

MP25 Mesure de fréquences temporelles

Elio Thellier & Dihya Sadi

Session 2021

Introduction

Mesurer une fréquence c'est toujours comparer à une horloge de référence, dont la fiabilité conditionne tout le reste des mesures.

- Chronomètre : oscillateur à quartz
- Oscillo et géné : horloge interne au quartz aussi mais meilleur

Faire des petites recherches sur le fonctionnement d'un oscillateur à quartz.

1 Dans le domaine temporel

Matériel

- Chronomètre
- Pendule simple, prendre un pendule long et lourd

Protocole

- On lâche le pendule avec un angle faible
- On mesure 10 périodes au chronomètre en déclenchant non pas au lâcher mais sur un repère, par exemple en zéro
- On effectue une série statistique pour les incertitudes, avec un coefficient de Student ?
- On compare à la valeur calculée à partir de la formule $T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ avec incertitude sur l et propagation.

2 Dans le domaine fréquentiel

2.1 Par FFT

Matériel

- Oscilloscope
- Diapason

Protocole

- Voir poly de JBD
- On fait simplement la FFT du signal pour remonter à la fréquence
- Choix des paramètres d'acquisition : $F_e > 2f_{max}$ donc on prends $F_e = 1kHz$, et $\frac{1}{T_0} \ll \frac{f_0}{Q}$ donc il nous faut 10^4 points au moins, ce qui est pas toujours réalisé. Donc pic en général mal résolu.
- On estime l'incertitude comme étant le pas en $\frac{1}{T_0}$.

$N = T_0 F_e$ où T_0 est le temps pendant lequel on fait l'acquisition, et F_e la fréquence d'échantillonnage du signal temporel. N est constant, fixé par l'oscilloscope. Ce serait bien de le déterminer.

Ensuite lorsqu'on fait le spectre, il est calculé par l'oscilloscope seulement entre 0 et $F_e/2$ avec un nombre de points N_{FFT} encore une fois fixe. Mais attention c'est le cas seulement si $F_e > 2F_{max}$ sinon les spectres qui se répètent tous les F_e se chevauchent. On parle de repliement de spectre.

Rq : certains signaux ont un spectre non borné (triangles, créneaux) donc il y aura toujours repliement mais essentiellement pour les harmoniques de rang élevé qui sont de toute manière noyées dans le bruit.

Le spectre FFT sur 1000 points est réalisé à partir de l'observation du signal temporel pendant T_0 , l'échantillonnage est donc réalisé à la fréquence F_{eFFT} telle que $N_{FFT} = T_0 F_{eFFT}$, donc déjà, F_{eFFT} n'est pas forcément égal à F_e si $N_{FFT} \neq N$, et ensuite on peut en déduire le pas de calcul en fréquence $\Delta F = \frac{1}{T_0}$, avec un nombre fixé de $N_{FFT}/2 + 1$ points sur une plage de fréquence de 0 à $F_e/2$

On voit bien ici que si on veut une bonne résolution en fréquence il faut que la plage soit petite ie F_e petit, puisque le nombre de points reste le même, donc acquérir sur un T_0 grand. Toutefois si T_0 est trop grand F_e diminue trop fortement et on ne respecte plus le critère de Shannon. Il faut donc trouver un compromis. Rq : ici c'est l'ensemble diapason + sa caisse que l'on caractérise

On voit ici la faiblesse de cette méthode car le pic est mal résolu : on ne peut avoir à la fois la fréquence et le facteur de qualité. Autre méthode :

2.2 Par translation de fréquence

Principe : on sait que plus la fréquence d'échantillonnage est basse, plus on aura une bonne résolution. L'idée c'est donc qu'on a envie de ramener le pic central du diapason à une basse fréquence. Pour cela 2 méthodes : repliement de spectre sur l'oscilloscope, mais pas possible car il a trop de

points, donc si on voulait replier le spectre il faudrait acquérir sur 5 minutes... Ou bien translation de fréquence !

Matériel

- 1 plaquette multiplieur (attention certaines font un offset donc prendre garde à fixer la masse)
- 1 plaquette décades résistances et capa
- Carte mère + Alim +15/-15
- 1 diapason
- 1 micro
- 1 GBF
- 1 oscillo

Protocole

- On branche le micro à la fois à l'oscillo (pour la masse) et à l'entrée d'un multiplieur. Autre entrée du multiplieur : GBF à 438 Hz.
- Puis filtre passe bas avec la fréquence de coupure la plus basse possible, et sortie sur l'oscillo. Bien adapter les paramètres pour voir un max de périodes. La fréquence du signal de sortie est très faible.
- Acquérir sur 20s au total, se mettre en mode single
- Spectre FFT du signal de sortie, l'ennui c'est qu'on a 3 pics au lieu de 1. Pourquoi ? Déjà on a $f_0 - f_e$ et $f_0 + f_e$ bon oki c'est juste qu'on coupe pas suffisamment bas, donc ajuster petit à petit la résistance variable jusqu'à ce qu'il soit suffisamment faible... Même si on le virera jamais complètement. Mais au milieu on a f , pourquoi ? c'est parce que le micro fait un offset donc en fait au moment de la multiplication on multiplie $(1+s)$ par le cosinus d'où la conservation de ce pic. Même principe que lorsqu'on fait une modulation à porteuse conservée.
- On ajuste les paramètres. L'incertitude sur la fréquence du pic est simplement le pas d'échantillonnage en fréquence soit $\Delta f = \frac{1}{T_0}$ avec T_0 qu'on a pris à 20s.

3 Mesure de la précision en fréquence d'un GBF par battements

Matériel

- 2 GBF du même type
- Plaquette de sommation

- Oscilloscope

Protocole

Sur une plaquette de sommation on somme les signaux délivrés par 2 GBF à la même amplitude et même fréquence, et on observe la superposition à l'oscilloscope. On observe des battements. On en déduit une mesure de Δf entre les deux GBF, qui vaut 2 fois la fréquence lente des battements. On trace $\Delta f = g(f_{demande})$, en faisant varier la fréquence des GBF entre 10 kHz et 200 kHz, ne pas descendre trop bas sinon ça prends trop de temps.

On en déduit la précision p du GBF donnée par :

$$\frac{\Delta f}{f_{demande}} = p$$

On obtient quelque chose de l'ordre de 10^{-6} . On compare à la valeur donnée par le constructeur : Précision du MHz veut dire qu'il peut délivrer une fréquence de 1 MHz à 1 Hz près !