

MP 24: Signal et bruit

Géraud Dupuy, Thomas Wojtokwski



Introduction

Pour ce montage, j'ai essayé de faire un plan qui raconte une histoire du type : Le physicien veut souvent faire une mesure en acquérant un signal. Seulement ce signal peut être perturbé par du bruit, donc on va essayer de voir comment quantifier ce bruit, sur un exemple de bruit apporté par le processus de mesure numérique, à savoir le bruit de quantification, puis sur un exemple de bruit créé par un processus physique, à savoir le bruit thermique d'une résistance. Enfin, on verra comment extraire un signal du bruit, sur une mesure pratique de masse par jauge de contrainte.

1 Bruit dû à l'acquisition du signal : Bruit de quantification

Ici on a juste besoin d'un GBF et d'un oscilloscope (si possible DSO 5012 A). Sur l'oscilloscope, on remarque d'abord sur combien de bits on code l'information. Pour cela, on se place sur le calibre le plus grand (5 ou 10V), on stoppe l'image, et on dilate l'image avec un calibre plus petit. Sur l'oscilloscope DSO 5012 A, on peut aller dans display et décocher vector pour que les points ne soient plus reliés, on peut donc voir et mesurer le pas de quantification en tension entre deux valeurs numérisées différentes sur le calibre maximum. On a alors :

$$Nb\ de\ carreau * calibre = pas\ de\ quantification * 2^{Nb\ de\ bits} \quad (1)$$

En connaissant sur combien de carreau (généralement 8) on affiche, on peut obtenir le nombre de bits sur lequel la tension est codée (généralement 8). Et donc par la suite, pour chaque calibre, on peut calculer le pas de quantification.

Sur le GBF, on envoie un signal triangulaire, de fréquence de 1 kHz, et d'amplitude 38 mV pic-pic. On envoie ce signal en voie 1 et 2 de l'oscilloscope. On représente aussi sur l'oscilloscope en mode maths la différence des voies 1 et 2. Sur la voie 1, on choisit le calibre de 5 mV pour représenter au mieux le signal, on supposera donc qu'il s'agit du signal analogique sans bruit de quantification. On mesure la valeur efficace de la différence pour différents calibre sur la voie 2 allant de 5 mV au calibre maximum de 5V ou 10V.

On trace sur igor la valeur efficace du bruit de quantification en fonction du pas de quantification. On précise qu'il n'y a absolument pas de raison que cela soit linéaire. On peut également tracer le rapport signal à bruit en fonction du pas de quantification et essayer de se donner un critère (comme rapport signal à bruit supérieur à 1, ou à 10) à partir duquel le signal est mal représenté et sous quel pas de quantification il faut se trouver.

2 Bruit physique : Bruit thermique d'une résistance

Dans une résistance, on sait qu'il y a un bruit thermique dont la densité spectrale de fréquence vérifie :

$$DSP = 4 k_B T R \quad (2)$$

Malheureusement, on a une DSP non mesurable. Il faut donc utiliser un amplificateur de bruit. Pour différentes valeurs de résistance, on acquiert le diagramme de bode de l'amplificateur, on remarque en effet que son effet est modélisable par un passe bande d'ordre 2. On prends une fréquence d'échantillonnage de l'ordre de 10 MHz, on acquiert à l'oscilloscope et on fait la FFT avec igor. On optient donc la DSP_{max} et on note la fréquence pour laquelle on a le maximum. Ensuite, avec un oscilloscope, en mettant en entrée un signal sinusoïdal d'amplitude fixée à cette fréquence de résonance, et en mesurant l'amplitude du signal de sortie, on pourra déterminer par le rapport des deux amplitudes le gain G_o . On calcule alors pour chaque valeur

de résistance :

$$DSP(R) = \frac{DSP_{max}(R)}{G_o(R)^2} - \frac{DSP_{max}(0)}{G_o(0)^2} \quad (3)$$

On soustrait par le terme en 0 pour essayer de supprimer toutes les autres éventuelles sources de bruit. On peut sinon ajuster $DSP(R)$ par une fonction affine et ne s'intéresser qu'à la pente. Toujours est il qu'en ajustant cette courbe, la pente est censée nous donner $4 k_B T$. Dans la pratique, on a une mesure avec de grandes incertitudes, de l'ordre de la dizaine de kelvin, donc on en fera pas un thermomètre. De plus, on surestime souvent les températures, en arrivant à 40, 50 voire 60 °C, donc il y surement d'autres sources de bruits.

Il y a également possibilité de faire un histogramme des valeurs de bruit en le représentant bien à l'oscilloscope sur une bonne gamme et en prenant un pas d'histogramme d'environ 2 fois le pas de quantification. On obtiens une gaussienne caractéristique, qu'on peut ajuster, on peut même trouver la valeur efficace de tension avec la largeur de la gaussienne, même si ça n'a pas beaucoup d'intérêt.

3 Extraire un signal du bruit : la détection synchrone

Ici, on va utiliser une jauge de contrainte collée sur un morceau de réglet. Dans le régime dans lequel on l'utilise (c'est à dire éviter des masses de plus de 100g, ou en tout cas 200g, pour ne pas endommager la colle), on a une résistance de la jauge proportionnelle à la masse qu'on va accrocher au bout de ce réglet. Mais les variations de résistance n'étant pas mesurables directement car trop faibles, on va utiliser un pont de Wheatstone, qu'on prendra soin de bien équilibrer à chaque étape, notamment car en sortie du pont, on amplifie la tension et donc il faut éviter la saturation.

Le signal étant supposé assez bruité, plutôt que de polariser le pont en +15/-15 V continu, on essaye de le polariser en sinusoïdal à 1kHz, en sortie on a donc un signal d'amplitude proportionnelle à la masse mais beaucoup trop bruitée pour faire une mesure. On va donc effectuer un détexion synchrone avec un filtre passe bas à 1Hz pour obtenir un signal continu de valeur proportionnelle à la masse et très propre. On équilibre à chaque étape de branchement pour éviter la saturation, et on fixe la tension à 0 sans poids, comme si on fait une tare.

Ici on peut faire deux choses, faire une courbe d'étalonnage de la tension de sortie en fonction de la masse et essayer, avec et sans détection synchrone, et évaluer la sensibilité en masse, pour voir qu'on gagne beaucoup avec la détection synchrone. On peut plus simplement et rapidement si, on manque de temps, poser juste un objet d'environ 1g sur le réglet et on constate dans un cas que la modification est visible avec détection synchrone mais pas sans.

4 Conclusion

Dans la pratique, il n'y a pas le temps de faire les 3 manips complètement, et la troisième à deux problèmes car elle vient d'être remontée. La première c'est que quand on met et enlève

une masse, généralement le 0 en tension s'est légèrement déplacé, donc difficile de faire des mesures justes. Mais surtout, le signal obtenu en polarisant le pont de Wheatstone en continu n'est pas si bruyé. Donc on peut à la limite comparer en polarisation sinusoïdale avec ou sans détection synchrone, mais c'est un peu tricher car on a instauré le bruit en voulant le supprimer par ailleurs.

Bref, un plan plus réaliste serait de se limiter aux deux première manip en les détaillant bien ou alors la première et la troisième en détaillant bien. La première est vraiment incontournable car elle parle de numérique et le jury aime bien, et puis elle marche parfaitement, contrairement aux deux autres qui peuvent être un peu plus traître.

Questions des correcteurs

- Comment peut on être sûr que le bruit thermique est un bruit blanc ?
Il faudrait l'évaluer strictement sans amplificateur pour éviter l'impact du filtre qui de toutes les façons donnera une gaussienne en sortie
- Quelles autres sources de bruit pour la manip du bruit thermique ?
En fait on peut avoir des effets d'échauffement qui change la température, mais difficile à quantifier.
- Pourquoi l'unité W/Hz et plus pertinente pour $4 k_B T$ que ce qu'on trouve des fois en V^2/Hz ?
Il y a la résistance interne de l'oscilloscope qu'on doit prendre en compte si on utilise la valeur en V^2/Hz
- Est-ce qu'il y a des bruits physiques non gaussiens ? Le bruit de photons (poissonien)

Remarques

- Bon discours, bon plan, à alléger d'une manip
- Ne pas mélanger notion de bruit blanc (qui caractérise la densité spectrale de puissance) et de bruit gaussien (qui caractérise la densité de probabilité en amplitude)
- Possibilité d'étudier d'autres bruits : Bruit de photon (Blanc, Poisson), Speckle (Blanc, exponentiel)
- Clarifier le discours pour gagner du temps.

Tableau

