BLAISE PASCAL
PT 2021-2022

TP 23 – Électronique

Mesure de fréquences

Techniques et méthodes

- ▷ Dimensionnement de montage ;
- ▷ Estimation d'incertitudes ;
- ▷ Comparaison entre protocoles expérimentaux.

Matériel sur le bureau :

- ▷ Papier millimétré ;
- ▷ Résistances : 100, 200, 500 Ω, 1, 2, 5, 10, 20 kΩ ;
- ▷ Condensateurs : 10, 20, 50, 100, 200, 500 nF, 1, 2, 5, 10 µF.

Matériel sur votre paillasse :

- ▷ Deux diapasons, dont l'un est désaccordé par une masselote ;
- ▷ Un micro ;
- ▷ Un oscilloscope et sa notice ;
- ▷ Un GBF ;
- ▷ Un ALI monté sur plaquette et une alimentation continue ;
- ▷ Un bloc multiplieur monté sur plaquette ;
- ▷ Deux plaquettes de branchement.

On dispose pour ce TP de deux diapasons La$_3$ (fréquence théorique $f = 440$ Hz), dont l'un est désaccordé par une masselotte et résonne à la fréquence $f' = f + \Delta f$. L'objectif est de mesurer les deux fréquences f, f' et l'écart de fréquence Δf entre les deux diapasons aussi précisément que possible.

Attention ! Vérifier que la masselotte est solidement fixée, environ à mi-hauteur du diapason, et **ne plus y toucher** pour le restant du TP.

Attention ! Une part importante du TP consiste à estimer la précision des différentes mesures. Ainsi, **on n'utilisera pas** les mesures automatiques de l'oscilloscope, dont la précision dépend des différents réglages et s'avère difficile à estimer.

Données : formules de composition des incertitudes (qu'il faut connaître pour le jour J !!)

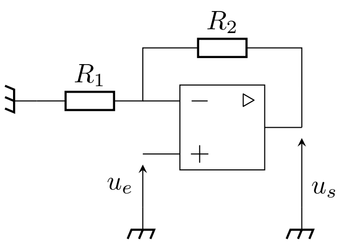
- ▷ cas d'une somme ou d'une différence : si $y = x_1 \pm x_2$, alors

$$u(y)^2 = u(x_1)^2 + u(x_2)^2$$

- ▷ cas d'un produit ou d'un quotient : si $y = x_1 \times x_2$ ou $y = x_1/x_2$, alors

$$\left(\frac{u(y)}{y}\right)^2 = \left(\frac{u(x_1)}{x_1}\right)^2 + \left(\frac{u(x_2)}{x_2}\right)^2 .$$

I - Amplification de signal



La tension délivrée par le micro est d'amplitude trop faible pour être directement exploitable à l'oscilloscope : il est nécessaire de l'amplifier. On utilise pour cela le montage ci-contre.

✎ Proposer deux valeurs pour R_1 et R_2 permettant d'amplifier le signal avec un gain environ égal à 50.

La fonction de transfert du montage est

$$\underline{H} = \frac{u_s}{u_e} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

on peut donc prendre $R_2 = 5\,\mathrm{k\Omega}$ et $R_1 = 100\,\Omega$.

Espace 1

II - Réponse impulsionnelle d'un diapason

Lorsque le diapason est frappé d'un bref coup de marteau, le signal sonore qu'il émet est appelé réponse impulsionnelle. Il s'agit d'un résonateur du second ordre : des calculs, non demandés, permettent de montrer que sa réponse impulsionnelle s'écrit

$$s_\mathrm{i}(t) = A \exp\left(-\frac{\omega_0}{2Q} t\right) \sin\left(\omega_0 \sqrt{1 - \frac{1}{4Q^2}}\, t + \theta\right) .$$

Bien que ce ne soit pas le cas en pratique, on supposera pour simplifier que la phase θ est nulle.

✎ Nommer ω_0 et Q. Quel est le lien avec les fréquences f et f' ?

Pulsation propre et facteur de qualité, $f = \dfrac{\omega_0}{2\pi}\sqrt{1 - \dfrac{1}{4Q^2}}$.

Espace 2

✎ Estimer grossièrement l'**ordre de grandeur** de Q. Simplifier en conséquence la relation entre ω_0 et les fréquences.

En ordre de grandeur, Q correspond au nombre d'oscillations visibles dans le régime transitoire, c'est-à-dire avant que le son du diapason ne disparaisse : ici il est de plusieurs centaines.

Espace 3

✎ Procéder à la mesure des deux fréquences f, f' et en déduire Δf. Estimer les incertitudes sur les trois grandeurs.

On mesure un nombre entier de périodes avec les curseurs, et on obtient les fréquences à environ 0,1 Hz près pour un Δf de quelques hertz. On a donc une incertitude sur Δf qui est d'environ 10 %, ce n'est pas très précis.

Espace 4

✎ Proposer et mettre en œuvre un protocole permettant une **mesure précise** de Q. Le candidat précisera ci-dessous sa démarche, et y indiquera toutes les mesures et calculs utiles. Il pourra utiliser le papier millimétré mis à sa disposition.

III - Battements

✎ On excite *simultanément* les deux diapasons. Montrer que le signal sonore peut s'écrire comme un produit de deux cosinus. Identifier le terme responsable des battements que l'on entend dans le signal sonore.

$$s(t) = A\cos(2\pi f t) + A\cos(2\pi(f+\Delta f)t) = 2A\underbrace{\cos\left(2\pi\frac{\Delta f}{2}t\right)}_{\text{battements}}\cos\left(2\pi\left(f+\frac{\Delta f}{2}\right)t\right) .$$

Espace 5

✎ Mesurer la période des battements et en déduire une deuxième mesure de Δf. Estimer l'incertitude.

On trouve $T_\mathrm{b} = 2/\Delta f$.

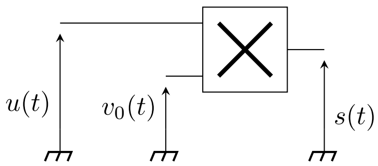
Espace 6

✎ Comparer cette méthode à la précédente.

On obtient une estimation de Δf plus précise, mais par contre on ne gagne rien sur les valeurs de f et f' auxquelles cette méthode ne permet pas d'accéder.

Espace 7

IV - Mesure par multiplication avec un signal de référence



Avec un générateur, on créée un signal de référence v_0 dont la fréquence f_0 connue est intermédiaire entre f et $f + \Delta f$. Ce signal de référence et la tension amplifiée $u(t)$ sont envoyées en entrée d'un multiplieur analogique de gain k, qui délivre la tension de sortie

$$s(t) = k\, u(t)\, v_0(t)\,.$$

✎ Déterminer la tension de sortie s du multiplieur. Identifier le terme donnant l'écart de fréquence entre u et v_0.

$$s(t) = kU_0V_0 \cos(2\pi f t) \cos(2\pi f_0 t) = \frac{kU_0V_0}{2} \left[\cos(2\pi(f - f_0)t) + \cos(2\pi(f + f_0)t)\right]$$

Espace 8

✎ Quel filtre utiliser pour isoler le seul terme intéressant ? Proposer un montage simple permettant de réaliser la fonction voulue, sa fréquence de coupure, et des valeurs de composants permettant la réalisation pratique.

Filtre passe bas RC, on peut prendre une fréquence de coupure p.ex. de 15 Hz qui est réalisable avec $R = 10\,\mathrm{k\Omega}$ et $C = 2\,\mathrm{\mu F}$.

Espace 9

Réaliser le montage complet : sur les plaquettes fournies, les deux entrées du multiplieur sont notées X_1 et Y_1 et le signal multiplié s'obtient sur la borne SM.

✎ Mesurer les fréquences de résonance des deux diapasons, puis en déduire l'écart en fréquence Δf. Estimer l'incertitude.

✎ Comparer les trois méthodes envisagées dans ce TP.