

MP 25 – MESURE DE FRÉQUENCES TEMPORELLES (DOMAINE DE L’OPTIQUE EXCLU)

22 janvier 2015

"La compassion n'engage à rien, d'où sa fréquence."
EMIL CIORAN

Jason Reneuve & Grimaud Pillet

Commentaires du jury

2014 : Ce montage ne consiste pas en l'étude d'une succession de phénomènes périodiques à l'aide d'un fréquencemètre commercial, ce qui serait beaucoup trop élémentaire et redondant, mais bien aux techniques de mesure de fréquences.

2013 : La résolution spectrale lors d'une transformée de Fourier discrète n'est pas toujours connue. Les candidats gagneraient à connaître les méthodes de détermination de fréquence par multiplication (translation) ou hétérodynage.

2012, 2011 : Même si un stroboscope présente un intérêt pédagogique, il ne saurait être préféré à un fréquencemètre. Lorsqu'on dispose d'une méthode plus précise, l'utilisation du chronomètre n'est pas recommandée.

2007 : Le candidat doit avoir un minimum de connaissances sur la fonction FFT des logiciels spécialisés ou des oscilloscopes.

Bibliographie

⚡ *Expériences d'électronique*, **Duffait**

⚡ *BUP N 759(1)*

⚡ (*BUP N 754*)

→ Très utile pour le fréquencemètre et l'analyse de Fourier.

→ Pour le calcul des fréquences propres des oscillateurs couplés.

→ Éventuellement pour compléter le Duffait sur l'analyse de Fourier.

Expériences

👤 Stroboscopie d'un moteur

👤 Principe du fréquencemètre

👤 Mesure d'une fréquence de diapason avec le fréquencemètre

👤 Détection hétérodyne

👤 Mesure de fréquences propres d'un système de masses couplés

Table des matières

1	Mesure avec un stroboscope	2
2	Mesure par comptage : Le fréquencemètre	2
3	Transformée de Fourier	3
3.1	Mesure par détection hétérodyne	3
3.2	Mesure de fréquences de modes propres	4

Introduction

La fréquence est le nombre de fois qu'un phénomène périodique se reproduit par unité de temps. Mesurer une fréquence c'est donc compter le nombre d'événements qui ont lieu pendant une durée. Il faut alors définir une référence de temps. La seconde est définie à partir d'une transition hyperfine de l'atome de césium 133. Cette référence n'est pas très pratique! On va utiliser dans ce montage une autre référence : le GBF agile. On va voir plusieurs méthodes de mesure de fréquence et les problèmes associés à ces méthodes.

1 Mesure avec un stroboscope

Expliquer rapidement l'utilisation d'un stroboscope. Ici on suppose la fréquence des flash lumineux parfaitement connue grâce à notre référence.

Mesure de la vitesse d'un moteur au stroboscope

⚡ Pas de ref

⊖ 5 minutes / ~ 20 minutes en préparation

Matériel :

- Un stroboscope commandable par un signal TTL pour avoir une valeur précise de la fréquence.
- Petit moteur avec bande réfléchissante (même placard que strobo).

Tracé de la droite $f_{rotation} = \alpha U$. Mesurer la tension d'alimentation du moteur au voltmètre, c'est l'incertitude majoritaire du problème. Attention quand on mesure la fréquence de rotation, il faut partir d'une fréquence trop grande et diminuer jusqu'à avoir l'objet statique. Ainsi on évite les problèmes de fréquences deux fois trop petite.

Prendre un ou deux points et discuter la régression : Droite affine car on a un couple résistif du aux frottements.

Montrer le problème qu'on peut avoir si on ne fait pas attention : la roue semble fixe mais elle fait deux tours au lieu d'un seul. Faire le lien avec le critère de Shannon qu'on montrera plus tard.

↓ *On a mesuré une fréquence de rotation. Mais ce procédé n'est pas général car il faut avoir quelque chose que l'on peut voir et le "ralentir" avec le strobo. De plus, l'incertitude dépend de l'expérimentateur. On va alors avoir recours à une méthode qui est plus générale et qui "retire l'expérimentateur du procédé de mesure".*

2 Mesure par comptage : Le fréquencemètre

⚡ Duffait chapitre X pour les portes logiques

On va utiliser un nouvel outil de mesure de fréquence : le fréquencemètre. Le fréquencemètre permet de compter le nombre "d'événement" pendant un certain temps (donnée par le agile ref). Pour cela on doit utiliser des signaux TTL 0-5V.

La logique consiste juste à réaliser un "ET" avec des portes NAND puis à envoyer ce signal dans un compteur. On a alors le nombre de périodes du signal inconnu pendant un temps connu.

Principe du fréquencemètre

⚡ Duffait p 274

⊖ 5 min

Matériel

- Le boîtier "principe du fréquencemètre" P49
- Des compteurs
- 2 GBF + alim continue

On règle un BGF à 0.5 Hz (TBF de référence) et on envoie une autre fréquence "inconnue" avec l'autre. On relie la sortie à un compteur. La fréquence du TBF est choisie de façon à ce que le nombre affiché corresponde à la fréquence que l'on mesure.

Attention : La difficulté réside dans l'alimentation des compteurs et du boîtier. Prendre une alim variable et changer le courant *jusqu'à ce que ça marche*.

On a ici $N T_e = T_{ref}/2$ d'où $f_e = N$. L'incertitude sur f_e est donc de 1Hz. On peut également utiliser ce fréquencemètre pour mesurer des fréquences plus basses que la ref, la référence et le signal inconnu sont alors inversés.

↓ *Maintenant qu'on a pu caractériser notre nouvel appareil de mesure et vérifier qu'il ne dit pas n'importe quoi, on peut l'appliquer à la détection d'un vrai signal de fréquence inconnue.*

Le seul soucis est qu'il faut convertir le signal physique en signal TTL.

Mesure d'une fréquence d'un diapason

↗ Toujours pas de ref

⊖ 5 min

Matériel

- Diapason + Micro (attention au On/Off les piles s'usent vite)
- 2 AO + diode + résistances
- Adaptateur Jack-Coax.

→ Faire un ampli x10 avec un AO pour le micro

→ On l'envoi dans un comparateur à zéro ^a.

→ Redresseur simple avec une diode pour avoir des créneaux 0-15V.

→ Pont diviseur pour avoir des créneaux TTL 0-5V.

On envoie ensuite le signal à l'entrée du fréquencemètre et on mesure la fréquence du diapason.

a. On peut faire un comparateur à hystérésis pour diminuer l'erreur du au bruit et à la commutation intempestive, mais a priori ce n'est pas nécessaire.

Expliquer rapidement la transformation en créneaux. Mesurer la fréquence diapason à 1 Hz près.

↓ *Cette méthode est précise, d'autant plus que la fréquence TBF est basse et que la fréquence à mesurer est élevée. Mais ça ne fonctionne que si on a qu'une seule fréquence dans le signal que l'on envoi. Pour mesurer plusieurs fréquence, on peut filtrer passe bande et traiter séparément chaque signal (analyseur de spectre) ou bien faire de la transformée de Fourier.*

3 Transformée de Fourier

Pou faire de la transformée de Fourier, il faut traiter le signal physique avec un logiciel. On a alors tous les problèmes liés à l'acquisition des signaux.

Montrer le problème d'une fréquence d'échantillonnage trop basse → Critère de Shannon : $F_{ech} > 2F_{max\text{dusignal}}$. Lien avec le stroboscope.

Problème de sélection de la période dans LatisPro : Il faut prendre un nombre de périodes entier sinon élargissement du spectre.x

Temps d'acquisition : $\Delta f = \frac{1}{N T_{ech}}$ Montrer rapidement la dépendance en N et T_e .

↓ *Maintenant qu'on a pu caractériser notre nouvel appareil de mesure et vérifier qu'il ne dit pas n'importe quoi, on peut l'appliquer à la détection d'un vrai signal de fréquence inconnue. (Comment ça "copier/coller" ?).*

3.1 Mesure par détection hétérodyne

On va mesurer tout d'abord une fréquence unique. Cependant la carte d'acquisition utilisée ne peut pas acquérir tous les signaux : $T_{ech\ max} = 100 \cdot 10^{-9}$ s donc $F_{ech\ max} = 10 \cdot 10^6$ Hz.

Pour remédier à ce problème, on va utiliser la méthode dite de détection hétérodyne. On multiplie le signal de haute fréquence par un signal de référence de fréquence proche puis on fait le produit des deux signaux.

Mesure d'une fréquence radio

⚡ pas de ref?

⌚ 5 min

Matériel

- 2 Talkie-Walkie
- 2 Cornets et 2 antennes de réception des bancs hyperfréquences.
- 2 AO et un multiplieur

Réaliser deux amplis x10 pour le signal de sortie des antennes, choisir deux canaux différents pour les Talkie et multiplier le tout. Les deux fréquences sont aux alentours de 50010^6 Hz, la fréquence différence obtenue est de l'ordre de 1010^3 Hz.

Montrer si on a le temps qu'un signal seul même amplifié ne donne rien sur la carte d'acquisition. Réaliser la multiplication et déduire la fréquence du deuxième canal connaissant la première. Comparer à la notice.

↓ On va maintenant utiliser la transformée de Fourier pour mesurer plusieurs fréquences. Pour cela on utilise un système de masses couplées.

3.2 Mesure de fréquences de modes propres

Fréquences d'un système de masses couplées

⚡ Bup 759(1) pour l'étude quantitative (non faite ici) ⌚ 10 min

Matériel

- 4 Pendules couplés.
- Caméra VideoCom + pied

Dans "test de l'intensité", régler la position de la caméra jusqu'à avoir 4 pics. Donner une condition initiale de façon à mettre de l'énergie dans chacun des modes.^a Acquérir et transférer sous LatisPro.

a. C'est à dire "pincer" les masses pour mettre le plus d'énergie possible dans le mode 4, le moins visible.

Beaucoup de choses à dire : Si on fait une FFT sur toute la durée du signal, on ne voit que trois des quatre fréquences, et principalement la première. C'est dû au fait que le mode symétrique, de fréquence la plus faible, dissipe le moins d'énergie car il met le moins de ressorts en jeu. Au bout d'un certain temps, il ne reste donc plus que de l'énergie dans le mode 1. D'où la TF.

Si on fait la TF sur le début du signal, on a tous les modes (si on a pris une bonne condition initiale), mais on a une moins bonne précision !

Donner la valeur de chaque mode avec l'incertitude. On peut faire l'étude quantitative et connaissant la valeur des ressorts, on connaît la valeur théorique des fréquences propres.

Conclusion

On a créé des appareils de mesure de fréquence à partir d'une fréquence de référence. Plusieurs méthodes :

- Stroboscopage : Ne s'applique que pour certains systèmes et peu précis
- Fréquencemètre : Plus général, mais on ne peut mesurer qu'une seule fréquence.
- Analyse de Fourier : Très utile, permet de mesurer plusieurs fréquences et possiblement précis si on fait attention.

Ouverture : On voit avec le dernier exemple que la TF n'est pas adaptée pour tout les types de signaux. Par exemple les signaux mono fréquentiel dont la fréquence varie au cours du temps sont difficilement représentable par transformée de Fourier. Il faut alors faire appel à d'autres représentations pour retirer l'information pertinente de ces signaux.