
MP24 : SIGNAL ET BRUIT

Niveau

Commentaires du jury

- 2017 :La mesure du bruit thermique d'une résistance est une très jolie expérience à la condition de comprendre les différents étages d'amplification nécessaires dans ces expériences. L'utilisation de boîtes noires non justifiée a été sanctionnée par le jury.
- 2013 à 2016 :Les notions d'erreur de quantification et de rapport signal/bruit ne sont pas bien dégagées. Pour la numérisation d'un signal, il faut mettre en évidence le rôle de l'échantillonnage et ses conséquences.

Bibliographie

—

pré-requis

Expériences

—

Table des matières

1 Rapport signal sur bruit	2
1.1 Signal bruité	2
1.2 Signal bruité filtré	2
2 Convertisseur analogique-numérique	2
2.1 Bruit de quantification	3
2.2 Montage du CAN	3
2.3 Calibrage	5
2.4 Sensibilité au bruit	5
3 Stratégie d'acquisition	5

Introduction

Lorsque l'on effectue une mesure en physique, on va souvent au delà d'une mesure mécanique : au lieu de mesurer une distance à la règle, on se sert d'appareil de mesures, mettant en jeu des signaux sous la forme de tensions électriques.

Un signal est défini comme la variation d'une grandeur physique comportant une information. Il peut être couplé à du bruit : variation spatiale ou temporelle à caractère stochastique d'une quantité physique portant un signal, s'ajoutant à ce signal. En clair, il nous empêche de voir le signal "proprement".

Comme il s'ajoute au signal, on simplifie les choses en : signal = information + bruit.

Pour quantifier à quel point un signal est bruité, on utilise le **rapport signal sur bruit (RSB)** :

$$\text{RSB} = 10 \log \left(\frac{E_{\text{information}}}{E_{\text{bruit}}} \right)$$

Le bruit a de multiples causes : bruit des composants en élec, fond lumineux en optique, bruit de quantification... On différencie les bruits selon leur spectre : un bruit blanc a une densité spectrale de puissance constante, un bruit rose a une densité spectrale qui décroît linéairement en échelle log avec la fréquence... On parle souvent de bruit coloré.

Dans ce montage, on va essayer de voir quelle est l'influence du bruit sur un signal, et comment diminuer son influence.

1 Rapport signal sur bruit

1.1 Signal bruité

Pour un bruit blanc idéal, sa fonction d'autocorrélation est un δ de Dirac en 0. Sa transformée de Fourier est une constante.

La densité spectrale de puissance d'un signal $s(t)$ est définie comme : $P(\nu) = |\text{TF}(s(t))(\nu)|^2$. Dès lors, l'énergie totale du signal vaut :

$$E_{s,\infty} = \int_0^\infty P(\nu) d\nu$$

Lorsque l'on tronque la TF à la fréquence f , on écrit :

$$E_s(f) = \int_0^f P(\nu) d\nu$$

On génère un signal d'amplitude 1Vpp, de fréquence 1kHz. On y ajoute à l'aide d'un sommateur du bruit (généré à l'oscillo) d'amplitude 10V. On acquiert le signal de sortie avec LatisPro : on voit rien. On fait la TF en puissance : on voit un pic et un spectre à peu près blanc.

Paramétrage du bruit : on peut envoyer un bruit blanc sur une plage de fréquence donnée. On a vérifié avec Latis que c'était "ok" sur la plage de fréquence, puis que le bruit décroît jusqu'à être nul. On peut choisir un bruit de 0 à 20000 Hz.

Pour Latis, on prend une fréquence d'échantillonnage supérieure à la fréquence max du bruit.

On calcule ensuite $E_s(f)$ avec Latis. On doit avoir un palier à la fin. On en déduit : $\text{RSB} = 10 \log \frac{E_{\text{info}}}{E_{\infty} - E_{\text{info}}}$

Normalement on trouve un résultat éclaté. Pour retrouver le signal, on filtre !

1.2 Signal bruité filtré

Là c'est facile, et c'est juste pour l'exemple, mais on sait que la fréquence du signal qui nous intéresse se situe vers 1kHz : en filtrant avec un passe bas (RC basique) de pulsation de coupure $\omega_c = 10 \text{ kHz}$, on retrouve le signal de départ quasiment pas modifié, et avec peu de bruit.

On mesure le nouveau RSB : c'est bien mieux.

Bon, c'était facile, on connaissait la fréquence. On pourrait utiliser un passe-bande pour améliorer encore le résultat.

2 Convertisseur analogique-numérique

Une étape importante de l'acquisition de signaux est la conversion du signal analogique en signal numérique. le principe est le suivant : il s'agit de discrétiser les valeurs qui peuvent être prises par le signal numérique. (faire un schéma avec le signal analogique et des tirets pour le signal numérique). On fait la liste des valeurs prises au cours du temps, à des intervalles discrets et réguliers, espacés de τ , le pas temporel d'échantillonnage.

Si l'on dispose de n bits pour coder chaque valeur mesurée, on aura $2^n - 1$ valeurs possibles pour le signal numérisé. Si on mesure un signal d'amplitude U , le signal numérique correspondant pourra prendre des valeurs discrètes écartées de $p = \frac{U}{2^n - 1}$, le pas d'échantillonnage (eh oui c'est doublement échantillonné).

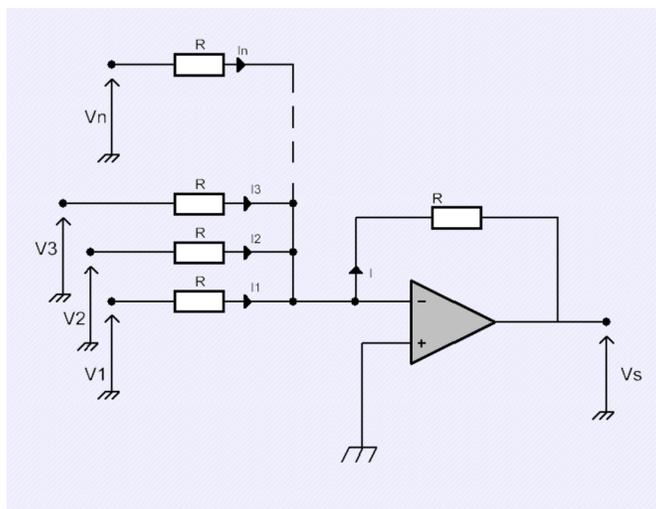


FIGURE 1 – *sommateur.*

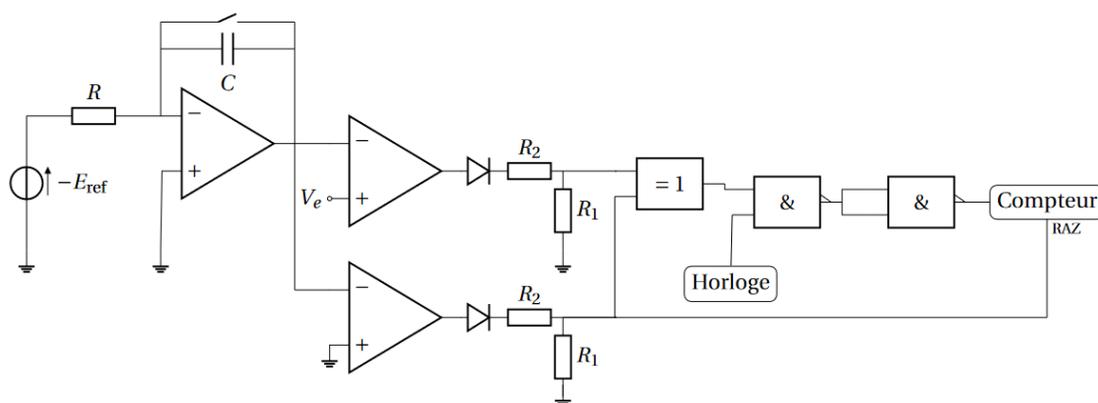


FIGURE 2 – $R_1 = 2k\Omega$, $R_2 = 4k\Omega$. Porte NON ET : P42.52, compteurs P70.9, porte OU exclusif... soit un circuit intégré 7486, soit câblé.

Cette quantification induit une erreur sur la valeur que l'on mesure. On appelle cela le bruit de quantification, le rapport signal sur bruit de quantification est donné par :

$$RSB_{ech} = 20 \log p + 4,7$$

Montrer, à très basse fréquence (5Hz?) d'horloge, la droite $N = f(U)$

2.1 Bruit de quantification

Cependant, ce n'est pas la seule source de bruit : quid de l'influence du bruit des tensions présentes dans le montage ?

2.2 Montage du CAN

On cherche à mesurer V_e . Pour cela, on utilise la tension de référence, $-E_{ref}$. Au moment où on ouvre l'interrupteur, le premier AO (intégrateur) intègre E_{ref} . La tension résultante est comparée à la tension à mesurer. Les résistances permettent de convertir les signaux saturés en signaux TTL.

En sortie des 2 autres AO, on a des tensions continues $\pm 15V$. Tant que la tension intégrée est inférieure à V_e , l'AO sature à $-15V$, donc on envoie "0" dans la porte logique OU exclusif. L'autre AO compare à $0V$, et renvoie

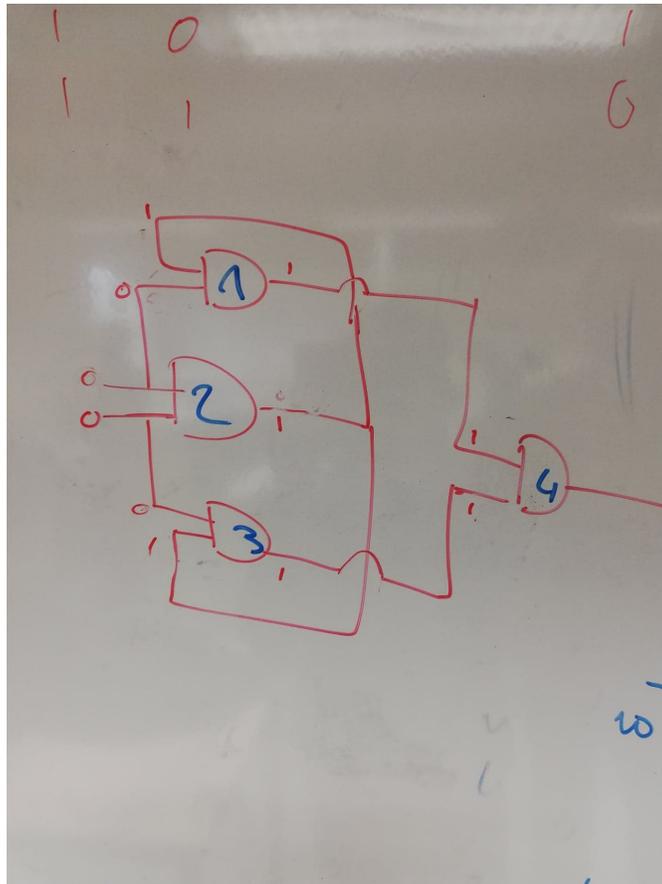


FIGURE 3 – Ou exclusif by Antoine Chauchat <3

"1" dès que la tension intégrée dépasse 0V, c'est-à-dire dès le déclenchement de l'interrupteur. Cela a pour effet de lancer le compteur. Tant que l'AO avec V_e n'est pas commuté et passé à +15V, la porte OU exclusif reçoit 0 et 1 et renvoie 1.

Le signal d'horloge est un signal TTL à 1kHz : la porte ET commute donc à chaque front montant ou descendant de l'horloge, et la porte ET suivante divise la fréquence de commutation de la première porte par 2. Le compteur compte les fronts montants.

On utilise des diodes pour ne pas envoyer des signaux négatifs dans les portes.

Lorsque la tension intégrée atteint V_e , l'AO renvoie 1, la porte OU exclusif renvoie alors 0. La porte ET renvoie donc tout le temps 0 et le compteur arrête de compter.

Le temps d'intégration est donc proportionnel à la tension à mesurer : $T = RC \frac{U}{E_{ref}}$.

On convertit ce temps en nombre à l'aide du signal d'horloge.

On prend RC de l'ordre de la seconde.

2.3 Calibrage

Calibrage du CAN : Tracer T ou N en fonction de U . On attend une droite. L'ordonnée à l'origine donne une idée des temps de commutation...

2.4 Sensibilité au bruit

On rajoute du bruit artificiel à la tension à mesurer. On a 2 possibilités : soit bruiteur U , soit bruiteur E_{ref} .

Le but est de mesurer la valeur de U en fonction du bruit. Réaliser plusieurs mesures (au moins 5) pour avoir un écart type et une moyenne.

On remarque que lorsque la tension à mesurer est bruitée, on est très sensible au bruit. C'est moins le cas lorsque la rampe est bruitée : l'intégration diminue l'influence du bruit. Une piste d'amélioration est la carte double rampe : on intègre aussi la tension à mesurer pour la filtrer.

3 Stratégie d'acquisition

Le principe est le suivant, on veut acquérir le signal d'un diapason bruité, en ayant le meilleur rapport signal sur bruit.

Pour cela on utilise le principe de la détection synchrone. On va alors se rendre compte que cette méthode nous permet d'acquérir des signaux de plus haute fréquence que la capacité de notre échantillonneur en les "ramenant" sur un domaine de fréquence plus adapté.

Le principe de la détection synchrone est que lorsque l'on multiplie deux signaux sinusoidaux de fréquence f et f_0 , cela peut se réécrire comme une somme de cosinus de fréquence δf et $f_0 + f$. Ainsi en connaissant le signal f_0 , on ramène notre signal à une fréquence beaucoup plus basse. Grâce à cela on peut ensuite filtrer passe bas et obtenir un signal moins bruité.

Penser à régler le potentiomètre de l'AO pour ne pas avoir un offset affreux

$$\begin{aligned}
 V_x(t) &= K A_s V_0 \cos(2\pi f_0 t) \cos(2\pi f t) \\
 &= \frac{K A_s A_0}{2} \cos(2\pi \delta f t) + \frac{K A_s A_0}{2} \cos(2\pi (2f_0 + \delta f) t)
 \end{aligned}$$

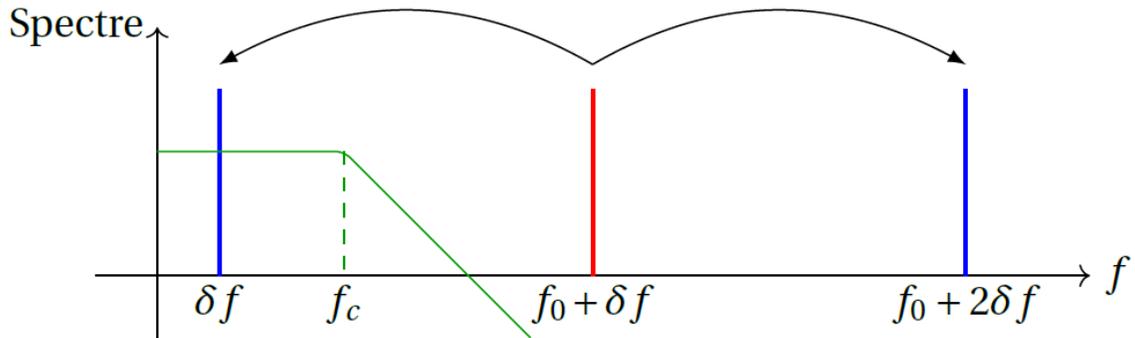


FIGURE 4 – principe de la détection synchrone

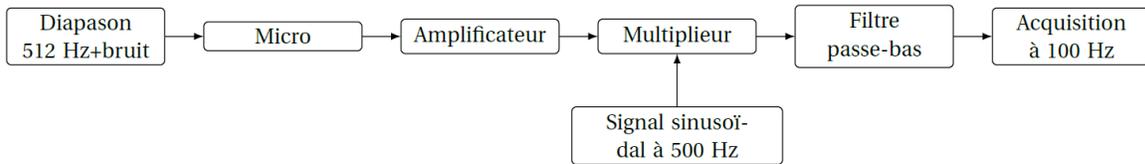


FIGURE 5 – principe du montage

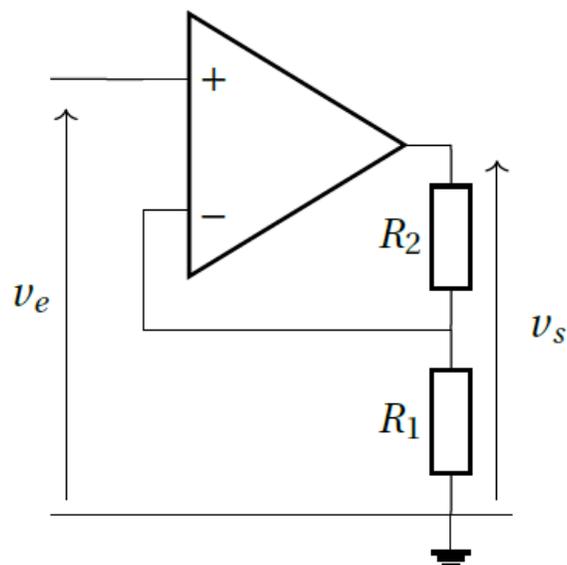


FIGURE 6 – Amplificateur non inverseur ($R_1 = 100, R_2 = 39k$)