

## MP24 - Signal et bruit

Charlie LEPRINCE

*Montage un peu compliqué, notamment parce qu'on ne dispose pas d'une gamme de matériel très propice à l'étude du bruit (pas d'analyseur de spectre disponible) et qu'il y a très peu de biblio à ce sujet. Difficile de raconter une histoire convaincante. Le compte-rendu de Cyril de l'an dernier est très bien fait, notamment pour détailler le bruit thermique dans la résistance. Je vais dans un premier temps détailler ce que j'ai fait pour le montage puis résumer sa correction.*

### Introduction

*Lorsqu'on fait la mesure d'un signal physique, le résultat de la mesure s'accompagne toujours de bruit, qu'il soit dû à l'environnement ou aux conditions d'acquisition. L'idée de mon exposé est d'essayer de caractériser différents types de bruit puis de trouver un moyen de s'en affranchir.*

### I. Bruit de quantification d'un signal numérique

*Biblio* : poly de JBD de début d'année.

**Idée** : Il existe un bruit de quantification en tension lors de la numérisation d'un signal électrique, due à la profondeur mémoire limitée des appareils de mesure. On va chercher à caractériser ce bruit. (Note : on s'affranchit de la quantification temporelle grâce à l'échantillonnage redoutablement efficace des oscillos.)

**Manip** : On génère un signal sinusoïdal de quelques volts (amplitude fixe) de fréquence 1 kHz, qu'on envoie sur les deux voies de l'oscilloscope. On fait une acquisition sous Igor d'un des deux signaux en utilisant toute la dynamique, puis en augmentant la plage d'acquisition en tension (en augmentant donc le pas de quantification). La voie inchangée permet de ne pas modifier le trigger de l'oscilloscope.

On réalise un signal de référence en faisant un ajustement du signal (on peut le faire à la main une fois pour toutes ou alors faire un fit sur Igor mais pour cela il ne faut pas utiliser 2 millions de points lors de l'acquisition sinon il ne trouve pas). Puis on regarde le signal de bruit (signal mesuré moins signal de référence) en fonction du pas de quantification.

La relation entre valeur efficace du bruit de quantification et pas de quantification n'est pas linéaire, mais suit la tendance intuitive (le bruit augmente quand le pas de quantification augmente). On peut tracer l'allure du bruit de quantification en fonction du temps et raisonner sur le schéma donné après ce compte-rendu. Attention l'interprétation est un peu difficile (pour quelques mesures prises à peu près en même temps le signal acquis est distribué sur les différents paliers de quantification en tension).

Pour essayer de déterminer l'influence du bruit sur le signal on peut déterminer le rapport signal sur bruit pour différents pas de quantification. De façon générale pour s'affranchir du bruit de quantification on utilise toute la dynamique.

### II. Bruit thermique d'une résistance

*Biblio* : poly de JBD de L3 Phymem.

**Idée** : Il y a des variations de tension délivrée par une résistance du fait du mouvement erratique des charges à température non nulle. Le bruit suit la loi de Johnson :  $DSP(R) = 4k_BTR$ , loi qu'on va essayer de retrouver.

**Manip** : On utilise le boîtier ENSC 636 avec plusieurs résistances à l'intérieur. Comme tout est déjà monté à l'intérieur il faut impérativement bien justifier, notamment par des raisonnements d'ordre de grandeur, chacun des étages et leur intérêt (voir le rapport de Cyril de l'an dernier). Consulter la notice. Il faut amplifier énormément le signal reçu par la résistance pour percevoir la densité spectrale de puissance, donc utiliser un passe-bande (puisque'on est limité en produit gain-bande). On cherche alors la densité spectrale de puissance maximale pour les différentes valeurs de résistance :  $DSP(R) = \frac{DSP_{max}(R)}{G_0^2(R)} - \frac{DSP_{max}(R=0)}{G_0^2(R=0)}$  (on retranche le terme pour  $R = 0$  qui est le bruit supplémentaire dû à l'amplification).

Attention le gain de la chaîne d'amplification varie légèrement avec la résistance (la résistance "ressent" les capacités de la chaîne d'amplification et modifie légèrement la bande passante du filtre ce qui peut modifier le gain). Il faut donc mesurer ce gain très précisément puisque c'est lui qui sera principalement responsable des incertitudes. Pour cela on peut le mesurer  $n$  fois pour chaque valeur de  $R$  (via un diagramme de Bode Igor avec peu de points pour bien identifier un maximum) puis faire une moyenne statistique afin de déterminer  $G_0(R)$  précisément. C'est assez long à faire mais c'est difficile d'avoir des bons points à la fin donc ça peut valoir le

coup. Attention le gain mesuré n'est pas que le gain de la chaîne d'amplification il y a aussi un gain associé à un atténuateur de tension en amont de la résistance (pour ne pas saturer lors de l'amplification, c'est un simple diviseur de tension mais il faut penser aux incertitudes sur ce gain-ci également : mesurer les résistances à l'ohmmètre). *Paramètres d'acquisition pour le gain* :  $A=0.03\text{ V}$ ,  $T_p=0.16\text{ }\mu\text{s}$ ,  $T=10\text{ }\mu\text{s}$ ,  $T_d=10\text{ }\mu\text{s}$ . Moyenner 200 fois.

On demande à Igor de tracer la DSP : attention il faut faire attention à bien savoir comment fait la macro Igor pour calculer la DSP (transformée de Fourier de l'amplitude au carré). On peut superposer les DSP sur le même graphe puis tracer la courbe de la DSP en fonction de  $R$ . On retrouve une relation linéaire (normalement). Pas nécessairement la peine de faire un ajustement pour retrouver  $T$  (on ne cherche pas à faire un thermomètre), mais on peut tracer la courbe théorique attendue par la loi de Johnson. *Paramètres d'acquisition pour la DSP* :  $A=0.03\text{ V}$ ,  $T_p=1\text{ ms}$ ,  $T=50\text{ ms}$ ,  $T_d=50\text{ ms}$ . *DSPliss* : 20000. Attention pas de fenêtrage de Hanning pour mesurer la DSP, rester en fenêtre rectangulaire.

### III. Caractérisation d'un signal noyé dans le bruit - détection synchrone

*Biblio* : Duffait, *Électronique*.

**Idee** : On génère un signal sinusoïdal noyé dans le bruit, et on essaie de retrouver ses caractéristiques : fréquence et amplitude.

**Manip** : On génère un signal sinusoïdal d'amplitude 100 mV efficace et de fréquence 1 kHz, et un signal de bruit (gaussien) d'amplitude 2 V efficace. On somme les deux (plaquette "sommateur"), et on observe  $s = s_{\text{bruit}} + s_{\text{sinus}}$  à l'oscilloscope. On lisse le signal en mode High Resolution (et non pas en moyennant car la dérive du signal sinusoïdal non triggé va tendre vers une moyenne nulle tandis que le lissage restera sinusoïdal). On détermine la fréquence en traçant le spectre FFT.

Une fois la fréquence connue on utilise le principe de détection synchrone : on multiplie le signal  $s$  par un signal  $s'$  de même fréquence que celle déterminée précédemment. Il est fondamental de synchroniser les deux générateurs sinusoïdaux. Le signal obtenu est ensuite filtré pour ne garder que la composante basse fréquence (qui est en fait une composante continue puisque les signaux ont la même fréquence). On peut alors ajuster la phase de  $s'$  pour avoir un maximum de signal et déterminer l'amplitude du signal sinusoïdal initial. Si on n'a pas synchronisé les générateurs on se retrouve avec un terme de phase supplémentaire en facteur qui fausse la mesure. On peut montrer que lorsqu'on change légèrement la fréquence de  $s'$  on observe une pulsation à très basse fréquence. Calcul du rapport signal sur bruit.

*Remarque* : Cette manip est un peu artificielle puisqu'on sait déjà le signal qu'on envoie. Néanmoins il existe des cas d'application où on connaît la fréquence du signal et on cherche à connaître son amplitude, d'où l'intérêt de la détection synchrone.

#### Correction

Peut-être faire une intro en définissant vraiment ce qu'est le bruit : de l'aléatoire gênant, à distinguer de l'aléatoire intéressant (un signal) et du déterministe gênant (parasite). Deux types de bruits : bruit physique (bruit de photons, bruit thermique), et bruit technologique.

Deux outils pour étudier le bruit, deux visions différentes : la distribution de probabilité (la vision du physicien avec des distributions de Poisson (photons, grenaille), de Gauss, uniforme, exponentielle (le speckle)) que l'on peut visualiser via un histogramme, et la densité spectrale de puissance (en  $\text{V}^2/\text{Hz}$  ou  $\text{mV}/\sqrt{\text{Hz}}$  : la vision de l'ingénieur permettant de définir les différentes couleurs du bruit en fonction de sa corrélation). Deux bruits peuvent avoir la même distribution de probabilité mais une couleur différente, ie une corrélation différentes.

Histoire à raconter : 1/ Comment mesurer le bruit, 2/ Comment s'en affranchir (filtrage, lissage détection synchrone).

*Autres manips possibles* :

- laser + dépoli donne du speckle (à analyser?).
- Utiliser un analyseur de spectre électrique, le vrai outil pour caractériser du bruit.
- Bruit de photons : photomultiplicateur.
- Bruit dans une photodiode : bruit thermique, bruit de photons, bruit alim + ampli : quantifier les bruits les uns par rapport aux autres.
- JBD propose aussi d'utiliser la détection synchrone pour mesurer le signal aux bornes d'une thermistance dans un pont de Wheatstone mais la manip est à monter.

# Introduction

deux de signaux physiques  
 ⇒ BRUIT → environnement  
 ⇒ acquisition signal

OBJECTIF : Caractériser différents bruits et leur impact sur un signal

Rapels :  $v_{eff}^2 \hat{=} \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} v^2(t) dt$

$v_{eff}^2 \hat{=} \int_0^{+\infty} DSP(f) df$

## I Bruit de quantification d'un signal numérique

\* Acquisition numérique  
 → Stockage : mémoire limitée (8 bits)

\* On trace  $v_{bruit}(t) = v_{eff}(t) - s(t)$

↑ bruit de quantification

↓ bruit de référence (numérique) Signal oscillo

## MP 24 - Signal et bruit

→ On trace bruit pour ≠ pas de quantification

\* Rapport signal sur bruit  
 $S/B = 20 \log \left( \frac{V_{eff} \text{ signal}}{V_{eff} \text{ bruit}} \right)$

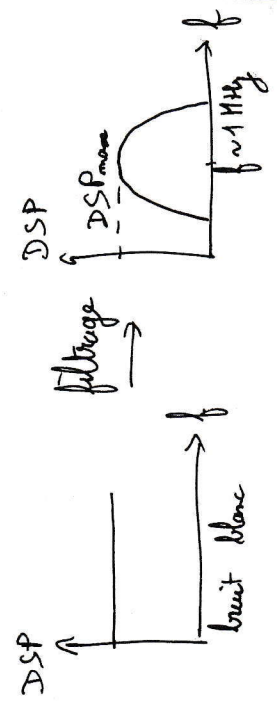
pas (v)	$\frac{dB}{S/B}$

## II Bruit thermique d'une résistance

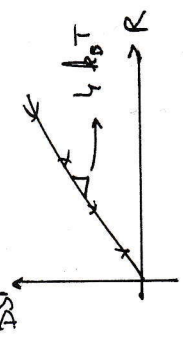
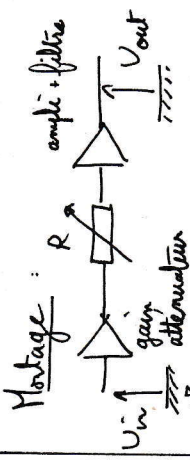
fluctuations erratiques de charges  
 → variations tension

⇒ Loi de Johnson  $DSP(R) = 4k_B T R$  (bruit blanc)

⇒ Amplification → passe bande



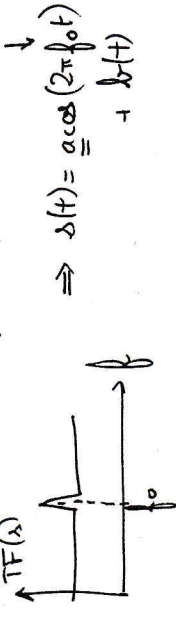
$DSP(R) = \frac{DSP_{max}(R)}{G_o^2(R)} - \frac{DSP_{max}(R=0)}{G_o^2(R=0)}$



Rq : incertitudes sur  $G_o$  prépondérantes  
 → moyenne statistique

## III Caractérisation d'un signal moyé dans le bruit

### ① Caractérisation spectrale



### ② Détection synchrone

On multiplie le signal par un signal de fréquence  $f_0$  :  $u(t) = A \cos(2\pi f_0 t + \varphi)$

