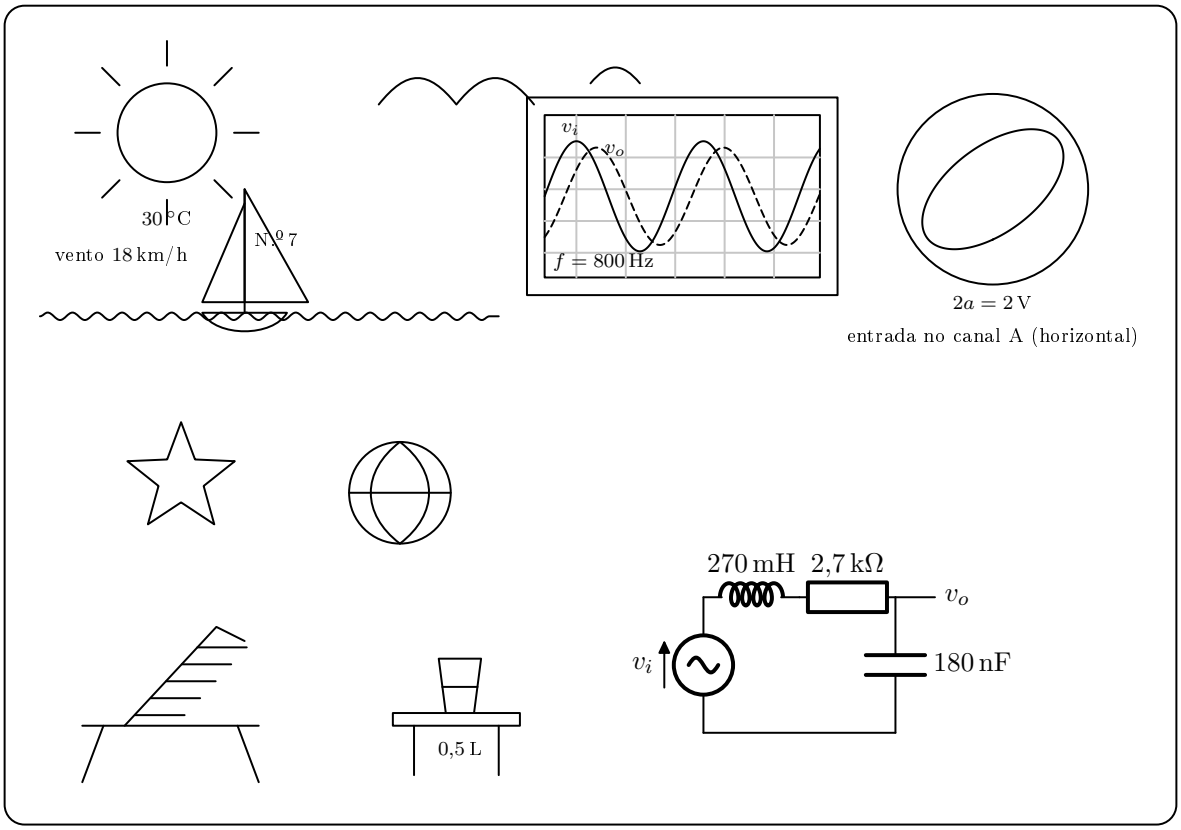
◯ (B) Aumentar o n.º de bits do conversor melhora sempre a precisão, mesmo com um sensor pouco linear.

◯ (C) A resolução final da medida é sempre a do conversor A/D, independentemente do sensor.

◯ (D) Condicionar o sinal para ocupar toda a gama do conversor melhora o aproveitamento dos códigos e a resolução efetiva.

◯ (E) Nenhuma das anteriores.

Q5.3. **A cena parece apenas decorativa, mas alguns dos seus elementos, e só esses, descrevem a mesma experiência física. Identifique-os e ignore o resto (incluindo os números que não interessam). O índice a refere-se à entrada e b à saída. Com os valores indicados na figura, determine: (a) a amplitude pico-a-pico do sinal de saída, $2b$; (b) o desfasamento φ (em graus) da saída em relação à entrada; (c) o atraso no tempo Δt da saída em relação à entrada.**



Resposta final:

$2b =$ $\square\square.\square\square \times 10^{\square\square}$ V

$\varphi =$ $\square\square.\square\square \times 10^{\square\square}$ °

$\Delta t =$ $\square\square.\square\square \times 10^{\square\square}$ ms