

Analyse de la chaine analogique pour nFCC / eFCC Solution Single ended

Description des modifications

IR	Issue Date	Modification
0	28/10/2021	F.ROBERT : Creation

Documents d'entrée

[Callout]	Title	Revision - Date	Origin
Doc1	Spec EFCC	CA2210D0501D001	Thales
Doc2			Thales
Doc3			
Doc4			



start := 1Hz

end := 500kHz

nmpts := 5000



Sommaire

- 1 - Besoin en terme de precision des acquisitions.
 - Analyse des caractéristiques attendues pour un 'ANI2'
 - Analyse des caractéristiques attendues pour un 'ANI3'
 - Analyse des caracteristiques attentues pour un ANI1
- 2 - Influence du filtrage sur le temps de réponse
- 3 - Precision des composants
- 4 - Briques communes entre les solutions
 - Evaluation de l'erreur due a l'étage d'entrée (INA826)
 - Analyse des composants AD8222 et AD8422
 - Analyse du composant ADC ADS8568
 - Analyse de la de la reference ref3425
 - Analyse de l'ADC ADAS3022
- 5 - Analyse de la solution ANI1
- 6 - Analyse de la solution ANI2
- 7 - Etude de l'ANI3

1) Besoin en terme de precision des acquisitions

Analyse des caracteristiques attentees pour un ANI2

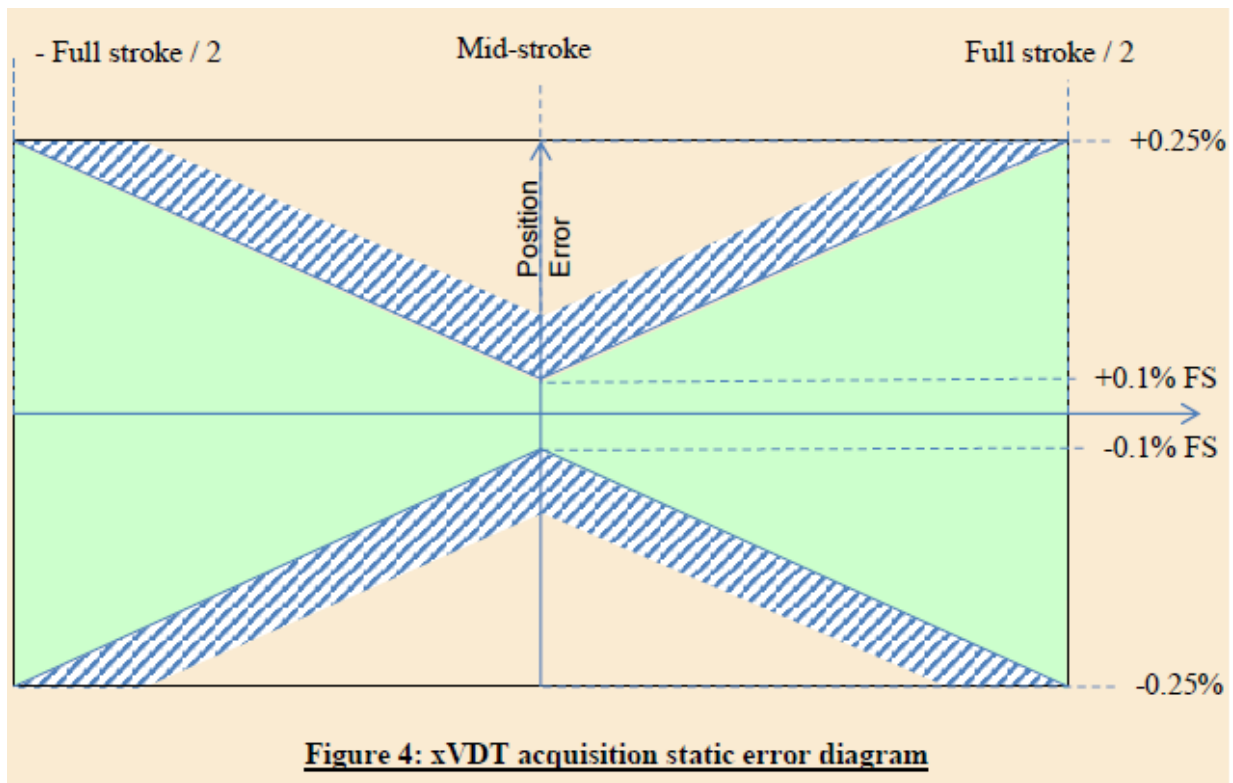
Analyse pour EFCC

Pour un VDT, la mesure va de -1 a +1 ==> Le Full scale vaut 2

FS := 2

L'erreur admissible a 0 (max) est

Err := 0.1%·FS



Analyse pour un iFCC (nFCC)

Dans nFCC, l'erreur à 0 est

Err := $7 \cdot 10^{-4}$

iFCC-YPTS-177

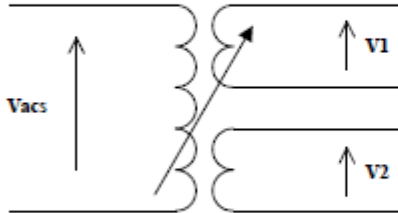
ANI2's measurement X shall have a bias smaller than $7E-4 (1 + |X|)$.

Additional Information: X is defined in req. 174.

Version: 1

iFCC-YPTS-2255

The platform shall provide hardware inputs of type ANI2 to acquire sensors as described by the following table

Variable differential transducer	
	<p>V_{acs}: supply voltage $V1$: first output coil voltage $V2$: second output coil voltage Range of $V1$ and $V2$: [0V; 7.7V]</p> <p>Normalized position: $X = (V1 - V2) / (V1 + V2)$ Nominal range of X: [-0.7; 0.7] Full range of X: [-1.0; 1.0]</p> <p>Reference voltage: $Vr = V1_{RMS} + V2_{RMS}$ Range of Vr: [0V; 7.7V]</p>
Supply	Refer to ACS specification (req. 517)
Phasing between $V1$ and $V2$	Unknown (no assumption to be made on it for ANI2's design)

Or, quand le VDT donne 0, on a $V1=V2$

En général l'excitation est a 7V rms, donc $V1=V2=5V_{pic}$ (3.5V RMS)

Pour autant le rapport de transformation (R_t) n'est jamais égal a 1. Prenons un cas favorable :0.9

$$R_t := 0.9$$

On cherche a quantifier l'erreur sur $V1$ et $V2$ de telle sorte a respecter la contrainte de précision

$$\text{ratio} := \frac{V1 + \Delta V1 - V2 - \Delta V2}{V1 + \Delta V1 + V2 + \Delta V2}$$

Si on se place au point de fonctionnement qui laisse le moins de marge:

Pour $V1=V2$, et en admettant que $\Delta V1=\Delta V2=\Delta V$:

Si on considere la tension Pic avec le rapport de transformation

$$V1 := 5V \cdot R_t$$

lorsque WX vaut 0, et en considérant l'erreur:

-

$$\text{ratio}_0 := \frac{2\Delta V}{2V_1 + 2\Delta V}$$

et donc, dans ce cas, la condition a respecter est

Cherchons alors la valeur souhaitée de **err**

$$\text{ratio}_0 < \text{err}$$

$$\frac{2\Delta V}{2V_1 + 2\Delta V} < \text{err}$$

$$2\Delta V < \text{Err}(2V_1 + 2\Delta V)$$

$$2\Delta V < \text{Err}(2V_1 + 2\Delta V)$$

$$2\Delta V(1 - \text{Err}) < \text{Err} \cdot (2V_1)$$

$$\Delta V < \frac{\text{Err} \cdot (2V_1)}{2(1 - \text{err})}$$

$$\Delta V < \frac{\text{Err} \cdot (V_1)}{(1 - \text{err})}$$

$$\Delta V_{\max} := \frac{\text{Err} \cdot (V_1)}{(1 - \text{Err})}$$

$$\Delta V_{\max} = 3.152 \cdot \text{mV}$$

Verifions:

$$\text{Err} = 7 \times 10^{-4} \quad (\text{rappel})$$

$$Q_d := \frac{2\Delta V_{\max}}{2V_1 + 2\Delta V_{\max}} = 7 \times 10^{-4}$$

Si on considère que V_1 et V_2 peuvent varier sur une plage de 20V (cas quand Q_d vaut 1 ou -1), la résolution de l'ADC doit être de

$$\text{res} := \frac{\ln\left(\frac{20V}{\Delta V_{\max}}\right)}{\ln(2)} = 12.631$$

Un ADC de 13 bits est donc suffisant - si l'erreur entière est allouée à l'ADC et que le rapport de tranformation est bien supérieur à 0.9

Concrètement, ce ne sera pas le cas, il y aura différents contributeurs (étage d'adaptation, traitement numérique). Pour ne pas se mettre la rate au court bouillon, on prendra un convertisseur pouvant atteindre une résolution de 16 bits

Etude de l'erreur totale

On appelle:

- onc l'offset non commun (entre V1 et V2)
- oc l'offset commun (entre V1 et V2)
- gc le gain commun (entre V1 et V2)
- gnc le gain non cummun (entre V1 et V2)

$$dX := \frac{[dV1_{onc} + dV_{oc} + (dV_{gc} + dV1_{gnc} + 1) \cdot V1] - [dV2_{onc} + dV_{oc} + (dV_{gc} + dV2_{gnc} + 1) \cdot V2]}{[dV1_{onc} + dV_{oc} + (dV_{gc} + dV1_{gnc} + 1) \cdot V1] + [dV2_{onc} + dV_{oc} + (dV_{gc} + dV2_{gnc} + 1) \cdot V2]} - \frac{(V1 - V2)}{V1 + V2}$$

$$dX := \frac{[dV1_{onc} + (dV_{gc} + dV1_{gnc} + 1) \cdot V1] - [dV2_{onc} + (dV_{gc} + dV2_{gnc} + 1) \cdot V2]}{[dV1_{onc} + dV_{oc} + (dV_{gc} + dV1_{gnc} + 1) \cdot V1] + [dV2_{onc} + dV_{oc} + (dV_{gc} + dV2_{gnc} + 1) \cdot V2]} - \frac{(V1 - V2)}{V1 + V2}$$

$$\Delta X_{ANI2}(V1, Vtotal, dV1_{onc}, dV2_{onc}, dV_{oc}, dV1_{gnc}, dV2_{gnc}, dV_{gc}) := \frac{[dV1_{onc} + (dV_{gc} + dV1_{gnc} + 1) \cdot V1] - [dV2_{onc} + (dV_{gc} + dV2_{gnc} + 1) \cdot V2]}{[dV1_{onc} + dV_{oc} + (dV_{gc} + dV1_{gnc} + 1) \cdot V1] + [dV2_{onc} + dV_{oc} + (dV_{gc} + dV2_{gnc} + 1) \cdot V2]} - \frac{(V1 - V2)}{V1 + V2}$$

les offsets sont invisibles au traitement de signal:

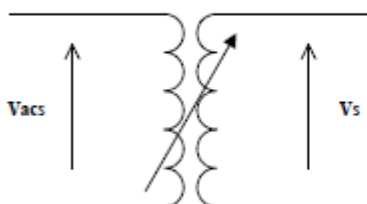
$$\Delta X_{ANI2}(V1, Vtotal, dV1_{onc}, dV2_{onc}, dV_{oc}, dV1_{gnc}, dV2_{gnc}, dV_{gc}) := \frac{[(dV_{gc} + dV1_{gnc} + 1) \cdot V1] - [(dV_{gc} + dV2_{gnc} + 1) \cdot V2]}{[dV1_{onc} + dV_{oc} + (dV_{gc} + dV1_{gnc} + 1) \cdot V1] + [dV2_{onc} + dV_{oc} + (dV_{gc} + dV2_{gnc} + 1) \cdot V2]} - \frac{(V1 - V2)}{V1 + V2}$$

Analyse des caracteristiques attentues pour un ANI3

Un ANI3 est définit pour nFCC comme suit

iFCC-YPTS-2256

The platform shall provide hardware inputs of type ANI3 to acquire sensors as described by the following table:

Linear variable transducer	
	<p>Vacs: supply voltage</p> <p>Vs: output coil voltage</p> <p>Range of Vs: [0V; 7.7V]</p> <p>Normalized position measurement: $X = 1 - Vs / Vacs$</p> <p>Range of X: [0; 1]</p>
Supply	Refer to ACS specification (req. 517)
Phasing between input & output voltages	Unknown (no assumption to be made on it for ANI3's design)

Il est aussi précisé que VACS n'est pas nécessairement une valeur mesurée (mais une constante). C'est l'hypothese retenue pour la suite des calculs

L'erreur demandée est $E < 0.01(1+X)$

$$\left(1 - \frac{V_s}{V_{acs}}\right) - \left(1 - \frac{V_s + \Delta V_s}{V_{acs}}\right) < 0.01 \left[1 + \left(1 - \frac{V_s}{V_{acs}}\right)\right]$$

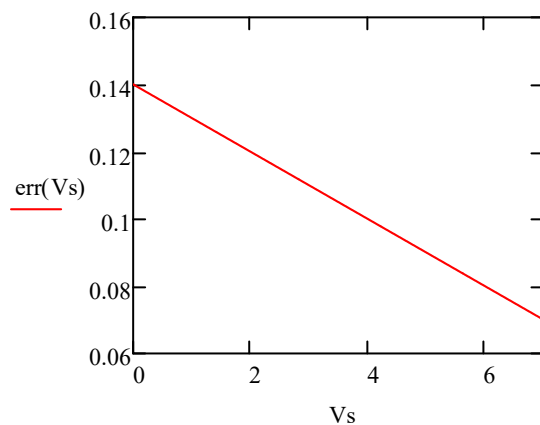
$$\left(\frac{\Delta V_s}{V_{acs}}\right) < 0.01 \left[1 + \left(1 - \frac{V_s}{V_{acs}}\right)\right]$$

$$(\Delta V_s) < 0.01 \cdot V_{acs} \left(2 - \frac{V_s}{V_{acs}}\right)$$

On considère que $V_{acs} = 7V$ RMS

$$V_{acs} := 7V$$

$$\text{err}(V_s) := 0.01 \cdot V_{acs} \left(2 - \frac{V_s}{V_{acs}}\right)$$



Par exemple, si on attend $V_s = 7V$, l'erreur acceptable sera de:

$$\Delta V_s := \text{err}(7V) = 0.07V$$

Analyse des caractéristiques attendues pour un 'ANI1'

Pour un eFCC, la spécification est centrée autour de ces deux exigences:

■MFU_RS_126-1_A.1
[PMFU,SMFU]

ANI_10V interface shall be able to acquire a differential input voltage ranging from 0V to 10V.
Comment: Assuming positive 0-10V input differential voltage only

■MFU_RS_127-1_A.1
[PMFU,SMFU]

ANI 10V interface shall acquire its input differential voltage with an accuracy better than $\pm 1\%$ F.S., with full scale corresponding to 10V.

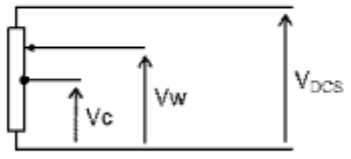
■MFU_RS_128-2_D.1
[PMFU,SMFU]

ANI_10V interface shall be compatible with a common mode voltage up to +10 V +GRF.

La spécification de l'ANI1 est, pour le nFCC:

iFCC-YPTS-2254

The platform shall provide hardware inputs of type ANI1 to acquire sensors as described by the following table:

Middle point-referenced potentiometer	
	<p>V_{DCS}: supply voltage V_c: potentiometer center point voltage V_w: potentiometer wiper point voltage</p> <p>Normalized position measurement: $X = (V_c - V_w) / V_c$ Range of X: [-1; 1]</p> <p>Center point voltage measurement: V_c Range of V_c: [0V; 5.5V]</p>
Supply	Refer to DCS specification (req. 525)

$$X := \frac{(V_c - V_w)}{V_c}$$

On peut définir l'erreur d'offset sur V_c et V_w

- dV_{oc} : erreur d'offset sur V_c et V_w commune
- dV_{onc} : erreur d'offset non commune sur V_c
- $dV_{w_{onc}}$: erreur d'offset non commune sur V_w

On peut aussi définir l'erreur de gain sur V_c et V_w

- dV_{gc} : erreur de gain sur V_c et V_w commune
- $dV_{c_{gnc}}$: erreur de gain non commune sur V_c
- $dV_{w_{gnc}}$: erreur de gain non commune sur V_w

$$dX := \frac{[dV_{c_{onc}} + dV_{oc} + (dV_{gc} + dV_{c_{gnc}} + 1) \cdot V_c] - [dV_{w_{onc}} + dV_{oc} + (dV_{gc} + dV_{w_{gnc}} + 1) \cdot V_w]}{[dV_{c_{onc}} + dV_{oc} + (dV_{gc} + dV_{c_{gnc}} + 1) \cdot V_c]} - \frac{(V_c - V_w)}{V_c}$$

Une première simplification consiste à supprimer V_{oc}

$$dX := \frac{[dV_{c_{onc}} + (dV_{gc} + dV_{c_{gnc}} + 1)V_c] - [dV_{w_{onc}} + (dV_{gc} + dV_{w_{gnc}} + 1)V_w]}{[dV_{c_{onc}} + dV_{oc} + (dV_{gc} + dV_{c_{gnc}} + 1)V_c]} - \frac{(V_c - V_w)}{V_c}$$

$$dX := \frac{[dV_{c_{onc}} + (dV_{gc} + dV_{c_{gnc}})V_c] - [dV_{w_{onc}} + (dV_{gc} + dV_{w_{gnc}})V_w]}{[dV_{c_{onc}} + dV_{oc} + (dV_{gc} + dV_{c_{gnc}} + 1)V_c]} + \frac{(V_c - V_w)}{[dV_{c_{onc}} + dV_{oc} + (dV_{gc} + dV_{c_{gnc}} + 1)V_c]}$$

Par une simple approximation:

$$dX := \frac{[dV_{c_{onc}} + (dV_{gc} + dV_{c_{gnc}})V_c] - [dV_{w_{onc}} + (dV_{gc} + dV_{w_{gnc}})V_w]}{[dV_{c_{onc}} + dV_{oc} + (dV_{gc} + dV_{c_{gnc}} + 1)V_c]} + \frac{(V_c - V_w)}{(V_c)} - \frac{(V_c - V_w)}{V_c}$$

$$dX := \frac{[dV_{c_{onc}} + (dV_{gc} + dV_{c_{gnc}})V_c] - [dV_{w_{onc}} + (dV_{gc} + dV_{w_{gnc}})V_w]}{[dV_{c_{onc}} + dV_{oc} + (dV_{gc} + dV_{c_{gnc}} + 1)V_c]}$$

en passant de dX à ΔX et sachant que les erreurs de gain et d'offset non communes sont les mêmes pour Vw et Vc (Vonc, Vgnc)

$$\Delta X := \frac{[\Delta V_{onc} + (\Delta V_{gnc})V_c] + [\Delta V_{onc} + (\Delta V_{gnc})V_w] + |V_w - V_c| \cdot \Delta V_{gc}}{[\Delta V_{onc} + \Delta V_{oc} + (\Delta V_{gc} + \Delta V_{c_{gnc}} + 1)V_c]}$$

$$\Delta X := \frac{[2\Delta V_{onc} + (\Delta V_{gnc})(V_c + V_w) + |V_w - V_c| \cdot \Delta V_{gc}]}{\Delta V_{onc} + \Delta V_{oc} + (\Delta V_{gc} + \Delta V_{c_{gnc}} + 1)V_c}$$

$$\Delta X_{ANI1}(V_c, V_w, \Delta V_{onc}, \Delta V_{oc}, \Delta V_{gnc}, \Delta V_{gc}) := \frac{[2\Delta V_{onc} + (\Delta V_{gnc})(V_c + V_w) + |V_w - V_c| \cdot \Delta V_{gc}]}{\Delta V_{onc} + \Delta V_{oc} + (\Delta V_{gc} + \Delta V_{c_{gnc}} + 1)V_c}$$

$$\Delta X_{ANI1_sans_simplification}(V_c, V_w, dV_{oc}, dV_{c_{onc}}, dV_{w_{onc}}, dV_{c_{gnc}}, dV_{w_{gnc}}, dV_{gc}) := \frac{[dV_{c_{onc}} + (dV_{gc} + dV_{c_{gnc}} + 1)V_c]}{[dV_{c_{onc}} + dV_{oc}]}$$

si on considère l'erreur à X=0, pas d'erreur de gain : (Vc=Vw), et on ne considère que l'erreur d'offset non commune:

$$\Delta X := \frac{2 \cdot \Delta V_{onc}}{V_c} \quad (1)$$

Cette erreur est spécifiée de la manière suivante:

IFCC-YPTS-157

ANI1's measurement X shall have a bias smaller than 7E-4 (1 + |X|).

Additional Information: X is defined in req. 154.

Version: 1

ΔX est donc à 7E-4 pire cas:

$$\Delta X := 7 \cdot 10^{-4}$$

Si on considère que $V_{dcs} = 9.5V$, et une légère chute de tension de $0.5V$, on peut alors considérer $V_c = 4.5V$

$$V_c := 4.5V$$

de (1) on en déduit:

$$\Delta V_{onc} := \frac{\Delta X \cdot V_c}{2}$$

$$\Delta V_{onc} = 1.575 \cdot mV$$

La résolution a atteindre au niveau de l'ADC est:

$$\text{res} := \frac{\ln\left(\frac{10V}{\Delta V_{\text{onc}}}\right)}{\ln(2)}$$

$$\text{res} = 12.632$$

Soit, comme pour les ANI2, 13 bits. (si on considère que l'ADC porte toute l'erreur)

Methode alternative pour l'analyse des caractéristiques attendues pour un 'ANI1'

On mesure $V_d = V_c - V_w$

$$X := \frac{V_d}{V_c}$$

On peut définir l'erreur d'offset sur V_c et V_d

- dV_{oc} : erreur d'offset sur V_c et V_w commune
- $dV_{\text{c}_{\text{onc}}}$: erreur d'offset non commune sur V_c
- $dV_{\text{d}_{\text{onc}}}$: erreur d'offset non commune sur V_d

On peut aussi définir l'erreur de gain sur V_c et V_w

- dV_{gc} : erreur de gain sur V_c et V_w commune
- $dV_{\text{c}_{\text{gnc}}}$: erreur de gain non commune sur V_c
- $dV_{\text{d}_{\text{gnc}}}$: erreur de gain non commune sur V_d

l'erreur sur ANI1 peut se traduire ainsi:

$$dX_{\text{mes2}} := \frac{\left[dV_{\text{d}_{\text{onc}}} + dV_{\text{oc}} + (dV_{\text{gc}} + dV_{\text{d}_{\text{gnc}}} + 1) \cdot V_d \right]}{\left[dV_{\text{c}_{\text{onc}}} + dV_{\text{oc}} + (dV_{\text{gc}} + dV_{\text{c}_{\text{gnc}}} + 1) \cdot V_c \right]} - \frac{(V_d)}{V_c}$$

$$\Delta X_{\text{ANI1_sans_simplification2}}(V_c, V_d, dV_{\text{oc}}, dV_{\text{c}_{\text{onc}}}, dV_{\text{d}_{\text{onc}}}, dV_{\text{c}_{\text{gnc}}}, dV_{\text{d}_{\text{gnc}}}, dV_{\text{gc}}) := \frac{\left[dV_{\text{d}_{\text{onc}}} + dV_{\text{oc}} + (dV_{\text{gc}} + dV_{\text{d}_{\text{gnc}}} + 1) \right]}{\left[dV_{\text{c}_{\text{onc}}} + dV_{\text{oc}} + (dV_{\text{gc}} + dV_{\text{c}_{\text{gnc}}} + 1) \right]}$$

Influence du filtrage sur le temps de réponse

Le calculateur a aussi besoin d'un temps de réponse maximal.

Or pour chacune des acquisitions, un filtrage anti aliasing est mis en place. en conséquence, pour ne pas introduire trop de retard, il est nécessaire de dimensionner le filtre de telle sorte à ce qu'il n'introduise pas trop de latence

Un filtre normalisé d'ordre 1 atteint la valeur finale suivant une fonction exponentielle:

$$V_{out}(t) := \exp\left(\frac{-t}{\tau}\right)$$

on recherche donc la valeur τ qui permet d'atteindre environ 10^{-4} de la valeur finale, après un temps qui est donné par la spec

$$v_{out_t} := 0.0001$$

$$t_{end} := 2\text{ms}$$

$$\tau := \frac{-t_{end}}{\ln(v_{out_t})}$$

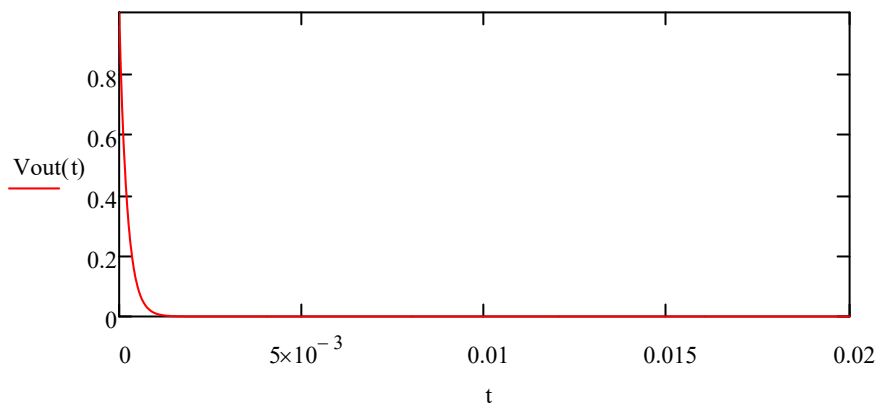
$$\tau = 0.217 \cdot \text{ms}$$

Cette constante de temps correspond à un filtre de fréquence de coupure =

$$\omega_c := \frac{1}{\tau}$$

$$f_c := \frac{\omega_c}{2\pi} = 732.936 \cdot \text{Hz}$$

$$V_{out}(t) := \exp\left(\frac{-t}{\tau}\right)$$



Le filtre doit donc avoir une fréquence de coupure de 732 Hz min. Si on choisit un ordre 1: les valeurs des composants préconisés sont:

$$R_{es} := 2\text{k}\Omega$$

$$C_{ap} := 100\text{nF}$$

$$F_c := \frac{1}{2\pi \cdot R_{es} \cdot C_{ap}} = 795.775 \cdot \text{Hz}$$

Precision des composants

L'écart de température max est fixé a :

$$\Delta T_{\max} := 65K$$

L'étude va faire apparaître des résistances a .1%

$$Tol_{res01} := 0.001$$

The tolerancy applicable to the resistance (0.1%, in the whole temperature range) is

$$Tol_{res01_temp} := Tol_{res01} + \frac{25}{1000000 \cdot 1K} \cdot \Delta T_{\max}$$

L'étude va aussi utiliser des capacité de type COG a 5%

$$Tol_{cap5} := 0.05$$

The tolerancy applicable to the capacitance (5%, in the whole temperature range) is

$$Tol_{cap5_temp} := Tol_{cap5} + \frac{30}{1000000 \cdot 1K} \cdot \Delta T_{\max}$$

Briques communes entre les solutions

Evaluation de l'erreur due au front end

$$R_{filt} := 50k\Omega$$

$$Capa_ina_mc := 1pF$$

$$Capa_ina_md := \frac{5pF}{2}$$

$$Capa_filt_mc := 0pF$$

$$Capa_filt_md := 0pF$$

$$C_{eq_input} := \left(Capa_filt_mc + \frac{Capa_filt_md}{2} + Capa_ina_mc + \frac{Capa_ina_md}{2} \right) = 2.25 \cdot pF$$

$$C_{eq_input_max} := \left(Capa_filt_mc + \frac{Capa_filt_md}{2} + Capa_ina_mc \cdot 1.5 + \frac{Capa_ina_md \cdot 1.5}{2} \right) = 3.375 \cdot pF$$

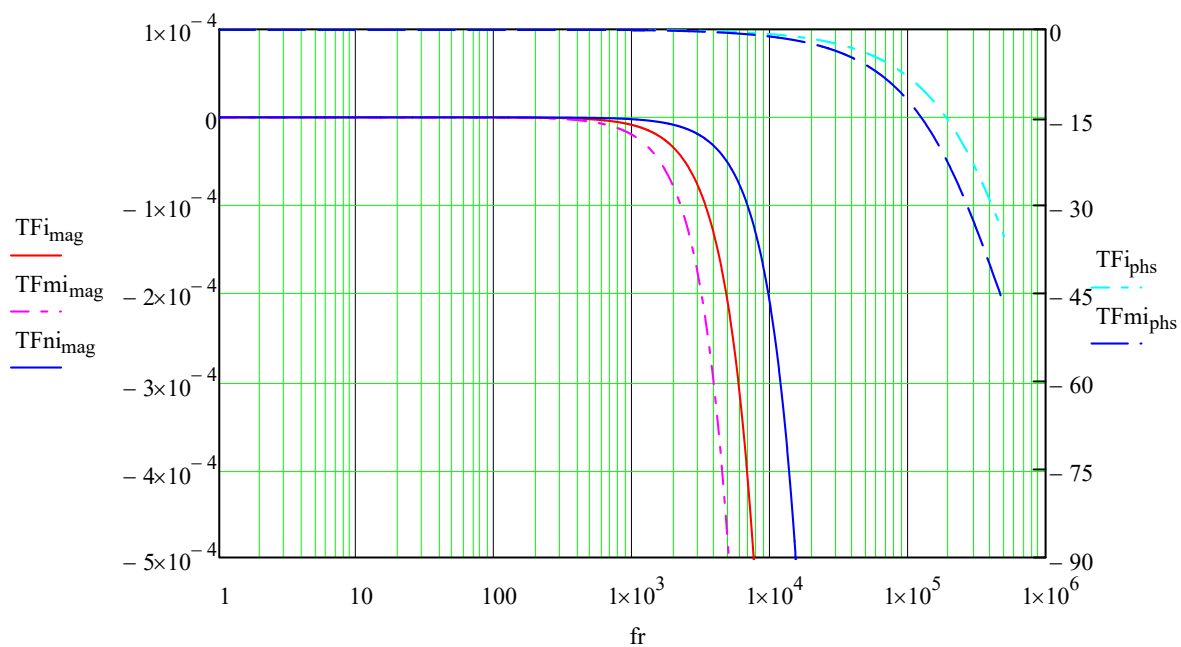
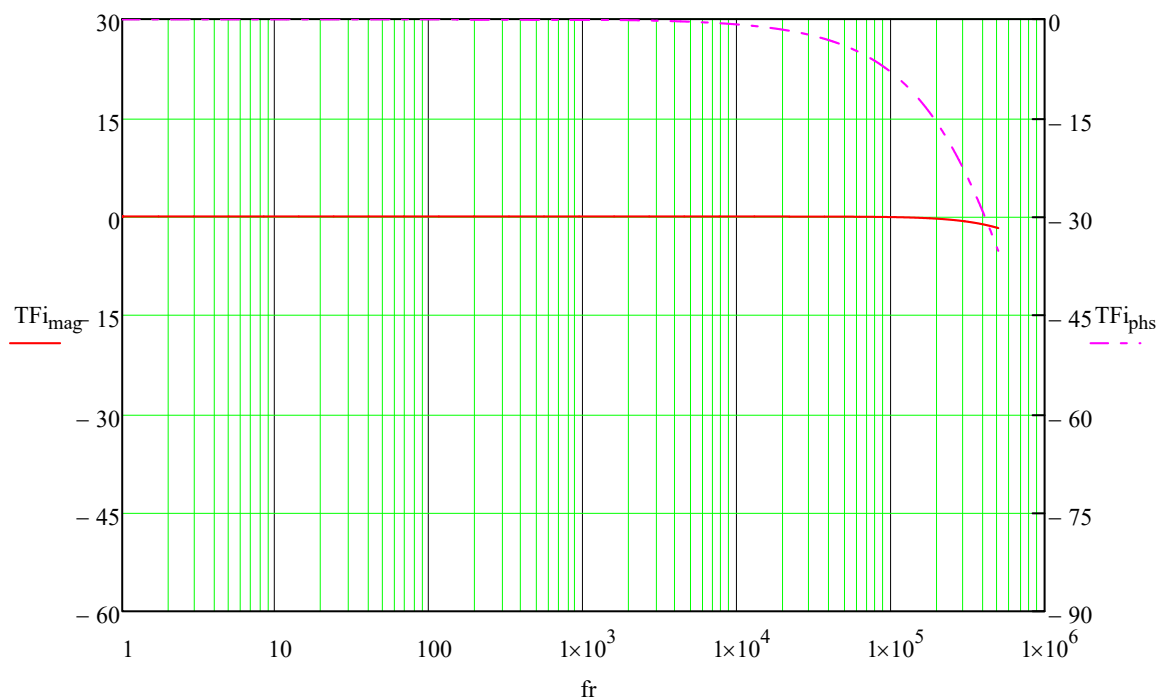
$$C_{eq_input_min} := \left(Capa_filt_mc + \frac{Capa_filt_md}{2} + Capa_ina_mc \cdot 0.5 + \frac{Capa_ina_md \cdot 0.5}{2} \right) = 1.125 \cdot pF$$

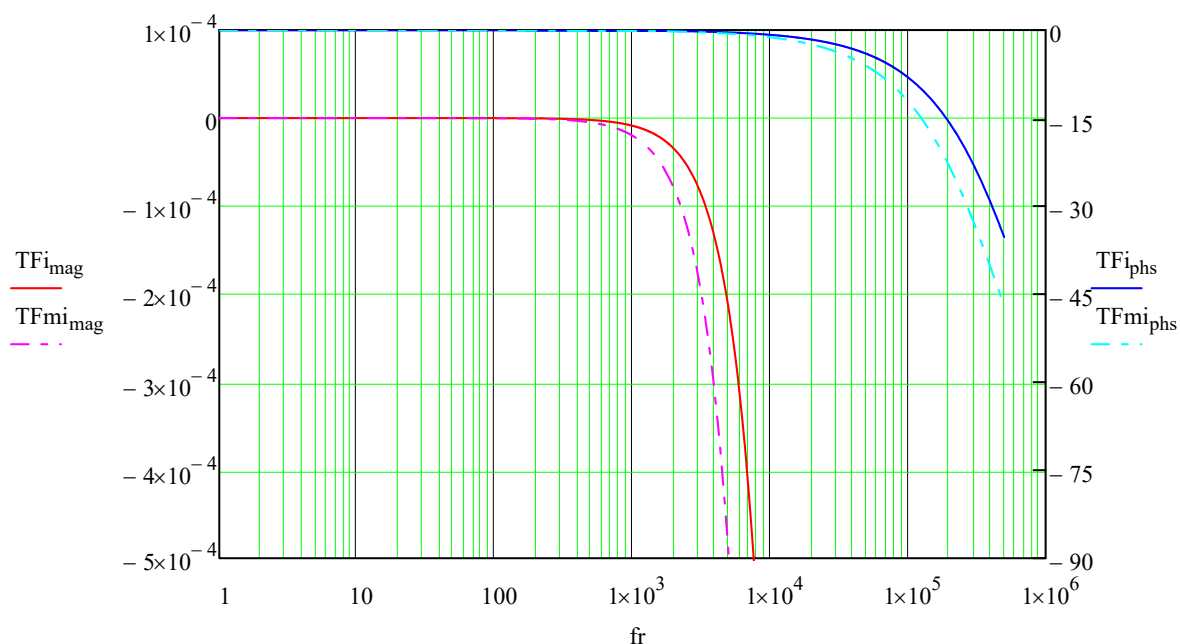
$$Transfert_fun(p) := \frac{1}{1 + 2R_{filt} \cdot (C_{eq_input}) \cdot p}$$

$$Transfert_fun_max(p) := \frac{1}{1 + 2R_{filt} \cdot 1.01 \cdot (C_{eq_input_ma}) \cdot p}$$

$$\begin{pmatrix} \text{TFi}_{\text{mag}} \\ \text{TFi}_{\text{phs}} \end{pmatrix} := \text{bode}(\text{Transfert_fun}, \text{sn})$$

$$\begin{pmatrix} \text{TFmi}_{\text{mag}} \\ \text{TFmi}_{\text{phs}} \end{pmatrix} := \text{bode}(\text{Transfert_fun_max}, \text{sn})$$





La fréquence de coupure est alors

$$F_{c_input} := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 2R_{filt} \cdot C_{eq_input}} = 707.355 \cdot \text{kHz}$$

Evaluation de l'erreur due a l'étage d'entrée (INA826)

Quelle que soit la solution, l'étage d'entrée est constituée d'un INA826, qui présente une erreur de gain et d'offset en entrée et sortie.

Ce sont ces erreurs qu'on cherche à quantifier. Cette quantification se fait pour le contexte de la méthode ABA. Dans cette méthode, dans le cas d'un ANI2, on cherche à évaluer l'amplitude de deux signaux sinusoïdaux contenu dans le signal à analyser.

Erreur de Gain

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
GAIN						
G	Gain equation		$1 + \left[\frac{49.4 \text{ k}\Omega}{R_O} \right]$			V/V
	Range of gain		1		1000	V/V
GE	Gain error	G = 1, V _O = ±10 V	±0.003%		±0.015%	
		G = 10, V _O = ±10 V	±0.03%		±0.15%	
		G = 100, V _O = ±10 V	±0.04%		±0.15%	
		G = 1000, V _O = ±10 V	±0.04%		±0.15%	
	Gain vs temperature ⁽⁴⁾	G = 1, T _A = -40°C to +125°C	±0.1		±1	ppm/°C
		G > 1, T _A = -40°C to +125°C	±10		±35	
	Gain nonlinearity	G = 1 to 100, V _O = -10 V to +10 V		1	5	ppm
		G = 1000, V _O = -10 V to +10 V		5	20	

L'erreur de gain est nommée Ge. Ce gain est applicable sur les entrées de l'INA. Les valeurs vi-dessous incluent l'erreur de linearite

$$Ge_{\max} := 0.015\% \cdot \left(1 + \frac{5}{1000000} \right)$$

$$Ge_{\text{typ}} := 0.003\% \cdot \left(1 + \frac{1}{1000000} \right)$$

L'erreur de gain avec la tempéraure est de:

$$Ge_{\text{temp.typ}} := (0.1) \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{K} \quad Ge_{\text{temp.max}} := (1) \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{K}$$

REFERENCE INPUT				
R _{IN}	Input impedance		100	kΩ
	Voltage range	(V-)	(V+)	V
	Gain to output		1	V/V
	Reference gain error		0.01%	

Il y a aussi l'erreur de Gain sur la tension Vref (Gain Ref Input)

$$G_{RI_typ} := 0.01\%$$

Cette erreur n'est pas quantifiée pour le max.

Ne disposant pas de valeur Max, on onsidère pour la suite que le GRI max est identique a GEmax

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
INPUT						
V _{OSI}	Input stage offset voltage ⁽¹⁾	RTI		40	150	μV
		vs temperature, T _A = -40°C to +125°C		0.4	2	μV/°C
V _{OSO}	Output stage offset voltage ⁽¹⁾	RTI		200	700	μV
		vs temperature, T _A = -40°C to +125°C		2	10	μV/°C

Erreur d'offset

Les erreurs d'offset sont nomées comme dans la datasheet V_{OSI} et V_{OSO}

$$V_{OSI_TYP} := 40\mu V$$

$$V_{OSI_MAX} := 150\mu V$$

$$V_{OSI_Temp_TYP} := 0.4 \frac{\mu V}{K}$$

$$V_{OSI_Temp_MAX} := 2 \frac{\mu V}{K}$$

$$V_{OSO_TYP} := 200 \mu V$$

$$V_{OSO_MAX} := 700 \mu V$$

$$V_{OSO_Temp_TYP} := 2 \frac{\mu V}{K}$$

$$V_{OSO_Temp_MAX} := 10 \frac{\mu V}{K}$$

L'amplificateur d'instrumentation a un CMMR de

$$CMMR_{typ} := 95$$

$$CMMR_{min} := 80$$

L'amplificateur a un courant d'offset d'entrée de

$$I_{os_{typ}} := 0.7 nA$$

$$I_{os_{max}} := 0.7 nA$$

L'erreur de gain totale de l'INA, dans le contexte d'utilisation prévu, est de

$$GE_{INA_typ_25} := GE_{typ}$$

$$GE_{INA_typ_25} = 0.003 \cdot \%$$

$$5V \cdot GE_{INA_typ_25} = 150 \cdot \mu V$$

$$GE_{INA_typ_temp} := GE_{typ} + \Delta T_{max} \cdot GE_{temp_typ}$$

$$GE_{INA_typ_temp} = 0.00365 \cdot \%$$

$$5V \cdot GE_{INA_typ_temp} = 182.5 \cdot \mu V$$

$$GE_{INA826_max} := GE_{max} + \Delta T_{max} \cdot GE_{temp_max}$$

$$GE_{INA826_max} = 0.0215 \cdot \%$$

$$5V \cdot GE_{INA826_max} = 1.075 \cdot mV$$

Impact du CMMR

Pour les ANI: il faut considérer une tension de mode commun

$$MC := 3V$$

$$CMMR := 20 \cdot \log \left(\frac{G_d}{G_{mc}} \right)$$

avec le gain différentiel $G_d := 1$ l'influence de la tension de mode commun sera de

$$\text{offset_MC}(CMMR, MC) := MC \cdot \frac{G_d}{10^{\left(\frac{CMMR}{20} \right)}}$$

En sortie d'INA, l'offset due au mode commun est de

$$\text{offset_MC}(CMMR_{typ}, MC) = 0.053 \cdot mV$$

$$\text{offset_MC}(CMMR_{min}, MC) = 0.3 \cdot mV$$

L'impact des erreurs d'offset n'a pas d'influence sur une sortie ANI2, **si peu que le traitement PLD soit insensible à une composante continue**

Verification du slew rate de l'INA826

Le slew rate doit être compatible au signal d'entrée. Celui-ci doit être de (au max)

$$freq_in := 5000Hz$$

le sinus (ANI AC) est défini par la fonction:

$$u(t) := 10V \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot freq_in \cdot t)$$

La dérivée de ce signal donne le slew rate à atteindre:

$$\text{deriv}(t) := \frac{d}{dt} u(t)$$

À $t=0$ le slew rate doit être max:

$$\text{deriv}(0ms) = 0.314 \cdot \frac{V}{\mu s}$$

SR	Slew rate	G = 1, $V_O = \pm 14.5 V$	1	V/ μs
		G = 100, $V_O = \pm 14.5 V$	1	

L'INA est donc compatible d'un ANI2 à 5kHz

Verification du slew rate de l'AD8222

Slew Rate	G = 1 G = 5 to 1000	1.5 2	2 2.5	1.5 2	2 2.5	V/μs V/μs
-----------	------------------------	----------	----------	----------	----------	--------------

verification du slew rate de l'AD8422

Slew Rate	G = 1 to 100	0.8	0.8	V/μs
-----------	--------------	-----	-----	------

Cas de l'ANI DC

Pour ce cas, l'erreur d'Offset de l'INA rentre directement en jeu.

en considérant un signal DC 0-10V, single ended: Le mode commun est à 5V

Le mode commun total est proposé à

$$MC_{ANI} := 5V + 3V$$

$$\text{Offset_error_INA826_typ} := (V_{OSI_TYP} + V_{OSI_Temp_TYP} \cdot \Delta T_{max}) + V_{OSO_TYP} + V_{OSO_Temp_TYP} \cdot \Delta T_{max}$$

$$\text{Offset_error_INA826_typ} = 0.396 \cdot \text{mV}$$

$$\begin{aligned} \text{Offset_error_INA826_max} := & (V_{OSI_MAX} + V_{OSI_Temp_MAX} \cdot \Delta T_{max}) + V_{OSO_MAX} + V_{OSO_Temp_MAX} \cdot \Delta T_{max} \dots \\ & + \text{offset_MC}(CMMR_{min}, MC_{ANI}) \end{aligned}$$

$$\text{Offset_error_INA826_max} = 2.43 \cdot \text{mV}$$

Compléter pour le max, rajouter une ligne pour le 25°

$$\Delta \text{Offset}_{INA826}(x) := \text{Offset_error_INA826_max} + \text{offset_MC}(80, 3V + x)$$

Analyse des composants AD8222 et AD8422

$$V_c = 4.5 \text{ V}$$

en prenant un AD8222

L'erreur de gain est de

GAIN	$G = 1 + (49.4 \text{ k}\Omega/R_G)$					
Gain Range	$V_{OUT} \pm 10 \text{ V}$	1	1000	1	1000	V/V
Gain Error						
G = 1			0.03		0.02	%
G = 10			0.3		0.15	%
G = 100			0.3		0.15	%
G = 1000			0.3		0.15	%
Gain Nonlinearity	$V_{OUT} = -10 \text{ V to } +10 \text{ V}$					
G = 1 to 10	$R_L = 10 \text{ k}\Omega$	3	10	3	10	ppm
G = 100	$R_L = 10 \text{ k}\Omega$	5	15	5	15	ppm
G = 1000	$R_L = 10 \text{ k}\Omega$	10	40	10	40	ppm
G = 1 to 100	$R_L = 2 \text{ k}\Omega$	10	95	10	95	ppm
Gain vs. Temperature						
G = 1		3	10	2	5	ppm/°C
G > 1 ²			-50		-50	ppm/°C

$$\Delta\text{gain}_{\text{ad8222}} := 0.0002 \cdot \left(1 + \frac{10}{1000000}\right) + \Delta T_{\text{max}} \cdot \left(\frac{5}{1000000}\right) \cdot \frac{1}{\text{K}} = 5.25 \times 10^{-4}$$

L'erreur d'offset est de

VOLTAGE OFFSET¹						
Input Offset, V_{OSI}	$V_S = \pm 5 \text{ V to } \pm 15 \text{ V}$		60		25	μV
Over Temperature	$T = -40^\circ\text{C to } +85^\circ\text{C}$		86		45	μV
Average TC			0.4		0.3	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Output Offset, V_{OSO}	$V_S = \pm 5 \text{ V to } \pm 15 \text{ V}$		300		200	μV
Over Temperature	$T = -40^\circ\text{C to } +85^\circ\text{C}$		0.66		0.45	mV
Average TC			6		5	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Offset RTI vs. Supply (PSR)	$V_S = \pm 2.3 \text{ V to } \pm 18 \text{ V}$					
G = 1		90	110	94	110	dB
G = 10		110	120	114	130	dB
G = 100		124	130	130	140	dB
G = 1000		130	140	140	150	dB

Table 2. Single-Ended and Differential¹ Output Configuration

Parameter	Test Conditions/Comments	A Grade		B Grade		Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ
COMMON-MODE REJECTION RATIO (CMRR)	$V_{CM} = -10 \text{ V to } +10 \text{ V}$					
CMRR DC to 60 Hz	1 k Ω source imbalance					
G = 1		80			86	dB
G = 10		100			106	dB
G = 100		120			126	dB
G = 1000		130			140	dB

$$\Delta\text{Offset}_{\text{AD8222}} := 45\mu\text{V} + 0.45\text{mV} + \text{offset_MC}(86, 3\text{V} + 10\text{V}) = 1.147 \cdot \text{mV}$$

Analyse du composant ADC ADS8568

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
SAMPLING DYNAMICS					
Conversion time	Internal conversion clock			1.7	μs
f _{DATA} Throughput rate	Serial interface, all four SDOx active			400	kSPS
	Parallel interface			510	
DC ACCURACY					
Resolution			16		Bits
No missing codes		16			Bits
INL Integral linearity error ⁽¹⁾	At T _A = -40°C to +85°C, VQFN package (RGC)	-3	±1.5	3	LSB
	At T _A = -40°C to +125°C, VQFN package (RGC)	-4	±1.5	4	
	At T _A = -40°C to +85°C, LQFP package (PM)	-4	±1.5	4	
	At T _A = -40°C to +125°C, LQFP package (PM)	-4.5	±1.5	4.5	
DNL Differential linearity error	At T _A = -40°C to +85°C	-1	±0.75	1.75	LSB
	At T _A = -40°C to +125°C	-1	±0.75	2	
Offset error		-1.5	±0.5	1.5	mV
Offset error matching		-0.65		0.65	mV
Offset error drift			±3.5		μV/°C
Gain error	Referenced to voltage at REFIO	-0.5%	±0.25%	0.5%	
Gain error matching	Between channels of any pair	-0.2%		0.2%	
	Between any two channels	-0.4%		0.4%	
Gain error drift	Referenced to voltage at REFIO		±6		ppm/°C

$$\Delta_{\text{offset}_{\text{ADS8568}}} := 1.5\text{mV} + 3.5 \frac{\mu\text{V}}{\text{K}} \cdot \Delta T_{\text{max}}$$

$$\Delta_{\text{gain}_{\text{ads8568}}} := 0.005 + \frac{6}{1000000} \cdot \Delta T_{\text{max}} \cdot \frac{1}{\text{K}} \quad \text{sans compter la linearité}$$

Analyse de la reference ref3425

PARAMETER	TEST CONDITION	MIN	TYP	MAX	UNIT
ACCURACY AND DRIFT					
Output voltage accuracy	T _A = 25°C	-0.05		0.05	%
Output voltage temperature coefficient ⁽¹⁾	-40°C ≤ T _A ≤ 125°C		2.5	6	ppm/°C

$$\text{Ge_ref3425} := 0.05\% \cdot \left[1 + \frac{6}{1000000} \cdot \left(\Delta T_{\text{max}} \cdot \frac{1}{\text{K}} \right) \right] = 0.05\%$$

Analyse de l'ADC ADAS3022

DC ACCURACY					
No Missing Codes		16			Bits
Integral Linearity Error	PGIA gain = 0.16, 0.2, 0.4, 0.8, 1.6	-2	±0.6	+2	LSB
	PGIA gain = 3.2	-3	±1.0	+3	LSB
	PGIA gain = 6.4	-5	±1.5	+5	LSB
Differential Linearity Error	PGIA gain = 0.16, 0.2, 0.4, 0.8, 1.6	-0.9	±0.6	+1.0	LSB
	PGIA gain = 3.2	-0.9	±0.75	+1.25	LSB
	PGIA gain = 6.4	-0.9	±0.75	+1.25	LSB
Transition Noise	External reference				
	PGIA gain = 0.16, 0.2, 0.4, 0.8, 1.6		5		LSB
	PGIA gain = 3.2		7		LSB
	PGIA gain = 6.4		11		LSB
Gain Error	External reference, all PGIA gains, T _A = 25°C	-9		+9	LSB
Gain Error Temperature Drift	External reference, all PGIA gains			0.1	ppm/°C
Offset Error	External reference, T _A = 25°C				
	PGIA gain = 0.16, 0.2, 0.4, 0.8	-3.0	+0.2	+3.0	LSB
	PGIA gain = 1.6	-4.0	+0.2	+4.0	LSB
	PGIA gain = 3.2	-7.5	+0.2	+7.5	LSB
	PGIA gain = 6.4	-12.5	+0.2	+12.5	LSB

a partir de la note d'appli de TI, ref [s1aa587.pdf](#)

$$Ge_{volt_ADAS3022} := (4 + 2) \cdot \frac{20V}{2^{16}} + \frac{0.1}{1000000} \cdot 2.5V \cdot \left(\Delta T_{max} \cdot \frac{1}{K} \right) = 1.847 \cdot mV \quad (\text{resultat sans la reference})$$

$$\Delta Ge_{ADAS3022} := \frac{Ge_{volt_ADAS3022}}{20V} + Ge_{ref3425} \quad (\text{ajout de la reference})$$

$$\Delta Ge_{ADAS3022} = 0.059 \cdot \%$$

$$\frac{Ge_{volt_ADAS3022}}{20V} = 9.237 \times 10^{-3} \cdot \%$$

Parameter	Test Conditions/Comments	Min	Typ	Max	Unit'
Offset Error Temperature Drift	External reference				
	PGIA gain = 0.16, 0.2, 0.4, 0.8		0.1	0.5	ppm/°C
	PGIA gain = 1.6		0.2	1.0	ppm/°C
	PGIA gain = 3.2		0.4	2.0	ppm/°C
	PGIA gain = 6.4		0.8	4.0	ppm/°C
Total Unadjusted Error	External reference, T _A = 25°C				
	PGIA gain = 0.16, 0.2, 0.4, 0.8, 1.6, 3.2	-9		+9	LSB
	PGIA gain = 6.4	-15		+15	LSB

$$\Delta Offset_error_{ADAS3022} := \frac{3 \cdot 20V}{2^{16}} \left(1 + \frac{0.5}{1000000} \cdot \Delta T_{max} \cdot \frac{1}{K} \right) = 0.916 \cdot mV$$

Analyse de la solution ANI1

On définit ci dessous l'enveloppe de l'erreur acceptable (définie par la spécification)

$$\Delta X_{\text{theorique}}(x) := 7 \cdot 10^{-4} \cdot \left(1 + \frac{|x - 4.5V|}{4.5V} \right) \quad \Delta X_{\text{theorique2}}(x) := -7 \cdot 10^{-4} \cdot \left(1 + \frac{|x - 4.5V|}{4.5V} \right)$$

Pour simplifier l'écriture de l'erreur sur ANI1, on pose les variables suivantes:

$$dV_{oc} := \Delta \text{Offset_error}_{ADA3077}$$

$$dV_{onc}(x) := \Delta \text{Offset}_{AD8422} \left(\frac{x}{2} \right)$$

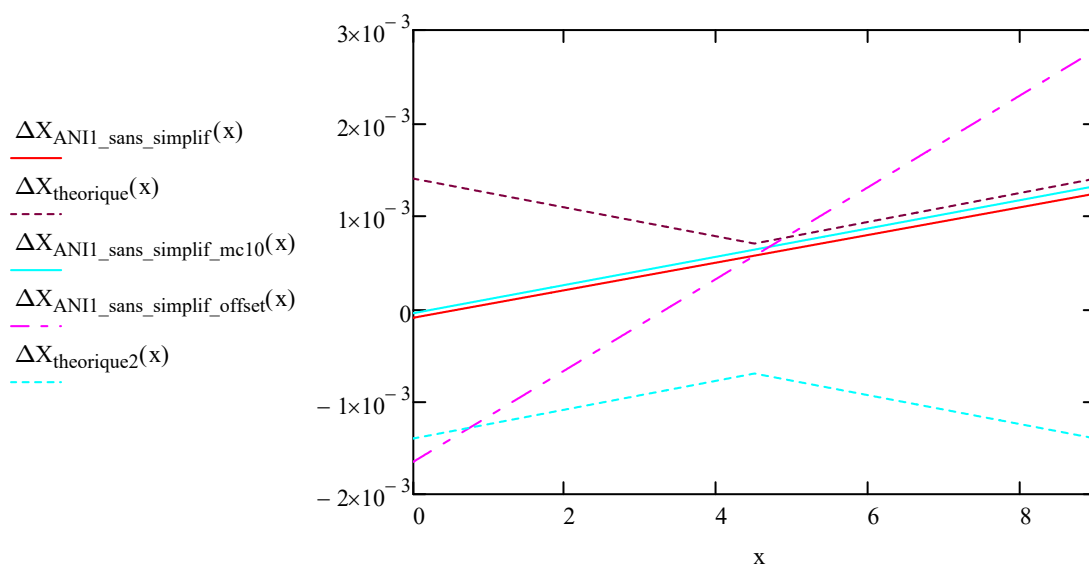
Attention : pour rappel l'offset de mode commun est $((V+) + (V-))/2$

On récupère la formule de l'erreur ANI1:

$$\Delta X_{\text{ANI1_sans_simplif}}(x) := \Delta X_{\text{ANI1_sans_simplification}}(V_c, x, dV_{oc}, dV_{onc}(4.5V), -dV_{onc}(x), \Delta \text{gain}_{ad8422}, -\Delta \text{gain}_{ad8422}, \Delta \text{Ge}$$

Pour test: je rajoute un offset (ex: lié a l'ADC)

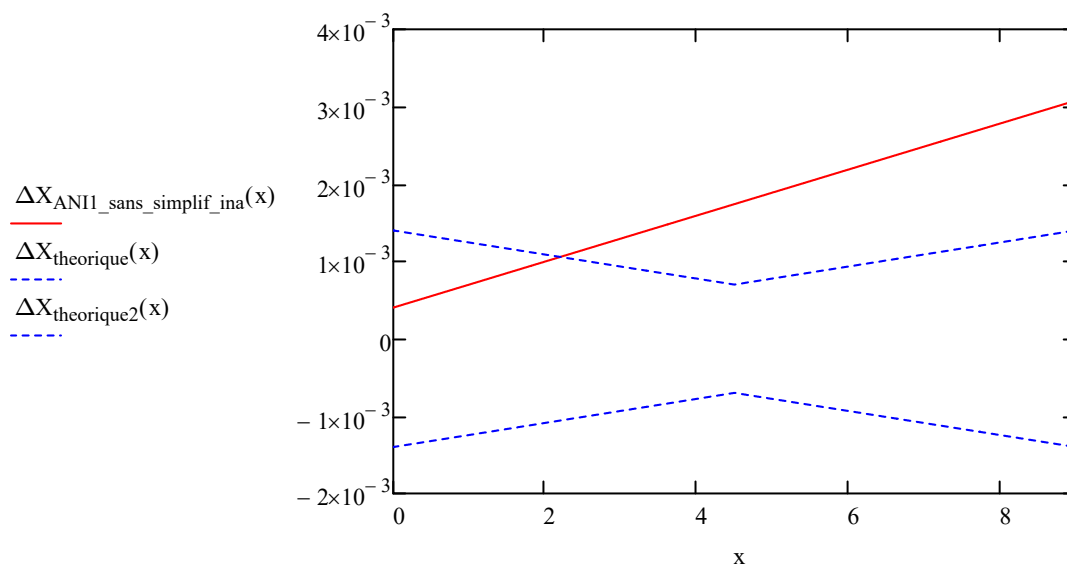
$$\Delta X_{\text{ANI1_sans_simplif_offset}}(x) := \Delta X_{\text{ANI1_sans_simplification}}(V_c, x, dV_{oc} + 7mV, dV_{onc}(4.5V), -dV_{onc}(x), \Delta \text{gain}_{ad8422}, -\Delta \text{gain}_{ad8422}, \Delta \text{Ge}$$



A titre de comparaison, la même courbe avec un INA826

$$dV_{\text{onc_ina}}(x) := \Delta\text{Offset}_{\text{INA826}}\left(\frac{x}{2}\right)$$

$$\Delta X_{\text{ANI1_sans_simplif_ina}}(x) := \Delta X_{\text{ANI1_sans_simplification}}(V_c, x, dV_{\text{oc}}, dV_{\text{onc_ina}}(4.5V), -dV_{\text{onc_ina}}(x), GE_{\text{INA826_max}}, -GE_{\text{IN}})$$



Utilisation de la seconde formule

Rappel : $x (=VD)$ est $V_c - V_w$. il varie donc entre -4.5 et $4.5V$

$$dX_{mes2} := \frac{\left[dV_{d_{onc}} + dV_{oc} + (dV_{gc} + dV_{d_{gnc}} + 1) \cdot Vd \right]}{\left[dV_{c_{onc}} + dV_{oc} + (dV_{gc} + dV_{c_{gnc}} + 1) \cdot Vc \right]} - \frac{(Vd)}{Vc}$$

$$\Delta X_{ANI1_sans_simplification2}(Vc, Vd, dV_{oc}, dV_{c_{onc}}, dV_{d_{onc}}, dV_{c_{gnc}}, dV_{d_{gnc}}, dV_{gc})$$

$$\Delta X_{ANI1_sans_simplif2_1}(x) := \Delta X_{ANI1_sans_simplification2}(Vc, x, dV_{oc}, dV_{onc}(4.5V), dV_{onc}(x), \Delta gain_{ad8422}, -\Delta gain_{ad8422}, \Delta gain_{ad8422})$$

On définit ci dessous l'enveloppe de l'erreur acceptable (définie par la spécification)

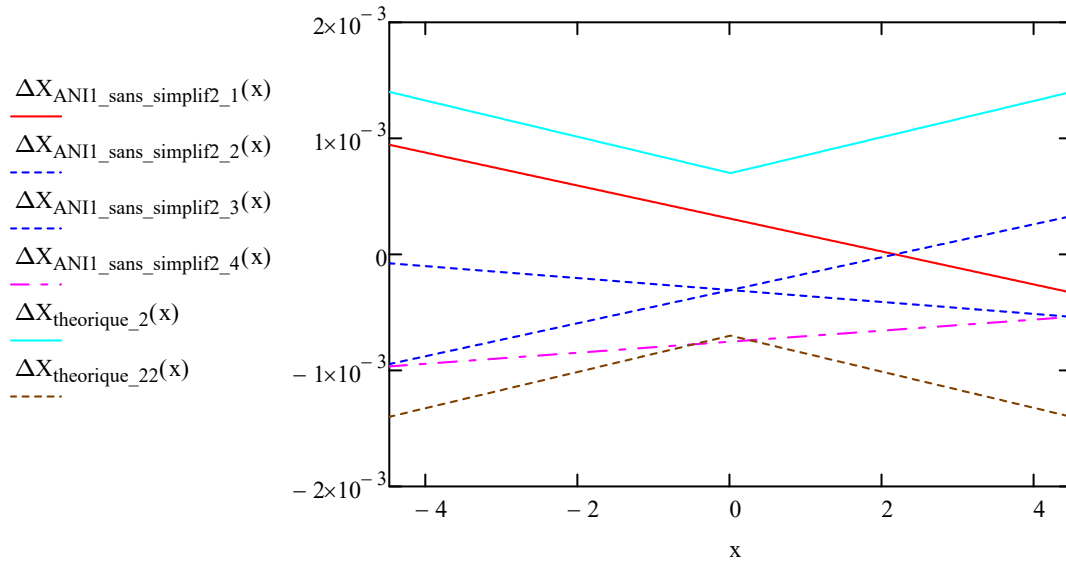
$$\Delta X_{theorique_2}(x) := 7 \cdot 10^{-4} \cdot \left(1 + \frac{|x|}{4.5V} \right) \quad \Delta X_{theorique_22}(x) := -7 \cdot 10^{-4} \cdot \left(1 + \frac{|x|}{4.5V} \right)$$

$$\Delta X_{ANI1_sans_simplif2_2}(x) := \Delta X_{ANI1_sans_simplification2}(Vc, x, -dV_{oc}, -dV_{onc}(-4.5V), -dV_{onc}(-x), -\Delta gain_{ad8422}, \Delta gain_{ad8422}, \Delta gain_{ad8422})$$

$$\Delta X_{ANI1_sans_simplif2_3}(x) := \Delta X_{ANI1_sans_simplification2}(Vc, x, -dV_{oc}, dV_{onc}(4.5V), -dV_{onc}(-x), \Delta gain_{ad8422}, -\Delta gain_{ad8422}, \Delta gain_{ad8422})$$

Pour test uniquement: on ajoute un offset commun dans la formule:

$$\Delta X_{ANI1_sans_simplif2_4}(x) := \Delta X_{ANI1_sans_simplification2}(Vc, x, -dV_{oc} - 2mV, dV_{onc}(4.5V), -dV_{onc}(-x), \Delta gain_{ad8422}, -\Delta gain_{ad8422}, \Delta gain_{ad8422})$$



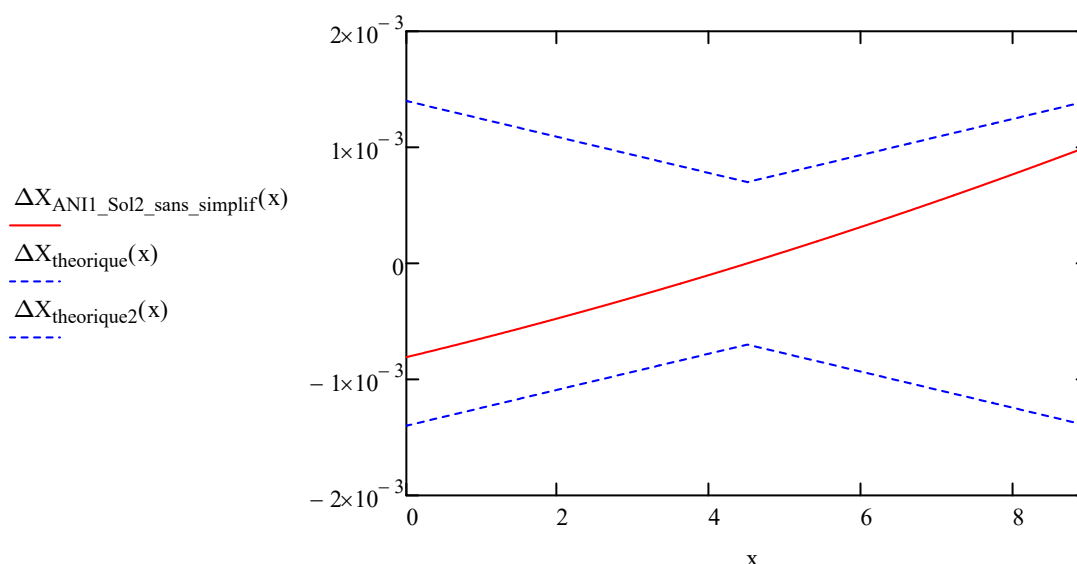
Solution ANI1 : Mux en tête

Si on part sur un multiplexage des entrées ANI1 (MUX en tête)

$$dV_{oc}(x) := \Delta\text{Offset_error}_{\text{ADAS3022}} + \Delta\text{Offset}_{\text{INA826}}(x)$$

$$dV_{in}(x) := 0$$

$$\Delta X_{\text{ANI1_Sol2_sans_simplif}}(x) := \Delta X_{\text{ANI1_sans_simplification}}(V_c, x, dV_{oc}(x), 0, 0, 0, 0, \Delta G_{e\text{ADAS3022}} + G_{e\text{max}})$$



Analyse de la solution ANI2

Pour le cas de l'ANI2: on considère que le PLD élimine les erreurs d'Offset. Par contre une erreur de Gain de l'INA a un impact direct sur la grandeur a quantifier

Pour rappel, celle ci est de :

$$G_{E\text{INA826_max}} = 2.15 \times 10^{-4}$$

Même si ce chiffre paraît faible, il est au contraire très contraignant car il donne une erreur dans les milli-volts (pire cas)

$$5V \cdot G_{E\text{INA826_max}} = 1.075 \cdot \text{mV}$$

Erreur due à l'ADC

Erreur liée à un ADAS3022

Si l'ADAS est configuré en +/-20V:

$$LSB_{20V} := \frac{20V}{2^{16}}$$

L'erreur de linearité de l'ADAS3022 est de

$$INL_{ADAS3022} := 2 \quad (\text{en LSB})$$

$$Error_ADAS3022_MAX_ANI1_2_20v := INL_{ADAS3022} \cdot LSB_{20V}$$

$$Ge_{ADAS3022_max} := Error_ADAS3022_MAX_ANI1_2_20v = 0.61 \cdot mV$$



Dans notre cas, on va considérer l'utilisation d'un ADC avec un INL minimal. On va considérer l'ADS8168, dont les caractéristiques sont

$$LSB_{5V} := \frac{5V}{2^{16}}$$

$$INL_{ADS8168} := 0.8 LSB_{5V}$$

L'erreur de gain est:

$$Ge_{ADS8168_max} := 0.06\%$$

Enfin, on considère un gain en entrée d'ADC

G_E	Gain error	Referred to REFIO	-0.06	±0.002	0.06	%FSR
	Gain error match	Referred to REFIO	-0.005	±0.0025	0.005	%FSR

$$error_ADC := \frac{0}{5} \cdot INL_{ADS8168}$$



$$\Delta X_{ANI2}(V1, V_{total}, dV1_{onc}, dV2_{onc}, dV_{oc}, dV1_{gnc}, dV2_{gnc}, dV_{gc})$$

Pour simplifier l'écriture: on pose:

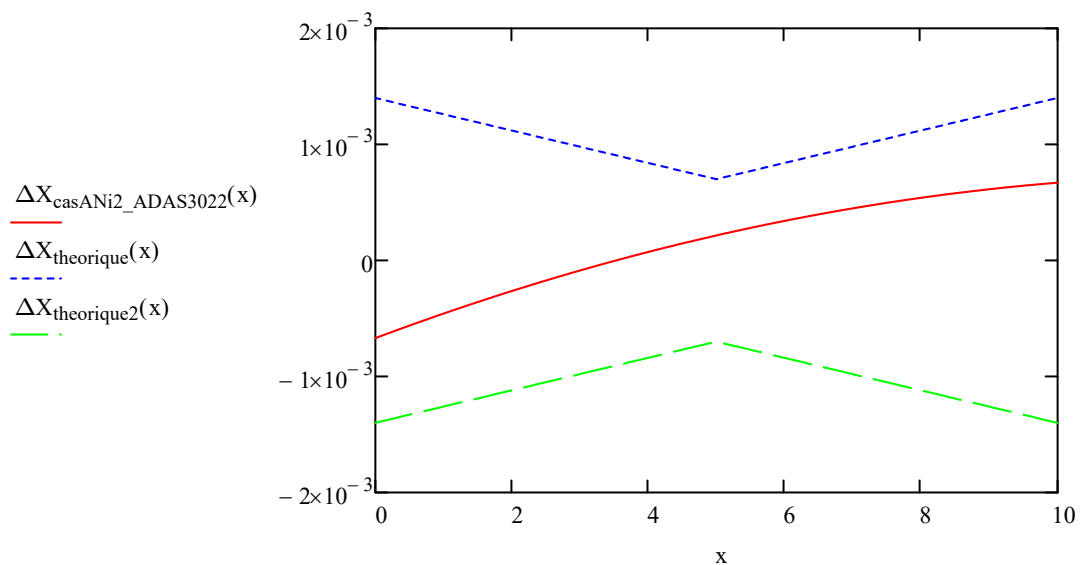
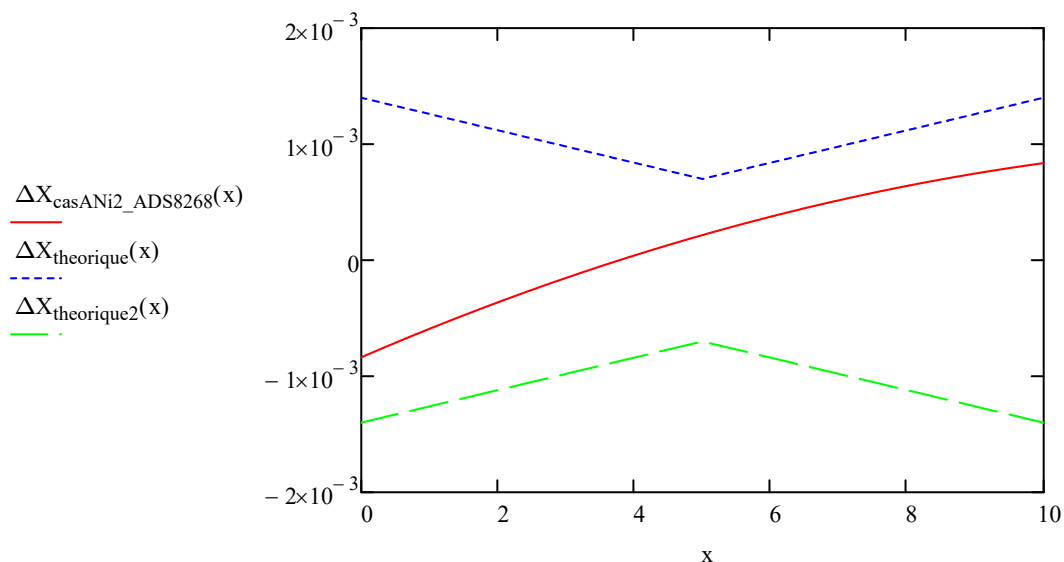
$$dV_{offset} := Offset_error_INA826_max$$

$$\Delta X_{casANI2_ADS8268}(x) := \Delta X_{ANI2}(x, 10V, -dV_{onc}, -dV_{onc}, -\Delta offset_{ADS8568}, GE_{INA826_max}, -GE_{INA826_max}, -\Delta gai$$

$$\Delta X_{casANI2_ADAS3022}(x) := \Delta X_{ANI2}(x, 10V, -dV_{onc}, -dV_{onc}, -\Delta Offset_error_{ADAS3022}, GE_{INA826_max}, -GE_{INA826_m$$

$$\Delta X_{\text{theorique}}(x) := 7 \cdot 10^{-4} \cdot \left(1 + \frac{|x - 5V|}{5V}\right)$$

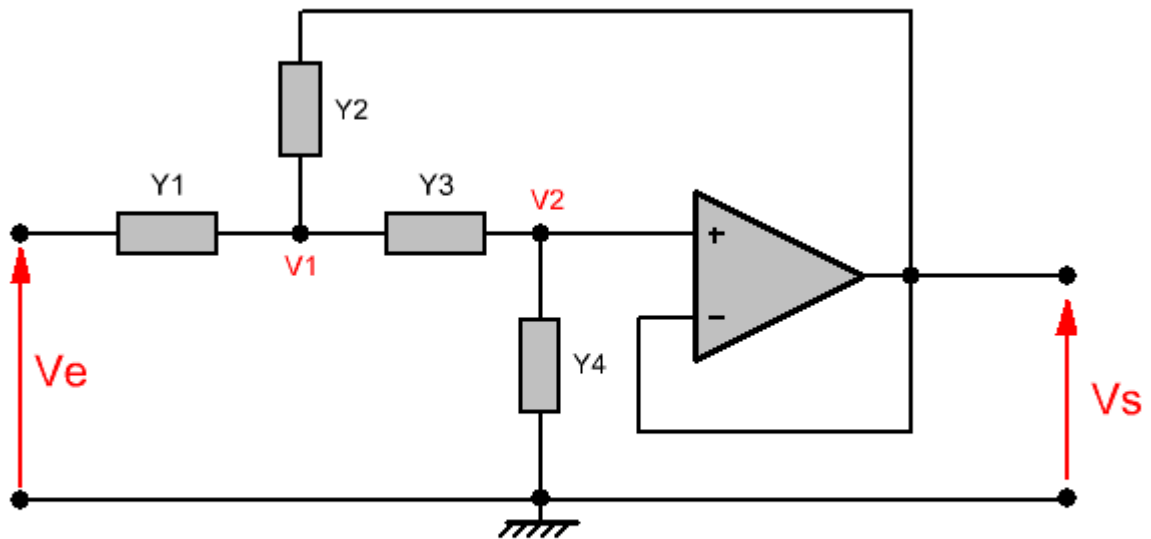
$$\Delta X_{\text{theorique2}}(x) := -7 \cdot 10^{-4} \cdot \left(1 + \frac{|x - 5V|}{5V}\right)$$



Solution "RFP"

Un filtrage est placé après l'amplificateur différentiel. Ce filtrage est un ordre 2 pour atténuer les hautes

frequencies. Les principaux parametres sont récupérés a partir de données internet



electronique.aop.free.fr

structure de Sallen & Key

$$\frac{V_s}{V_e} = \frac{Y_1 Y_3}{(Y_1 + Y_2)(Y_3 + Y_4) + Y_3(Y_4 - Y_2)} \quad (1)$$



$$Y_1 = \frac{1}{R_1}$$

$$Y_2 = jC_1\omega$$

$$Y_3 = \frac{1}{R_2}$$

$$Y_4 = jC_2\omega$$

$$\rightarrow \frac{1}{\omega_c} = \sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2} \Leftrightarrow \omega_c = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}$$

$$\rightarrow \frac{2m}{\omega_c} = C_2(R_1 + R_2) \Leftrightarrow m = \frac{C_2(R_1 + R_2)}{2\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}$$

$$\rightarrow A = 1$$

$$Q = \frac{\omega_0}{2\alpha} = \frac{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}{C_2 (R_1 + R_2)}.$$



$$R_1 = mR,$$

$$R_2 = R/m,$$

$$C_1 = nC,$$

$$C_2 = C/n.$$

As a result, the f_0 and Q expressions are reduced to

$$\omega_0 = 2\pi f_0 = \frac{1}{RC}$$

and

$$Q = \frac{mn}{m^2 + 1}.$$

On va fixer m et trouver n

$$Q(m^2 + 1) := mn$$

$$Q := 0.67$$

$$\underline{m} := 1$$

$$n := \frac{Q \cdot (m^2 + 1)}{m}$$

$$n = 1.34$$

On veut une fréquence de coupure autour de 50kHz

$$\omega_c := 2 \cdot \pi \cdot 50 \text{kHz}$$

A partir de ces données on fixe la résistance et on détermine la capa

$$R_{\text{es}} := 35.7 \text{k}\Omega$$

$$C_{\text{ap}} := \frac{1}{R_{\text{es}} \cdot \omega_c}$$

A partir des formules données ci-dessus, on en détermine C1 et C2 (fonction de Q)

$$R_1 := R_{\text{es}}$$

$$R_2 := R_{\text{es}}$$

$$C_1 := n \cdot C_{\text{ap}} = 119.478 \cdot \text{pF}$$

$$C_2 := \frac{C_{\text{ap}}}{n} = 66.539 \cdot \text{pF}$$

$$Q := \frac{\sqrt{R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2}}{C_2 \cdot (R_1 + R_2)}$$

On définit les valeurs des 4 composants:

$$Y_1(R_1) := \frac{1}{R_1}$$

$$Y_2(C_1, p) := (p \cdot C_1)$$

$$Y_3(R_2) := \frac{1}{R_2}$$

$$Y_4(C_2, p) := (p \cdot C_2)$$

exemple de choix de composants:

$$R_2 := 35.7 \text{k}\Omega$$

$$R_1 := 49.9 \text{k}\Omega$$

$$C_1 := 100 \text{pF}$$

$$C_2 := 56 \text{pF}$$

$$n := \sqrt{\frac{C_1}{C_2}}$$

$$m := \sqrt{\frac{R_1}{R_2}}$$

$$\frac{1}{2\pi \cdot m \cdot R_2 \cdot n \cdot C_2} = 50.39 \cdot \text{kHz}$$

$$\frac{m \cdot n}{m^2 + 1} = 0.659$$

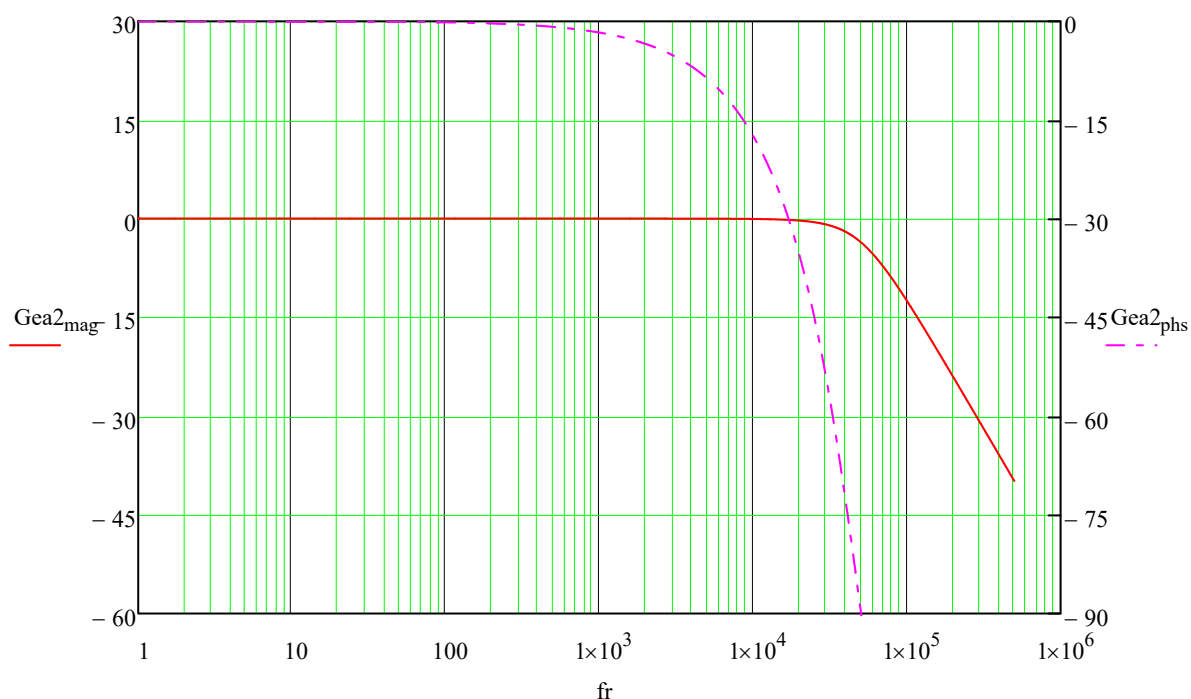


On en déduit la fonction de transfert du filtre

$$H_{\text{filter}}(p) := \frac{Y_1(R_1) \cdot Y_3(R_2)}{(Y_1(R_1) + Y_2(C_1, p)) \cdot (Y_3(R_2) + Y_4(C_2, p)) + Y_3(R_2) \cdot (Y_4(C_2, p) - Y_2(C_1, p))}$$

$$\begin{pmatrix} \text{Gea2}_{\text{mag}} \\ \text{Gea2}_{\text{phs}} \end{pmatrix} := \text{bode}(H_{\text{filter}}, \text{sn})$$

Le diagramme de bode est représenté ci-dessous



Les composants ne sont pas parfaits: Il faut caractériser l'impact du filtrage sur le résultat de l'ANI1 / 2

On redéfinit la même fonction de transfert, mais on met maintenant en parametre des 4 composants. On suppose l'AOP ideal

$$H_{\text{filter2}}(p, R_1, R_2, C_1, C_2) := \frac{Y_1(R_1) \cdot Y_3(R_2)}{(Y_1(R_1) + Y_2(C_1, p)) \cdot (Y_3(R_2) + Y_4(C_2, p)) + Y_3(R_2) \cdot (Y_4(C_2, p) - Y_2(C_1, p))}$$

Pour des valeurs de composants typiques, le gain du filtre est de:

$$\left| H_{\text{filter2}}(i \cdot 2 \cdot \pi \cdot 2153 \text{Hz}, R_1, R_2, C_1, C_2) \right| = 0.9997215$$

$$H_{\text{typ}} := \left| H_{\text{filter2}}(i \cdot 2 \cdot \pi \cdot 2153 \text{Hz}, R_1, R_2, C_1, C_2) \right|$$

On retrouve les valeurs de gain min et max:

$$H_{\text{min}} := \left| H_{\text{filter2}}[i \cdot 2 \cdot \pi \cdot 2153 \text{Hz}, (1 - \text{Tol}_{\text{res01_temp}})R_1, (1 + \text{Tol}_{\text{res01_temp}})R_2, (1 - \text{Tol}_{\text{cap5_temp}})C_1, (1 + \text{Tol}_{\text{cap5_temp}})C_2] \right|$$

$$H_{\text{max}} := \left| H_{\text{filter2}}[i \cdot 2 \cdot \pi \cdot 2153 \text{Hz}, (1 + \text{Tol}_{\text{res01_temp}})R_1, (1 - \text{Tol}_{\text{res01_temp}})R_2, (1 + \text{Tol}_{\text{cap5_temp}})C_1, (1 - \text{Tol}_{\text{cap5_temp}})C_2] \right|$$

$$5V \cdot (H_{\text{max}} - H_{\text{typ}}) = 1.039 \cdot \text{mV}$$

$$5V \cdot (H_{\text{min}} - H_{\text{typ}}) = -1.144 \cdot \text{mV}$$

$$\Delta \text{Gain}_{\text{RFP}} := \frac{5V \cdot (H_{\text{max}} - H_{\text{min}})}{2}$$

L'erreur de gain - liée au filtre uniquement- et pour une une voie - est de:

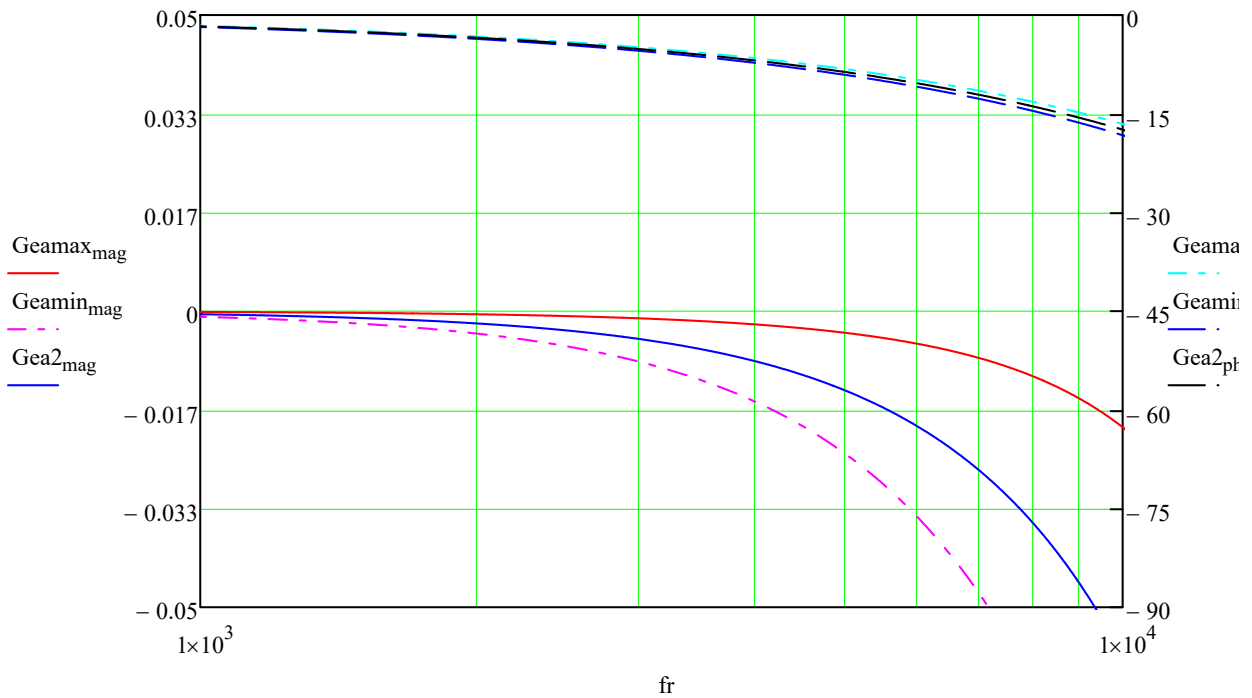
$$\Delta \text{Gain}_{\text{RFP}} = 1.091 \cdot \text{mV}$$

$$H_{\text{filter_max}}(p) := H_{\text{filter2}}[p, (1 + \text{Tol}_{\text{res01_temp}})R_1, (1 - \text{Tol}_{\text{res01_temp}})R_2, (1 + \text{Tol}_{\text{cap5_temp}})C_1, (1 - \text{Tol}_{\text{cap5_temp}})C_2]$$

$$H_{\text{filter_min}}(p) := H_{\text{filter2}}[p, (1 - \text{Tol}_{\text{res01_temp}})R_1, (1 + \text{Tol}_{\text{res01_temp}})R_2, (1 - \text{Tol}_{\text{cap5_temp}})C_1, (1 + \text{Tol}_{\text{cap5_temp}})C_2]$$

$$\begin{pmatrix} \text{Geamax}_{\text{mag}} \\ \text{Geamax}_{\text{phs}} \end{pmatrix} := \text{bode}(H_{\text{filter_max}}, \text{sn})$$

$$\begin{pmatrix} \text{Geamin}_{\text{mag}} \\ \text{Geamin}_{\text{phs}} \end{pmatrix} := \text{bode}(H_{\text{filter_min}}, \text{sn})$$



En jouant sur le parametre Q, on s'apperçoit vite que plus Q est elevé, plus l'erreur diminue. En revanche, au dela de $Q=0.707 \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \right)$ alors il y a une résonance.

Resultats :

l'erreur sur une voie pour X= 0 est de:

$$\text{Erreur_solution_RFP}_{\text{ANI2}} := 5V \cdot \text{GE}_{\text{INA826_max}} + \Delta \text{Gain}_{\text{RFP}} + 1 \text{Error_ADAS3022_MAX_ANI1_2_20v} = 2.777 \cdot 10^{-3} \text{V}$$



Cas de l'ANI1

Si on se concentre sur la valeur X=0, et qu'on réutilise les résultats précédents:

- 1) il faut maintenant considérer l'erreur d'offset de l'INA, qui rajoute une erreur sur la tension a mesurer

$$\text{Offset_error_INA826_max} = 2.43 \cdot \text{mV}$$

- 2) il faut considérer l'erreur de gain de l'INA - lorsqu'il a 5V en entrée (X=0)

$$\text{Gain_error_INA} := 5V \cdot \text{GE}_{\text{INA_max}} = 1.1 \cdot 10^{-3} \text{V}$$

- 3) Il faut considérer l'erreur d'INL de l'ampli

$$\text{Error_ADAS3022_MAX_ANI1_2_20v} = 0.61 \cdot \text{mV}$$

- 4) on considère que l'erreur d'offset / gain est calibrée par Orion

5) On ne considère pas d'erreur sur le filtre (ce qui est une erreur)

$$\text{Erreur_solution_RFP}_{\text{ANI1}} := \text{Offset_error_INA826_max} + 5V \cdot \text{GE}_{\text{INA_max}} \dots = \dots \text{mV} \\ + \text{Error_ADAS3022_MAX_ANI1_2_20v}$$

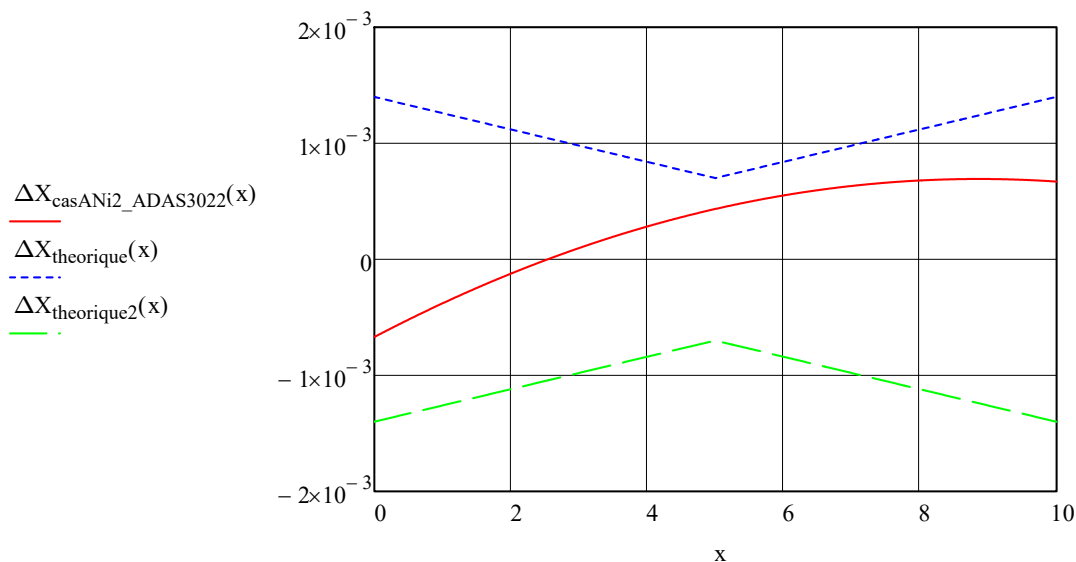


L'erreur de gain non commune introduite par le filtre est

$$\text{GE}_{\text{filter}} := 1 - \frac{H_{\min}}{\left(\frac{H_{\max} + H_{\min}}{2} \right)}$$

On ne considère pas l'erreur de gain commune car très négligeable

$$\Delta X_{\text{casANI2_ADAS3022}}(x) := \Delta X_{\text{ANI2}}(x, 10V, -dV_{\text{onc}}, -dV_{\text{onc}}, -\Delta \text{Offset_error}_{\text{ADAS3022}}, \text{GE}_{\text{INA826_max}} + \text{GE}_{\text{filter}}, -\text{GE}_{\text{IN}}$$



Atténuation à la fréquence d'échantillonnage

L'objectif du filtre étant de supprimer le replément lié à l'échantillonnage il convient de regarder l'atténuation à 150kHz:

$$20 \cdot \log \left(\left| H_{\text{filter2}}(i \cdot 2 \cdot \pi \cdot 150\text{kHz}, R_1, R_2, C_1, C_2) \right| \right) = -19.1493323$$

Impact du filtre sur la mesure ANI2

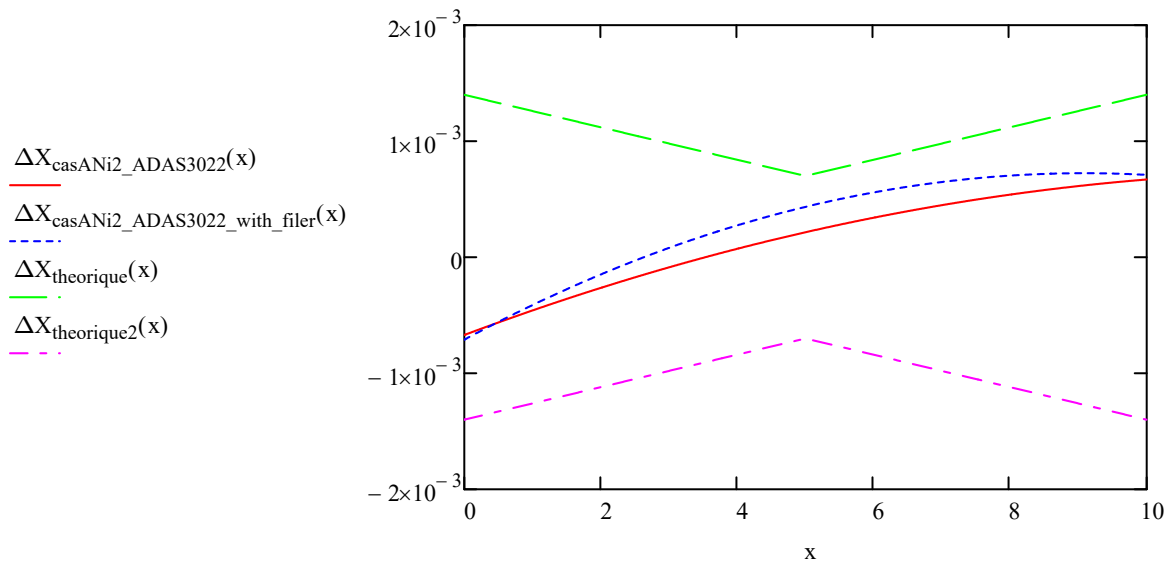
Le filtre introduit aussi une erreur d'offset lié à l'input offset voltage de l'amplificateur. Celle-ci est amorcée de la manière suivante:

$$V_{\text{off_aop}} := 200\mu\text{V}$$

$$\Delta X_{\text{ANI2}}(V1, V_{\text{total}}, dV1_{\text{onc}}, dV2_{\text{onc}}, dV_{\text{oc}}, dV1_{\text{gnc}}, dV2_{\text{gnc}}, dV_{\text{gc}})$$

$$\Delta X_{\text{casANI2_ADAS3022}}(x) := \Delta X_{\text{ANI2}}(x, 10V, -dV_{\text{onc}}, -dV_{\text{onc}}, -\Delta \text{Offset_error}_{\text{ADAS3022}}, \text{GE}_{\text{INA826_max}}, -\text{GE}_{\text{INA826_max}})$$

$$\Delta X_{\text{casANI2_ADAS3022_with_filer}}(x) := \Delta X_{\text{ANI2}} \left[x, 10V, -dV_{\text{onc}} - V_{\text{off_aop}}, -dV_{\text{onc}} - V_{\text{off_aop}}, -\Delta \text{Offset_error}_{\text{ADAS3022}}, \right.$$



Cas des ANI2 précis: Utilisation d'un filtre d'ordre 4

L'objectif est de couper plus fort pour échantillonner moins vite. Pour cela, on va cascader deux filtres d'ordre 2. La démarche utilisée est la même que précédemment

On va fixer m et trouver n

$$Q \cdot (m^2 + 1) := mn$$

$$Q := 0.68$$

$$m := 1$$

$$n := \frac{Q \cdot (m^2 + 1)}{m}$$

$$n = 1.36$$

On veut une fréquence de coupure un peu plus élevée pour ne pas perturber le signal à mesurer, soit autour de 70kHz

$$\omega_c := 2 \cdot \pi \cdot 71000 \text{ Hz}$$

À partir de ces données on fixe la résistance et on détermine la capacité

$$R_{\text{es}} := 30 \text{ k}\Omega$$

$$C_{\text{ap}} := \frac{1}{R_{\text{es}} \cdot \omega_c}$$

À partir des formules données ci-dessus, on en détermine C1 et C2 (fonction de Q)

$$R_1 := R_{\text{es}}$$

$$R_2 := R_{\text{es}}$$

$$C_1 := n \cdot C_{\text{ap}} = 101.62 \cdot \text{pF}$$

$$C_2 := \frac{C_{\text{ap}}}{n} = 54.942 \cdot \text{pF}$$

$$Q := \frac{\sqrt{R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2}}{C_2 \cdot (R_1 + R_2)}$$

$$R_2 := 31.6 \text{ k}\Omega$$

$$R_1 := 31.6 \text{ k}\Omega$$

$$C_1 := 100 \text{ pF}$$

$$C_2 := 47 \text{ pF}$$

$$n := \sqrt{\frac{C_1}{C_2}}$$

$$\frac{1}{2\pi \cdot m \cdot R_2 \cdot n \cdot C_2} = 73.466 \cdot \text{kHz}$$

$$\frac{m \cdot n}{m^2 + 1} = 0.729$$

$$m := \sqrt{\frac{R_1}{R_2}}$$

On définit les valeurs des 4 composants:

$$Y_1(R_1) := \frac{1}{R_1}$$

$$Y_2(C_1, p) := (p \cdot C_1)$$

$$Y_3(R_2) := \frac{1}{R_2}$$

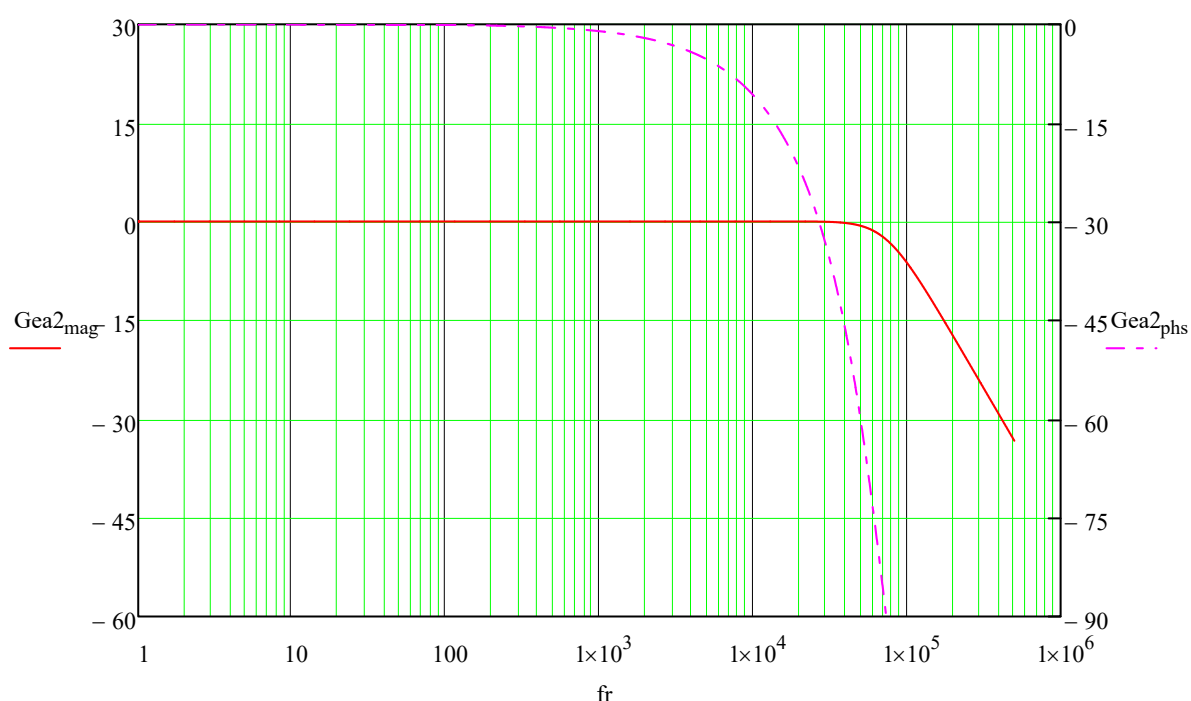
$$Y_4(C_2, p) := (p \cdot C_2)$$

On en déduit la fonction de transfert du filtre

$$H_{\text{filter}}(p) := \frac{Y_1(R_1) \cdot Y_3(R_2)}{(Y_1(R_1) + Y_2(C_1, p)) \cdot (Y_3(R_2) + Y_4(C_2, p)) + Y_3(R_2) \cdot (Y_4(C_2, p) - Y_2(C_1, p))}$$

$$\begin{pmatrix} \text{Gea2}_{\text{mag}} \\ \text{Gea2}_{\text{phs}} \end{pmatrix} := \text{bode}(H_{\text{filter}}, \text{sn})$$

Le diagramme de bode est représenté ci-dessous



Les composants ne sont pas parfaits: Il faut caractériser l'impact du filtrage sur le résultat de l'ANI1 / 2

On redéfinit la même fonction de transfert, mais on met maintenant en paramètre des 4 composants. On suppose l'AOP idéal

$$H_{\text{filter2}}(p, R_1, R_2, C_1, C_2) := \frac{Y_1(R_1) \cdot Y_3(R_2)}{(Y_1(R_1) + Y_2(C_1, p)) \cdot (Y_3(R_2) + Y_4(C_2, p)) + Y_3(R_2) \cdot (Y_4(C_2, p) - Y_2(C_1, p))}$$

Pour des valeurs de composants typiques, le gain du filtre est de:

$$\left| H_{\text{filter2}}(i \cdot 2 \cdot \pi \cdot 2153 \text{Hz}, R_1, R_2, C_1, C_2) \right| = 1.0000512$$

$$H_{\text{max}} := \left| H_{\text{filter2}}(i \cdot 2 \cdot \pi \cdot 2153 \text{Hz}, R_1, R_2, C_1, C_2) \right|$$

On retrouve les valeurs de gain min et max:

$$H_{\text{min}} := \left| H_{\text{filter2}}[i \cdot 2 \cdot \pi \cdot 2153 \text{Hz}, (1 - \text{Tol}_{\text{res01_temp}})R_1 \cdot (1 + \text{Tol}_{\text{res01_temp}}), R_2, (1 - \text{Tol}_{\text{cap5_temp}})0.95C_1, (1 + \text{Tol}_{\text{cap5_temp}})C_2] \right|$$

$$H_{\text{max}} := \left| H_{\text{filter2}}[i \cdot 2 \cdot \pi \cdot 2153 \text{Hz}, (1 + \text{Tol}_{\text{res01_temp}})R_1 \cdot (1 - \text{Tol}_{\text{res01_temp}}), R_2, (1 + \text{Tol}_{\text{cap5_temp}})C_1, (1 - \text{Tol}_{\text{cap5_temp}})C_2] \right|$$

$$5V \cdot (H_{\text{max}} - H_{\text{typ}}) = 0.397 \cdot \text{mV}$$

$$5V \cdot (H_{\text{min}} - H_{\text{typ}}) = -0.656 \cdot \text{mV}$$

$$\Delta \text{Gain}_{\text{rfp}} := \frac{5V \cdot (H_{\text{max}} - H_{\text{min}})}{2}$$

L'erreur de gain - liée au filtre uniquement- et pour une une voie - est de:

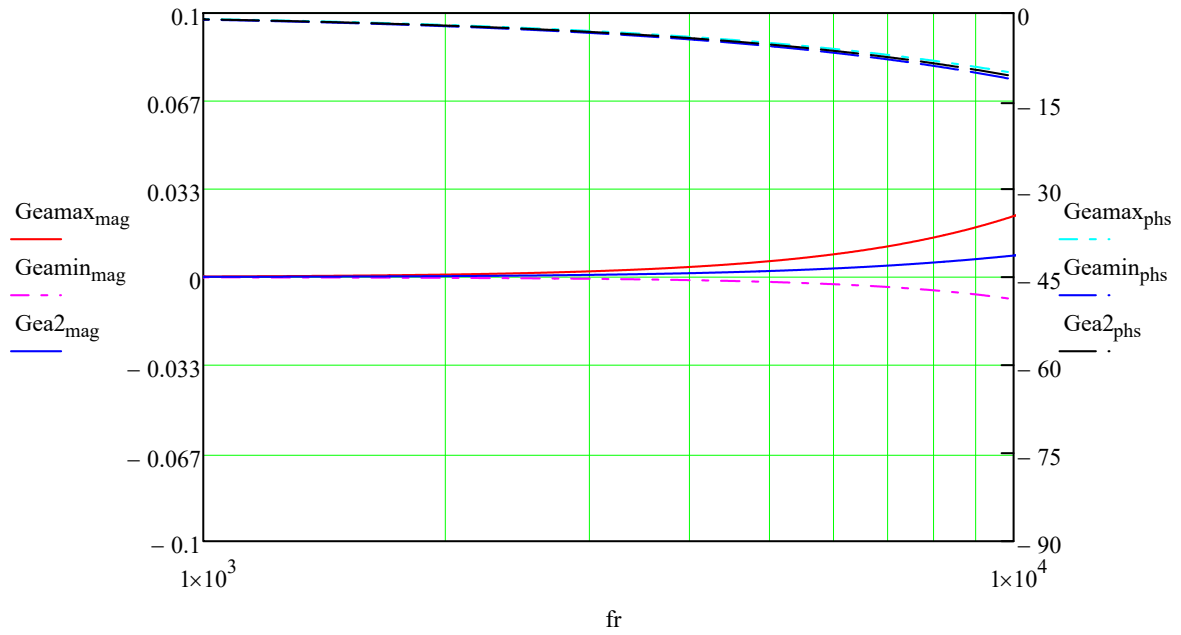
$$\Delta \text{Gain}_{\text{rfp}} = 0.526 \cdot \text{mV}$$

$$H_{\text{filter_max}}(p) := H_{\text{filter2}}[p, (1 + \text{Tol}_{\text{res01_temp}})R_1 \cdot (1 - \text{Tol}_{\text{res01_temp}}), R_2, (1 + \text{Tol}_{\text{cap5_temp}})C_1, (1 - \text{Tol}_{\text{cap5_temp}})C_2]$$

$$H_{\text{filter_min}}(p) := H_{\text{filter2}}[p, (1 - \text{Tol}_{\text{res01_temp}})R_1 \cdot (1 + \text{Tol}_{\text{res01_temp}}), R_2, (1 - \text{Tol}_{\text{cap5_temp}})C_1, (1 + \text{Tol}_{\text{cap5_temp}})C_2]$$

$$\begin{pmatrix} \text{Geamax}_{\text{mag}} \\ \text{Geamax}_{\text{phs}} \end{pmatrix} := \text{bode}(H_{\text{filter_max}}, \text{sn})$$

$$\begin{pmatrix} \text{Geamin}_{\text{mag}} \\ \text{Geamin}_{\text{phs}} \end{pmatrix} := \text{bode}(H_{\text{filter_min}}, \text{sn})$$



$$\left| H_{\text{filter_max}}(i \cdot 2 \cdot \pi \cdot 1853 \text{Hz}) \right| = 1.0001$$

$$\left| H_{\text{filter_min}}(i \cdot 2 \cdot \pi \cdot 1853 \text{Hz}) \right| = 0.99997$$

$$\left| H_{\text{filter_max}}(i \cdot 2 \cdot \pi \cdot 2153 \text{Hz}) \right| = 1.00013$$

$$\left| H_{\text{filter_min}}(i \cdot 2 \cdot \pi \cdot 2153 \text{Hz}) \right| = 0.99996$$

$$\left| H_{\text{filter_max}}(i \cdot 2 \cdot \pi \cdot 2153 \text{Hz}) \right| - \left| H_{\text{filter_min}}(i \cdot 2 \cdot \pi \cdot 2153 \text{Hz}) \right| = 0.00017$$

$$20 \log \left(\left| H_{\text{filter_min}}(i \cdot 2 \cdot \pi \cdot 100000 \text{Hz}) \right| \right) = -6.602$$

Avec des filtres d'ordre 4:

$$H_{\text{filter_max}}^4(p) := H_{\text{filter_max}}(p)^2$$

$$H_{\text{filter_min}}^4(p) := H_{\text{filter_min}}(p)^2$$

$$\left| H_{\text{filter_max}}^4(i \cdot 2 \cdot \pi \cdot 2153 \text{Hz}) \right| - \left| H_{\text{filter_min}}^4(i \cdot 2 \cdot \pi \cdot 2153 \text{Hz}) \right| = 0.00034$$

$$\Delta \text{Gain}_{\text{rfp}} := \frac{5V \cdot (|H4_{\text{filter_max}}(i \cdot 2 \cdot \pi \cdot 2153\text{Hz})| - |H4_{\text{filter_min}}(i \cdot 2 \cdot \pi \cdot 2153\text{Hz})|)}{2}$$

L'erreur de gain - liée au filtre uniquement- et pour une une voie - est de:

$$\Delta \text{Gain}_{\text{rfp}} = 0.839 \cdot \text{mV}$$

$$\text{Erreur_solution_RFP}_{\text{ANI2_2}} := 5V \cdot \text{GE}_{\text{INA826_max}} + \Delta \text{Gain}_{\text{rfp}} + 1\text{Error_ADAS3022_MAX_ANI1_2_20v} = 2.524 \cdot \text{mV}$$

$$\Delta \text{Gain}_{\text{RFP}} = 1.091 \cdot \text{mV}$$

$$\text{Erreur_solution_RFP}_{\text{ANI2_2}} := 5V \cdot \text{GE}_{\text{INA826_max}} + \Delta \text{Gain}_{\text{RFP}} + 1\text{Error_ADAS3022_MAX_ANI1_2_20v} = 2.777 \cdot \text{mV}$$

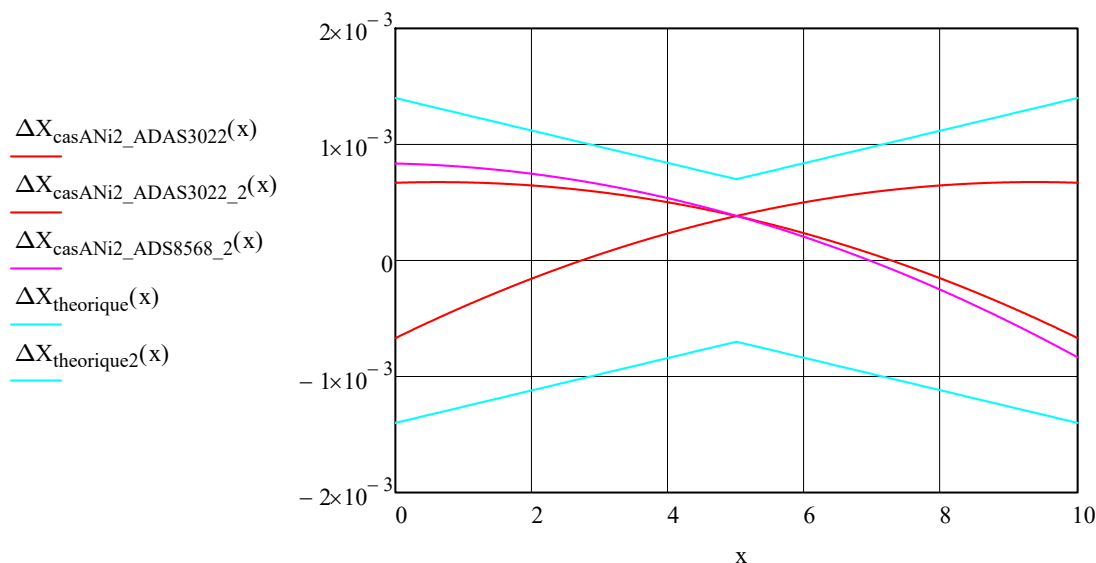
Comme pour le filtre d'ordre 2, on peut recalculer l'erreur de gain introduite par ce nouveau filtre:

L'erreur de gain non commune introduite par le filtre est:

$$\text{GE}_{\text{filter}} := 1 - \frac{|H4_{\text{filter_min}}(i \cdot 2 \cdot \pi \cdot 2153\text{Hz})|}{\left(\frac{|H4_{\text{filter_max}}(i \cdot 2 \cdot \pi \cdot 2153\text{Hz})| + |H4_{\text{filter_min}}(i \cdot 2 \cdot \pi \cdot 2153\text{Hz})|}{2} \right)}$$

On ne considere pas l'erreur de gain commune car très négligeable

$$\begin{aligned} \Delta X_{\text{casANI2_ADAS3022}}(x) &:= \Delta X_{\text{ANI2}}(x, 10V, -dV_{\text{onc}}, -dV_{\text{onc}}, -\Delta \text{Offset_error}_{\text{ADAS3022}}, \text{GE}_{\text{INA826_max}} + \text{GE}_{\text{filter}}, -G_{\text{I}}) \\ \Delta X_{\text{casANI2_ADAS3022_2}}(x) &:= \Delta X_{\text{ANI2}}(x, 10V, dV_{\text{onc}}, dV_{\text{onc}}, \Delta \text{Offset_error}_{\text{ADAS3022}}, \text{GE}_{\text{INA826_max}} + \text{GE}_{\text{filter}}, -G_{\text{I}}) \\ \Delta X_{\text{casANI2_ADS8568_2}}(x) &:= \Delta X_{\text{ANI2}}(x, 10V, dV_{\text{onc}}, dV_{\text{onc}}, \Delta \text{offset}_{\text{ADS8568}}, \text{GE}_{\text{INA826_max}} + \text{GE}_{\text{filter}}, -G_{\text{I}}) \end{aligned}$$



Attenuation a la frequence d'échantillonnage

L'objectif du filtre étant de supprimer le repliment lié a l'échantillonnage il convient de regarder l'atténuation a 100kHz et 120kHz: (frequence supposée pour une utilisation avec un filtre d'ordre 4)

$$20 \log(|H_{\text{filter_min}}(i \cdot 2 \cdot \pi \cdot 100000 \text{Hz})|) = -13.205$$

$$20 \log(|H_{\text{filter_max}}(i \cdot 2 \cdot \pi \cdot 100000 \text{Hz})|) = -11.708$$

$$20 \log(|H_{\text{filter_min}}(i \cdot 2 \cdot \pi \cdot 120000 \text{Hz})|) = -18.391$$

$$20 \log(|H_{\text{filter_max}}(i \cdot 2 \cdot \pi \cdot 120000 \text{Hz})|) = -17.227$$

Etude de l'ANI3

L'objectif est de regarder l'impact du filtre et de la fréquence d'échantillonnage.

A noter que l'étude consiste à évaluer l'impact d'un filtre d'ordre 2 et d'un ordre 1. De base, on considère que la fréquence de travail est connue, et donc permet de connaître l'atténuation moyenne à la fréquence de travail. (compensation statique)

1) Avec un filtre d'ordre 2, et un sampling frequency de 50kHz

On va fixer m et trouver n

$$Q \cdot (m^2 + 1) := mn$$

$$Q := 0.66$$

$$m := 1$$

$$n := \frac{Q \cdot (m^2 + 1)}{m}$$

$$n = 1.32$$

On veut une fréquence de coupure un peu plus élevée pour ne pas perturber le signal à mesurer, soit autour de 60kHz

$$\omega_c := 2 \cdot \pi \cdot 60000 \text{ Hz}$$

A partir de ces données on fixe la résistance et on détermine la capa

$$Res := 47 \text{ k}\Omega$$

$$Cap := \frac{1}{Res \cdot \omega_c}$$

A partir des formules données ci-dessus, on en détermine C1 et C2 (fonction de Q)

$$R_1 := Res$$

$$R_2 := Res$$

$$C_1 := n \cdot Cap = 74.498 \cdot \text{pF}$$

$$C_2 := \frac{Cap}{n} = 42.756 \cdot \text{pF}$$

$$Q := \frac{\sqrt{R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2}}{C_2 \cdot (R_1 + R_2)}$$

On définit les valeurs des 4 composants:

$$Y_1(R_1) := \frac{1}{R_1}$$

$$Y_2(C_1, p) := (p \cdot C_1)$$

$$Y_3(R_2) := \frac{1}{R_2}$$

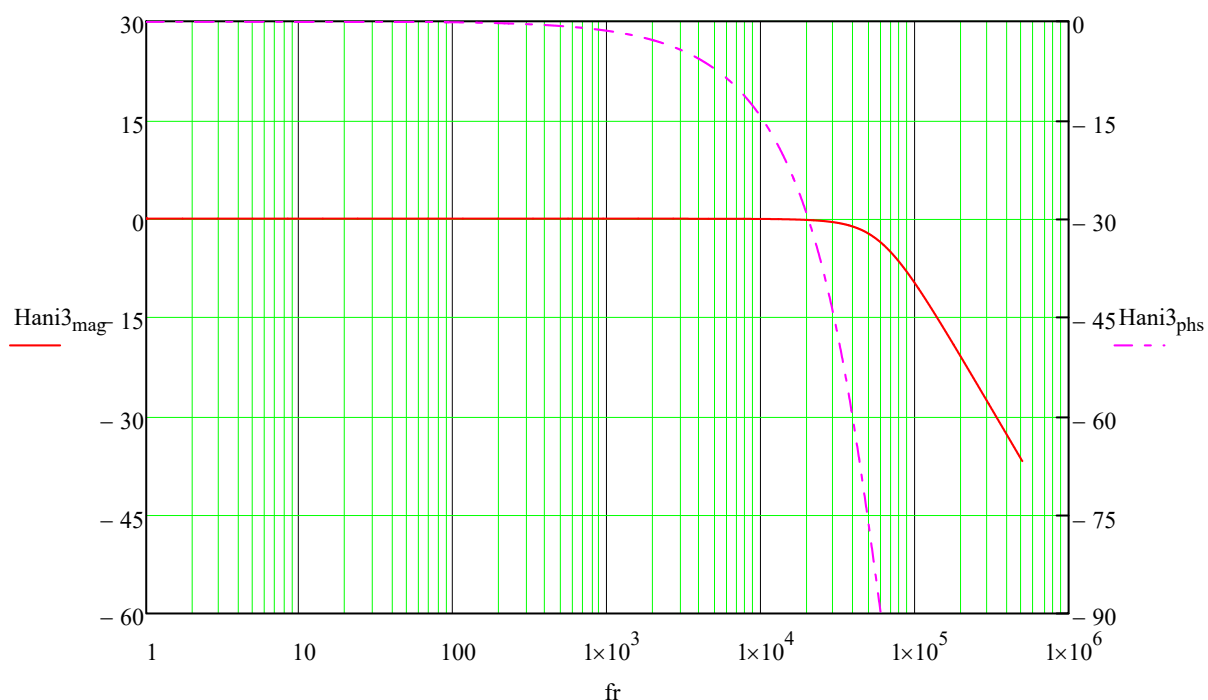
$$Y_4(C_2, p) := (p \cdot C_2)$$

On en déduit la fonction de transfert du filtre

$$H_{\text{filter_ANI3}}(p) := \frac{Y_1(R_1) \cdot Y_3(R_2)}{(Y_1(R_1) + Y_2(C_1, p)) \cdot (Y_3(R_2) + Y_4(C_2, p)) + Y_3(R_2) \cdot (Y_4(C_2, p) - Y_2(C_1, p))}$$

$$\begin{pmatrix} \text{Hani3}_{\text{mag}} \\ \text{Hani3}_{\text{phs}} \end{pmatrix} := \text{bode}(H_{\text{filter_ANI3}}, \text{sn})$$

Le diagramme de bode est représenté ci-dessous



Les composants ne sont pas parfaits: Il faut caractériser l'impact du filtrage sur le résultat de l'ANI3

On redéfinit la même fonction de transfert, mais on met maintenant en parametre des 4 composants. On suppose l'AOP idéal

$$H_{\text{filter2_ANI3}}(p, R_1, R_2, C_1, C_2) := \frac{Y_1(R_1) \cdot Y_3(R_2)}{(Y_1(R_1) + Y_2(C_1, p)) \cdot (Y_3(R_2) + Y_4(C_2, p)) + Y_3(R_2) \cdot (Y_4(C_2, p) - Y_2(C_1, p))}$$

Pour des valeurs de composants typiques, le gain du filtre est de:

$$|H_{\text{filter2_ANI3}}(i \cdot 2 \cdot \pi \cdot 2153 \text{ Hz}, R_1, R_2, C_1, C_2)| = 0.9998089$$

$$H_{\text{typ}} := |H_{\text{filter2_ANI3}}(i \cdot 2 \cdot \pi \cdot 2153 \text{ Hz}, R_1, R_2, C_1, C_2)|$$

On retrouve les valeurs de gain min et max:

$$H_{\text{min}} := |H_{\text{filter2_ANI3}}[i \cdot 2 \cdot \pi \cdot 2153 \text{ Hz}, (1 - \text{Tol}_{\text{res01_temp}})R_1 \cdot (1 + \text{Tol}_{\text{res01_temp}}), R_2, (1 - \text{Tol}_{\text{cap5_temp}})C_1, (1 + \text{Tol}_{\text{cap5_temp}})C_2]|$$

$$H_{\text{max}} := |H_{\text{filter2_ANI3}}[i \cdot 2 \cdot \pi \cdot 2153 \text{ Hz}, (1 + \text{Tol}_{\text{res01_temp}})R_1 \cdot (1 - \text{Tol}_{\text{res01_temp}}), R_2, (1 + \text{Tol}_{\text{cap5_temp}})C_1, (1 - \text{Tol}_{\text{cap5_temp}})C_2]|$$

$$10V \cdot (H_{\text{max}} - H_{\text{typ}}) = 1.461 \cdot \text{mV}$$

$$10V \cdot (H_{\text{min}} - H_{\text{typ}}) = -1.609 \cdot \text{mV}$$

$$\Delta \text{Gain}_{\text{RFP}} := \frac{10V \cdot (H_{\text{max}} - H_{\text{min}})}{2} = 1.535 \cdot \text{mV} \quad f \text{ (Valeur pic)}$$

L'erreur de gain - liée au filtre uniquement- et pour une une voie - est de:

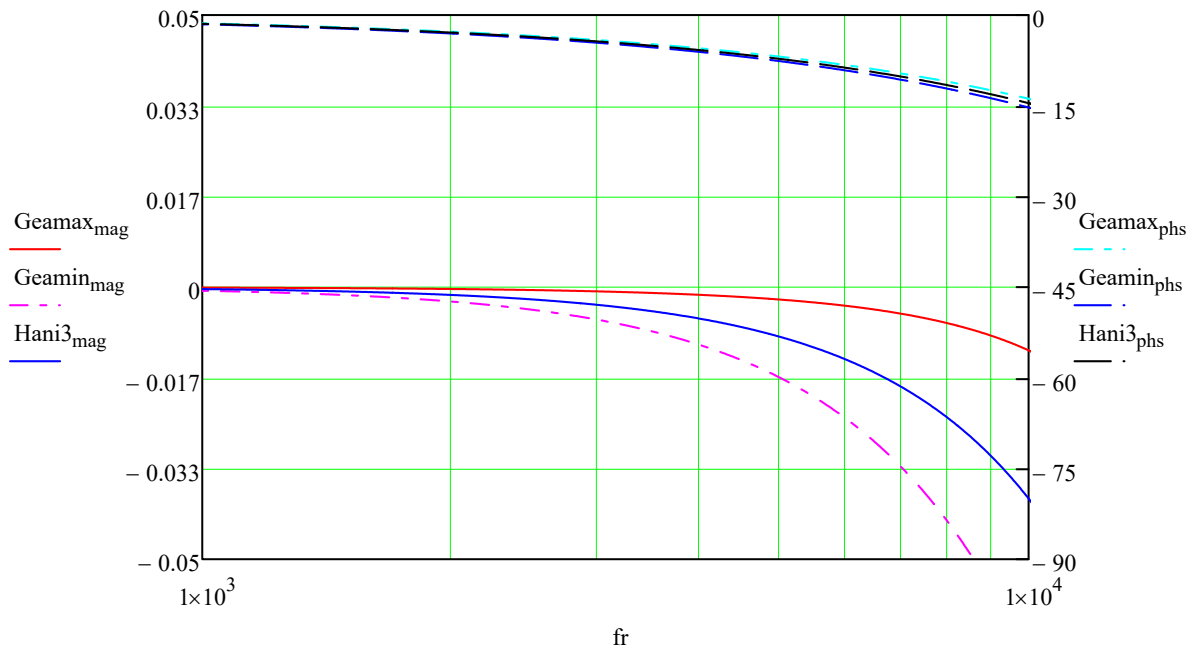
$$\Delta \text{Gain}_{\text{RFP}} = 1.535 \cdot \text{mV}$$

$$H_{\text{filter_max}}(p) := H_{\text{filter2}}[p, (1 + \text{Tol}_{\text{res01_temp}})R_1 \cdot (1 - \text{Tol}_{\text{res01_temp}}), R_2, (1 + \text{Tol}_{\text{cap5_temp}})C_1, (1 - \text{Tol}_{\text{cap5_temp}})C_2]$$

$$H_{\text{filter_min}}(p) := H_{\text{filter2}}[p, (1 - \text{Tol}_{\text{res01_temp}})R_1 \cdot (1 + \text{Tol}_{\text{res01_temp}}), R_2, (1 - \text{Tol}_{\text{cap5_temp}})C_1, (1 + \text{Tol}_{\text{cap5_temp}})C_2]$$

$$\begin{pmatrix} \text{Geamax}_{\text{mag}} \\ \text{Geamax}_{\text{phs}} \end{pmatrix} := \text{bode}(H_{\text{filter_max}}, \text{sn})$$

$$\begin{pmatrix} \text{Geamin}_{\text{mag}} \\ \text{Geamin}_{\text{phs}} \end{pmatrix} := \text{bode}(H_{\text{filter_min}}, \text{sn})$$



En jouant sur le parametre Q, on s'apperçoit vite que plus Q est elevé, plus l'erreur diminue. En revanche, au dela de $Q=0.707 \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \right)$ alors il y a une résonance.

Resultats :

l'erreur sur une voie est de:

$$\text{Erreur_solution_RFP}_{\text{ANI3_ordre2}} := 7V \cdot \text{GE}_{\text{INA826_max}} + \Delta \text{Gain}_{\text{RFP}} + 1 \text{Error_ADAS3022_MAX_ANI1_2_20v} = 3$$

A titre d'info: l'attenuation a 50kHz (donc à la fréquence d'échantillonnage) sera de:

$$20 \cdot \log \left(\left| H_{\text{filter_max}}(i \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50000 \text{Hz}) \right| \right) = -1.84$$

$$20 \cdot \log \left(\left| H_{\text{filter_min}}(i \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50000 \text{Hz}) \right| \right) = -2.692$$

$$\text{GE}_{\text{INA826_max}} = 0.022 \cdot \%$$

$$\text{erreur_filtre} := \frac{\Delta \text{Gain}_{\text{RFP}}}{10V} = 0.015 \cdot \%$$

$$\frac{\text{Error_ADAS3022_MAX_ANI1_2_20v}}{10.24V \cdot 2} = 0.00298 \cdot \%$$

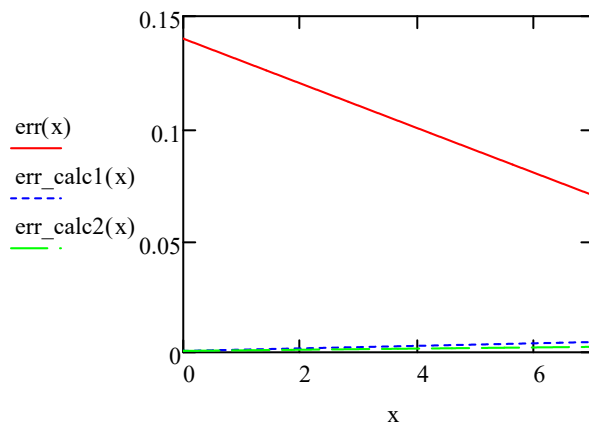
$$\text{GE}_{\text{INA826_max}} + \text{erreur_filtre} + \frac{\text{Error_ADAS3022_MAX_ANI1_2_20v}}{10.24V \cdot 2} = 0.03983 \cdot \%$$

PARTIE a Terminer

$$\text{err}(V_s) := 0.01 \cdot V_{\text{acs}} \left(2 - \frac{V_s}{V_{\text{acs}}} \right)^2$$

$$\text{err_calc1}(x) := x \cdot \text{GE}_{\text{INA826_max}} + \text{Error_ADAS3022_MAX_ANI1_2_20v} + (1 - H_{\text{min}}) \cdot x$$

$$\text{err_calc2}(x) := x \cdot \text{GE}_{\text{INA826_max}} + \text{Error_ADAS3022_MAX_ANI1_2_20v} + (1 - H_{\text{max}}) \cdot x$$



2) Avec un filtre d'ordre 1:

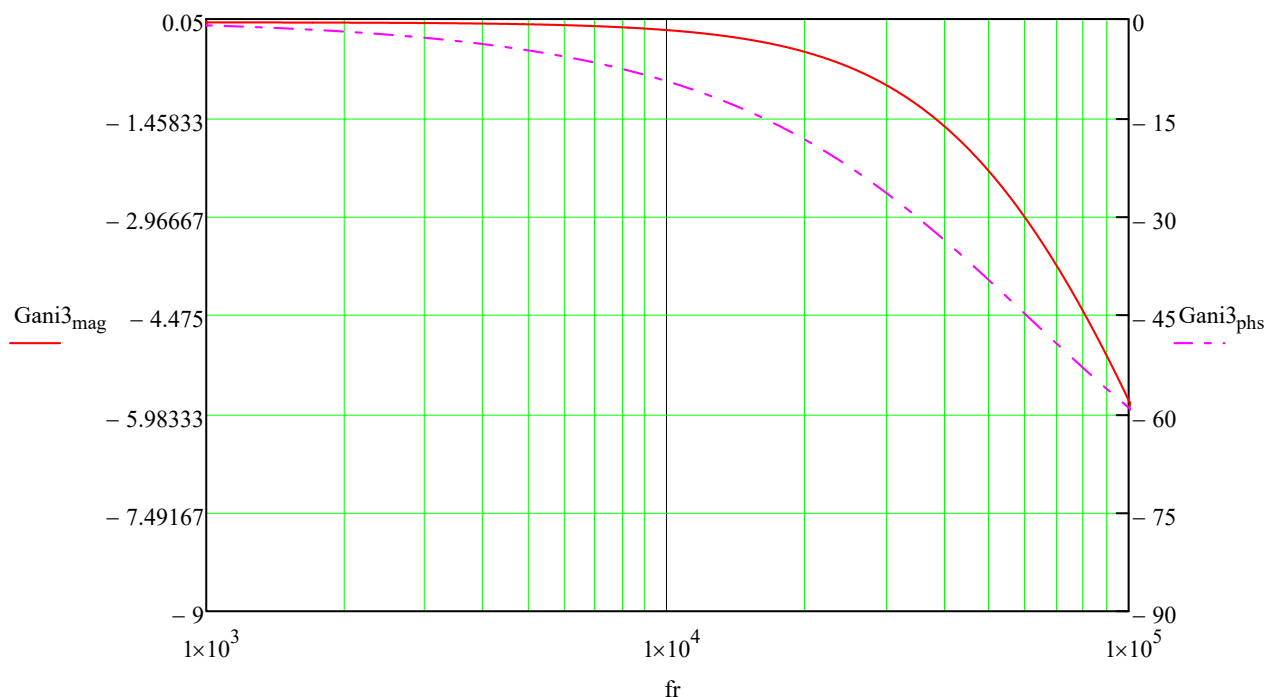
$$\text{Res} := 1.65 \text{ k}\Omega$$

$$\text{Cap} := \frac{1}{\omega_c \cdot \text{Res}} = 1.608 \cdot \text{nF}$$

$$\tau_{\text{ANI3}} := \text{Res} \cdot \text{Cap}$$

$$H_{\text{ANI3}}(s) := \frac{1}{1 + \tau_{\text{ANI3}} \cdot s}$$

$$\begin{pmatrix} \text{Gani3}_{\text{mag}} \\ \text{Gani3}_{\text{phs}} \end{pmatrix} := \text{bode}(H_{\text{ANI3}}, \text{sn})$$



$$H_{\text{ANI3_param}}(s, \text{Res}, \text{Cap}) := \frac{1}{1 + \text{Res} \cdot \text{Cap} \cdot s}$$

$$H_{\text{ani3_filter_max}}(p) := H_{\text{ANI3_param}}[p, (1 - \text{Tol}_{\text{res01_temp}})\text{Res}, (1 - \text{Tol}_{\text{cap5_temp}})\text{Cap}]$$

$$H_{\text{ani3_filter_min}}(p) := H_{\text{ANI3_param}}[p, (1 + \text{Tol}_{\text{res01_temp}})\text{Res}, (1 + \text{Tol}_{\text{cap5_temp}})\text{Cap}]$$

$$H_{\text{min}} := |H_{\text{ani3_filter_min}}(i \cdot 2 \cdot \pi \cdot 2153 \text{Hz})|$$

$$H_{\text{max}} := |H_{\text{ani3_filter_max}}(i \cdot 2 \cdot \pi \cdot 2153 \text{Hz})|$$

$$\Delta \text{Gain}_{\text{RFP}} := \frac{7V \cdot (H_{\text{max}} - H_{\text{min}})}{2} = 0.491 \cdot \text{mV}$$

$$\text{Erreur_solution_RFP}_{\text{ANI3_ordre2}} := 7V \cdot \text{GE}_{\text{INA826_max}} + \Delta \text{Gain}_{\text{RFP}} + 1 \text{Error_ADAS3022_MAX_ANI1_2_20v} = 2.60$$

$$20 \cdot \log(|H_{\text{ani3_filter_max}}(i \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50000 \text{Hz})|) = -2.098$$

$$20 \cdot \log(|H_{\text{ani3_filter_min}}(i \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50000 \text{Hz})|) = -2.486$$

L'utilisation d'un filtre d'ordre 1 est donc acquis dès lors que l'erreur peut monter à 70mV RMS

Analyse de la consommation de l'ADAS3022

$$VIO := 1.8V$$

$$VDDH := 15V$$

$$VSSH := -15V$$

$$DVDD := 5V$$

$$AVDD := 5V$$

$$i_{vddh_typ} := 5mA$$

$$i_{vddh_max} := 5.5mA$$

$$i_{vssh_typ} := 4.5mA$$

$$i_{vssh_max} := 5.5mA$$

$$i_{AVDD_typ} := 12mA$$

$$i_{AVDD_max} := 16mA$$

$$i_{DVDD_typ} := 2.5mA$$

$$i_{DVDD_max} := 3.5mA$$

$$i_{VIO_typ} := 0.3mA$$

$$i_{VIO_max} := 1.2mA$$

$$P_{ADAS_3022_typ} := VIO \cdot i_{VIO_typ} + VDDH \cdot i_{vddh_typ} + |VSSH| \cdot i_{vssh_typ} \dots \\ + DVDD \cdot i_{DVDD_typ} + AVDD \cdot i_{AVDD_typ}$$

$$P_{ADAS_3022_typ} = 0.216 \text{ W}$$

$$P_{ADAS_3022_max} := VIO \cdot i_{VIO_max} + VDDH \cdot i_{vddh_max} + |VSSH| \cdot i_{vssh_max} \dots \\ + DVDD \cdot i_{DVDD_max} + AVDD \cdot i_{AVDD_max}$$

$$P_{ADAS_3022_max} = 0.265 \text{ W}$$

Analyse de la consommation de l'ADS8568

$$AVDD := 5V$$

$$DVDD := 3.3V$$

$$HVDD := 15V$$

$$HVSS := -15V$$

$$i_{AVDD_typ} := 36.6mA$$

$$i_{AVDD_max} := 48.4mA$$

$$i_{DVDD_typ} := 0.5\text{mA}$$

$$i_{DVDD_max} := 2\text{mA}$$

$$i_{HVDD_typ} := 3\text{mA}$$

$$i_{HVDD_max} := 4.2\text{mA}$$

$$i_{HVSS_typ} := 3.4\text{mA}$$

$$i_{HVSS_max} := 4.5\text{mA}$$

$$P_{ADS8568_typ} := AVDD \cdot i_{AVDD_typ} + DVDD \cdot i_{DVDD_typ} + HVDD \cdot i_{HVDD_typ} + i_{HVSS_typ} \cdot |HVSS|$$

$$P_{ADS8568_typ} = 0.28065 \text{ W}$$

$$P_{ADS8568_max} := AVDD \cdot i_{AVDD_max} + DVDD \cdot i_{DVDD_max} + HVDD \cdot i_{HVDD_max} + i_{HVSS_max} \cdot |HVSS|$$

$$P_{ADS8568_max} = 0.379 \text{ W}$$

$$\frac{4}{32} = 0.125$$

$$\frac{12^2}{120} = 1.2$$

$$600 \cdot 24 = 1.44 \times 10^4$$

$$\frac{600}{8} = 75$$

$$\tau_{\text{adaq}} := 2 \frac{\pi}{6\text{MHz}} = 1.047 \times 10^{-6} \text{ s}$$

$$\tau := 300\text{k}\Omega \cdot (5.6\text{pF}) \cdot 2 = 3.36 \times 10^{-6} \text{ s}$$

$$H_{\text{ADAQ}}(p) := \frac{1}{1 + \tau \cdot p}$$

$$\left| H_{\text{ADAQ}}(i \cdot 2 \cdot \pi \cdot 5\text{kHz}) \right| = 0.994$$

$$\frac{1}{\sqrt{2}} = 0.707$$

\\Bpsfs01\projets\AFF_FCC\COMMUN\WP_1_DOSSIER_PROJET\01_Referentiel_du_projet\01-01_Documents\01-01-01_Exigences_Client\RFQ eFCC - AIH\input AIH

$$48 + 2.3 \cdot 16 + 2.9 \cdot 16 + 2.25 \cdot 5 + 30 = 172.45$$

$$\frac{[dV_{2_{onc}} + (dV_{gc} + dV_{2_{gnc}} + 1) \cdot (V_{total} - V1)]}{[dV_{2_{onc}} + dV_{oc} + (dV_{gc} + dV_{2_{gnc}} + 1) \cdot (V_{total} - V1)]} - \frac{[V1 - (V_{total} - V1)]}{V_{total}} \quad \blacksquare$$

$$\frac{[(dV_{gc} + dV_{2_{gnc}} + 1) \cdot (V_{total} - V1)]}{[dV_{2_{onc}} + dV_{oc} + (dV_{gc} + dV_{2_{gnc}} + 1) \cdot (V_{total} - V1)]} - \frac{[V1 - (V_{total} - V1)]}{V_{total}}$$

$$\frac{5 - 10}{5} = -1$$

$$\frac{0}{1}$$

2

$$\frac{V_c}{(dV_{gc} + dV_{gnc} + 1) \cdot V_c} - \frac{(V_c - V_w)}{V_c}$$

$$\frac{V_c}{(dV_{gc} + dV_{gnc} + 1) \cdot V_c} - \frac{(V_c - V_w)}{V_c}$$

$$\text{resolution} := \frac{\ln\left(\frac{20V}{1.57mV}\right)}{\ln(2)}$$

$$\frac{[V_d] \cdot V_d}{[V_c] \cdot V_c} - \frac{(V_d)}{V_c}$$

$$\Delta X_{ANI1_sans_simplification2}(5V,5V,7mV,0,0,0,0,0) = 0$$

$$\frac{1}{2\pi \cdot 500\text{kHz}} \cdot \ln(0.0001) = -2.932 \cdot \mu\text{s}$$

= ■

$$\text{Capa_ina_mc} + \frac{\text{Capa_ina_md}}{2} = 2.25 \times 10^{-12} \text{ F}$$

$$\frac{1}{x}) \cdot p$$

$$\text{Transfert_fun_min}(p) := \frac{1}{1 + 2R_{\text{filt}} \cdot 0.99 \cdot (C_{\text{eq_input_min}}) \cdot p}$$

$$\begin{pmatrix} \text{TFni}_{\text{mag}} \\ \text{TFni}_{\text{phs}} \end{pmatrix} := \text{bode}(\text{Transfert_fun_min}, \text{sn})$$

L'impact des erreurs d'offset n'a pas d'influence sur le signal final, **si peu que le traitement PLD soit insensible a une composante continue**

Aprendre en compte

$$\text{CMMR}_{\text{LT1991A_min}} := 75$$

Aprendre en compte

Valeur compatible fichier ELINA

Valeur compatible fichier ELINA

$$\text{offset_MC}(CMMR_{\min}, 7V) = 0.7 \cdot \text{mV}$$

$$1.5935 - \frac{5}{\pi} = 1.951 \times 10^{-3}$$

$$\text{offset_MC}(\text{CMMR}_{\min}) = f(\text{any1}) \rightarrow \text{any1}$$

$$(V_{\text{OSI_MAX}} + V_{\text{OSI_Temp_MAX}} \cdot \Delta T_{\max}) + V_{\text{OSO_MAX}} + V_{\text{OSO_Temp_MAX}} \cdot \Delta T_{\max} = 1.63 \times 10^{-3} \text{ V}$$

pour une solution a redressement mono alternance: prendre un hysteresis de 2mV?

AD8422

GAIN ¹		AD8422ARMZ		AD8422BRMZ		Unit
Gain Range	$G = 1 + (19.8 \text{ k}\Omega / R_G)$	1	1000	1	1000	V/V
Gain Error	$V_{OUT} \pm 10 \text{ V}$					
G = 1			0.03		0.01	%
G = 10			0.2		0.04	%
G = 100			0.2		0.04	%
G = 1000			0.2		0.04	%
Gain Nonlinearity	$V_{OUT} = -10 \text{ V to } +10 \text{ V}$ $R_L = 2 \text{ k}\Omega$					
G = 1		0.5	5	0.5	5	ppm
G = 10		2	5	2	5	ppm
G = 100		4	10	4	10	ppm
G = 1000		10	20	10	20	ppm
Gain vs. Temperature						
G = 1			5		1	ppm/°C
G > 1			-80		-80	ppm/°C

$$\Delta \text{gain}_{\text{ad8422}} := 0.0001 \cdot \left(1 + \frac{5}{1000000} \right) + \Delta T_{\text{max}} \cdot \left(\frac{1}{1000000} \right) \cdot \frac{1}{\text{K}} = 1.65 \times 10^{-4}$$

VOLTAGE OFFSET ²		AD8422ARMZ		AD8422BRMZ		Unit
Input Offset, V_{OSI}	$V_I = \pm 2.3 \text{ V to } \pm 15 \text{ V}$		70		50	μV
Over Temperature	$T = -40^\circ\text{C to } +85^\circ\text{C}$		110		75	μV
Average Temperature Coefficient			0.6		0.4	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Output Offset, V_{OSO}	$V_O = \pm 2.3 \text{ V to } \pm 15 \text{ V}$		300		150	μV
Over Temperature	$T = -40^\circ\text{C to } +85^\circ\text{C}$		500		300	μV
Average Temperature			5		2	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$

COMMON-MODE REJECTION RATIO		AD8422ARMZ			AD8422BRMZ			Unit
Parameter	Test Conditions/ Comments	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
CMRR DC to 60 Hz with 1 k Ω Source Imbalance	$V_{CM} = -10 \text{ V to } +10 \text{ V}$							
G = 1		86			90			dB
G = 10		106			110			dB
G = 100		126			130			dB
G = 1000		146			150			dB
Over Temperature, G = 1	$T = -40^\circ\text{C to } +85^\circ\text{C}$	83			86			

$$\Delta \text{Offset}_{\text{AD8422}} := 75 \mu\text{V} + 300 \mu\text{V}$$

$$\text{offset_MC}(90, 3\text{V} + 10\text{V}) = 0.411 \cdot \text{mV}$$

$$\Delta \text{Offset}_{\text{AD8422}}(x) := 75 \mu\text{V} + 0.30 \text{mV} + \text{offset_MC}(90, 3\text{V} + x)$$

$$\Delta \text{Offset}_{\text{AD8422}}(10\text{V}) = 0.786 \cdot \text{mV}$$

$$\Delta \text{Offset}_{\text{AD8422_MC10}}(x) := 75 \mu\text{V} + 0.30 \text{mV} + \text{offset_MC}(90, 10\text{V} + x)$$

L'amplificateur est aussi entaché d'une erreur lié au courant d'offset

INPUT CURRENT				
Input Bias Current	$V_S = \pm 2.3\text{ V to } \pm 15\text{ V}$ $T = -40^\circ\text{C to } +125^\circ\text{C}$	0.5	1	nA
Over Temperature			2	nA
Average Temperature Coefficient		4		pA/°C
Input Offset Current	$V_S = \pm 2.3\text{ V to } \pm 15\text{ V}$ $T = -40^\circ\text{C to } +125^\circ\text{C}$	0.2	0.3	nA
Over Temperature			0.8	nA
Average Temperature Coefficient		1		pA/°C

$i_{OC_AD8422_max} := 0.8\text{nA}$

$current_error_offset_max_AD8422 := i_{OC_AD8422_max} \cdot 450\text{k}\Omega$ (450kOhms = ■

$\Delta Offset_{AD8422}(10V) + current_error_offset_max_AD8422 = 1.146 \cdot \text{mV}$

ATTENTION OUBLI de la ref!!!!

ajout de la ref

$$\text{SINAD} := 20 \cdot \log\left(\frac{65536}{2}\right)$$

$$\text{ENOB} := \frac{(\text{SINAD} - 1.76)}{6.02} = 14.709$$

$$\text{LSB} := \frac{4}{65536}$$

$$\frac{\ln\left(\frac{65535}{14}\right)}{\ln(2)} = 12.1$$

$$\frac{\ln(\text{LSB})}{\ln(2)} = -14$$

$$\frac{83 - 1.76}{6.02} = 13.495$$

$$\frac{7.22\text{V}}{2^{16}} = 2.35 \cdot \text{mV}$$

$$\Delta Ge_{ADAS3022} := 0$$

$$dV_{onc_MC10}(x) := \Delta Offset_{AD8422_MC10}(x)$$

$$\Delta X_{ANI1_sans_simplif_mc10}(x) := \Delta X_{ANI1_sans_simplification}(V_c, x, dV_{oc}, dV_{onc}(4.5V), -dV_{onc_MC10}($$

$$\Delta gain_{ad8422}, \Delta Ge_{ADAS3022})$$

$\downarrow A826_{\max}, \Delta G_{eADAS3022})$

$$Ge_{ADAS3022})$$

$$\frac{7.07V}{40mA} = 176.75 \Omega$$

$$18422, \Delta Ge_{ADAS3022})$$

$$22, \Delta Ge_{ADAS3022})$$

$$-\Delta gain_{ad8422}, \Delta Ge_{ADAS3022})$$

$$\frac{10V}{40mA} = 250 \Omega$$

$$dV_{oc} = 9.156 \times 10^{-4} V$$

$$\Delta\text{gain}_{\text{ad8422}} = 1.65 \times 10^{-4}$$

$$\text{LSB}_{20\text{V}} = 3.052 \times 10^{-4} \text{V}$$

$$\text{INL}_{\text{ADAS3022}} = 2$$

$$n_{\text{ads8568}})$$

$$_{\text{ax}}, -\Delta G_{\text{eADAS3022}})$$

$$G_{\text{EINA826}_{\text{max}}} = 2.15 \times 10^{-4}$$

$$12\text{mA} \cdot 1510\Omega = 18.12\text{ V}$$

http://electronique.aop.free.fr/AOP_lineaire_F/Filtre_SallenKey.html

https://en.wikipedia.org/wiki/Sallen%E2%80%93Key_topology

$$C := \frac{C1}{n} \qquad C := n \cdot C2$$

$$C1 := n^2 \cdot C2$$

$$n := \sqrt{\frac{C1}{C2}}$$

$$m := \sqrt{\frac{R_1}{R_2}}$$

$$Q := \frac{1}{\sqrt{2}}$$

d 21.5k 22.1k 25.5k 27.4 30.9k 31.6k 35.7k 49.9

0.6 25k 100pF 150pF

d 39pF 47pF 56pF 68pF 100pF 150pF

39 56 68 67 100 150

$$\left| H_f(i \cdot 2 \cdot \pi \cdot 2153 \text{Hz}) \right| = 1.000361 \quad H_f(s) := \frac{1}{1 + (2 \cdot R_2 \cdot C_2) \cdot s + R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot s^2}$$

Si on considère des capa de type COG et des résistances 'classiques' a 0.1%

$$R_1 = 4.99 \times 10^4 \Omega$$

$$C_1 = 100 \cdot \text{pF}$$

$$C_2 = 56 \cdot \text{pF}$$

$$20 \cdot \log\left(\left|H_{\text{filter}2}(i \cdot 2 \cdot \pi \cdot 150000 \text{Hz}, R_1, R_2, C_1, C_2)\right|\right) = -19.149$$

$$20 \cdot \log\left(\left|H_{\text{filter}2}(i \cdot 2 \cdot \pi \cdot 120000 \text{Hz}, R_1, R_2, C_1, C_2)\right|\right) = -15.426$$

$$C_1 = 0.1 \cdot \text{nF}$$

$$C_1 \cdot (1 + \text{Tol}_{\text{cap}5_temp}) = 0.105 \cdot \text{nF}$$

$$C_1 \cdot (1 - \text{Tol}_{\text{cap}5_temp}) = 0.095 \cdot \text{nF}$$

$$_{\text{mp}})C_2] \left| \right|$$

$$_{\text{mp}})C_2] \left| \right|$$

$$C_2 = 0.056 \cdot \text{nF}$$

$$C_2 \cdot (1 + \text{Tol}_{\text{cap}5_temp}) = 0.059 \cdot \text{nF}$$

$$C_2 \cdot (1 - \text{Tol}_{\text{cap}5_temp}) = 0.053 \cdot \text{nF}$$

$$4700 \cdot (1 - \text{Tol}_{\text{res}01_temp}) = 4687.663$$

$$4700 \cdot (1 + \text{Tol}_{\text{res}01_temp}) = 4712.338$$

$$\text{Tol}_{\text{res}01_temp} = 2.625 \times 10^{-3}$$

]

$$20 \cdot \log\left(\left|H_{\text{filter_max}}(i \cdot 2 \cdot \pi \cdot 150000 \text{Hz})\right|\right) = -19.018$$

$$20 \cdot \log\left(\left|H_{\text{filter_min}}(i \cdot 2 \cdot \pi \cdot 150000 \text{Hz})\right|\right) = -19.243$$

x_{phs}

n_{phs}

is

nV

$$[A826_{\max} - GE_{\text{filter}}, -\Delta Ge_{\text{ADAS3022}})$$

, $-\Delta Ge_{ADAS3022}$)

$$Ge_{INA826_max} + \frac{H_{max} - H_{typ}}{H_{typ}}, -Ge_{INA826_max} - \left(\frac{H_{typ} - H_{min}}{H_{typ}} \right), -\Delta Ge_{ADAS3022} + \frac{1 - H_{typ}}{1} \Big]$$

$$20 \cdot \log(3.162 \cdot 10^{-4}) = -70.001$$

$$20V \left(10^{\frac{-75}{20}} \right) = 3.557 \times 10^{-3} V$$

$$R_{es} \cdot (1 - Tol_{res01_temp}) = 29.921 \cdot k\Omega$$

$$R_{es} \cdot (1 + Tol_{res01_temp}) = 30.079 \cdot k\Omega$$

d 21.5k 22.1k 25.5k 27.4 30.9k 31.6k 35.7k 49.9k 57.6k 68.1k

d 39pF 47pF 56pF 68pF 100pF 150pF

aD4696

ltc2323

LTC2335

$$1 + \frac{49.4}{36.7} = 2.346$$

$$\begin{aligned} \text{ad4696 : ad4695} \quad (1 + \text{Tol}_{\text{cap5_temp}})C_1 &= 0.105 \\ (1 - \text{Tol}_{\text{cap5_temp}})C_1 &= 0.09 \end{aligned}$$

ad7606

$$\begin{aligned} \text{lt6370} \quad (1 + \text{Tol}_{\text{cap5_temp}})C_2 &= \\ \text{lt6372} \quad (1 - \text{Tol}_{\text{cap5_temp}})C_2 &= \end{aligned}$$

$$\frac{3.3 - 2.1}{681} = 1.762 \times 10^{-3}$$

ada4254 ada4255

$$\frac{(15 - 2.1)\text{V}}{2\text{mA}} = 6.45 \times 10^3 \Omega$$

ltc6373 ada4945

$$5\text{V} \left| H_{\text{filter}}(i \cdot 2 \cdot \pi \cdot 71000\text{Hz}) \right| \text{ adaq238XXX}$$

LTC2873 RS232 / 485 (multiple config)

$$\frac{600}{5} = 120 \qquad \frac{600}{60} = 10$$

5_temp)C2]

]

V

V

$$\begin{aligned} &E_{\text{INA826_max}} - GE_{\text{filter}, -\Delta Ge_{\text{ADAS3022}}}) \\ &NA_{826_max} - GE_{\text{filter}, -\Delta Ge_{\text{ADAS3022}}}) \\ &_{\text{t}} - GE_{\text{filter}, -\Delta gain_{\text{ads8568}}}) \end{aligned}$$

$$Q = 0.66$$

ap5_temp)C2]

ap5_temp)C2]

!]
]

.65·mV

GE_{INA826_max} : Calculé plus haut: c'est l'erreur de gain sur l'INA

$\Delta Gain_{RFP}$: Correspond a l'erreur due au filtre: calculé dans ce chapitre

Error_ADAS3022_MAX_ANI1_2_20v : erreur due a l'ADAS3022:

Inclue l'INL et l'erreur due au LSB

Chiffre d'erreur vu avec patrick Dervin pour ANI10

$$\tau := \frac{1\mu s}{3}$$

$$\omega_c := \frac{1}{\tau}$$

$$f_c := \frac{\omega_c}{3\pi} = 318.31\cdot\text{kHz}$$

6·mV

PGIA := 0.8

Reference disable

$$P_{\text{ADAS_3022_typ}} \cdot 14 = 3.018 \text{ W}$$

$$P_{\text{ADAS_3022_max}} \cdot 14 = 3.705 \text{ W}$$

$$\frac{4000}{8.4} = 125$$

$$\frac{192}{4.32} = 1.5$$

$$40 \cdot 24 = 960$$

$$13 \cdot 13 = 169$$

$$11.8 \cdot 11.8 = 139.24$$

$$9.9 \cdot 9.9 = 98.01$$

$$P_{\text{ADAS}_{3022_typ}} \cdot 5 + 4 \cdot P_{\text{ADS8568_typ}} = 2.2 \text{ W}$$

$$16.45 \cdot 8 = 131.6$$

$$P_{\text{ADAS}_{3022_max}} \cdot 5 + 4 \cdot P_{\text{ADS8568_max}} = 2.84 \text{ W}$$

$$600 \cdot 24 = 1.44 \times 10^4$$

$$30 + 2.25 \cdot 5 + 3.03 \cdot 16 + 2.3 \cdot 16 = 126.53$$

$$16 \cdot 8 = 128$$

$$2.3 \cdot 16 + 3.03 \cdot 16 + 1.81 \cdot 5 + 2.32 + 30 = 126.65$$

$$\frac{4}{16} = 0.25$$

$$16 \cdot 8 = 128$$

$$1.979 \cdot 8 + 1.0515 \cdot 4 + 2.7 \cdot 4 + 40 = 70.838$$

solution ADS3022: $20.06 \cdot 12 = 240.72$

$$12 \cdot 8 = 96$$

$$\text{Filtre en mode commun} \quad \frac{1}{2\pi \cdot 150\text{k}\Omega \cdot 5.6\text{pF}} = 189.47 \cdot \text{kHz}$$

$$\text{Filtre en mode diff} \quad \frac{1}{2\pi \cdot 300\text{k}\Omega \cdot (2 \cdot 5.6 \cdot \text{pF})} = 47.368 \cdot \text{kHz}$$

$$\frac{1}{2\pi \cdot 150\text{k}\Omega \cdot (5.6 \cdot \text{pF} + 5\text{pF})} = 100.097 \cdot \text{kHz}$$

nnees_

$$\Delta X_{ANI2}(5V, 10V, 0, 0, 0, 0.0007, -0.0007, 0) = 7 \times 10^{-4}$$

$$\Delta X_{ANII}(5V, 5V, 1.57mV, 0V, 0, 0) = \blacksquare$$

$$\Delta X_{ANII}(5V, 10V, 1.57mV, 0V, 0, 0) = \blacksquare$$

$$\Delta X_{ANI1_sans_simplification}(5V, 5V, 0V, 1.57mV, -1.57mV, 0, 0, 0) = 0.00063$$

$$\Delta X_{ANI1_sans_simplification}(5V, 10V, 0V, 1.57mV, -1.57mV, 0.0002, -0.00002, 0) = 0.00138$$

$$\Delta X_{ANI1_sans_simplification}(5V, 10V, 0V, 0mV, -0mV, 0.00035, -0.00035, 0) = 0.0014$$

$$\Delta X_{ANI1_sans_simplification}(5V, 10V, 0V, 0.8mV, 0.8mV, 0.0003, -0.0003, 0) = 0.00136$$

$$\Delta X_{ANI1_sans_simplification}(5V, 10V, 0V, 1mV, 1mV, 0.0003, -0.0003, 0) = 0.0014$$

$$\frac{24}{2^{17}} = 1.831 \times 10^{-4}$$

$$\frac{20}{2^{18}} \cdot 20V = 1.526 \times 10^{-3} V$$

$$\frac{45}{2^{17}} = 3.433 \times 10^{-4}$$

$$\frac{39}{2^{17}} = 2.975 \times 10^{-4}$$

$(x), \Delta \text{gain}_{\text{ad8422}}, -\Delta \text{gain}_{\text{ad8422}}, \Delta \text{Ge}_{\text{ADAS3022}})$

$$\frac{0.007}{4.5 + 0.007} = 1.553 \times 10^{-3}$$

$$\frac{4.5 + 0.007}{9 + 0.007} - 0.5 = 3.886 \times 10^{-4}$$

$$\Delta X_{\text{ANI1_sans_simplification2}}(V_c, 4.5V, 7mV, 0, 0, 0, 0, 0) = 0$$

$$\Delta X_{\text{ANI1_sans_simplification}}(V_c, 4.5V, 7mV, 0, 0, 0, 0, 0) = 0$$

$$V_c = 4.5V$$

$$V_c = 4.5V$$

k 57.6k 68.1k

$\overline{C_2 \cdot s^2}$

$$\frac{160 \cdot 2}{3} = 106.667$$

$$\frac{1.1\text{mV}}{5\text{V}} = 2.2 \times 10^{-4}$$

·nF

5·nF

0.049·nF

= 0.045·nF