

MP25 : Mesure de fréquences temporelles

Bibliographie :

☞ *Tout savoir sur le quartz*

[1]

Rapports de jury :

2017 : *Le principe de ce montage est de présenter les techniques de mesure de fréquences dans une large gamme. Il ne s'agit pas de réaliser différentes expériences faisant intervenir des phénomènes périodiques et de parvenir à une détermination de fréquence moins précise que celle obtenue avec le fréquencemètre présent sur la paillasse. Ainsi le jury souhaiterait que le stroboscopie ne soit plus utilisé comme fréquencemètre pour l'étude des résonances de la corde de Melde.*

Table des matières

1 Mesure temporelle (mesure de période)	2
1.1 Mesure au chronomètre	2
1.2 Mesure à l'oscilloscope	2
2 Mesure par battements	2
2.1 Battements entre deux GBF	3
2.2 Battements entre un GBF et un diapason	3
3 Mesure par FFT sur deux diapasons désaccordés	3
3.1 FFT sur Igor	3

Introduction

Une fréquence temporelle est définie pour un phénomène physique se répétant dans le temps, dit périodique avec une certaine période temporelle T . La fréquence caractérise le nombre de répétitions du phénomène par unité de temps : $f = 1/T$.

Il s'agit d'un montage de métrologie, il s'agit donc de faire des mesures de fréquences par rapport à une horloge de référence (celle de nos appareils en général).

On peut aussi mentionner le fait qu'aujourd'hui c'est une fréquence (celle d'une transition hyperfine du Césium) qui définit la seconde, et le mètre (c).

Transition : Un premier moyen simple pour mesurer une fréquence est de passer par la mesure d'une période.

Proposition de plan :

1 Mesure temporelle (mesure de période)

1.1 Mesure au chronomètre

✓ Manip : 004.1 : Mesure pendule au chronomètre

En préparation : Faire plusieurs mesures pour pouvoir faire une étude statistique

En direct : Faire une mesure en plus

Exploitation : Obtenir la période puis la fréquence

Transition :

1.2 Mesure à l'oscilloscope

✓ Manip : 004.2 : Mesure pendule à l'oscilloscope

En préparation : On équilibre le pendule (prendre un pendule avec un potentiomètre)

En direct : Faire une mesure

Exploitation : Obtenir la période puis la fréquence

Bien estimer l'incertitude, dire qu'elle est réduite avec un grand nombre de période.

Transition : Le problème ici est que cela ne fonctionne que pour certains signaux, mais pas pour des signaux avec plusieurs fronts montants (signaux cardiaques). Mais surtout, on vient de réussir la mesure parce qu'on a fait confiance à l'oscilloscope, pour qu'il affiche une bonne fréquence, on s'est servit d'une référence. A quel point peut-on faire confiance aux appareils électroniques utilisés ?

2 Mesure par battements

Il faut deux GBF de la même marque. Signal sinusoïdal, arrive dans un sommateur on observe le signal de sortie : Il y a des battements. La fréquence de l'enveloppe donne l'écart en fréquence.

2.1 Battements entre deux GBF

✓ **Manip : On trace l'écart en fréquence en fonction de la fréquence**

En préparation : On trace l'écart en fréquence en fonction de la fréquence et on fait les branchements.

En direct : On prend un point au milieu de la courbe. On peut expliquer comment on ferraient pour les incertitudes, mais on ne le fait pas ici car on veut remonter à une tendance, un ordre de grandeur.

Exploitation : La courbe correspond à l'écart à la consigne moyen, donc si on se place à une fréquence f , on peut se dire que le GBF nous donne $f \pm \frac{\Delta f}{2}$

En fait il faudrait le faire avec un GBF très précis/juste, et un moins précis/juste pour que ça ait un sens... En effet, on peut montrer que les GBF sont précis, mais pas qu'ils sont justes...

Transition : On repère l'écart en fréquence pour une fréquence de 440 Hz, whaou elle est très faible, on peut donc se dire que le GBF est juste à cette fréquence, on dit que la fréquence qu'il affiche est la bonne.

2.2 Battements entre un GBF et un diapason

✓ **Manip : Détection synchrone pour remonter à l'écart en fréquence**

En préparation : Installation du multiplicateur et passe bas (20Hz, C=4.7uF R= 1,7kO)

En direct : On mesure l'écart en fréquence en expliquant bien l'intérêt de la translation en fréquence (multiplication) et de la détection synchrone.

Exploitation : On mesure la fréquence du diapason. Incertitude provient de la largeur du pic sur la FFT.

Transition : Maintenant nous pouvons considérer que notre diapason est accordé, nous pouvons nous en servir pour accorder des instruments ou bien pour étalonner un autre diapason.

3 Mesure par FFT sur deux diapasons désaccordés

Probablement plus le temps.

3.1 FFT sur Igor

✓ **Manip : Deux diapasons dont un avec une masselotte.**

En préparation : Même montage qu'avant

En direct :

Exploitation : On mesure de nouveau l'écart en fréquence mais en utilisant Igor qui prend plus de points

Conclusion :

Au final on est toujours limité par la précision de la référence que nous utilisons. Le quartz est un très bon oscillateur, présent dans les chrono, mais aussi dans une horloge atomique. Ce qui fait la différence c'est la technique de fabrication (pas la même si le quartz doit fonctionner

24h/24 ou 10 min par jour) et les différents traitements (boucle de rétroaction) pour augmenter la stabilité (température, dérive)...

Questions :

Questions

(Les réponses indiquées sont celles que j'ai données et/ou viennent de moi après coup, donc à vérifier pour certaines choses si jamais.)

- Pourquoi lors de votre première mesure vous ne retombez pas sur vos pattes (oui j'avais un petit écart avec le 10 kHz annoncé, qui vient sans doute une erreur de manip de ma part due au stress, une mauvaise gestion des curseurs).
- À quoi est due la largeur d'un pic dans une FFT ? Avec la technique du sous échantillonnage, peut on améliorer cette précision ? (Rep : Non, car la largeur du pic est due à la convolution de la TF du signal et de la TF de la fenêtre, qui elle est fixée)
- Comment fonctionne un multiplicateur ? (Rep : ...)
- C'est quoi une harmonique ? (Rep : une composante fréquentiel d'un signal périodique)
- Vous avez parlé de la fenêtre de troncation : pouvez vous développer ? Peut on la choisir ? Est ce toujours rectangulaire ? Comment les choisir ? (Rep : cf poly JBD)
- Dans les oscillo, c'est des quartz ? (Rep : oui...?)
- Critère de BARKHAUSEN ? Est ce toujours, dans un système bouclé, que le gain soit supérieur à 3 ? Ou est-ce propre à l'oscillateur à pont de WIEN ? Pour que ça marche (ie : démarrer les oscillations sur du bruit), y a-t-il un contrainte en plus sur la phase ? Ou juste sur le gain ? (pour essayé de répondre j'ai dessiné le schéma bloc avec une chaîne directe avec un gain, le retour avec la fonction de transfert du pont, et comme il n'y a pas de d'entrée, je n'ai pas mis le comparateur. Du coup, j'ai eu le droit à...)
- Qu'est ce qui joue le rôle de comparateur ? Y en a t il ici ? Si oui, où ? Sinon pourquoi ?
- Pourquoi le quartz est plus stable que le WIEN ? (Rep : facteur de qualité)
- Pouvez vous donner un critère pour quantifier la stabilité en fréquence ? (Rep : passer en TF, acquérir pendant un temps long (contrôlé) mesurer la déviation et estimer l'instabilité en

Questions posées

Les questions ont porté sur les manips que j'ai présentées (rien sur le III...) N'est-ce pas un problème d'avoir pris un nombre impair de demi-périodes dans le comptage des pics du pendule ? (Rep : si les 2 pics d'une période ne sont pas équidistants, c'est un problème, mais normalement ce n'est pas le cas puisque je me suis arrangé pour que le

système soit symétrique et que le faisceau soit coupé lorsque le pendule est au repos. Après, selon une jurée, c'était le cas.) Comment obtenez-vous l'incertitude sur la mesure de la longueur du pendule ? (Rep : j'ai répété que pour mesurer une fois la longueur du pendule au réglent j'ai dû faire 3 mesures donc 6 lectures de graduations, donc en se plaçant dans le cas défavorable ça donne $\sigma = 6\sigma_{\text{lecture}}$) On a l'impression qu'en mesurant plein de fois la fréquence au fréquencemètre, on peut atteindre la précision qu'on veut ? (Rep : il y a deux réponses à mon avis. La première, que j'ai donnée, c'est de dire que multiplier les mesures permet de diminuer l'incertitude statistique, donc liée à la non-répétabilité de la mesure, mais qu'il faut prendre en compte de toute façon l'imprécision liée à l'appareil de mesure et sommer les variances, l'appareil imposant donc une limite basse de précision. On m'a demander d'évaluer la précision du fréquencemètre, j'ai vérifié qu'elle était bien négligeable devant l'écart type trouvé statistiquement. La deuxième réponse est plus subtile et je ne l'ai pas donnée parce qu'elle risquait de brouiller nos relations. En réalité, si on cherche à mesurer une valeur mais que ce qu'on mesure c'est cette valeur plus du bruit (typiquement ici, la puissance transmise par la cavité aux harmoniques) à une précision donnée, eh bien ce bruit va faire passer tantôt au-dessus de la valeur, tantôt au-dessous de la valeur et, connaissant la statistique liée au bruit, on doit pouvoir remonter à la valeur cherchée avec une meilleure précision que celle de l'appareil. À approfondir.) La fréquence qui est mesurée lorsque vous tapez le diapason, c'est la fréquence propre ? (Rep : la fréquence du pseudo-périodique est légèrement différente de la fréquence propre. Je leur ai dit que je ne me souvenais plus de la formule mais ils m'ont répondu qu'ils n'étaient pas là pour faire de la théorie, de toute façon) Le signal délivré par le micro (de Cachan) est asymétrique, en zoomant on voit que ça sature d'un côté, n'est-ce pas problématique de montrer ça à des élèves ? (Rep : C'est moche, mais ça ne va que rajouter des harmoniques dans le spectre de FFT, sans changer la fréquence du fondamentale) Comment fonctionne le micro, qu'est-ce qui réalise la transductance ? (Rep : je ne savais plus, j'ai dit qu'on pouvait peut-être mettre un piézo qui serait déformé par la pression acoustique.)

Tableau de l'année

