



Número: _____ Nome: _____

I – Assinale apenas uma resposta correcta. Cada resposta errada desconta $\frac{1}{4}$ valor. A nota mínima neste grupo é zero valores.

1) Numa estrutura de processamento de sinal multirrimo com fator racional L/M :

- ☐ se $L > M$ nunca há perda de informação se a interpolação for feita depois da decimação.
- ☐ se $L < M$ a operação conjunta é de interpolação.
- ☐ se $L > M$ pode haver perda de informação.
- ☐ se a decimação for realizada antes da interpolação há sempre perda de informação.

2) Um sinal com largura de banda bilateral $\Delta f = 4$ kHz, centrado na frequência $f_0 = 8$ kHz pode ser amostrado:

- ☐ apenas com $f_s \geq 20$ kHz.
- ☐ com $f_s \geq 8$ kHz.
- ☐ apenas com $10 \text{ kHz} \leq f_s \leq 12 \text{ kHz}$.
- ☐ com $f_s \geq 20$ kHz ou $10 \text{ kHz} \leq f_s \leq 12 \text{ kHz}$.

3) Um filtro CIC (*Cascaded Integrator-Comb*):

- ☐ requer muitas multiplicações.
- ☐ tem sempre fase linear.
- ☐ não pode ser utilizado como filtro anti-imagem.
- ☐ não pode ser utilizado como filtro *anti-aliasing*.

4) Um conversor sigma-delta ($\Sigma\Delta$) funciona com factor de sobreamostragem $F = 64$ e pretende-se que o número de bits efetivos seja igual a 16. Então:

- ☐ a ordem mínima do conversor é $n = 2$.
- ☐ a ordem mínima do conversor é $n = 3$.
- ☐ a ordem mínima do conversor é $n = 4$.
- ☐ com $F = 64$ não é possível obter 16 bits efetivos independentemente da ordem.

5) Numa malha PLL de 2ª ordem estável, se o ganho de retorno λ aumentar 2 vezes:

- ☐ a banda de manutenção $\Delta\omega_L$ aumenta aproximadamente 2 vezes.
- ☐ a malha PLL pode tornar-se instável.
- ☐ a banda de aquisição $\Delta\omega_C$ mantém-se.
- ☐ nem $\Delta\omega_L$ nem $\Delta\omega_C$ sofrem qualquer alteração.

6) A amostragem impulsiva ideal origina um sinal:

- ☐ com infinitas réplicas do espectro original centradas em todos os múltiplos pares da frequência de amostragem.
- ☐ com infinitas réplicas distorcidas do espectro original centradas em todos os múltiplos da frequência de amostragem.
- ☐ com infinitas réplicas do espectro original centradas em todos os múltiplos da frequência de amostragem.
- ☐ com um número finito de réplicas do espectro original.

Nota: Em todas as operações em aritmética de vírgula fixa considere a utilização de complemento para 2 e o intervalo simétrico $-(2^i - 2^{-m}) \leq Z \leq 2^i - 2^{-m}$ para a representação da variável Z na notação $Q_{i,m}$.

II — Considere os números reais x e y representados com 16 bit nos formatos Q_{14} e Q_{13} respectivamente, num processador de vírgula fixa de 16 bit.

- a) Diga qual é o formato aritmético que garante que $z = x^2 - y^2$ é sempre calculado corretamente. Escreva o código C que realiza esta multiplicação considerando x , y e z variáveis do tipo `Int16`.
- b) Determine os valores real e calculados de z para os valores particulares de $x = 1.85$ e $y = 3$. Explique a que se deve o erro entre estes valores, se existir, e como o pode minimizar.

III — Considere um sistema de processamento de sinal com $f_s = \frac{1}{T_s} = 100$ kHz.

- a) Determine a função de transferência $H(z)$ de um filtro digital IIR por meio da transformação bilinear aplicada ao filtro passa-baixo analógico $H_{LP}(s) = 2 \frac{\omega_c}{s + \omega_c}$ de modo que a frequência de corte do filtro digital seja exatamente $\omega_d = 2\pi \times 10$ krad/s. Escreva a equação às diferenças do filtro e represente o diagrama de fluxo de sinal na forma direta I.
- b) Determine o ganho dos filtros digital e analógico para $f = 0$, $f = f_s / 2$ e $f = f_s$.
- c) Faça um esboço do módulo da resposta em frequência do filtro analógico e do filtro digital para $0 \leq f \leq f_s$ (use os valores da alínea anterior). Explique as diferenças entre as duas respostas em frequência.

IV — Considere uma malha PLL realizada com um detetor de fase XOR que funciona com níveis $\pm 3V$. A malha tem um filtro passa-baixo com tensões de saturação $\pm 4V$, ganho DC $F(0) = 1$ e um polo em $f_p = 300$ kHz. O oscilador controlado (VCO) tem as características indicadas na caixa ao lado. Tanto o sinal do VCO como o sinal de entrada são ondas quadradas com níveis $\pm 3V$.

$$\omega_o = \begin{cases} \omega_{o1} = 10\pi \times 10^6 \text{ rad/s}, & v_E \leq -4V \\ \omega_{ol} + k_o v_E & -4V \leq v_E \leq 4V \\ \omega_{o2} = 2\pi \times 10^6 \text{ rad/s}, & v_E \geq 4V \end{cases}$$

- a) Determine a característica de transferência estática de todos os componentes da malha e faça a sua representação gráfica encadeada. Determine k_o , ω_{ol} e o ganho do detetor de fase.
- b) Determine a banda de acompanhamento $\Delta\omega_L$ indicando quais os componentes que a limitam. Determine a banda de aquisição aproximada $\Delta\omega_C$.
- c) Determine a frequência de entrada ω_i para a qual a diferença de fase entre o sinal do oscilador e o sinal de entrada é $\Delta\phi = 5\pi/4$ rad.
- d) Represente o diagrama de blocos linearizado da malha PLL e determine a função de sistema $T(s) = \Phi_o(s)/\Phi_i(s)$.

cotação: **I** - 6 **II** - a) 2 b) 1.5 **III** - a) 2 b) 1 c) 1.5 **IV** - a) 2.5 b) 1.5 c) 1 d) 1

$$\frac{2}{N} \left(f_0 + \frac{\Delta f}{2} \right) \leq f_s \leq \frac{2}{N-1} \left(f_0 - \frac{\Delta f}{2} \right) \quad \therefore \quad |H_{LP}(\omega)| = 2 \frac{\omega_c}{\sqrt{\omega^2 + \omega_c^2}}$$

$$\text{Bilinear: } s = \frac{2}{T_s} \frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}} \quad \therefore \quad \omega_c = \frac{2}{T_s} \tan \left(\frac{\omega_d T_s}{2} \right)$$

$$\Delta\omega_C \approx \sqrt{2\omega_p^2 \left(\sqrt{1 + \left(\frac{\Delta\omega_L}{\omega_p} \right)^2} - 1 \right)} \quad \Delta\omega_L \gg \omega_p \quad \approx \sqrt{2\omega_p \cdot \Delta\omega_L}$$

$$\text{SNR}_Q \approx 6 \text{ dB/bit} \quad \therefore \quad \text{SNR}_{\Sigma\Delta}(\text{ordem } n) \approx (3 + 6n) \text{ dB/oitava}$$