

MP25 : Mesure de fréquences temporelles (domaine de l'optique exclu)

présentation : Théodore NICOLAS
CR : Antoine BRICARD
correcteur : JBD

Biblio : Aucune, malheureusement (sauf bien sur les poly de JBD). Il existe un BUP sur le quartz si vous voulez creuser le sujet.

Plan :

- 1- Mesure de fréquence par mesure de période
 - a) Mesure directe : pendule simple au chronomètre (Studentt)
 - b) Mesure par comparaison : stroboscopie sur cuve à onde
 - c) Mesure par comptage : fréquencemètre sur diapason
- 2- Mesure de fréquence par FFT
Spectre FFT du diapason par la macro IGOR
- 3- Stabilité d'une horloge
Mesure de la fréquence d'un quartz (battements) et décalage par chauffage

Déroulé :

Le mètre étalon est mort, vive la seconde étalon ! C'est en fait une fréquence étalon (9192631770 périodes de transition du césium 133).

1- La fréquence est avant tout l'inverse de la période, les mesures les plus intuitives passent donc par une mesure de période.

- 1) Pour des phénomènes lents, un « simple » chronomètre suffit. Manip pendule simple.
- 2) Pour des phénomènes plus rapide, l'œil humain ne suffit plus. On peut gagner en précision en observant non pas la fréquence, mais le battement entre deux fréquences proches. Manip stroboscope et cuve à onde.
- 3) Pour aller encore au delà il faut utiliser des appareils adaptés : fréquencemètre. Mesurer la fréquence du diapason et expliciter les bases du fonctionnement de l'appareil (seuillage puis comptage des fronts). Mise en évidence de la stratégie de mesure et de ses limites (signal bruité, signal complexe). Faire la manip (battement cardiaque par ex)

2- La FFT est un outil plus robuste, et qui nous donne accès à d'autres informations (harmoniques, largeur des pics). Expliquer le critère de Shannon et le compromis nécessaire pour la résolution spectrale (nécessite de la macro IGOR). Parler du problème du repliement et évoquer son utilisation pour résoudre le compromis. Manip diapason, si vous avez le temps insérer le spectre du signal arbitraire qui a mis en échec le fréquencemètre, parler des limites de la FFT (signal sans fondamental,...)

3- Précision arbitrairement grande ? Non. Quelle que soit la mesure (très général), on fait une comparaison à un étalon. Dans notre cas : des oscillateur à quartz (oscilloscope, GBF, fréquencemètre, montre, chrono,...). Mesure de la fréquence d'un quartz par battement (i.e. translation de fréquence). Stabilité de l'ordre de 10^{-6} . Ce n'est qu'un ordre de grandeur, on regarde les battements d'un quartz avec un autre quartz, le tout mesuré par un troisième, donc rien de quantitatif. Ce n'est vrai qu'à température fixe. Chauffer, observer le décalage de 5-10Hz. En pratique les quartz sont asservis ou isolés en température. Toutes les mesures faites aujourd'hui ont une limite en précision : le quartz, car tout est comparaison au quartz.

Conclure soit sur des méthodes expérimentales (sous échantillonnage, repliement, battement, modulation/démodulation,...) si vous n'avez pas eu le temps d'en parler (et êtes chauds sur le sujet), soit sur la nécessité d'avoir un étalon adapté à ses besoins (horloge atomique par exemple).

Détail des manips :

Globalement que des manips rapides, qui marchent. Les maillons faibles sont :

- les plaquettes pour multiplieur/amplificateur. Toujours une chance d'avoir des problèmes de masse, mais facilement détectable/remplaçable.
- un problème de communication entre oscilloscope et la macro IGOR.

1- Pendule simple :

ça marche nickel, ça prend moins de cinq minutes et ça permet de bien démarrer et de rassurer le jury.

Message : Je sais que c'est de la métrologie, je sais manipuler proprement et je gère les différents traitements des incertitudes.

Pas dur, mais il faut le faire le plus propre possible :

- prendre un pendule lourd et long
- ne pas déclencher au lâcher mais au passage devant un repère
- faire des mesures par paquet de 10 périodes
- relancer à chaque fois (rester aux petits angles !)
- faire plusieurs mesures en préparations et en refaire une en direct
- traitement statistique des erreurs
- mesurer le pendule et faire une propagation des incertitudes pour la valeur théorique

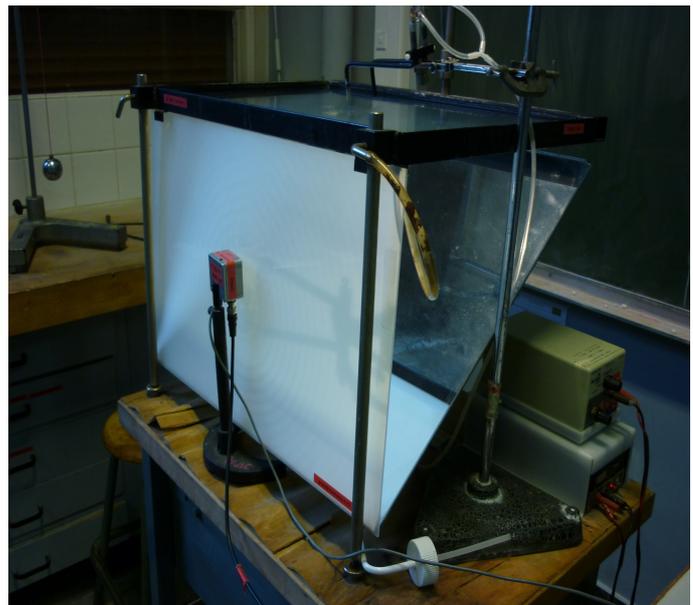


2- Cuve à onde et stroboscope

manip pas passionnante, son intérêt principal est de valider le « piocher dans différents domaines de la physique ». Si vous avez des problèmes de temps c'est probablement celle là qu'il faut virer.

Cette manip est souvent faite avec la corde de Melde, ça ne change pas grand chose. Il existe trois moyens de récupérer la fréquence du stroboscope monté sur la cuve à onde :

- Le restroboscopter avec un strobo qui affiche sa fréquence.
- Comparer la tension de l'alim à la droite d'étalonnage (réalisée en la stroboscopant)
- Une photodiode



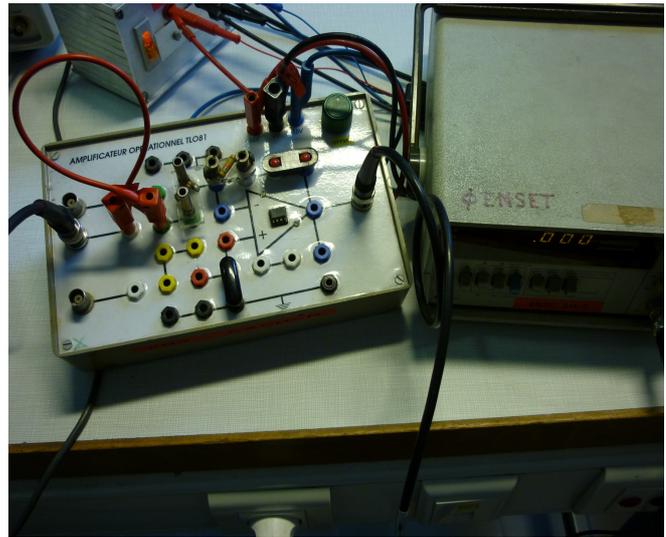
On a préféré la dernière solution parce que d'une part c'est ridicule de dire qu'on stroboscope un stroboscope, et d'autre part à la photodiode on a accès au battement en intensité du au passage des vagues, autrement dit au défaut de réglage du stroboscope, ce qui est plutôt cool pour les évaluer/le régler. Attention au 100Hz des néons qui peut perturber les mesures.

Bien différencier les erreurs de mesures sur la mesure de la fréquence du stroboscope, et celles sur le réglage du stroboscope. Les secondes sont dominantes, de l'ordre de 0.1Hz si vous le faites propre.

3- Fréquencemètre

Très rapide, et il me paraît un peu dommage de ne pas passer 2 minutes sur le fréquencemètre dans un montage « mesure de fréquences temporelles ».

Attention, il est peu sensible (25mV, soit en gros la tension du micro en direct). Il faut l'amplifier entre 10 et 100 fois (juste montage à AO, pas besoin de sortir un ampli de puissance). Ce sera de toute façon utile pour la suite. Toutes les infos sont sous le fréquencemètre, il faut juste choisir le calibre 1s. Ça correspond à son temps d'intégration (ie résolution et temps de réponse)



4- FFT Diapason et macro IGOR

dur à éviter, mais peut être faite sur autre chose que le sempiternel diapason.

RAS, cf le poly de TP ou le cours de JBD. Garder l'amplification, prendre un temps d'acquisition de 50s (base 10s) pour avoir 3 points sur le pic. Ne pas hésiter à recommencer si on a raté sa frappe, et surtout être prêt à encaisser les inévitables critiques sur la macro igor.

5-Battement du quartz

Assez original je crois, en tout cas sur la présentation. Peut aussi se traiter avec un oscillateur à pont de Wien comme en TP, ça permet de mieux mettre en évidence les limites de stabilité (10^{-3}), et de faire des mesures quantitatives (vu que le quartz reste un étalon raisonnable), mais on a préféré insister sur le côté application du quartz, quitte à être plus qualitatif. Discutable.

Brancher le quartz (déjà tout fait) et un GBF sur une plaquette multiplieur et filtrer avec un passe bas dans les 100Hz (sur la plaquette). En fait les quartz renvoient un créneau, en filtrant les harmoniques on se ramène au produit des fondamentaux, ça fait plus propre.



À faire en direct : Se placer à quelques Hz des 32768 Hz annoncés, mesurer la fréquence de battement à oscilloscope, et décaler d'autant le GBF. On est en général à 0.1Hz près. On peut améliorer la mesure si on a le temps en cherchant à avoir un signal constant (jusque en gros 0.01Hz) mais attention, on compare deux quartz avec un autre quartz, on ne sais pas qui est le meilleur.

Dévisser le boîtier du Quartz et chauffer le composant directement au sèche cheveux (très près). Pas besoin de chauffer 1 minute, juste attendre 10-20 sec que le décalage se stabilise. Puis monter qu'effectivement la fréquence a diminuée en diminuant celle du GBF.



Questions et commentaires du correcteur :

Bon montage

C'est un montage :

- de métrologie
- ouvert (du choix sur les manips, explorer différents domaines de la physique)

Questions :

- Pendule, mesure par comparaison ? : oui quartz du chronomètre, même si ce n'est pas lui qui limite nos incertitudes.
- Studentt, conditions d'utilisation, limites ? : répartition gaussienne des échantillons
- Fréquence-mètre, pourquoi 1Hz de précision ? : parce que le moyennage se fait sur une seconde. Il existe des calibres 10s et 100s, mais le signal du diapason s'amortit trop vite. Appareil plus adapté aux fréquences plus grandes (l'erreur est absolue).
- FFT, une porte claqué pendant l'enregistrement, c'est un problème ? : Non, elle ne claqué pas à 440Hz, on peut parler pendant la manip. (le dire pendant la manip, c'est un avantage de la FFT)
- FFT, augmenter le temps d'acquisition augmente la précision. Une limite (autre que le quartz) ? : oui, quand le signal devient plus faible que le niveau d'échantillonnage, ou beaucoup plus faible que le bruit, on ne fait qu'interpoler.
- Quartz à 32768 Hz, pourquoi ? : ça correspond à 2^{15} , ça permet de reconstruire 1Hz avec un compteur sans avoir à faire un quartz d'un mètre.
- Quand on chauffe le quartz, sa fréquence diminue, pourquoi ? : Pas de réponse évidente, peut être la dilatation des bras du diapason (en tout cas ça va dans le bon sens).

Sur les manips :

- Pendule simple très simple. Tout bien expliquer et montrer que l'on est conscient des limites (petits angles,...) et être irréprochable sur les incertitudes (c'est le but de la manip).
- Cuve à onde : bien penser à récupérer la fréquence du strobo avec une photodiode, un peu plus original que la corde de Melde.
- FFT : plutôt la présenter en échelle lin., être conscient que ce n'est pas la fonction de transfert du diapason seul.
- Manips alternatives : Battement de deux diapasons, permet de limiter les incertitudes : différence de mesure (même incertitude absolue que les mesures) < mesure de différence (même incertitude relative).