



Sinais e Sistemas Mecatrónicos

LEMec / LEAN. Professor responsável: Carlos Cardeira

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

9 de setembro de 2026 **Versão 008**

Nome completo: _____

Número:

--	--	--	--	--	--

Instruções

- **Identifique todas as folhas** (incluindo esta) com o seu número e nome nos campos assinalados.
- Pode **desagrar** 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 **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.
- As perguntas são **independentes**: cada uma resolve-se apenas com os dados do próprio enunciado, mesmo que não tenha resolvido a anterior.
- 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?».

Cotações

Grupo	1	2	3	4	5	Total
Perguntas	4	4	4	4	4	20
Valores	4	4	4	4	4	20





Grupo 1. Sinais, sistemas e resposta no tempo

(4 valores)

Q1.1. A resposta impulsional de um sistema é $h(t) = 6e^{-2t} - 2e^{-15t}$, com t em segundos e $t \geq 0$. Determine o valor para o qual tende a resposta desse sistema a um degrau unitário e o número de zeros da sua função de transferência.

Resposta final:

valor final = $\boxed{}^{\pm} \boxed{} \cdot \boxed{} \boxed{} \times 10^{\boxed{}^{\pm} \boxed{}}$

n.º de zeros = $\boxed{}$

Q1.2. Um sistema tem função de transferência $G(s) = \frac{4(1-1s)}{s+1}$, com s em rad/s. Aplica-se um degrau unitário na entrada. Determine o valor da saída imediatamente após a aplicação do degrau, $y(0^+)$, e o instante em que a saída passa por zero.

Resposta final:

$y(0^+) = \boxed{}^{\pm} \boxed{} \cdot \boxed{} \boxed{} \times 10^{\boxed{}^{\pm} \boxed{}}$

$t = \boxed{}^{\pm} \boxed{} \cdot \boxed{} \boxed{} \times 10^{\boxed{}^{\pm} \boxed{}} \text{ s}$





Q1.3. Um sistema tem função de transferência $G(s) = \frac{2,0}{1 + 0,40s}$, com s em rad/s. À entrada aplica-se o sinal de um gerador que vale 2,5 V entre $t = 0$ e $t = 0,50$ s e é nulo fora desse intervalo. Determine o valor máximo da saída e o instante, contado desde $t = 0$, em que, na descida, a saída atinge novamente 1,5 V.

Resposta final:

$$y_{\max} = \boxed{}^{\pm} \boxed{} \boxed{} \boxed{} \times 10^{\boxed{}^{\pm} \boxed{}} \text{ V}$$

$$t = \boxed{}^{\pm} \boxed{} \boxed{} \boxed{} \times 10^{\boxed{}^{\pm} \boxed{}} \text{ s}$$

Q1.4, escolha múltipla. Considere quatro situações: (i) uma alavanca, cuja saída é proporcional à entrada no mesmo instante; (ii) um avião cuja massa diminui à medida que queima combustível; (iii) uma torneira ligada a uma saída distante, em que o caudal na saída é o da torneira Δ segundos antes; (iv) a velocidade do vento num dado local.

É correto afirmar:

- ☐ (A) (ii) e (iv) são do mesmo tipo, ambos variantes no tempo, e (i) e (iii) são estáticos.
- ☐ (B) Os quatro são lineares e invariantes no tempo, e descrevem-se todos por uma função de transferência.
- ☐ (C) (i) é dinâmico, pois a saída depende da entrada; (ii) é invariante; (iii) é estático; (iv) é determinístico.
- ☐ (D) (i) é estático e linear; (ii) é variante no tempo; (iii) é dinâmico; (iv) é estocástico.
- ☐ (E) Nenhuma das anteriores.

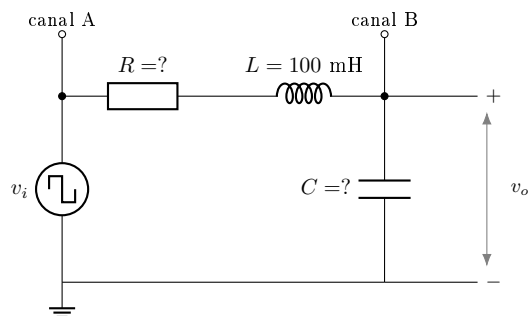




Grupo 2. Do ensaio ao modelo

(4 valores)

Q2.1. O circuito da figura é o circuito RLC série do laboratório, alimentado por uma onda quadrada que funciona como degrau repetido, com a bobina de 100 mH e a tensão de saída medida aos terminais do condensador. No ecrã do osciloscópio, essa tensão oscila em torno do valor final com período $T = 1,08$ ms, e a envolvente dessas oscilações reduz-se a metade do seu valor inicial ao fim de 0,85 ms. Determine a capacidade C do condensador e a resistência total R do circuito.



Resposta final:

$$C = \begin{array}{|c|c|} \hline \pm \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|c|} \hline \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|c|} \hline \\ \hline \end{array} \times 10^{\begin{array}{|c|c|} \hline \pm \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|c|} \hline \\ \hline \end{array}} \text{ F}$$

$$R = \begin{array}{|c|c|} \hline \pm \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|c|} \hline \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|c|} \hline \\ \hline \end{array} \times 10^{\begin{array}{|c|c|} \hline \pm \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|c|} \hline \\ \hline \end{array}} \Omega$$





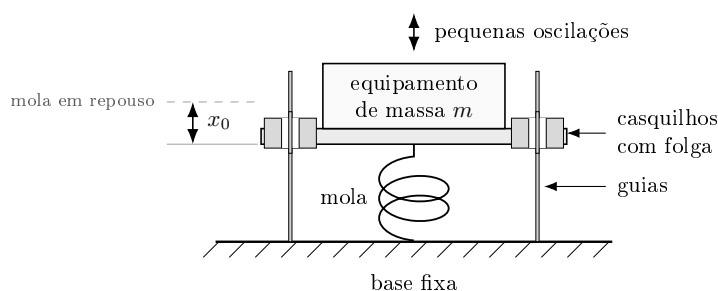
Q2.2. Ensaaiou-se um filtro passa-baixo de 1.^o ordem, de ganho unitário às baixas frequências. A 250 Hz observou-se que a saída está atrasada 15,0° em relação à entrada. Determine a frequência de corte do filtro e o atraso temporal correspondente a esse desfasamento, à frequência de 250 Hz.

Resposta final:

$$f_c = \boxed{}^{\pm} \boxed{} \boxed{} \boxed{} \times 10^{\boxed{}^{\pm} \boxed{}} \text{ Hz}$$

$$\Delta t = \boxed{}^{\pm} \boxed{} \boxed{} \boxed{} \times 10^{\boxed{}^{\pm} \boxed{}} \text{ s}$$

Q2.3. Um equipamento assenta numa mola não linear, cuja força obedece a $F = k_1 x + k_3 x^3$, com $k_1 = 1,50 \times 10^4 \text{ N/m}$ e $k_3 = 3,00 \times 10^5 \text{ N/m}^3$, sendo x a compressão em metros. Em repouso o equipamento, de massa 454 kg, comprime a mola $x_0 = 0,180 \text{ m}$, como mostra a figura. Determine a rigidez que a mola apresenta às pequenas variações em torno desse ponto e a frequência das pequenas oscilações verticais do equipamento.



Resposta final:

$$k_{eq} = \boxed{}^{\pm} \boxed{} \boxed{} \boxed{} \times 10^{\boxed{}^{\pm} \boxed{}} \text{ N/m}$$

$$\omega_n = \boxed{}^{\pm} \boxed{} \boxed{} \boxed{} \times 10^{\boxed{}^{\pm} \boxed{}} \text{ rad/s}$$





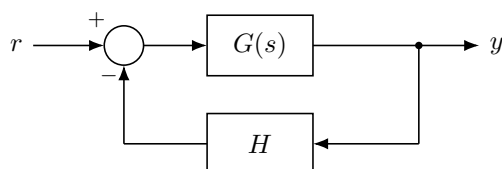
Q2.4, escolha múltipla. Uma função de transferência $G(s) = N(s)/D(s)$, com $N(s)$ e $D(s)$ sem fatores comuns, tem o numerador de grau 2 e o denominador de grau 3. É correto afirmar:

- ☐ (A) É estritamente própria, com dois polos e três zeros.
- ☐ (B) É estritamente própria e tem ordem 5, soma dos graus de N e de D .
- ☐ (C) É própria mas não estritamente própria, com três polos e dois zeros.
- ☐ (D) É estritamente própria, tem ordem 3, três polos e dois zeros.
- ☐ (E) Nenhuma das anteriores.

Grupo 3. Malha fechada e estabilidade

(4 valores)

Q3.1. Um sistema tem no ramo direto $G(s) = \frac{20}{s+3}$ e fecha-se em malha com um bloco de retorno de ganho constante H , que entra com sinal negativo no somador, como mostra a figura. Pretende-se que, para uma entrada em degrau, a saída estabilize em 0,80 vezes o valor da entrada. Determine o ganho H do bloco de retorno e a constante de tempo da malha fechada.



margem de sacrifício (agrafear; será cortada)

Resposta final:

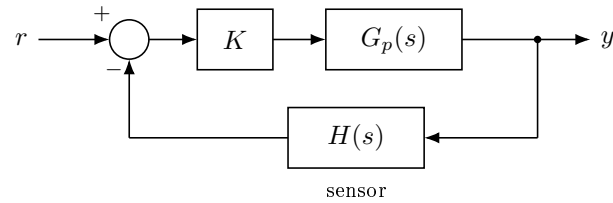
$$H = \begin{array}{|c|} \hline \pm \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline \\ \hline \end{array} \times 10^{\begin{array}{|c|} \hline \pm \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline \\ \hline \end{array}}$$

$$\tau = \begin{array}{|c|} \hline \pm \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline \\ \hline \end{array} \times 10^{\begin{array}{|c|} \hline \pm \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline \\ \hline \end{array}} \text{ s}$$





Q3.2. Uma malha de posição tem no ramo direto o ganho $K = 100$ seguido da planta $G_p(s) = \frac{25}{s(s+10)}$, e realimenta a posição medida por um sensor que não é instantâneo: comporta-se como um sistema de 1.^o ordem de ganho unitário e constante de tempo τ , ou seja $H(s) = \frac{1}{1+\tau s}$. A malha é a da figura. Determine o valor de τ acima do qual a malha se torna instável.



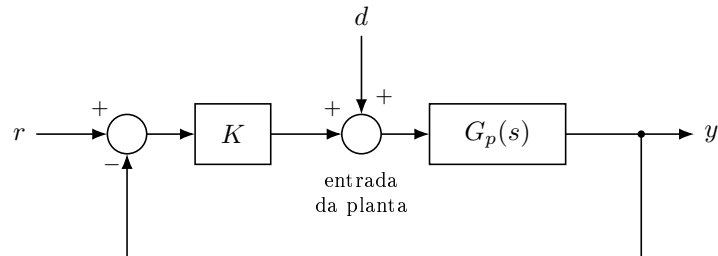
Resposta final:

$$\tau = \boxed{}^{\pm} \boxed{} \boxed{} \boxed{} \times 10^{\boxed{}^{\pm} \boxed{}} \text{ s}$$





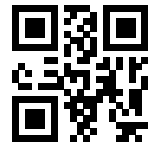
Q3.3. Numa malha de posição com ganho proporcional $K = 20$ no ramo direto, planta $G_p(s) = \frac{40}{s(s+20)}$ e realimentação unitária com sensor ideal, a referência é mantida a zero. À entrada da planta, depois do ganho, soma-se uma perturbação constante de valor 4,00, com o sinal indicado na figura. Determine o valor da saída em regime permanente.



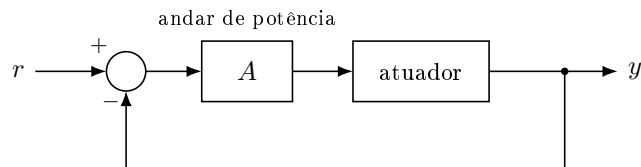
Resposta final:

$$y_{\infty} = \boxed{}^{\pm} \boxed{} \cdot \boxed{} \boxed{} \times 10^{\boxed{}^{\pm} \boxed{}}$$





Q3.4. O andar de potência de uma malha tem ganho nominal $A = 20$, mas o fabricante só o garante com uma tolerância de -30% , isto é, com o aquecimento pode descer até 14. O andar está no ramo direto, seguido do atuador, de função de transferência $\frac{1}{1 + 0,50s}$, e a malha é fechada com realimentação unitária, como mostra a figura. À entrada aplica-se um degrau. Determine de quanto desce, em percentagem do valor nominal, o valor da saída em regime permanente quando o ganho do andar cai de 20 para 14, e o ganho nominal mínimo para que essa descida não exceda $0,25\%$, com a mesma tolerância de -30% . Nas duas alíneas, calcule exatamente, sem aproximação de pequenas variações.



Resposta final:

$$\text{descida} = \boxed{\pm} \boxed{} \boxed{} . \boxed{} \boxed{} \times 10^{\boxed{\pm} \boxed{} \boxed{}} \%$$

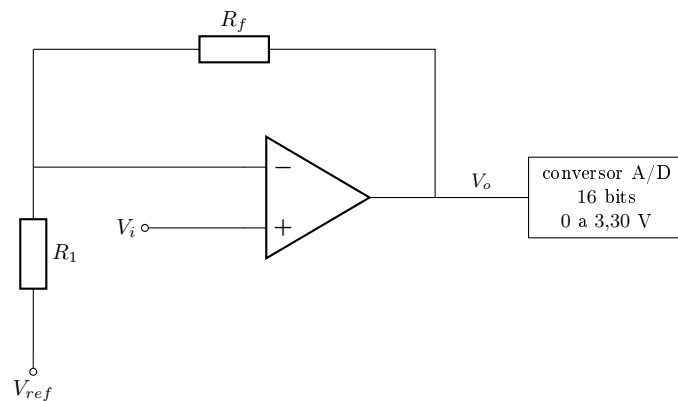
$$A_{\min} = \boxed{\pm} \boxed{} \boxed{} . \boxed{} \boxed{} \times 10^{\boxed{\pm} \boxed{} \boxed{}}$$





Grupo 4. Cadeia de medida: condicionamento, filtragem e calibração (4 valores)

Q4.1. Um andar de condicionamento já montado, o da figura, usa um amplificador operacional em montagem não inversora com deslocamento de nível: o sinal entra na entrada não inversora e a resistência R_1 liga a entrada inversora a uma tensão de referência V_{ref} , em vez de à massa. Os componentes são $R_f = 27 \text{ k}\Omega$, $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ e $V_{ref} = 1,200 \text{ V}$. A jusante está um conversor A/D de 16 bits cuja gama de entrada vai de 0 a 3,30 V. Determine a gama de tensões V_i que leva o conversor do código zero ao final de escala.



Resposta final:

$$V_{i,\min} = \boxed{}^{\pm} \boxed{} \boxed{} \boxed{} \times 10^{\boxed{}^{\pm} \boxed{}} \text{ V}$$

$$V_{i,\max} = \boxed{}^{\pm} \boxed{} \boxed{} \boxed{} \times 10^{\boxed{}^{\pm} \boxed{}} \text{ V}$$





Q4.2. O sinal de um sensor está contaminado pela interferência da rede a 50 Hz. Interpõe-se um filtro RC passa-baixo de 1.^o ordem, com um condensador de 220 nF, e exige-se que a interferência fique pelo menos 20,0 dB abaixo do que estava. Da série E12 (10, 12, 15, 18, 22, 27, 33, 39, 47, 56, 68, 82 e os seus múltiplos de dez), determine o menor valor de resistência que cumpre esse requisito e a atenuação que, com essa resistência, o filtro dá de facto aos 50 Hz, expressa em dB como valor positivo.

Resposta final:

$$R = \boxed{}^{\pm} \boxed{} \boxed{} \boxed{} \times 10^{\boxed{}^{\pm} \boxed{}} \Omega$$

$$\text{atenuação} = \boxed{}^{\pm} \boxed{} \boxed{} \boxed{} \times 10^{\boxed{}^{\pm} \boxed{}} \text{ dB}$$

Q4.3. Uma cadeia de medida de pressão termina num conversor A/D de 10 bits com tensão de referência 2,048 V. Na calibração, com o depósito à pressão atmosférica (0 bar relativos) o conversor deu a leitura 150; com o depósito a 160,0 bar deu a leitura 800. A cadeia é linear entre esses dois pontos. Determine a sensibilidade da cadeia, em mV/bar, e a pressão a que corresponde uma leitura de 500.

Resposta final:

$$\text{sensibilidade} = \boxed{}^{\pm} \boxed{} \boxed{} \boxed{} \times 10^{\boxed{}^{\pm} \boxed{}} \text{ mV/bar}$$

$$p = \boxed{}^{\pm} \boxed{} \boxed{} \boxed{} \times 10^{\boxed{}^{\pm} \boxed{}} \text{ bar}$$





Q4.4, escolha múltipla. Numa cadeia de medida, é correto afirmar:

- ☐ (A) A sensibilidade de um sensor é o menor valor da grandeza que ele consegue distinguir, e obtém-se dividindo a gama de medida pelo número de níveis do conversor colocado a jusante dele.
- ☐ (B) A resolução de um conversor de n bits e gama $V_{\min}$ a $V_{\max}$ é $(V_{\max} - V_{\min})/2^n$; a precisão da cadeia pode ser majorada somando as contribuições dos componentes, e não compensa afiná-la além dela.
- ☐ (C) Resolução e precisão são a mesma coisa: aumentar o número de bits do conversor torna sempre a medida mais exata, qualquer que seja o sensor e qualquer que seja o condicionamento a montante dele.
- ☐ (D) Calibrar é aumentar o ganho do condicionador até a saída ocupar toda a gama do conversor, e é isso, e não o sensor, que fixa a exatidão com que a cadeia mede a grandeza física à entrada.
- ☐ (E) Nenhuma das anteriores.

Grupo 5. Qualidade da medida, sensores e atuadores

(4 valores)

Q5.1. Um sensor de posição entrega uma tensão proporcional ao deslocamento e tem uma impedância de saída de $82\text{ k}\Omega$. Liga-se a sua saída diretamente à entrada de um sistema de aquisição, cuja impedância de entrada é de $150\text{ k}\Omega$. Determine a percentagem do valor verdadeiro que o sistema de aquisição lê e a impedância de saída máxima que o sensor poderia ter para que essa leitura fosse de pelo menos $98,0\%$ do valor verdadeiro.

Resposta final:

$$\text{leitura} = \begin{array}{c} \pm \\ \boxed{} \boxed{} . \boxed{} \boxed{} \end{array} \times 10^{\begin{array}{c} \pm \\ \boxed{} \boxed{} \end{array}} \%$$

$$R_{s,\max} = \begin{array}{c} \pm \\ \boxed{} \boxed{} . \boxed{} \boxed{} \end{array} \times 10^{\begin{array}{c} \pm \\ \boxed{} \boxed{} \end{array}} \Omega$$





Q5.2. Para medir uma pressão que ronda os 16,0 bar existem dois manómetros na oficina, ambos de gama 0 a 160 bar. O manómetro A tem uma precisão de 0,5% do final de escala; o manómetro B tem uma precisão de 2% da leitura. Determine o erro relativo, em percentagem da leitura, com que o manómetro A mede os 16,0 bar, e a pressão acima da qual o manómetro A passa a ser o mais rigoroso dos dois.

Resposta final:

$$\text{erro relativo de A} = \boxed{}^{\pm} \boxed{} \boxed{} \boxed{} \times 10^{\boxed{}^{\pm} \boxed{}} \%$$

$$p = \boxed{}^{\pm} \boxed{} \boxed{} \boxed{} \times 10^{\boxed{}^{\pm} \boxed{}} \text{ bar}$$

Q5.3. Um motor de corrente contínua de íman permanente obedece a $V = Ri + L di/dt + K_e \omega$ e a $J d\omega/dt = K_t i - B\omega - T_L$. Os seus valores são $R = 3,00 \, \Omega$, $L = 2,00 \, \text{mH}$, $K_t = K_e = 8,00 \times 10^{-2}$ em unidades SI, $J = 8,00 \times 10^{-3} \, \text{kg m}^2$ e $B = 2,00 \times 10^{-4} \, \text{N m s/rad}$. Aplica-se uma tensão constante de 18,0 V e acopla-se ao veio uma carga que exige um binário constante de 0,200 N m. Determine a velocidade angular e a corrente em regime permanente.

Resposta final:

$$\omega = \boxed{}^{\pm} \boxed{} \boxed{} \boxed{} \times 10^{\boxed{}^{\pm} \boxed{}} \text{ rad/s}$$

$$i = \boxed{}^{\pm} \boxed{} \boxed{} \boxed{} \times 10^{\boxed{}^{\pm} \boxed{}} \text{ A}$$





Q5.4, escolha múltipla. Sobre sensores de proximidade, é correto afirmar:

- ☐ (A) O sensor capacitivo só funciona com alvos metálicos, porque precisa de fechar o circuito elétrico através do alvo que quer detetar.
- ☐ (B) O sensor ultra-sónico mede a distância pela amplitude da onda refletida e é, de toda a família dos sensores de proximidade, o que tem menor alcance.
- ☐ (C) O sensor indutivo deteta qualquer material com o mesmo alcance, porque o campo magnético que ele cria não distingue uns materiais dos outros.
- ☐ (D) O sensor indutivo deteta alvos metálicos, com menor alcance para alumínio ou cobre do que para aço; o capacitivo deteta também alvos não metálicos.
- ☐ (E) Nenhuma das anteriores.

