

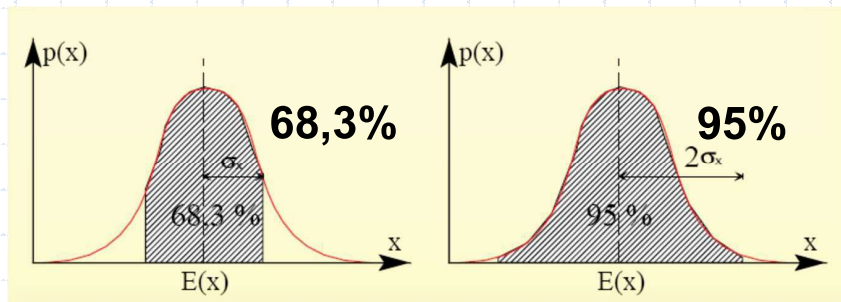
4/ Capteurs. a/rappels de statistique

- Distribution de l'erreur (variable aléatoire)

l'**écart type** mesure la dispersion d'une série de valeurs autour de sa valeur moyenne.

$$\sigma_X = \sqrt{E[(X - E[X])^2]} \quad \sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

Intervalle de confiance pour une distribution gaussienne



98% pour
un intervalle
de 3σ

16

wikipedia.org

4/ Capteurs. b/définitions

mesurande m

mesure M

étendue de mesure $[M_{\min}; M_{\max}]$

$FS = M_{\max} - M_{\min}$

incertitude ΔM

$M - \Delta M < m < M + \Delta M$

avec probabilité associée

erreur $\varepsilon = m - M$

erreur relative $\varepsilon_r = (m - M)/M$

erreur en % de la PE $\varepsilon_r = (m - M)/FS$

courbe d'étalonnage

étalon de mesure

sensibilité V sortie du capteur

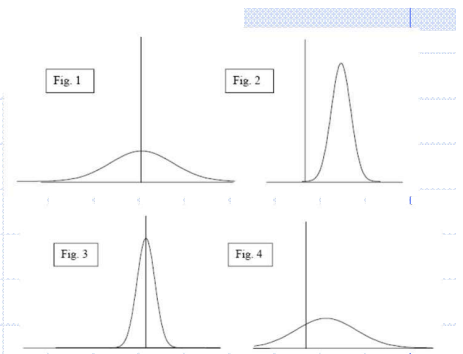
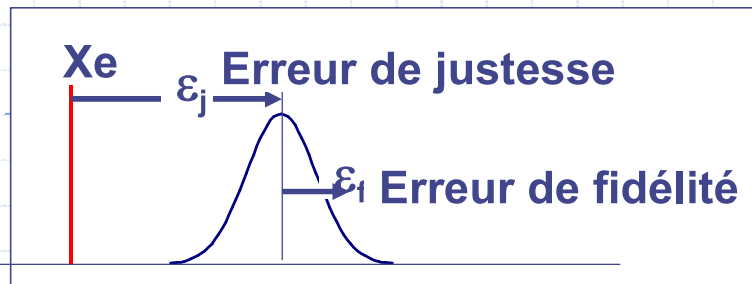
$S = \Delta V / \Delta M$

linéarité

Cf doc annexe.

17

4/ Capteurs. b/définitions (suite)



c/ différents types d'erreurs

- Différents types d'erreur
 - erreurs systématiques
 - erreurs conditionnelles
 - erreurs aléatoires

Paramètres importants :

justesse
fidélité
précis exact
rapidité
résolution
« emballage »

d/ présentation d'un résultat

- Présentation d'un résultat
- Exemple multimètre

Cf doc annexe.

18 e/ chiffres significatifs

Cf doc annexe.

4/ Capteurs. f/calcul d'incertitudes

Cf doc annexe.

g/exemples de capteurs

Capteur de pression SCAIME 59 série 5

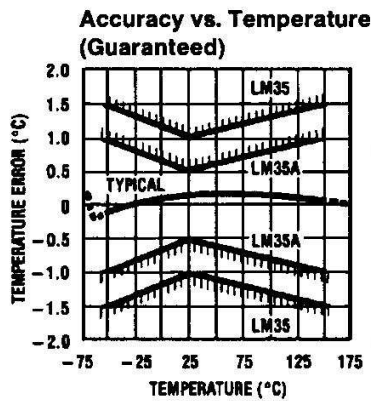


CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES CAPTEURS SÉRIE 5

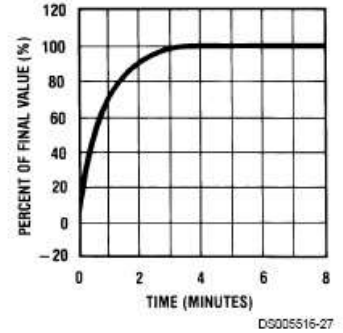
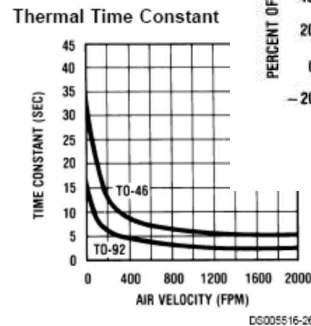
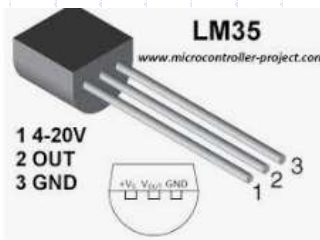
Modèle	(54) 55	(56) 57	(58) 59
Gammes standard (P.E.) (pression relative)	15-30 70*-100*-210* 350-700	5-10-15-30 70*-100*-210* 350-500-700	
Suppression admissible % P.E.	200 % P.E. ou	850 bars max.	
Pression d'éclatement % P.E.	400 % P.E. ou	1.000 bars max.	
Alimentation	5 V (10 max.)	8 à 20 V non régulé (L) 18 à 28 V non régulé (H)	
Signal Pleine Echelle (version Standard)	1,7 mV/V ± 15 %	1-5 V (L) 0-10 V (H)	4-20 mA (200 ohms) 4-20 mA (600 ohms)
Décalage initial du zéro	+/- 10 %	0,1 %	
Erreur combinée % P.E. (NL+ Hyst. + Repeat.)	0,50	0,50	
Température plage compensée °C	0-60	0-60	0-60
Température opérationnelle °C	-25, +95	-20, +80	-20, +80
Dérive en température (% P.E.) sur plage compensée	0,05 / °C	0,06 / °C	0,06 / °C
Masse (inox)	90 g.	160 g.	160 g.

* Seules portées disponibles en aluminium en option (54, 56, 58)

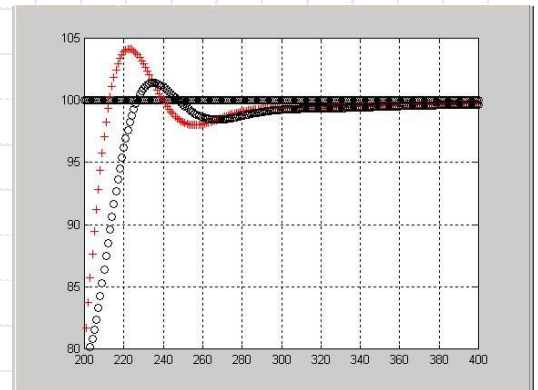
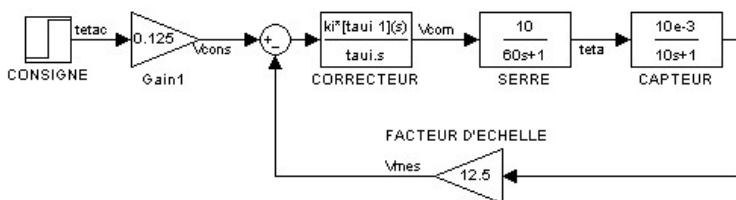
Thermal Response in Still Air



Capteur de température LM35

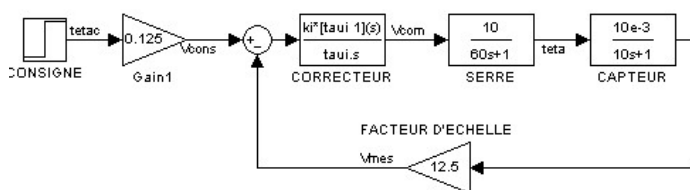


Influence de la constante de temps du capteur : serre régulée en température.

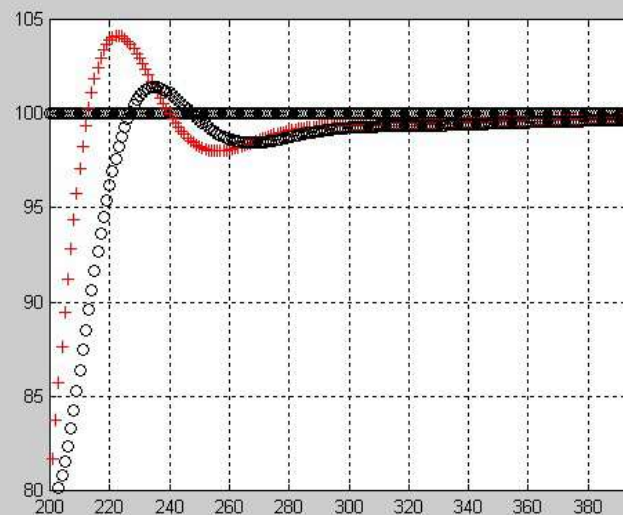


20

4/ Capteurs. g/exemple



Influence de la constante de temps du capteur : serre régulée en température.



h/classifications

Sorties analogiques, numériques (série, parallèles).
Sorties en courant, tension, charge, fréquence, ...
Capteur passif, actif, intelligent

21

4/ Capteurs. h/classifications

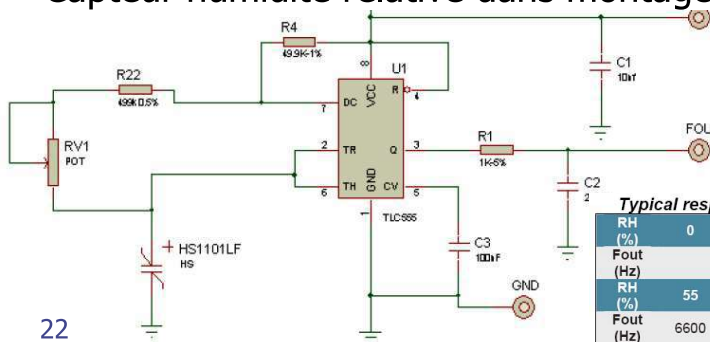
Sorties analogiques, numériques (série, parallèles).
Sorties en courant, tension, charge, fréquence, ...
Capteur passif, actif, intelligent

Capteur passif

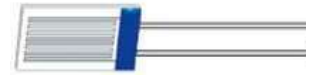
Variation du mesurande \Rightarrow variation de résistivité (ρ), permittivité électrique (ϵ) ou perméabilité magnétique (μ). Mesure indirecte du mesurande.

Ex1 : $\Delta T \Rightarrow$ sur métal ou semi-conducteur $\Delta \rho$ or $R = \rho L/S \Rightarrow \Delta R \Rightarrow \Delta V$
Sonde PT100 dans montage potentiométrique.

Ex2 : %RH \Rightarrow sur diélectrique $\Delta \epsilon \Rightarrow \Delta C \Rightarrow \Delta f$
Capteur humidité relative dans montage astable.



Capteur humirel
HS1 101LF



$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \cdot \frac{A}{d}$$

Typical response look-up table

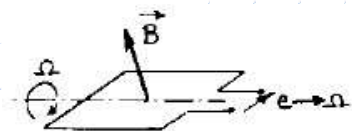
RH (%)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Fout (Hz)			7155	7080	7010	6945	6880	6820	6760	6705	6650
RH (%)	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
Fout (Hz)	6600	6550	6500	6450	6400	6355	6305	6260	6210		

22

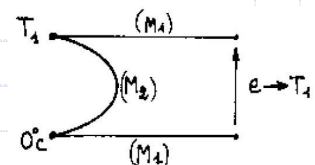
4/ Capteurs. g/classifications / capteur actif

La sortie du capteur est équivalente à un générateur. C'est un dipôle actif qui peut être du type courant, tension ou charge.

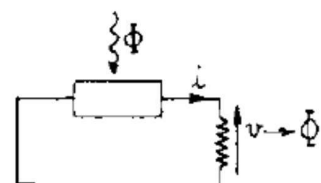
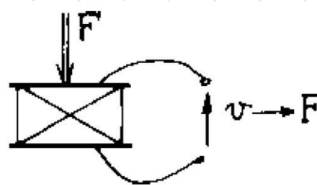
Ex1 : $\omega \Rightarrow$ f.e.m. E induite (loi de Faraday) :
dynamo tachymétrique



Ex2 : $\Delta T \Rightarrow$ f.e.m. induite par effet Thermoélectrique (effet Seebeck) : thermocouple.



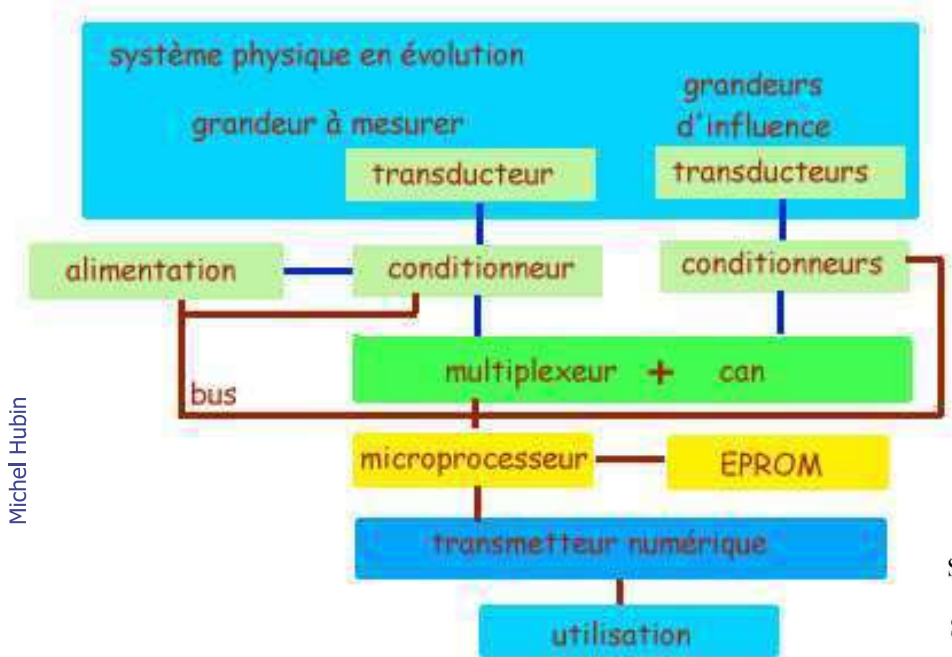
Ex3 : F (traction, compression, cisaillement)
 \Rightarrow variation de charge par effet piezoélectrique : dynamomètre, accéléromètre.



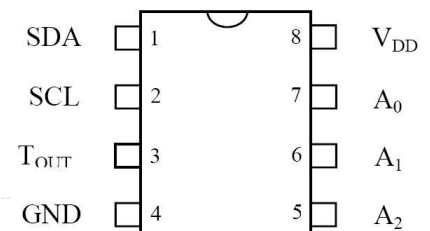
Ex4 : lumière \Rightarrow tension et courant par effet photovoltaïque : luxmètre.

23

4/ Capteurs. g/classifications / capteur intelligent



Ex: capteur de température DS1621



24

5/ Conditionnement du signal

Au plus près du capteur : le conditionneur.

Objectif de cette partie :

Le conditionneur est en interaction directe avec le capteur (et souvent aussi avec son environnement).

Il convertit la sortie du capteur en une tension (le plus souvent) ou une fréquence.

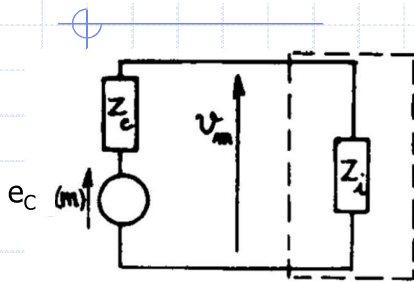
Il peut (et doit ...) assurer les fonctions suivantes :

- protection de l'ensemble de la mesure par rapport aux grandeurs influentes (compensation des grandeurs influentes).
- linéarisation éventuelle de la sortie du capteur.

25

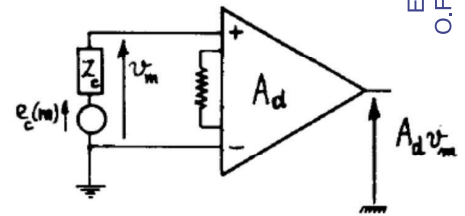
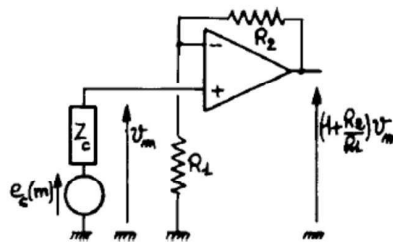
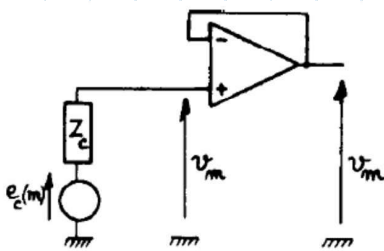
5/ Conditionnement du signal

Montage en source de tension.



Il faut $Z_i \gg Z_c$ pour retrouver $v_m = e_c$

Exemples de montages avec une forte impédance d'entrée.

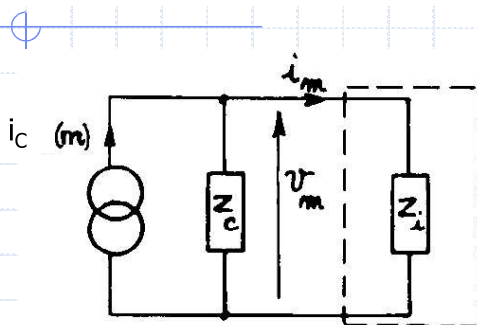


26

ESIEE
O.Français,

5/ Conditionnement du signal

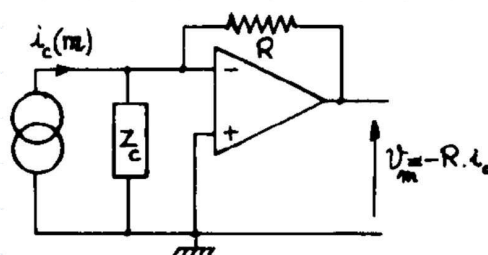
Montage en source de courant.



Il faut $Z_i \ll Z_c$ pour que $i_m \approx i_c$

Exemple de montage avec une très faible impédance d'entrée.

$$V^+ - V^- = 0 \Rightarrow i_{Z_c} = 0$$



27

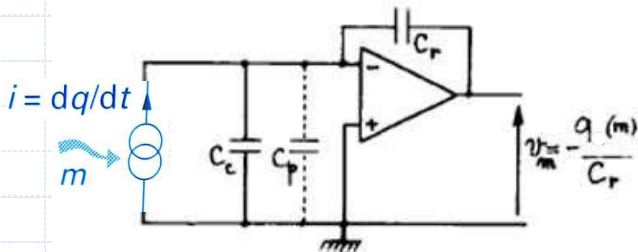
ESIEE
O.Français,

5/ Conditionnement du signal

Montage en source de charge.

Montage type.

On utilise un convertisseur **charge-tension** qui réalise la mise en court-circuit des électrodes du capteur.
 \Rightarrow toute la charge se retrouve aux bornes de C_r .



En pratique la résistance en // sur C_r fait que l'on obtient un passe haut.

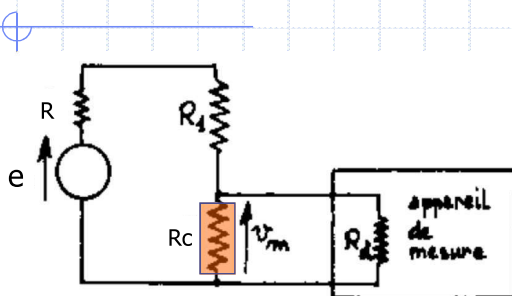
Il faut choisir un AOP avec une forte impédance d'entrée et des courants de polarisation les plus petits possibles.

Utilisation : pour les capteurs piezo électrique par exemple.

28

5/ Conditionnement du signal

Montage potentiométrique.



Si on néglige les effets de R et R_d
 i.e. $R \approx 0 \Omega$ et $R_d \approx \infty \Omega$, on reconnaît un diviseur de tension \Rightarrow

$$V_m = R_c / (R_1 + R_c) \times e$$

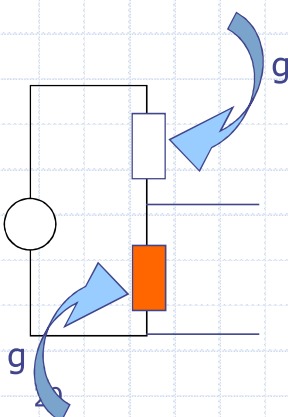
Effet de la polarisation :

$$\Delta V_m = R_c / (R_1 + R_c) \times \Delta e$$

Sensibilité : Maximisée pour $R_1 = R_c$
 et on a alors : $\Delta V_m = e / (4 \times R_c) \times \Delta R_c$

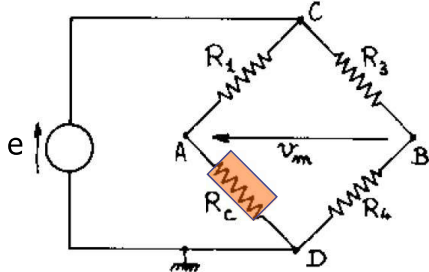
Effet des grandeurs d'influence:

Pour un montage potentiométrique, avec : $\frac{\partial R_c}{\partial g} = \frac{\partial R_1}{\partial g}$
 on annule l'effet de g (grandeur influente)
 lorsque $R_1 = R_c$



5/ Conditionnement du signal

Montage en pont.



De façon générale :

$$V_m = (R_3 R_c - R_1 R_4) / [(R_1 + R_c)(R_3 + R_4)] \times e$$

si $R_1 = R_3 = R_4 = R$ et si $R_c = R_{c0} + \Delta R$:

$$V_m = \Delta R / (2 \cdot (2R + \Delta R)) \times e \quad \text{soit :}$$

$$V_m \approx \Delta R / (4 \cdot R) \cdot e$$

Effet de la polarisation :

Si $R_1 = R_3 = R_4 = R_{c0} = R$

$$\Delta V_m \approx \Delta R / (4 \cdot R) \cdot \Delta e$$

à comparer (cf diapo précédente) avec :

$$\Delta V_m = R_c / (R_1 + R_c) \times \Delta e = \Delta e / 2$$

Sensibilité aux grandeurs d'influence:

On démontre qu'elle est minimisée quand les 4 résistances ont la même valeur.

6/ Amplification / Filtrage du signal analogique

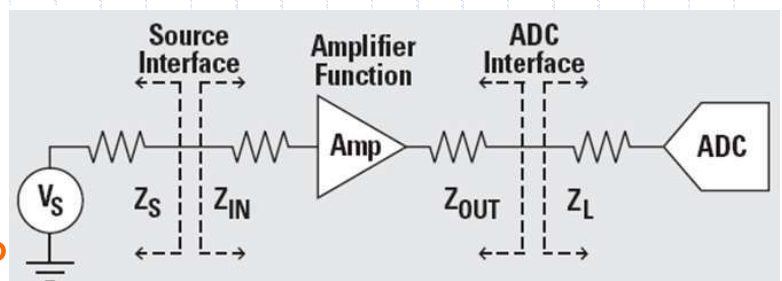
Objectifs de cette partie :

Avant de numériser le signal, un étage d'amplification/filtrage est très souvent présent pour :

- Adapter les niveaux (utilisation de toute la dynamique du CAN)
- Augmenter les niveaux avant transmission (minimisation du bruit)
- Ne garder que la partie « utile » du signal (ex : filtre passe-bande).
- Réaliser une adaptation d'impédance entre les étages.
- Réaliser un filtre anti-repliement avant le convertisseur A/N.
- Isoler la partie mesure de la partie puissance.

- ❁ Amplification/Filtrage
- ❁ Adaptation d'impédance
- ❁ Isolation galvanique

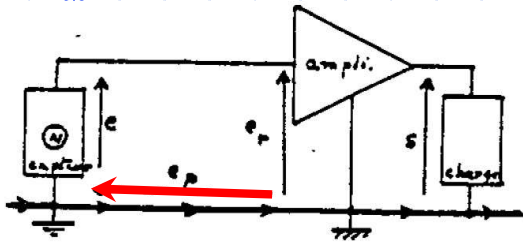
pour cela ... utilisation d'AOP



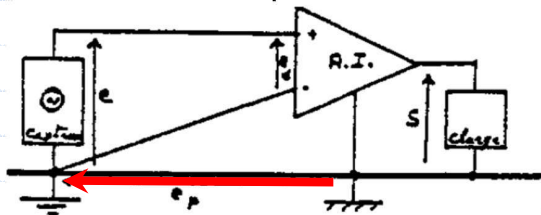
6/ Amplification / Filtrage du signal analogique

Un ampli différentiel, pourquoi?

Influence du courant de masse

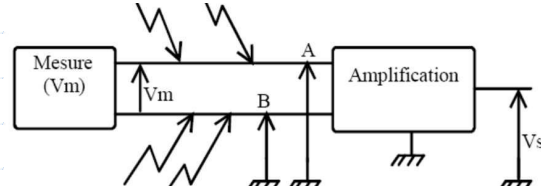


Fem de masse dû à impédance du fil de masse + courant dans le fil de masse : tension de masse, elle sera amplifiée comme le signal capteur => solution : ampli diff!.



L'amplificateur devra amplifier la tension différentielle et rejeter la tension de mode commun.

Parasites lors de la transmission



Si les deux câbles sont très voisins, les tensions de bruit seront proches et vont apparaître comme une tension de mode commun => réjection.

Une solution intégrée ,

l'ampli d'instrumentation :

très bon CMMR,
grande impédance d'entrée,
faible impédance de sortie
gain différentiel A_d réglable facilement

...

6/ Amplification /Filtrage

$$V_d = V^+ - V^- \quad V_{CM} = \frac{1}{2}(V^+ + V^-)$$

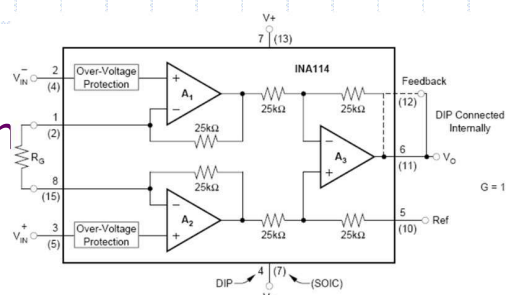
$$V_s = A_d(V^+ - V^-) + A_{mc}\left(\frac{V^+ + V^-}{2}\right)$$

$$CMRR_{dB} = 20 \log\left(\frac{A_d}{A_{mc}}\right)$$

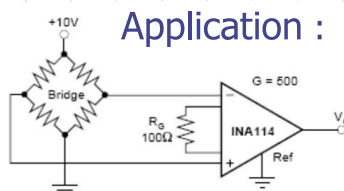
Ampli d'instrumentation Ex : INA 114

Paramètres :

- LOW OFFSET VOLTAGE: $50 \mu V$ max
- LOW DRIFT: $0.25 \mu V/^{\circ}C$ max
- LOW INPUT BIAS CURRENT: $2 nA$ max
- HIGH COMMON-MODE REJECTION: $115 dB$ min
- INPUT OVER-VOLTAGE PROTECTION: $\pm 40V$
- WIDE SUPPLY RANGE: ± 2.25 to $\pm 18V$



Application :



Bridge Transducer Amplifier.

SPECIFICATIONS

ELECTRICAL

At $T_A = +25^{\circ}C$, $V_{OS} = \pm 15V$, $R_L = 2k\Omega$, unless otherwise noted

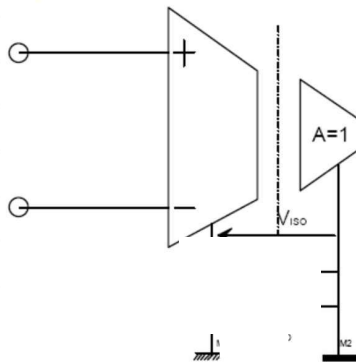
		INA114BP, BU	
PARAMETER	CONDITIONS	TYP	UNITS
INPUT			
Offset Voltage, RTI	$T_A = +25^{\circ}C$	$\pm 10 + 20/G$	μV
Initial vs Temperature	$T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX}	$\pm 0.1 + 0.5/G$	$\mu V/^{\circ}C$
vs Power Supply	$V_{OS} = \pm 2.25V$ to $\pm 18V$	$0.5 + 2/G$	$\mu V/V$
Long-Term Stability		$\pm 0.2 + 0.5/G$	$\mu V/mo$
Impedance, Differential		$10^8 \parallel 8$	$\Omega \parallel pF$
Common-Mode		$10^8 \parallel 8$	$\Omega \parallel pF$
Input Common-Mode Range		± 13.5	V
Safe Input Voltage			V
Common-Mode Rejection	$V_{CM} = \pm 10V$, $\Delta R_{IB} = 1k\Omega$		
	$G = 1$	96	dB
	$G = 10$	115	dB
	$G = 100$	120	dB
	$G = 1000$	120	dB
BIAS CURRENT			
vs Temperature		± 0.5	nA
		± 8	$pA/^{\circ}C$
OFFSET CURRENT			
vs Temperature		± 0.5	nA
		± 8	$pA/^{\circ}C$
NOISE VOLTAGE, RTI			
$f = 10Hz$	$G = 1000$, $R_{IB} = 0\Omega$	15	nV/\sqrt{Hz}
$f = 100Hz$		11	nV/\sqrt{Hz}
$f = 1kHz$		11	nV/\sqrt{Hz}
$f_0 = 0.1Hz$ to $10Hz$		0.4	$\mu V/p-p$
Noise Current			
$f = 10Hz$		0.4	pA/\sqrt{Hz}
$f = 1kHz$		0.2	pA/\sqrt{Hz}
$f_0 = 0.1Hz$ to $10Hz$		18	$pA/p-p$
GAIN			
Gain Equation		$1 + (50k\Omega/R_{IB})$	V/V
Range of Gain			V/V
Gain Error	$G = 1$	± 0.01	%
	$G = 10$	± 0.02	%
	$G = 100$	± 0.05	%
	$G = 1000$	± 0.5	%
Gain vs Temperature	$G = 1$	± 25	$ppm/^{\circ}C$
50k Ω Resistance ⁽¹⁾	$G = 10$	± 0.0001	% of FSR
Nonlinearity	$G = 100$	± 0.0005	% of FSR
	$G = 1000$	± 0.005	% of FSR
OUTPUT			
Voltage	$I_O = 8mA$, T_{MIN} to T_{MAX}	± 13.7	V
	$V_{OS} = \pm 11.4V$, $R_L = 2k\Omega$	± 10.5	V
	$V_{OS} = \pm 2.25V$, $R_L = 2k\Omega$	± 1.5	V
Load Capacitance Stability		1000	pF
Short Circuit Current		± 20 to ± 15	mA
FREQUENCY RESPONSE			
Bandwidth, -3dB	$G = 1$	1	MHz
	$G = 10$	100	kHz
	$G = 100$	10	kHz
	$G = 1000$	1	kHz
Slew Rate	$V_O = \pm 10V$, $G = 10$	0.6	V/ μs
Settling Time, 0.01%	$G = 1$	18	μs
	$G = 10$	20	μs
	$G = 100$	120	μs
	$G = 1000$	1100	μs
Overload Recovery	50% Overdrive	20	μs
POWER SUPPLY			
Voltage Range		± 15	V
Current	$V_{IN} = 0V$	± 2.2	mA
TEMPERATURE RANGE			
Specification			$^{\circ}C$
Operating		80	$^{\circ}C/W$
θ_{JA}			

6/ Amplification /Filtrage

Ampli d'isolement

Dans le cas de très **fortes tensions de mode commun** (>2kV) ou de **tensions de mesure très faibles** (<μV), on est amené à utiliser des amplificateurs d'isolement qui présentent des TRMC supérieurs à 160dB.

D. Berquet



Isolation galvanique obtenue : modulation/démodulation + couplage capacitif, magnétique ou optique.

V_{ISO} de 1000 à 3000 V

$$V_S = \left(V_d \pm \frac{V_{CM}}{CMRR} \pm \frac{V_{ISO}}{IMRR} \right) \cdot A_D$$

$$IMRR_{dB} = 20 \log \left(\frac{A_d}{A_{ISO}} \right)$$

34

Ampli d'isolement : exemple 1

Amplificateur d'isolement
résistance de shunt / tensions en
mV
GS 75000

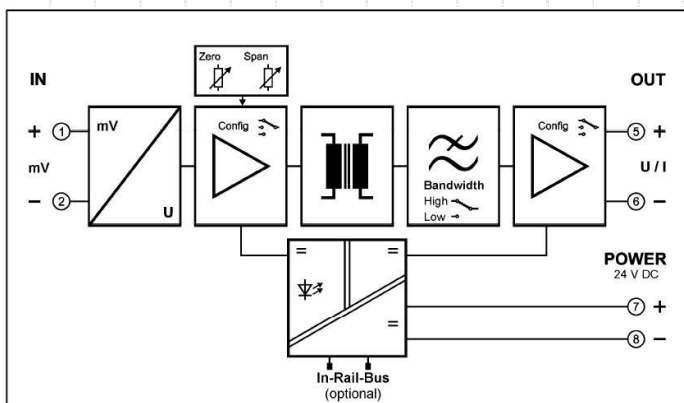


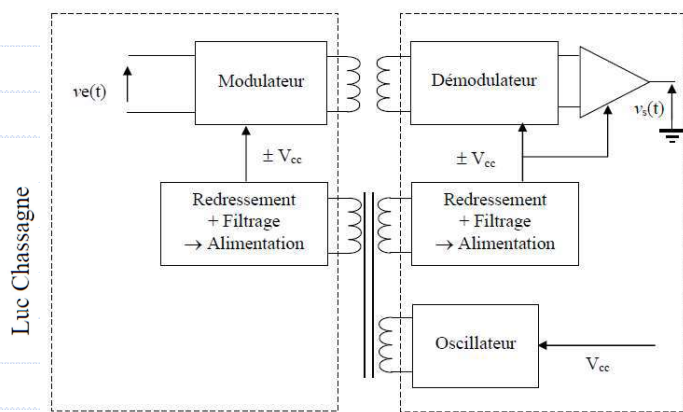
CE



► Caractéristiques techniques

Entrée				
Signal d'entrée (commutable étalonné)	0...60 mV 0...150 mV 0...300 mV	± 60 mV ± 150 mV ± 300 mV	0...100 mV 0...250 mV 0...500 mV	± 100 mV ± 250 mV ± 500 mV
Résistance d'entrée	≥ 100 kΩ			
Surcharge	≤ 30 V			
Sortie	Tension		Courant	
Signal de sortie (commutable étalonné)	± 10 V 0 ... 10 V 2 ... 10 V	± 5 V 0 ... 5 V 1 ... 5 V	± 20 mA 0 ... 20 mA 4 ... 20 mA	± 10 mA 0 ... 10 mA 2 ... 10 mA
Charge	≤ 5 mA (2 kΩ à 10 V)		≤ 12 V (600 Ω à 20 mA)	
Plage de transmission linéaire	Unipolaire : -1 à +110 %		Bipolaire : -110 à +110 %	
Ondulation	< 10 mV _{eff}			
Caractéristiques générales				
Erreur de transmission	< 0,1 % à pleine échelle			
Coefficient de température ¹⁾	< 100 ppm/K			
Compensation ZERO/SPAN (commutable)	± 5 % de la plage de mesure			
Fréquence de coupure - 3 dB (commutable)	8 kHz, 100 Hz			
Temps de réponse T ₉₀	100 μs, 7 ms			
Tension de test	3 kV, 50 Hz, 1 min. entre l'entrée, la sortie et l'alimentation			
Tension de service ²⁾ (isolement de base)	600 V CA/CC pour catégorie de surtension II et classe de contamination 2 selon EN 61010-1			
Protection contre les courants dangereux pour le corps humain ²⁾	Séparation de protection par isolement renforcé conforme EN 61010-1 jusqu'à 300 V CA/CC pour catégorie de surtension II et classe de contamination 2 entre l'entrée, la sortie et l'alimentation.			
Température ambiante	Service	-25 °C à +70 °C (-13 à +158 °F)		
	Transport et stockage	-40 °C à +85 °C (-40 à +185 °F)		
Alimentation électrique	24 V CC	16,8 V ... 31,2 V, env. 0,8 W		
CEM ³⁾	EN 61326-1			
Construction	Enveloppe 6,2 mm (0.244"), indice de protection : IP 20 montage sur rail DIN de 35 mm selon EN 60715			





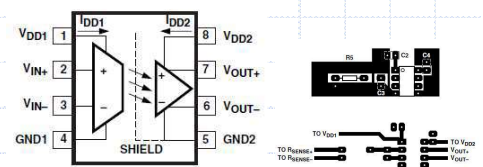
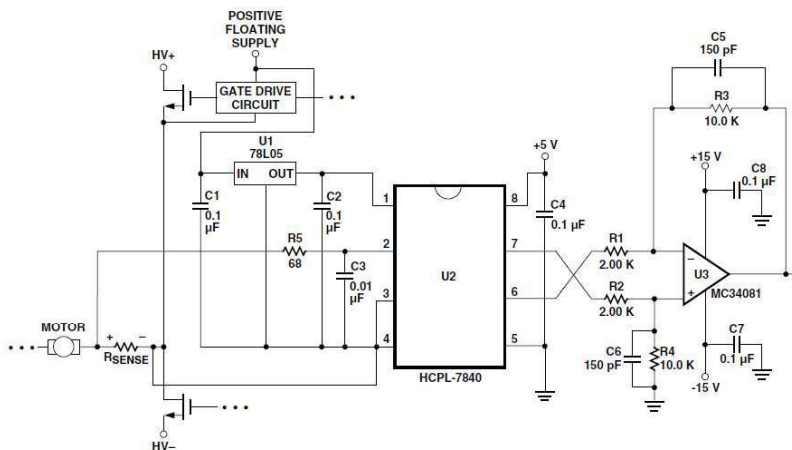
Ampli d'isolement : exemple 2

Features

- 15 kV/ μ s common-mode rejection at $V_{CM} = 1000$ V
- Compact, auto-insertable standard 8-pin DIP package
- 0.00025 V/V/ $^{\circ}$ C gain drift vs. temperature
- 0.3 mV input offset voltage
- 100 kHz bandwidth
- 0.004% nonlinearity
- Worldwide safety approval:
UL 1577 (3750 Vrms/1 min.)
and CSA, IEC/EN/DIN EN 60747-5-2
- Advanced Sigma-Delta (Σ - Δ) A/D converter technology
- Fully differential circuit topology
- 0.8 μ m CMOS IC technology

Applications

- Motor phase and rail current sensing
- Inverter current sensing
- Switched mode power supply signal isolation
- General purpose current sensing and monitoring
- General purpose analog signal isolation



7/ Numérisation du signal

Structure de base :

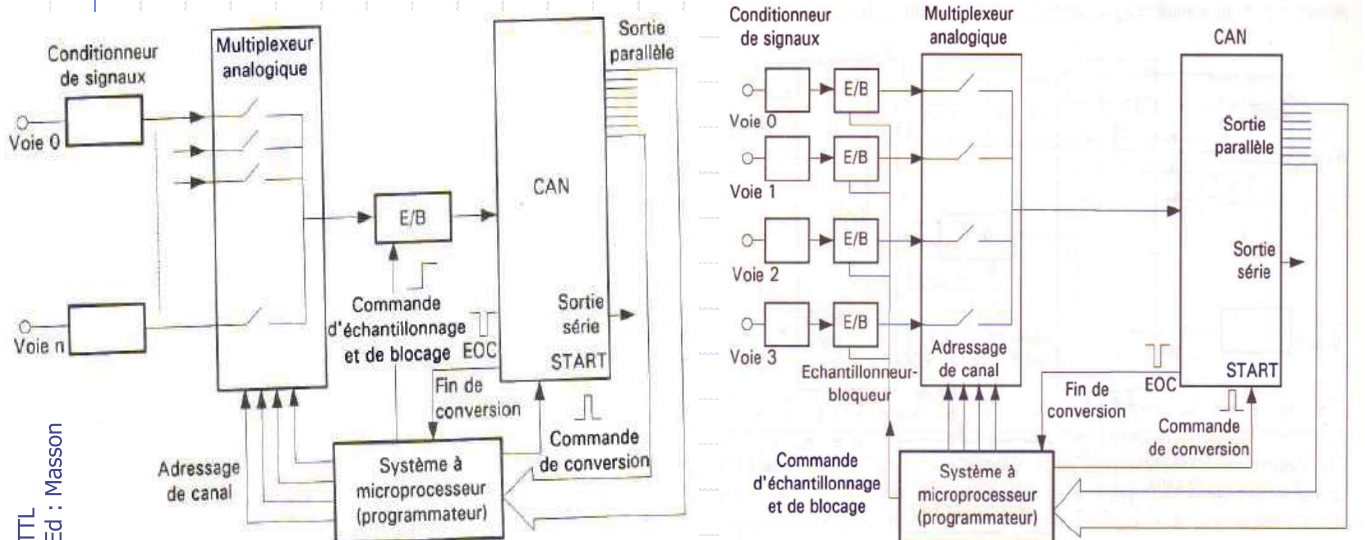
Filtre anti-repliement (FAR)

Multiplexeur

Echantillonneur-bloqueur

Convertisseur Analogique Numérique (CAN).

Différentes structures de conversion.



7/ Numérisation du signal

Repliement du spectre.

$s(t)$ signal continu,
signal discret : $\{s(0), s(T_e), s(2.T_e), \dots\}$
signal échantillonné :

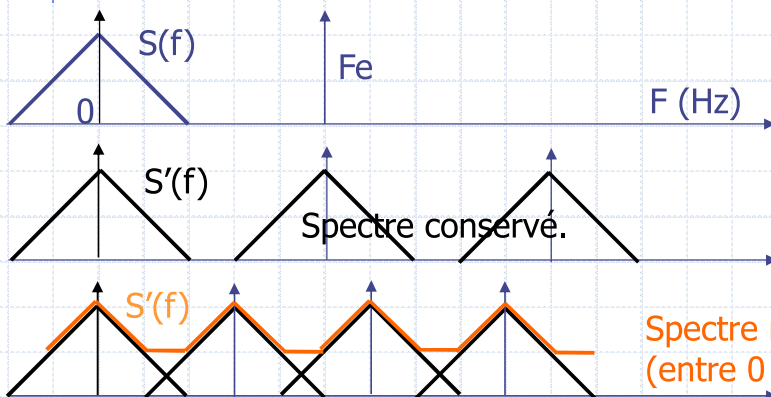
$$s^*(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} s(n.T_e) \cdot \delta(t - n.T_e)$$

échantillonnage \Rightarrow atténuation et périodisation du spectre. La transformée de Fourier d'un signal échantillonné est égale à :

$$S'(f) = \frac{1}{T_e} \sum_{k=-\infty}^{+\infty} S(f - \frac{k}{T_e})$$

Soit F_{MAX} la fréquence max du signal et F_E la fréquence d'échantillonnage, il faut:

$$F_E \geq 2.F_{MAX}$$

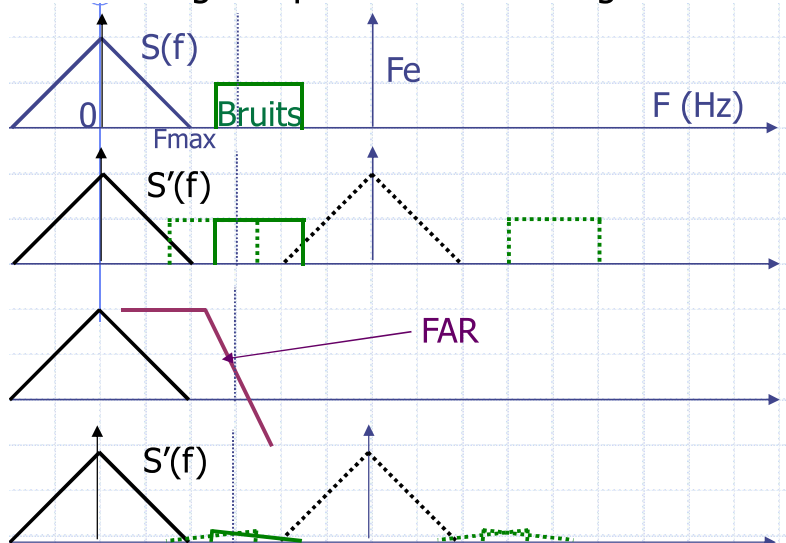


38

7/ Numérisation du signal

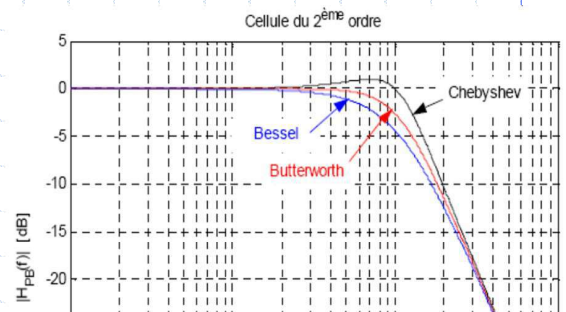
FAR.

Objectifs : 1/ laisser passer le signal utile. 2/couper les fréquences de bruits hors de la bande utile (sup à $F_e/2$) pour éviter de les ramener dans la bande de base du signal après échantillonnage.

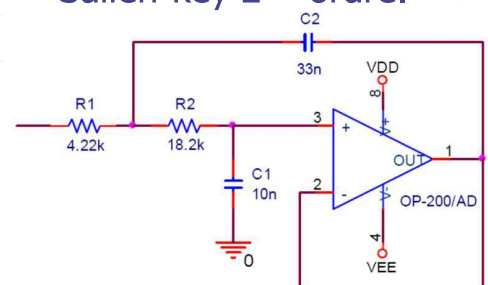


Ce filtre **analogique** ne doit pas atténuer la bande utile. Il doit couper au-delà pour que l'atténuation soit suffisante pour $F > F_e/2$. Il y a un compromis : F_e / ordre du filtre et réalisation / ordre du filtre.

Gabarit de filtrage.



Sallen-key 2^{ème} ordre.



7/ Numérisation du signal FAR.

Le filtre anti repliement (anti- aliasing) peut être réalisé :

- soit avec un filtre analogique passif
- soit avec un filtre analogique actif (standard ou à capa commutées)

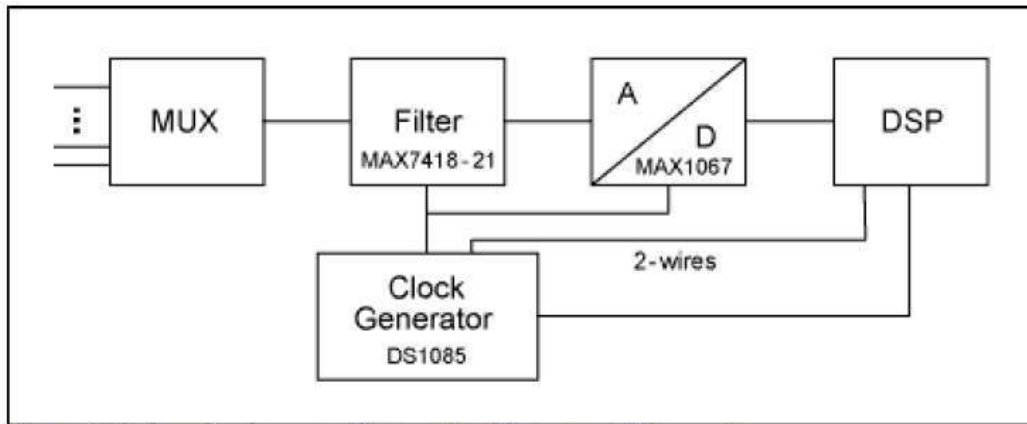


Figure 7. Schematic diagram of the realized data-acquisition system.

Application Note 3494: <http://www.maxim-ic.com/an3494>

MAXIM 5th-Order, Lowpass, Switched-Capacitor Filters

Features

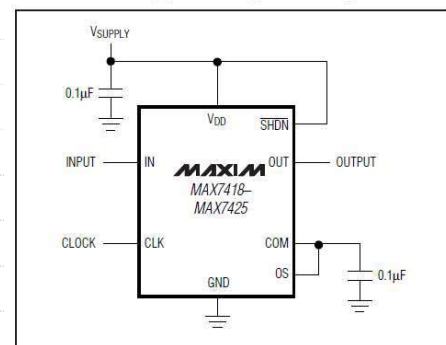
- ◆ 5th-Order, Lowpass Filters
 - Elliptic Response (MAX7418/MAX7421/
MAX7422/MAX7425)
 - Bessel Response (MAX7419/MAX7423)
 - Butterworth Response (MAX7420/MAX7424)
- ◆ Clock-Tunable Corner Frequency (1Hz to 45kHz)
- ◆ Single-Supply Operation
 - +5V (MAX7418–MAX7421)
 - +3V (MAX7422–MAX7425)
- ◆ Low Power
 - 3mA (Operating Mode)
 - 0.2μA (Shutdown Mode)
- ◆ Available in 8-Pin μMAX Package
- ◆ Low Output Offset: ±4mV

Applications

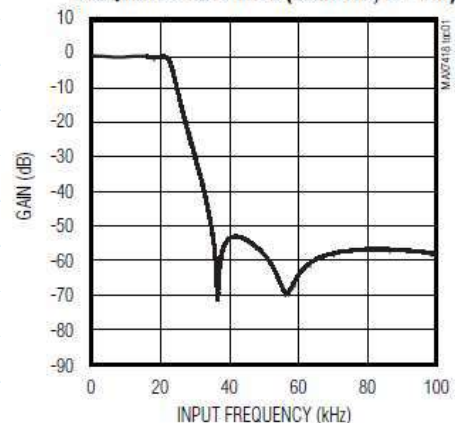
ADC Anti-Aliasing
DAC Postfiltering

CT2 Base Stations
Speech Processing

Typical Operating Circuit



MAX7418/MAX7422 FREQUENCY RESPONSE (ELLIPTIC, R = 1.6)



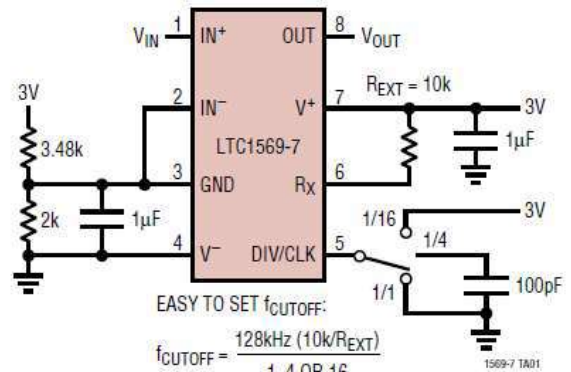
FEATURES

- One External R Sets Cutoff Frequency
- Root Raised Cosine Response
- Up to 300kHz Cutoff on a Single 5V Supply
- Up to 150kHz Cutoff on a Single 3V Supply
- 10th Order, Linear Phase Filter in an SO-8
- DC Accurate, $V_{OS(MAX)} = 5mV$
- Low Power Modes
- Differential or Single-Ended Inputs
- 80dB CMRR (DC)
- 80dB Signal-to-Noise Ratio, $V_S = 5V$
- Operates from 3V to $\pm 5V$ Supplies

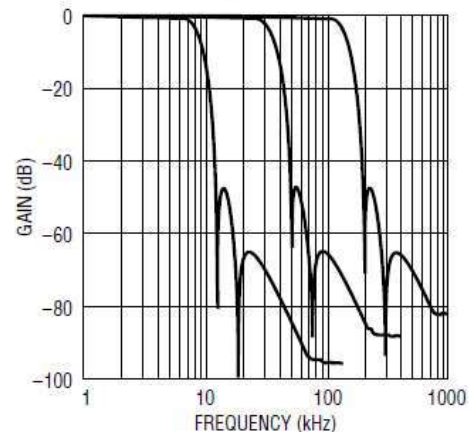
APPLICATIONS

- Data Communication Filters for 3V Operation
- Linear Phase and Phase Matched Filters for I/Q Signal Processing
- Pin Programmable Cutoff Frequency Lowpass Filters

Single 3V Supply, 128kHz/32kHz/8kHz Lowpass Filter



Frequency Response, $f_{CUTOFF} = 128kHz/32kHz/8kHz$



7/ Numérisation du signal Echantillonneur-bloqueur

- Objectifs :
- 1/ prélever sur son entrée à un instant choisi la tension.
 - 2/ mémoriser cette valeur de tension.
 - 3/ délivrer en sortie une tension égale à celle mémorisée.

Utilisations : Plusieurs tensions à convertir avec un seul CAN. Tensions dont la variation est rapide relativement à la durée d'acquisition du CAN.

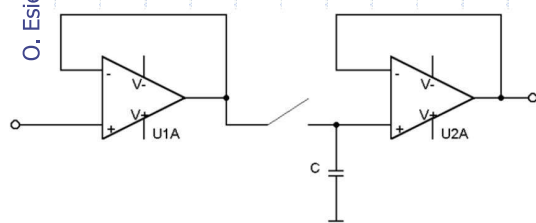
Utile si le signal varie de plus de 1 quantum q durant le temps d'acquisition T_c , ainsi pour un signal $e(t) = E \cos 2\pi ft$ la variation maximale du signal vaut :

$$\left. \frac{de}{dt} \right|_{Max} = 2\pi f E \quad \text{Une conversion sur } n \text{ bits correspond à une résolution de : } q = \frac{2E}{2^n}$$

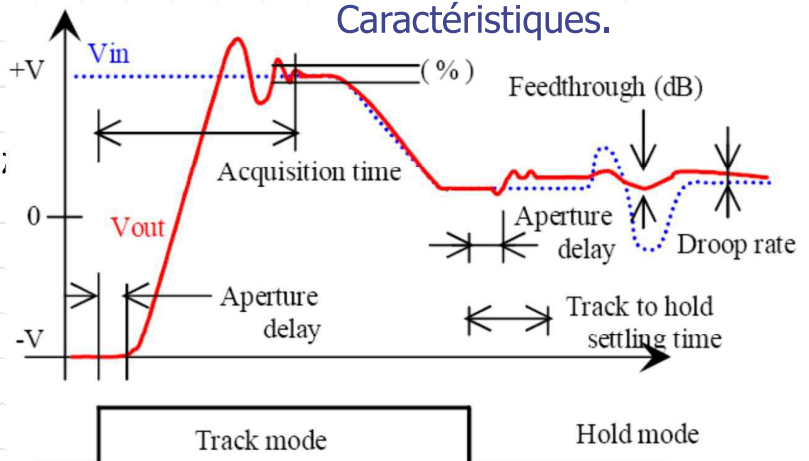
$$\left. \frac{de}{dt} \right|_{Max} * T_c < q \Rightarrow f < \frac{1}{T_c \pi 2^n}$$

Ex : pour du 12 bits, $1 \mu s$, $f=77Hz$:

Structure en boucle ouverte.



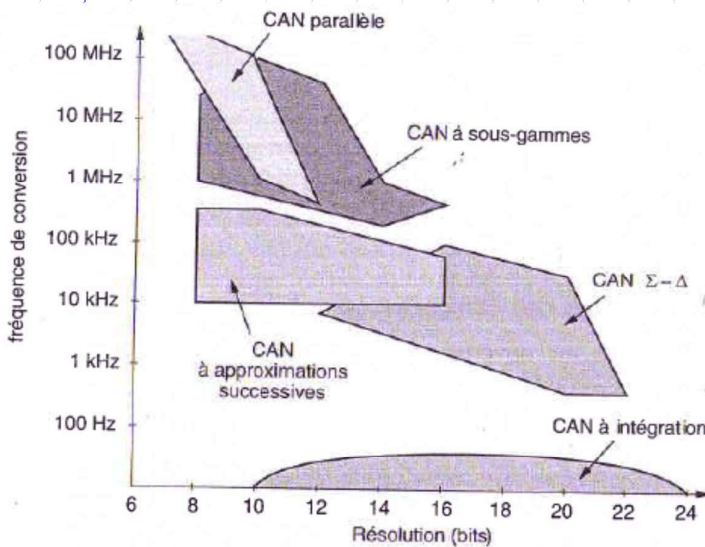
Caractéristiques.



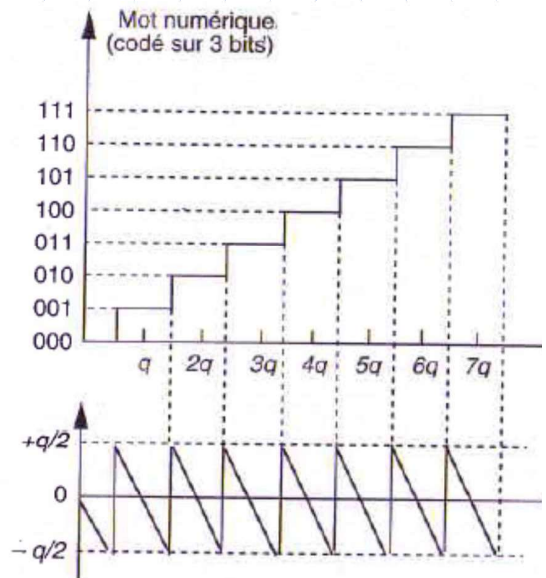
7/ Numérisation du signal - Convertisseur A/N.

Technologies :
 à rampe et comptage
 à approximations successives
 parallèles
 haute résolution, basse vit : sigma delta

Fréquence/résolution pour les différents types de CAN.



Convertisseur idéal et erreur de quantification

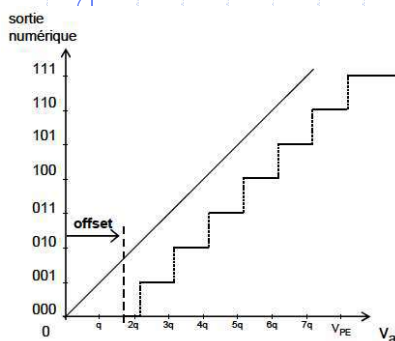


7/ Numérisation du signal - Convertisseur A/N.

Paramètres statiques

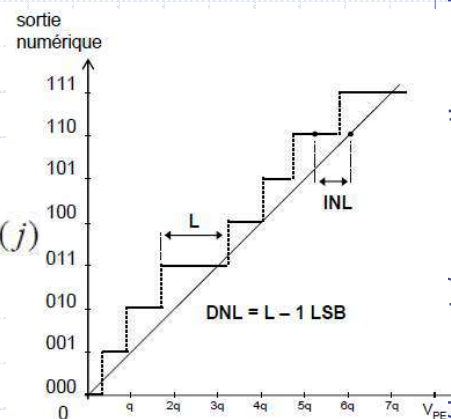
erreur offset, erreur gain, NL(DNL, INL), monotonicité.

DNL et INL

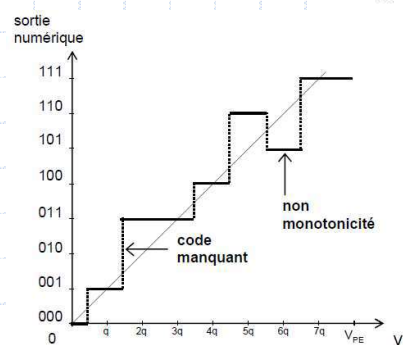
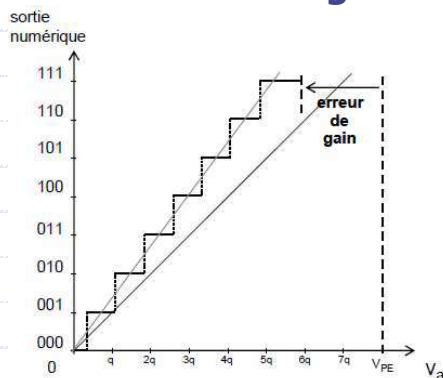


$$DNL(k) = \frac{(V_{Sk+1} - V_{Sk}) - q}{q}$$

$$INL(k) = \frac{V_{Sk} - V_{Sk \text{ idéale}}}{q} = \sum_{j \leq k} DNL(j)$$



Erreurs offset et gain



Monotonicité et code manquant.

7/ Numérisation du signal Convertisseur A/N.

Paramètres dynamiques :

SNR (signal to noise ratio)

$$SNR_{dB} = 10 \cdot \log \left(\frac{P_{signal}}{P_{bruit}} \right)$$

SINAD (signal to noise ratio and distortion)

ENOB (effective number of bits)

L'ENOB est le nombre de bits du CAN idéal qui donnerait le même SINAD que le CAN réel.

$$ENOB = \frac{SINAD_{dB} - 1,76}{6,02}$$

$$SINAD_{dB} = 10 \cdot \log \left(\frac{P_{signal}}{P_{bruit + distortion}} \right)$$

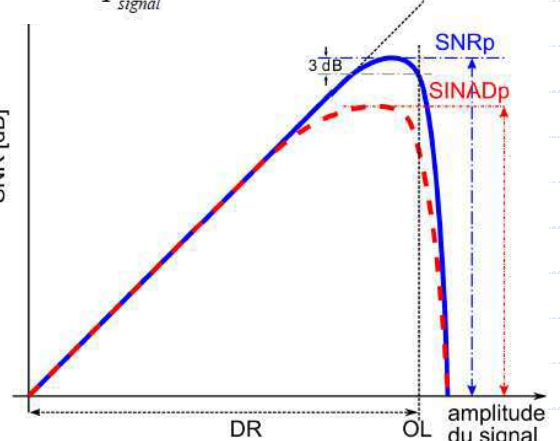
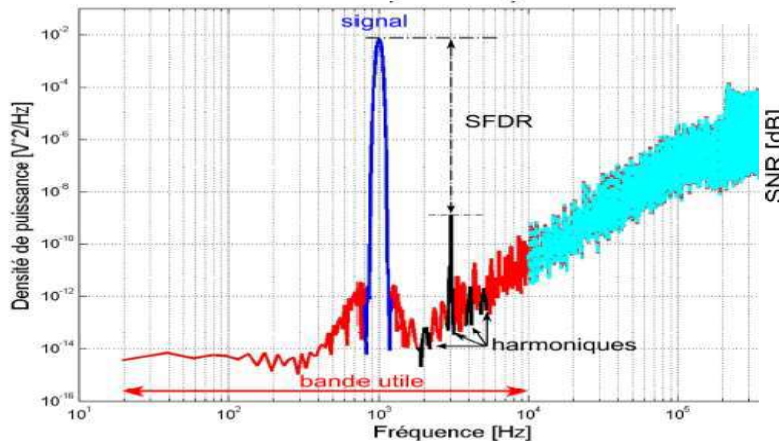
$$SINAD_{dB} = 6,02 \cdot ENOB + 1,76$$

SFDR (Spurious free dynamic range)

THD (Total harmonic distortion)

$$SFRD_{dB} = 20 \cdot \log \frac{a_1}{\max(a_k, s)}$$

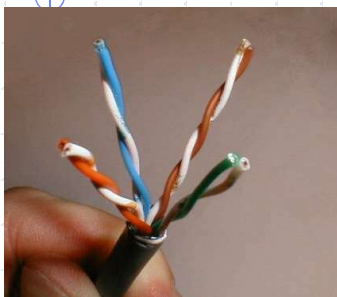
$$P_{harmoniques} = a_2^2 + a_3^2 + \dots + a_k^2 \text{ et } P_{signal} = a_1^2. \quad THD = 10 \cdot \log \frac{P_{harmoniques}}{P_{signal}}$$



http://foad.ensicaen.fr/pluginfile.php/5619/mod_resource/content/4/TP-3A-Micro-Simulation-Sigma-Delta.pdf

8/ Transmission du signal Câblage.

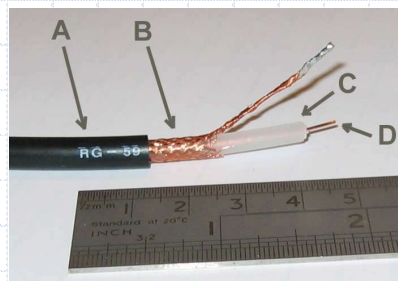
Paire torsadée



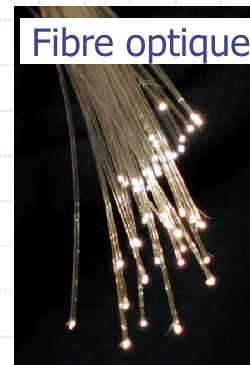
Canaux hertziens

Infra rouge

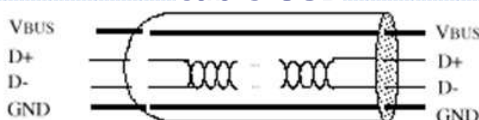
Coaxial



Fibre optique



câble USB



Câble GPIB

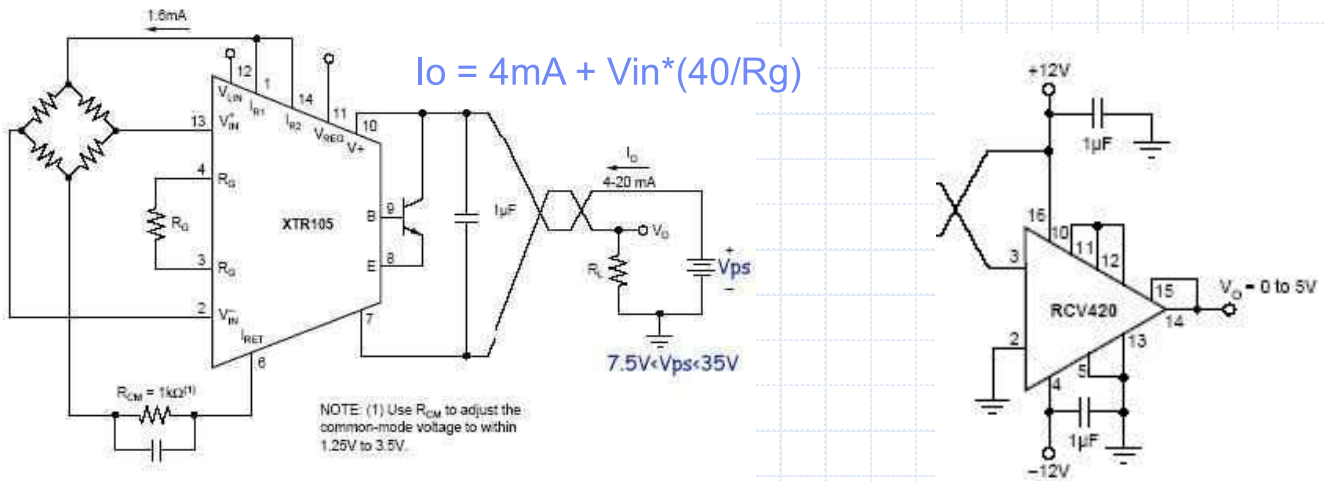
8/ Transmission du signal

Liaison analogique en tension

2 fils mini (+alim souvent), affaiblissement avec la distance, sensibilité au bruit

Liaison analogique en courant : 4-20mA

2 fils, pas d'affaiblissement, débit max : ???, détection de coupure
exemple de Ci de mise en forme (XTR105) et de réception (RCV420)vc



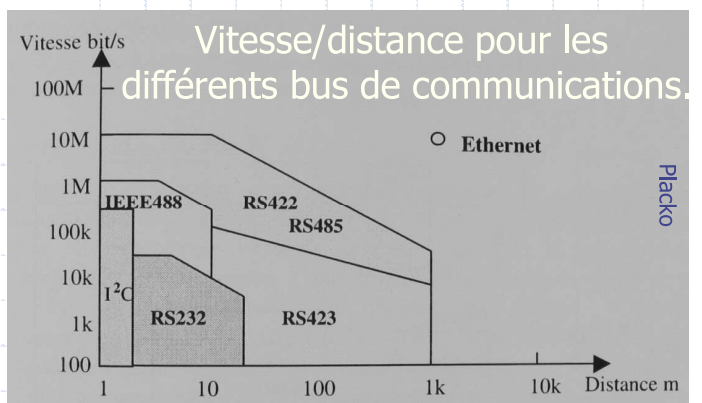
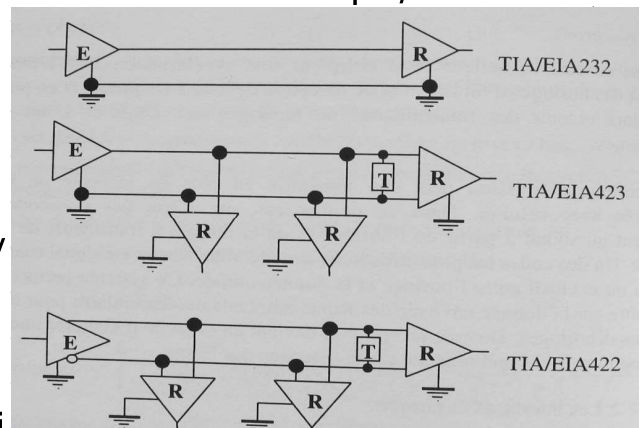
8/ Transmission du signal

Liaison filaire numérique

Transmission **série** : 2 fils + masse (transmission série type **RS 232**, pas connectable à chaud, (Rx, Tx masse)), **I2C** (SDA, SCL et masse), **CAN** (1Mb/s, sur paire différentielle), **USB** universal serial bus (paire différentielle +5V+masse, Hot Plug & Play, 127 périphériques, USB 2.0 définit 3 vitesses de communication : 1,5 Mbps (Low Speed), 12 Mbps (Full Speed), 480 Mbps (High Speed)), $L_{max} < 3m$ ou $5m$ si blindé.

Transmission **parallèle** : **IEEE488** ou GPIB (Câble de 2m, 20m max en tout et 14 instruments, mode parallèle 8bits, 1 Mo/s), bus **VXI**, **PXI** dans tout les cas : distance courtes (best avec coaxial)

Liaisons **séries** : simple/différentielle.



8/ Transmission du signal

Liaison par fibre optique

(exemple pic du midi), **immunité aux parasites électro-magnétiques** débit max plusieurs centaines de terabits /s

Liaison radio

Bluetooth et Wi-fi (2,4 Ghz, $\lambda = C/f = 12,5$ cm, débit allant jusqu'à 11Mbps)

Bluetooth (portée de 10 à 100 m, 10m en France)

Liaison infra rouge

IrDA : entre 115,2 Kbps et 4 Mbps.

La technologie reste tout de même limitée physiquement, et ne fonctionnera à pleine puissance qu'à un mètre d'écart maximum, en respectant un cône d'alignement d'un angle de 30° environ.

50



« Capteur » =
corps épreuve +
jauge de contrainte +
conditionnement

Plage de
mesure:
0 à 30 kg
0,5 à 3,5V



51