

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

1) Numa malha PLL analógica com ganho de retorno $\lambda = K_D F(0) K_0 / N$ operando com ondas quadradas, com um detector de fase XOR, se o detector de fase for responsável pela limitação da banda de manutenção, esta banda é:

- ☐ $\Delta\omega_L = \pi\lambda$.
- ☐ $\Delta\omega_L = 2\pi\lambda$.
- ☐ $\Delta\omega_L = \pi\lambda / K_D$.
- ☐ $\Delta\omega_L = \pi\lambda / K_0$.

2) Um sinal passa-banda com largura de banda bilateral $\Delta f = 4$, centrado na frequência $f_0 = 22$, pode ser amostrado sem *aliasing*:

- ☐ apenas com $f_s \geq 48$.
- ☐ na prática, em apenas cinco intervalos possíveis de f_s .
- ☐ apenas com $24 \leq f_s \leq 40$.
- ☐ em apenas três intervalos possíveis de f_s .

3) Num conversor A/D sigma-delta equivalente a um A/D de 16 *bit* @ f_s , a frequência de amostragem interna é $32f_s$. Neste caso a ordem mínima do conversor é:

- ☐ $n = 1$
- ☐ $n = 2$
- ☐ $n = 3$.
- ☐ $n = 5$.

4) No projecto de filtros IIR utilizando o método da transformação bilinear a partir de um filtro analógico estável:

- ☐ o filtro digital resultante pode ser instável.
- ☐ não ocorre o fenómeno de *aliasing*.
- ☐ o filtro digital resultante tem fase linear.
- ☐ a resposta em frequência do filtro digital na banda de Nyquist é exactamente a mesma do filtro analógico.

5) Num sistema de processamento de sinal multirritmo com factor $\frac{L}{M} < 1$ em que a frequência de amostragem de

entrada é f_s e o sinal de entrada tem largura de banda $B \leq \frac{f_s}{2}$:

- ☐ há sempre perda de informação se a decimação preceder a interpolação.
- ☐ se a interpolação for feita antes da decimação nunca há perda de informação.
- ☐ se $B > f_s \frac{L}{2M}$ há sempre perda de informação.
- ☐ o sistema actua como interpolador.

6) Uma malha PLL analógica com ganho de retorno $\lambda > 0$:

- ☐ se for de 2ª ordem pode ser instável.
- ☐ é sempre estável qualquer que seja a ordem.
- ☐ se for de 3ª ordem é sempre estável.
- ☐ se for de 2ª ordem é sempre estável.

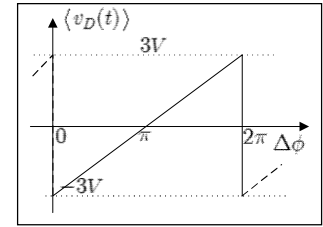
II — Considere a implementação do filtro com a equação às diferenças $y_n = 1.2 \cdot x_n - 1.2 \cdot x_{n-1}$ num processador de vírgula fixa de 16 bit. O formato das amostras de entrada x_n é Q_{15} .

- Diga de que tipo de filtro se trata (FIR/IIR; passa-baixo, passa-alto, passa-banda, rejeita-banda), se tem fase linear e qual é o formato aritmético que garante que y_n é sempre calculado correctamente. Justifique.
- Escreva o código C que realiza esta equação da forma mais precisa, utilizando 32 bit sempre que possível, incluindo todas as inicializações necessárias e considerando todas as variáveis do tipo `short (Int16)`. Se não fez a alínea anterior considere que y_n é representado em Q_{12} .

III — Considere um sistema de processamento digital de sinal a funcionar com $f_s = \frac{1}{T_s} = 4$ kHz e com um sinal de entrada que tem largura de banda unilateral B . Pretende-se diminuir a frequência de amostragem do sistema para $f_s = 3$ kHz.

- Desenhe o esquema do circuito de processamento de sinal multirritmo que permite realizar esta operação com a menor perda de informação potencial. Indique a frequência de corte dos filtros e o factor de qualidade. Diga em que condições poderá ocorrer perda de informação e porquê.
- Represente o espectro dos diversos sinais ao longo do circuito considerando $B = 1$ kHz.
- Considere que o filtro *anti-aliasing* do decimador é um filtro CIC com uma secção. Desenhe o diagrama de blocos do filtro CIC/decimador que permite a maior economia de recursos. Represente a sua característica de amplitude para $0 \leq f \leq f_s$ e calcule a atenuação em dB introduzida pelo filtro na primeira réplica de potencial *aliasing* quando o sinal de entrada tem $B = 1$ kHz.

IV — Considere uma malha PLL analógica realizada com um detector de fase cuja característica se encontra representada na figura ao lado. A malha dispõe de um filtro passa-baixo com tensões de saturação $\pm 6V$, ganho DC $F(0) = \pm 2$ e um pólo em ω_p rad/s. O oscilador controlado gera uma onda com as características indicadas.



- Explique qual dos dois valores possíveis de $F(0)$ deve ser seleccionado e porquê.

- Represente as características 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 detector de fase k_D .

- Determine a banda de manutenção $\Delta\omega_L$ explicando quais os componentes que a limitam. Determine ω_p de modo que a banda de aquisição seja aproximadamente $\Delta\omega_C \approx 2\pi \times 10^6$ rad/s.

$$\omega_o = \begin{cases} 10\pi \times 10^6 \text{ rad/s}, & v_E \leq -8V \\ \omega_{ol} + k_o v_E & -8V \leq v_E \leq 8V \\ 2\pi \times 10^6 \text{ rad/s}, & v_E \geq 8V \end{cases}$$

- Determine a característica de detecção de fase de uma porta lógica NOR quando opera com ondas quadradas com níveis 0 V e 1 V.

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

$$\frac{2}{N} \left(f_0 + \frac{\Delta f}{2} \right) \leq f_s \leq \frac{2}{N-1} \left(f_0 - \frac{\Delta f}{2} \right)$$

$$H_{CIC}(z) = \left(\frac{1 - z^{-M}}{1 - z^{-1}} \right) \quad \therefore \quad |H_{CIC}(j\omega)| = \left| \frac{\sin\left(\frac{M\omega T_s}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\omega T_s}{2}\right)} \right|$$

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

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