



Nome completo: _____

Número:

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

Instrues

- **Identifique todas as folhas** (incluindo esta) com o seu nmero e nome nos campos assinalados.
- Pode **desagrar** e entregar as folhas soltas. Faa-o com cuidado, para no rasgar as folhas nem dificultar a leitura pelo scanner automtico.
- Prova sem consulta, exceto um mximo de seis pginas A4 (incluindo o formulrio) que traga j preenchidas com o que achar necessrio, **exceto exerccios ou exames resolvidos**.
- Escreva **a caneta** (azul ou preta).
- S o permitido o uso de calculadoras com as **funes bsicas de uma calculadora cientfica** (no so permitidas calculadoras programveis, grficas, nem com acesso a internet ou IA).
- **Cada pergunta vale 1 valor**; a cotao de cada grupo o igual ao seu nmero de perguntas.
- **Respostas numricas**: escreva cada valor em **notao cientfica** nas clulas, com sinal, um algarismo, ponto, duas casas decimais e, 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 nveis), escreva os algarismos **juntos**, alinhados esquerda ou direita como preferir, deixando vazias as clulas que sobrem.
- Para **emendar uma resposta numrica**, risque as clulas com o valor errado e escreva o valor corrigido, em notao cientfica, ao lado; as emendas so conferidas a mo.
- **Escolha mltipla**: preencha por completo o crculo da opo correta. Para emendar, risque o crculo errado com um X e preencha o correto, valendo o crculo preenchido que no est riscado.
- Use bem o **rascunho**. **S o avaliado o que est dentro do retngulo de resoluo e nas clulas ou crculos**; o que escrever fora no conta. Passe para a folha as respostas numricas e os crculos preenchidos, e escreva a resoluo no retngulo de forma sinttica, como no exame resolvido.
- O docente s deve ser chamado quando o **enunciado** suscitar dvida; havendo ambiguidade ou gralha, far uma comunicao a toda a sala. No so autorizadas perguntas como: «no me lembro desta frmula, o mais ou menos assim?»; «como o que isto se resolve? assim est certo?»; «justifiquei assim, chega ou tenho de escrever mais?».



(4 valores)

Grupo 1. Aquário (sistema de 1.^a ordem)

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:** $R = 0,60 \text{ } ^\circ\text{C/W}$, $C = 20\,000 \text{ J/}^\circ\text{C}$, $P = 25,0 \text{ W}$, $T_{amb} = 14,0 \text{ } ^\circ\text{C}$; temperatura inicial $T_0 = 14,0 \text{ } ^\circ\text{C}$. (1 h = 3600 s.)

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

Resposta final:

$$T_{ss} = \boxed{}^{\pm} \boxed{} \boxed{} \boxed{} \times 10^{\boxed{}^{\pm} \boxed{}} \text{ } ^\circ\text{C}$$

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

Q1.2. Só se podem introduzir os peixes quando a temperatura ultrapassa $T_{lim} = 23,1 \text{ } ^\circ\text{C}$. Determine o instante t (em horas após a meia-noite) em que esse limiar é atingido.

Resposta final:

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

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:

$$\text{hora} = \boxed{} \boxed{} \text{ (h)}$$



Q1.4. Que percentagem da subida total de temperatura (de T_0 a T_{ss}) está atingida ao fim de $t = 1,0 \tau$?

Resposta final:

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

Grupo 2. Sistema de 2.^a ordem: tempo e frequência

(5 valores)

Considere o sistema de 2.^a ordem

$$G(s) = \frac{128}{s^2 + 5s + 64}.$$

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

Resposta final:

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

$$\xi = \boxed{}^{\pm} \boxed{} \boxed{} \boxed{} \times 10^{\boxed{}^{\pm} \boxed{}}$$

$$K_{dc} = \boxed{}^{\pm} \boxed{} \boxed{} \boxed{} \times 10^{\boxed{}^{\pm} \boxed{}}$$



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

Resposta final:

$$M_p = \boxed{}^{\pm} \boxed{} \boxed{} \boxed{} \times 10^{\boxed{}^{\pm} \boxed{}} \%$$

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

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

Resposta final:

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

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

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

Resposta final:

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



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 sobre elevação se $\xi < 1$.
- ☐ (B) Tanto o sobreimpulso como a sobre elevação ocorrem para $\xi < \frac{1}{\sqrt{2}}$.
- ☐ (C) Há sobreimpulso na resposta ao degrau se $\xi < 1$; há sobre elevação (ressonância) na curva de amplitude se $\xi < \frac{1}{\sqrt{2}}$.
- ☐ (D) Tanto o sobreimpulso como a sobre elevação ocorrem para $\xi < 1$.
- ☐ (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

$$L(s) = \frac{K}{s(s+4)(s+10)}.$$

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

Resposta final:

$$K_{crit} = \boxed{}^{\pm} \boxed{} \cdot \boxed{} \boxed{} \times 10^{\boxed{}^{\pm} \boxed{}}$$

Q3.2. Para $K = 140$, determine a constante de erro de velocidade K_v e o erro estacionário a uma rampa unitária.

Resposta final:

$$K_v = \boxed{}^{\pm} \boxed{} \cdot \boxed{} \boxed{} \times 10^{\boxed{}^{\pm} \boxed{}}$$

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



Q3.3. Para $K = 1120$, construa a tabela de Routh e indique o número de polos instáveis.

Resposta final:

n.º de polos instáveis =

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 no semiplano complexo direito (polos instáveis).
- ☐ (B) o número de polos na origem.
- ☐ (C) o número total de polos do sistema.
- ☐ (D) a ordem do sistema menos um.
- ☐ (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, $H(s) = \frac{\omega_c^2}{(s + \omega_c)^2}$, com $f_c = 250$ Hz. O sinal útil vai até $f_1 = 25$ Hz e há ruído a $f_2 = 2,5$ kHz. Determine (a) a percentagem do sinal a f_1 que passa e (b) a atenuação (em dB) ao ruído a f_2 .

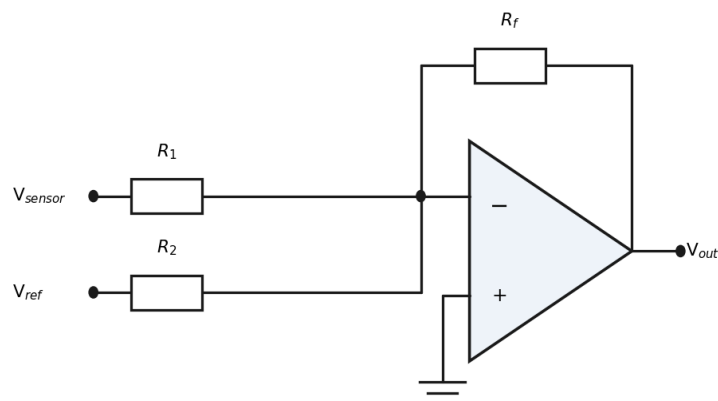
Resposta final:

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

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



Q4.2. Um sensor de deslocamento tem sensibilidade 40 mV/mm e mede de 0 a 80 mm. A saída é amplificada pelo amplificador não-inversor da figura ($R_1 = 5,6 \text{ k}\Omega$) de modo a atingir 5 V no final de escala. Determine o ganho de tensão e a resistência R_2 .



Resposta final:

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

$$R_2 = \boxed{}^{\pm} \boxed{} \cdot \boxed{} \boxed{} \times 10^{\boxed{}^{\pm} \boxed{}} \text{ k}\Omega$$



Q4.3. O sinal amplificado (gama 0 a 5 V) entra num conversor A/D de 14 bits com tensão de referência 5 V. Determine (a) a resolução em tensão e (b) a resolução referida ao deslocamento.

Resposta final:

$$\Delta V = \boxed{}\boxed{}.\boxed{}\boxed{} \times 10^{\boxed{}\boxed{}} \text{ V}$$

$$\Delta x = \boxed{}\boxed{}.\boxed{}\boxed{} \times 10^{\boxed{}\boxed{}} \text{ mm}$$

Q4.4. Pretende-se distinguir variações de deslocamento de 0,050 mm em toda a gama de 0 a 80 mm. Determine o número mínimo de bits do conversor A/D e o número de níveis correspondente.

Resposta final:

$$n = \boxed{}\boxed{} \text{ (bits)}$$

$$\text{n.º de níveis} = \boxed{}\boxed{}\boxed{}\boxed{}\boxed{}$$



(3 valores)

Grupo 5. Questões teóricas

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:

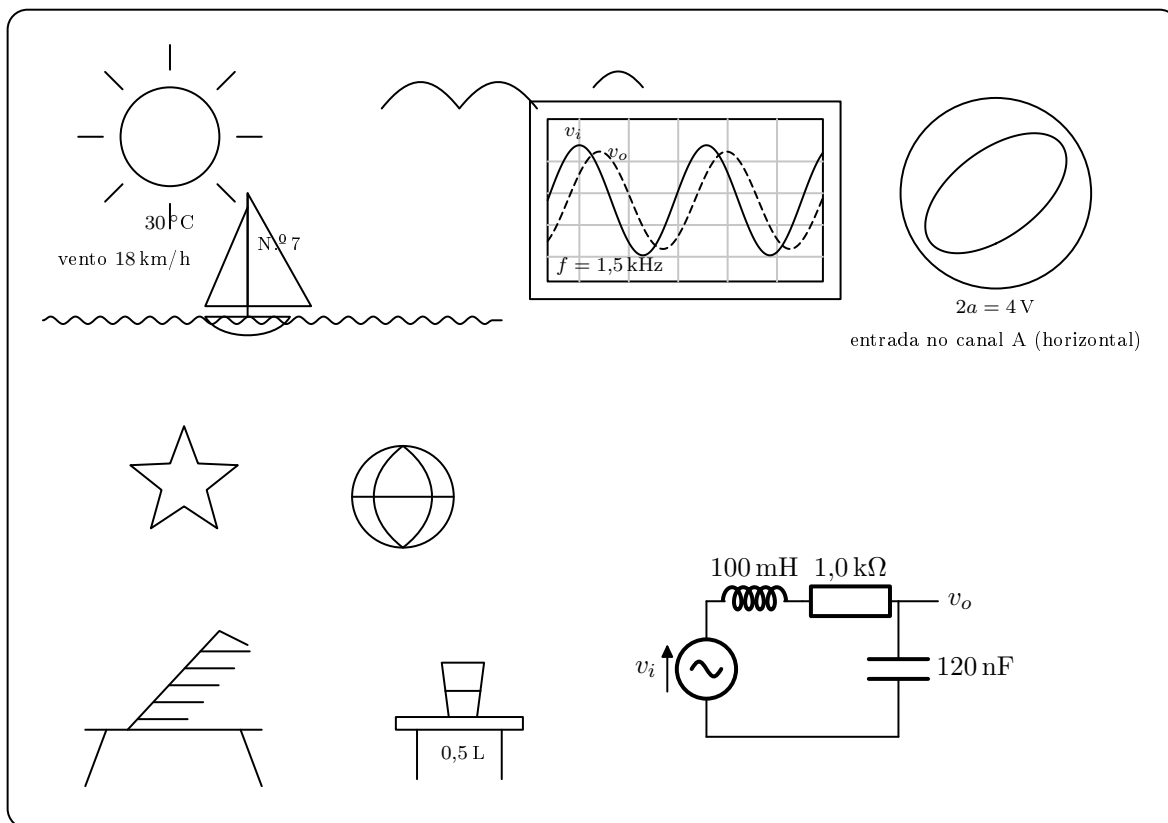
- ☐ (A) Quanto maior o amortecimento ξ , maior a sobrelevação M_r .
- ☐ (B) Verifica-se $\omega_r < \omega_d < \omega_n$, onde ω_d é a frequência natural amortecida.
- ☐ (C) O sobreimpulso no tempo e a sobrelevação em frequência só ocorrem para $\xi > 1$.
- ☐ (D) A frequência de ressonância ω_r é sempre igual à frequência natural ω_n .
- ☐ (E) Nenhuma das anteriores.

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

- ☐ (A) Aumentar o n.º de bits do conversor melhora sempre a precisão, mesmo com um sensor pouco linear.
- ☐ (B) Condicionar o sinal para ocupar toda a gama do conversor melhora o aproveitamento dos códigos e a resolução efetiva.
- ☐ (C) A resolução final da medida é sempre a do conversor A/D, independentemente do sensor.
- ☐ (D) O ruído de quantização diminui com o aumento do período de amostragem.
- ☐ (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 desfaseamento φ (em graus) da saída em relação à entrada; (c) o atraso no tempo Δt da saída em relação à entrada.



Resposta final:

$$2b = \boxed{}^{\pm} \boxed{} \boxed{} \boxed{} \times 10^{\boxed{}^{\pm} \boxed{}} \text{ V}$$
$$\varphi = \boxed{}^{\pm} \boxed{} \boxed{} \boxed{} \times 10^{\boxed{}^{\pm} \boxed{}} \text{ }^{\circ}$$
$$\Delta t = \boxed{}^{\pm} \boxed{} \boxed{} \boxed{} \times 10^{\boxed{}^{\pm} \boxed{}} \text{ ms}$$