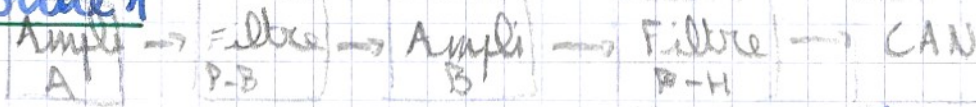


# Instrumentation

## → Exercices de dimensionnement

### Exercice 1



signal d'entrée:  $-1 < V_{in} < 1 \text{ mV}$ ,  $0,1 < f < 10 \text{ kHz}$   
+ offset fixe de  $+ \text{ ou } -1 \text{ V}$

résolution:  $2 \mu\text{V}$

→ il n'y a pas d'obstacle ici

alimenté en  $\pm 5 \text{ V}$

⇒ on voit que pour les différents composants, il n'y a pas de densité spectrale de bruit en courant  
↳ négligé

a) Quel gain total serait optimal pour cette chaîne?

Entrée:  $-1 < V_{in} < 1 \text{ mV}$  :  $2 \text{ mV}$

CAN:  $-5 \text{ V} < V < 5 \text{ V}$  :  $10 \text{ V}$

on veut amplifier toute la plage d'entrée du CAN

$$\Rightarrow G = \frac{10}{2 \cdot 10^{-3}} = 5000 \rightarrow \text{offset ignoré car il est filtré avant le CAN}$$

b) Quel est le gain de l'Ampli A et l'ampli B?

• Ampli A: il y a présence de l'offset de  $1 \text{ V}$

$V_{s, \text{offset}}: 1 \text{ V}$

Ampli A, max:  $5 \text{ V}$

$$\Rightarrow G_A = \frac{5}{1} = 5$$

• Ampli B:

$$G_{\text{tot}} = G_A \cdot G_B \Leftrightarrow G_B = \frac{G_{\text{tot}}}{G_A} = 1000$$

c) Quels ampli peuvent convenir?

• Ampli A:  $GBP_A = G_A \cdot BP = 5 \cdot 10\,000 = 50\,000 \text{ Hz}$

$$GBP_I = 0,5 > 10^4 \text{ Hz}$$

$$GBP_{II} = 5 > GBP_A \rightarrow \text{tous conviennent}$$

$$GBP_{III} = 50 >$$

• Ampli B:  $GBP_B = G_B \cdot BP = 1000 \cdot 10\,000 = 10 \cdot 10^6 \text{ Hz}$

Seul le Ampli III convient ( $GBP_{III} > GBP_B$ )



1) Quel convertisseur A/N convient?

→ on cherche le nombre de bit<sup>n</sup> par rapport à l'entrée

Plage CAN: 10V  $\downarrow \div 5000V$

Plage Entrée: 2 mV

$$\hookrightarrow \frac{2 \text{ mV}}{2 \mu\text{V}} = 1000 \rightarrow \text{précision} \leq 2^n$$

$$1000 \leq 2^n \Rightarrow n > 10 \Rightarrow \text{CAN over 10 ou 12 bits}$$

$\hookrightarrow$  CAN II, III, V, VI

→ on cherche la ~~bande passante~~ fréquence d'échantillonnage

On a une BP  $\sim 10 \text{ kHz}$

+ possiblement un bruit jusqu'à 20 kHz

$\hookrightarrow$  BP tot  $\sim 20 \text{ kHz}$

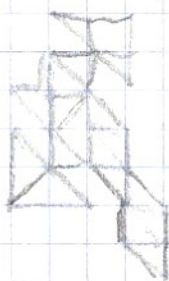
Par Nyquist  $f_s > 2 \cdot f_{\text{max}} = 40 \text{ kHz}$

$\hookrightarrow$  CAN V et VI conviennent (IV déjà éliminé)

2) Donner la densité spectral de bruit totale

$$\begin{aligned} E_E^2 &= (\text{bruit Ampli A} + \text{bruit filtre PH} + \text{bruit Ampli B} + \text{bruit filtre} + \text{CAN PB})^2 \\ &= (G_{\text{tot}} \cdot E_A)^2 + (G_B \cdot E_{\text{PH}})^2 + (G_B \cdot E_B)^2 + (G_{\text{PB}} \cdot E_B)^2 + E_{\text{CAN}}^2 \\ &= (5000 \cdot 1 \cdot 10^{-9})^2 + (1000 \cdot 10 \cdot 10^{-9})^2 + (1000 \cdot 1 \cdot 10^{-9})^2 + (1 \cdot 100 \cdot 10^{-9})^2 + (1000 \cdot 10^{-9})^2 \end{aligned}$$

Le filtre passe-haut a la contribution spectral de bruit la plus importante





## Exercice 2

Capteur:  $V_{opt} : \pm 10 \text{ mV}$

→ il y a 200 capteurs

↳ Bruit:  $100 \frac{\text{mV}}{\sqrt{\text{Hz}}}$

$R_{source} = 10 \cdot 10^3 \Omega$

BP:  $0 < f < 20 \text{ kHz}$

+ cahier des charges: Alim:  $\pm 5 \text{ V}$

bruit à l'entrée  $< 60 \mu\text{V}_{\text{RMS}}$

BP désiré:  $0 < f < 100 \text{ Hz}$

résolution  $< 0,2 \text{ mV}$

+ objectif: minimiser le nombre de composants

### • Architecture globale

BP désiré:  $100 \text{ Hz}$

↳  $f_s \geq 2 \cdot f_{\text{max}} = 200 \text{ Hz/canal}$

→ si on considère 1 seul CAN:  $f_s = 200 \frac{\text{Hz}}{\text{canal}} \cdot 200 \text{ canaux}$   
 $\Rightarrow f_s = 40000 \text{ Hz}$

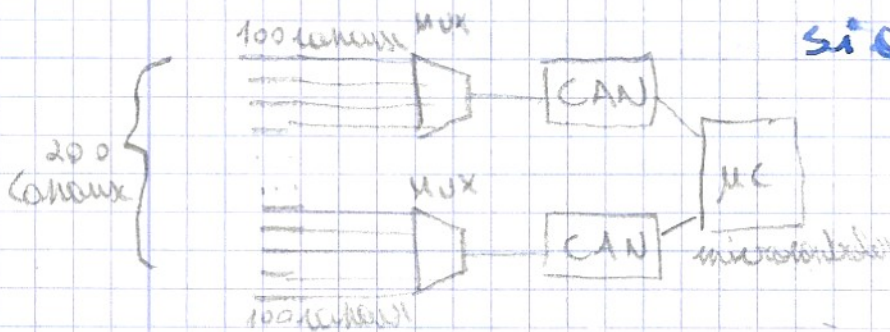
or aucun CAN n'a os assez de  $f_s$

↳ on utilise 2 CAN et donc 2 MUX

si on considère 2 CAN

$f_s = 200 \cdot 100 = 20000 \text{ Hz}$

↳ CAN 4, 5 et 6 sont OK



### • Position des filtres et fréquence de coupure

→ Pas de filtre passe haut car BP inclut le 0 Hz et il n'y a pas d'offset

→ Filtre passe bas → éviter repli spectral et filtrer bruit

Hypothèse: filtre idéal de  $f_c$  à  $100 \text{ Hz}$

Si filtre idéal on a:  $f_{s \text{ CAN } 4,5,6} = 30000 \text{ Hz}$  pour 100 canaux

↳  $f_s = 300 \text{ Hz/canal}$

↳  $f_c = \frac{f_s}{2} = 150 \text{ Hz}$

56 Hz de transition

↳ Position forcément en amont du MUX



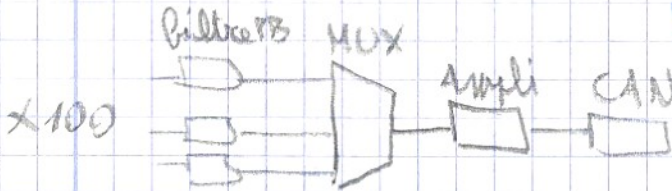
# • Amplificateur

en avant ou en aval du MUX?

200 ampl

2 ampl

↳ on essaye d'abord de minimiser le nb de composants en choisissant 2 ampl en aval



MAIS

↳ Bruit filtre:

$$\Rightarrow e_m^{filt} = \sqrt{R_{source} \cdot I_n^2 + (E_n)^2}$$

$$= \sqrt{10 \cdot 10^3 \cdot 200 \cdot 10^{-9} + (2 \cdot 10^{-6})^2}$$

$$= \sqrt{(10 \cdot 10^3 \cdot 200 \cdot 10^{-9})^2} \rightarrow \text{negligeable}$$

$$\approx 2 \cdot 10^{-3} V$$

$$\Rightarrow E_n = e_m \cdot \sqrt{BP} = 2 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{100} = 2 \cdot 10^{-3} V_{rms}$$

$$>> 60 \mu V_{rms}$$

↳ On ne peut PAS mettre le filtre en 1er etage car le bruit généré est trop grand

↳ on met les ampli en 1er



↳ Bruit Ampli 1:  $E_n = 10 nV/\sqrt{Hz}$   $I_n \cdot R_n = 3000 nV/\sqrt{Hz}$

Ampli 2:  $E_n = 5 nV/\sqrt{Hz}$   $I_n \cdot R_n = 3000 nV/\sqrt{Hz}$

Ampli 3:  $E_n = 5 nV/\sqrt{Hz}$   $E_n \cdot R_n = 3000000$

$E_n$  negligeable pour tout les ampli

$$e_{nA1} \approx 3000 nV/\sqrt{Hz} \rightarrow E_{nA1} = e_{nA1} \cdot \sqrt{100} = 30 \mu V_{rms}$$

$$e_{nA2} = 10 e_{nA1} \rightarrow E_{nA2} > 60 \mu V_{rms}$$

↳ OH!

↳ Seul l'ampli 1 est acceptable



## • Gain global

Entrée: +10 mV

CAN: 5V

$$G_{\text{tot}} = \frac{5}{10 \cdot 10^{-3}} = 500$$

$$\rightarrow G_{BP_{\text{tot}}} = G_{\text{tot}} \cdot BP = 500 \cdot 100 = 50\,000 \text{ Hz}$$

OK pour l'ampli 1

## • Choix du CAN

$$\frac{V_{\text{in}}}{\text{precision}} = \frac{20 \text{ mV}}{0,2 \text{ mV}} = 100 \leq 2^n \rightarrow n \geq 7 \text{ bits}$$

OK pour les deux fonctionnaires

$f_c$ : idéal: 20 kHz

non-idéal: 30 kHz

} CAN 4, 5 ou 6 conviennent

## • Bruit total

$$\text{Capteur: } E_n = 100 \frac{\mu\text{V}}{\sqrt{\text{Hz}}} \cdot \sqrt{100 \text{ Hz}} = 1 \mu\text{V}_{\text{RMS}}$$

$$\text{Ampli 1: } E_n = 30 \mu\text{V}_{\text{RMS}}$$

Filtre PB:  $I_n$  négligé car le courant va dans l'ampli, dont la res de sortie est très faible

$$E_{\text{APB}} = 2 \frac{\mu\text{V}}{\sqrt{\text{Hz}}} \cdot \sqrt{100 \text{ Hz}} \text{ en aval de l'ampli}$$

$$\rightarrow \text{à l'entrée } E_{\text{APB}}^{\text{entrée}} = \frac{E_{\text{APB}}}{G} = \frac{20}{500} = 0,04 \mu\text{V}_{\text{RMS}}$$

$$\text{MUX: } E_{\text{MUX}} = 10 \frac{\mu\text{V}}{\sqrt{\text{Hz}}} \cdot \sqrt{100 \text{ Hz}} = 100 \mu\text{V}_{\text{RMS}}$$

$$\rightarrow \text{à l'entrée } E_{\text{MUX}}^{\text{entrée}} = \frac{100}{500} = 0,2 \mu\text{V}_{\text{RMS}}$$

$$\text{CAN: } E_{\text{CAN}} = 20 \frac{\mu\text{V}}{\sqrt{\text{Hz}}} \cdot \sqrt{100} = 200 \mu\text{V}_{\text{RMS}}$$

$$\rightarrow \text{à l'entrée } E_{\text{CAN}}^{\text{entrée}} = \frac{200}{500} = 0,4 \mu\text{V}_{\text{RMS}}$$

$$E_{\text{TOT}} = \sqrt{\sum E_n^2} \simeq \sqrt{E_{\text{Ampli 1}}^2 + E_{\text{capteur}}^2} \simeq 30 \mu\text{V}_{\text{RMS}} < 60 \mu\text{V}_{\text{RMS}}$$

→ On a répondu au cahier des charges

