



**TÉCNICO**  
LISBOA

**Instituto Superior Técnico**

## **Sistemas de Processamento Digital de Sinais(SPDSina)**

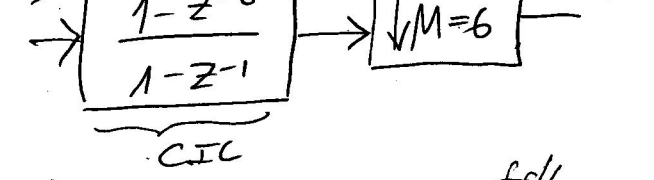
### **CIC Problem**

Considere um decimador com factor  $M = 6$  utilizado em rádio digital em que o filtro anti-*aliasing* é um filtro CIC. **Nota:** A frequência de amostragem na **entrada** é  $f_s = 1/T_s$ .

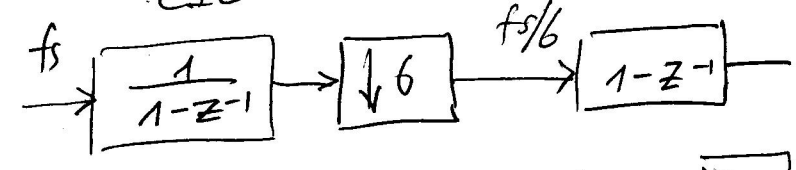
- a) Desenhe o diagrama de fluxo de sinal mais eficiente do decimador que utiliza apenas um estágio do filtro CIC, indicado as frequências de amostragem em cada bloco. Indique quais as vantagens e inconvenientes deste filtro e em que condições pode ser utilizado.
- b) Represente o módulo da resposta em frequência do filtro CIC para  $0 \leq f \leq f_s$  e calcule o número de estágios necessários para que a atenuação mínima introduzida pelo filtro num sinal com largura de banda unilateral  $B = f_s/(4M)$  seja 40 dB.

CIC Filter,  $M=6$ , decimator,  $f_s \equiv \text{input}$

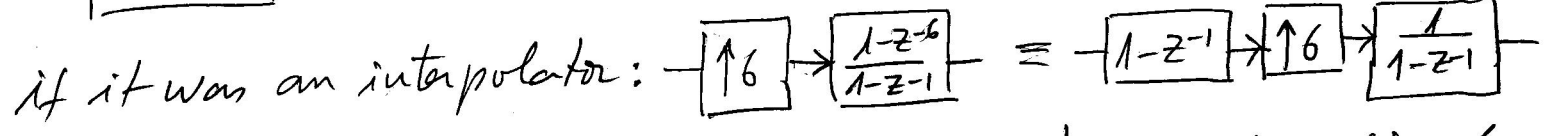
a) most efficient form



not efficient. CIC is processed at the higher rate. More comb.



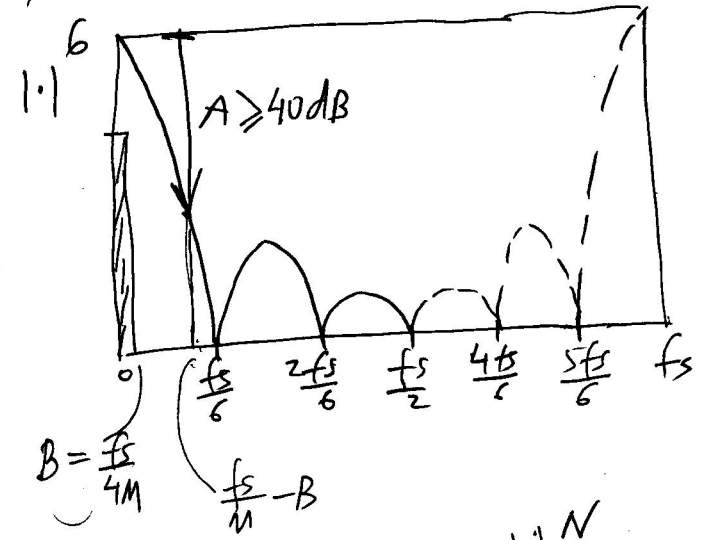
Saves  $M-1$  memory locations and data-moves



advantages: no multipliers, no coefficient memory, simple, easy to replicate, linear phase

disadvantages: signal must be oversampled, high DC gain  $\Rightarrow$  bit growth. Not flexible

b) sketch  $|H|$  for  $0 < f < f_s$ . Determine number of sections



$$H(\omega) = \left| \frac{\sin \frac{M\omega T_s}{2}}{\sin \frac{\omega T_s}{2}} \right|$$

$$\frac{M\omega T_s}{2} = k\pi \quad \frac{M/2 \pi f_z T_s}{f} = k\pi$$

$$f_z = k \frac{f_s}{M} \quad \text{periodic zeros by the comb}$$

$N \equiv$  Number of sections  
 $H(0) = 6 = M$

$$\text{Attenuation} = \left| \frac{H(0)}{H(\omega)} \right|^N \quad \omega = 2\pi \left( \frac{f_s}{M} - B \right)$$

$$\frac{\omega T_s}{2} = 2\pi \left( \frac{f_s}{M} - \frac{f_s}{4M} \right) \frac{T_s}{2} = \pi \left( \frac{1}{M} - \frac{1}{4M} \right) = \frac{3\pi}{4M} = \frac{\pi}{8} \quad , \quad \frac{M\omega T_s}{2} = \frac{6\pi}{8} = \frac{3\pi}{4}$$

$$A = \left| \frac{6 \sin \frac{\pi}{8}}{\sin \frac{3\pi}{4}} \right|^N = 3.2472^N$$

$$A_{dB} = 20 \log_{10} 3.2472^N = 10.23 N \geq 40 \Rightarrow \boxed{N=4}$$