

Signal et bruit

Notes pour un montage d'agrégation

31 mars 2021

Problématiques et introduction.

On appelle *signal physique* l'évolution d'une grandeur physique au cours du temps. Un signal physique peut être transporté par une onde, par exemple une onde électromagnétique se propageant dans un conducteur, une onde sonore dans un milieu matériel, etc. Le signal physique peut être produit artificiellement, à des fins de transmission d'information par exemple, auquel cas il peut coder une information, un message. On peut aussi chercher à capter des signaux naturels afin d'étudier certains phénomènes physiques. Le *bruit* est une perturbation indésirable de ce signal. Le bruit peut compliquer la transmission, le traitement, l'interprétation du signal physique. Il peut avoir des origines diverses (interférences électromagnétiques, défaut de conception d'un instrument de mesure, et autres). L'objectif de ce montage sera de montrer des moyens de caractériser ce bruit et de l'éliminer.

Mesure d'un rapport signal-bruit

Les lumières à tube fluorescent, alimentées par courant sinusoïdal, produisent de la lumière par intermittence. Une mesure dans le temps de l'éclairement montre un plateau constant + un signal de fréquence 100Hz (dû à la fréquence 50Hz du courant l'alimentant); si on cherche à mesurer l'éclairement moyen du tube, ce signal de 100Hz peut être considéré comme un bruit.

On utilise une photodiode avec un amplificateur opérationnel monté comme convertisseur courant-tension, pointant vers un néon au plafond de la

salle. La sortie de l'amplificateur est visualisée à l'oscilloscope. On constate la présence du plateau (éclairage moyen) et du bruit. Au moyen d'un filtre RC (passe-bas), on coupe la fréquence indésirable et on peut mesurer l'éclairage. Comparer avec une valeur de référence si possible (lux-mètre à portée de main)

Le rapport signal-bruit est donné par la relation $\frac{\text{Puissance moyenne du signal}}{\text{Puissance moyenne du bruit}}$; on connaît l'allure théorique du bruit (sinus au carré ou valeur absolue d'un sinus...) On peut calculer ainsi sa valeur moyenne en mesurant l'amplitude et la période. Idem pour le palier constant.

Nettoyer un signal au moyen d'un filtre

Si le rapport signal-bruit est assez bas sans être non plus catastrophique (le signal peut encore être distingué même si le niveau de bruit est important), on peut envisager de le nettoyer au moyen de filtre, par exemple un passe-bande pour un signal sinusoïdal noyé dans un bruit blanc.

On emploiera deux GBF : l'un produit du bruit, l'autre un signal sinusoïdal de fréquence connue. Les deux signaux en sortie des GBF sont combinés au moyen d'un amplificateur opérationnel monté en additionneur. On peut montrer qu'au moyen d'un filtre passe-bande correctement réglé, on améliore la qualité du signal (moins de perturbation sur le sinus). Faire une mesure du rapport signal-bruit si possible (éteindre alternativement l'un et l'autre des deux GBF pour procéder).

Technique de la détection synchrone

Cette technique d'analyse spectrale est pertinente lorsque l'on a un signal utile complètement noyé dans un bruit blanc (rapport signal-bruit très mauvais, très inférieur à 1). Elle consiste à multiplier le signal bruité par une enveloppe sinusoïdale de très grande amplitude ; le signal modulé résultant passe par un filtre passe-bas très sélectif (ne laisse passer presque que les signaux continus) ; la sortie du filtre est visualisée à l'oscilloscope. On observe un palier. Si la fréquence de l'enveloppe coïncide avec la fréquence du signal utile noyé dans le bruit, on observera un décalage de ce palier.

Démonstration : Le signal bruité $s_b(t)$ peut être vu comme la somme d'un signal sinusoïdal $s_s(t) = a \cos(\omega t)$ auquel on ajoute un bruit $b(t)$; le bruit étant défini par le fait que $\forall t$ il prend une valeur aléatoire (bruit blanc). On multiplie par une enveloppe $A(t) = A \cos(\omega t)$; on obtient avant filtrage :

$$k \cdot A(t) \cdot s_b(t) = k (Aa \cos^2(\omega t) + A \cos(\omega t)b(t))$$

$$\Leftrightarrow k \frac{Aa}{2} + k \frac{Aa \cos(2\omega t)}{2} + kA \cos(\omega t)b(t)$$

Le filtre passe-bas éliminera tout à l'exception de la composante continue $k \frac{Aa}{2}$.

Pour réaliser cette détection synchrone, le montage présenté dans le Dufait « triche » en utilisant le même GBF pour générer le signal utile noyé dans le bruit et pour créer l'enveloppe de grande amplitude de même fréquence.

Le signal bruité est généré comme précédemment avec deux GBF et un additionneur, en utilisant un diviseur de tension pour ne prendre qu'une petite partie du signal sinusoïdal dans le signal bruité. On utilise un multiplieur pour multiplier ce signal bruité avec le GBF réglé en sinusoïdal (sans diviseur de tension, l'amplitude est donc plus grande). Le tout passe par un filtre RC passe-bas. La sortie est visualisée à l'oscilloscope. On peut montrer, en faisant varier la résistance dans le diviseur de tension, que le signal continu visualisé à l'oscilloscope est d'une valeur proportionnelle à l'amplitude du signal sinusoïdal contenu dans le signal bruité.

Cette technique est souvent réalisée au moyen d'appareils automatisés pour rechercher la bonne fréquence.

Bruit « numérique » : bruit de quantification

Cette partie aborde une problématique « moderne » liée aux technologies de l'information et du stockage des données... Lorsqu'un signal est numérisé, il se trouve converti en une série de mesures, lesquelles peuvent être stockées en mémoire sous forme binaire (une mesure étant représentée par un groupe de bits). La qualité d'un signal numérisé peut dépendre de plusieurs facteurs, parmi lesquels :

- Le taux d'échantillonnage : lors de la numérisation d'un signal, on prend une mesure de la tension d'entrée à intervalles réguliers (la *fréquence d'échantillonnage* donnant le nombre de mesures prises par seconde); toute variation ayant lieu entre deux mesures n'est donc pas

enregistrée. De l'information peut être perdue et d'autres artefacts peuvent se produire ;

- Le pas de quantification : le *convertisseur analogique-numérique* ne peut détecter des variations de tension qu'au-dessus d'un certain seuil, dépendant du nombre de bits sur lesquels est encodée une mesure (plus le nombre de bits est grand, plus il y a de combinaisons possibles pour la suite de bits et donc la précision est améliorée car il sera possible d'enregistrer plus de valeurs différentes de la tension d'entrée.

On pourra montrer expérimentalement le théorème de Shannon qui indique qu'une fréquence ne peut être échantillonnée que si la fréquence d'échantillonnage est au moins le double de la fréquence du signal à échantillonner. On montre ainsi que de l'information peut être perdue à l'échantillonnage.

On pourra montrer également que pour un signal échantillonné à une fréquence vérifiant le critère de Shannon, mais pourtant trop petite, on observe l'apparition d'harmoniques supplémentaires au signal (le *bruit de quantification*) ce qui après une transformée de Fourier en densité spectrale de puissance, permettra de mesurer un rapport signal-bruit.