

MP 24 : SIGNAL ET BRUIT

12 février 2018

Florence Pollet & Oliver Toffts

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.

Jusqu'en 2016 le titre était "Acquisition, analyse et traitement des signaux".

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.

2011 et 2012 : Les caractéristiques de la numérisation d'un signal ont été mieux illustrées cette année. L'analyse des signaux ne se limite pas à une FFT sur un oscilloscope. L'aspect traitement du signal est trop souvent absent notamment le rapport signal/bruit.

Bibliographie

- ✎ *Expérience d'électroniques, Duffait* → CAN
- ✎ *Physique expérimentale, FLIOT* → Détection synchrone
- ✎ *Électronique, Asch* → CAN

Expériences

- ✎ Filtrage d'un signal bruité avec RC-CR.
- ✎ CAN double-rampe.
- ✎ Détection synchrone.

Table des matières

- 1 Filtrer le bruit 2
- 2 Intégrer le signal 2
- 3 Détection synchrone : signal noyé dans du bruit 2

Introduction

On cherche souvent à mesurer un signal mais celui-ci est généralement bruité. Il faut alors essayer de récupérer l'information qui nous intéresse. On va considérer que :

$$\begin{aligned} \text{Signal} &= \text{Information} + \text{Bruit} \\ V_s &= V_I + V_B \end{aligned}$$

On utilise un sommateur (cf Duffait) pour créer notre signal V_s en ajoutant artificiellement un bruit blanc créé par le générateur agilent. Un bruit blanc est un bruit pour lequel la répartition spectrale est indépendante de la fréquence. *Comment peut-on faire pour s'affranchir du bruit et récupérer le signal informatif ?*

1 Filtrer le bruit

Filtrage d'un signal très bruité

✎

Filtrer le signal bruité avec un RC pour éliminer les fréquences supérieures à celle du signal informatif. Observer les deux signaux avant et après filtrage → Nettement amélioré. On essaye de quantifier ça avec un rapport signal sur bruit.

⊗ 10 min

On choisit comme définition :

$$RSN = \frac{E_{\text{signal}}}{E_{\text{bruit}}} \quad (1)$$

Pour calculer le rapport signal sur bruit on fait une acquisition du signal sur Latis Pro, on calcule sa TF puis son spectre (TF^2). On intègre alors le spectre pour voir la répartition en énergie. Il faut repérer le saut sur la courbe d'intégration correspondant au pic du signal informatif et mesurer la hauteur du saut h_I . On a alors $h_I \propto E_{\text{signal}}$. Pour déterminer E_{bruit} il faut considérer le "reste" du signal c'est à dire la hauteur $h_{\text{total}} - h_I \propto E_{\text{bruit}}$ (On ne sait pas très bien quelle est l'unité de l'intégrale mais comme on fait un rapport c'est pas très grave). On peut alors calculer le rapport signal sur bruit avant filtrage et après filtrage pour quantifier l'amélioration (Peut-on donner une incertitude sur ce rapport ? Difficile à estimer et pas certain que cela est vraiment un sens).

2 Intégrer le signal

Une seconde manière de s'affranchir du bruit consiste à intégrer le signal bruité, ce qui revient à faire une moyenne et à lisser le bruit. On peut ainsi faire des mesures plus précises d'un signal bruité (fonctionnement d'un multimètre).

On va donc intégrer le signal V_s pendant une durée T_1 comme à l'aide d'un intégrateur. On bascule ensuite un interrupteur pour intégrer V_{ref} pendant le même temps T_1 . On prend $|V_{\text{ref}}| > |V_s|$ et de signe opposé. Au bout d'un temps $T_2 < T_1$ le signal intégré coupe l'axe des abscisses, on a alors $V_s T_1 = V_{\text{ref}} T_2$ donc en connaissant T_2 on peut remonter à la valeur de V_s . On peut automatiser la mesure en plaçant en sortie de l'intégrateur un comparateur et des chronomètres à déclenchement automatique.

Ce montage présente l'avantage d'être peu sensible au bruit et la mesure est indépendante des constantes des composants de l'intégrateur. Désavantage : temps de mesure assez long, utilisable dans les multimètres.

CAN double-rampe

✎

⊗ 15 min

Montrer à l'oscilloscope les différents signaux aux différents endroits du circuit pour bien expliquer le fonctionnement. Expliquer le choix des composants et des fréquences de basculement. Acquisition avec Latis Pro du signal bruité, du signal en sortie de l'intégrateur et du signal en sortie du comparateur. On peut alors mesurer le temps T_1 durant lequel la sortie du comparateur est à $V_+ = +15V$ et remonter à $T_2 = T_1$ puis à $V_s = E_{\text{ref}} \frac{T_2}{T_1}$. Pour avoir une mesure plus précise on peut répéter le calcul sur plusieurs périodes. Il est aussi possible d'automatiser la mesure de T_2 avec des chronomètres à déclenchement automatique.

3 Détection synchrone : signal noyé dans du bruit

Lors de la propagation d'un signal celui-ci peut rapidement se retrouver noyé dans un bruit ambiant (ex : petite lampe qui clignote au milieu de la salle). Comment faire pour parvenir à récupérer ce signal tout de même.

Répartition du bruit n'est pas toujours homogène en fréquence, on peut étudier la répartition spectrale du bruit pour trouver une plage de fréquence avec un bruit faible. L'idée c'est de déplacer le signal d'intérêt dans cette zone à faible bruit, de le propager puis de le récupérer à l'arrivée.

On va d'abord illustrer le principe de la détection synchrone avec un signal artificiel (pour bien comprendre chaque élément) avant de l'appliquer à un cas plus concret.

Principe de la détection synchrone

➤ Duffait p.219-222

⌚ 5 min

On crée un bruit blanc avec une zone de fréquences moins bruitée (filtrée) pour y déplacer notre signal (pour l'instant une sinusoïde de fréquence f_s). Pour translater le signal dans une zone de faible bruit on le multiplie par une porteuse de fréquence f_p (choisie pour correspondre à un minimum de bruit), on a donc dans le spectre signal à $f_s + f_p$ + un signal à $f_s - f_p$ + bruit (ajouté lors de la propagation, pas modulé). A l'arrivée on démodule (ici qui apparaît vraiment la détection synchrone) en remultipliant par la porteuse on a donc dans le spectre : f_s + bruit décalé + $f_s + 2f_p$. On applique alors un filtre passe-bas pour récupérer uniquement le signal associé à f_s . Ça marche plutôt bien et on peut récupérer notre signal d'étude.

Maintenant qu'on a compris le principe on va essayer de détecter le signal émis par une petite lampe qui clignote au bout de la pailasse.

Application de la détection synchrone

➤ Jolidon, annexe détection synchrone

⌚ 10 min

On veut récupérer avec un photo-captur le signal émis par une petite lampe à quelques mètres au milieu de la pièce éclairée. Problème : le signal est noyé dans le bruit. On étudie donc le spectre du bruit pour trouver la zone adéquate de fréquence où se déplacer (par exemple $f_p = 75Hz$). On utilise ensuite un hacheur optique pour moduler la lumière émise par la lampe à la fréquence f_p souhaitée. Le photo-captur détecte donc le signal modulé et le bruit ambiant (visualisation du signal et du spectre : un pic correspondant au signal est apparu à $f_p + f_s \sim f_p$). On utilise alors le boîtier de détection synchrone commercial pour démoduler et surtout filtrer le signal reçu par le photo-captur. (Il y a besoin du boîtier commercial pour filtrer correctement et avoir un résultat concluant). Résultat assez fon, on récupère parfaitement bien le signal sinusoïdal de la lampe ! On mesure le rapport signal sur bruit à partir du spectre en comparant avec détection synchrone et sans (on a alors $RSB \approx 0$ puisqu'on ne parvient pas à détecter le signal parmi le bruit).

Notice rapide d'utilisation de la détection synchrone commerciale : cf figure 1. Attention on peut visualiser/sortir X : partie du signal en phase avec la porteuse et Y : partie du signal en quadrature. On peut aussi regarder $R = \sqrt{X^2 + Y^2}$ ou θ .

Globalement il faut tout brancher, et jouer sur les paramètres du filtre pour récupérer un bon signal. Commencer avec une lumière de forte intensité et une fois qu'on capte le signal diminuer pour ce cela soit plus marquant. Faire bien attention à ce qui est en sortie de la boîte pour bien savoir ce qu'on visualise.

Commentaires

Pas beaucoup de retours sur d'autres manips possibles, les correcteurs ont dit de plus développer le CAN double-rampe et de mettre en valeur le peu de sensibilité au bruit.

On avait aussi envisagé :

- La mesure du bruit thermique d'une résistance : y a un boîtier pour ça dans la collection (mesure de la constante de Boltzmann) mais pour s'affranchir des signaux à 50 Hz il faut utiliser des batteries et pas se brancher sur le secteur. Et les résultats étaient pas très concluant.
- Faire un CAN simple rampe puis comparer avec le double rampe pour illustrer les avantages : un peu long à faire en 4h le jour de l'oral.
- Problèmes introduits par l'acquisition et la TF informatique : pas sur que ce soit dans le sujet.
- Détection synchrone avec un diapason et du bruit autour.



FIGURE 1 – Façade du boîtier de détection synchrone commerciale.