

TP n°25

Accordeur électronique

MPSI 2 – 2024/2025

Ce TP vise à concevoir un accordeur électronique afin de vérifier la hauteur du son d'un diapason. Un accordeur électronique est un appareil qui permet d'accorder un instrument de musique. Lors de l'accordage d'un instrument, le musicien joue un La dont il doit vérifier qu'il est à la bonne hauteur. L'accordeur électronique compare la fréquence du son joué par l'instrumentiste avec la fréquence de référence et indique l'écart entre ces deux fréquences.



FIGURE 1 – Accordeur électronique. Lorsque l'aiguille est au milieu du cadran, le son est à 440 Hz et l'instrument est accordé.

Fonctionnement de l'accordeur électronique L'accordeur électronique est composé de plusieurs blocs électroniques ayant chacun une fonction différente. Le schéma global est donné ci-dessous :

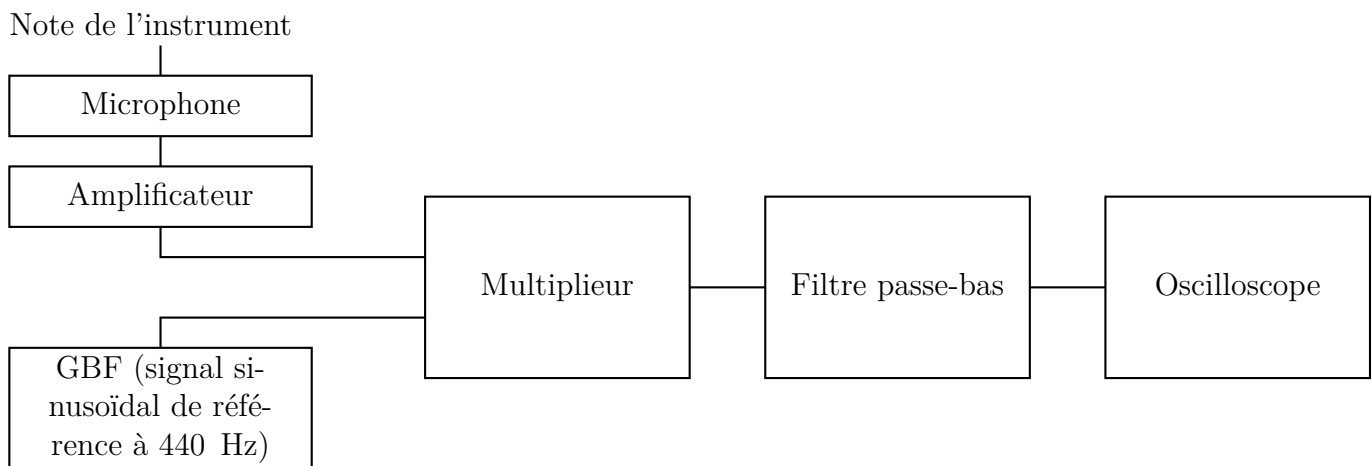


FIGURE 2 – Schéma global de fonctionnement d'un accordeur électronique.

La note de l'instrument est enregistrée par un microphone qui convertit le signal acoustique en signal électrique de même fréquence. Ce signal électrique étant de faible amplitude, il est préalablement amplifié avant d'être traité par le bloc suivant.

Un GBF produit un signal sinusoïdal de la fréquence de la note « juste ». Pour un La₃, ou La du diapason, il s'agit d'un signal de 440 Hz. C'est à cette fréquence que la note de

l'instrument sera comparée.

Le signal du micro et celui du GBF sont envoyés à l'entrée d'un multiplieur. Il s'agit d'un module électronique qui génère une tension de sortie proportionnelle au produit des deux tensions d'entrée.

Le filtre passe-bas traite le signal issu du multiplieur pour éliminer certaines de ses composantes sinusoïdales.

L'oscilloscope permet l'observation du signal final, à partir duquel on peut remonter à l'écart entre les deux fréquences.

1 Travail théorique

Multiplieur. La fonction d'un multiplieur est de réaliser une opération de multiplication sur deux signaux électriques. Si on note $e_1(t)$ et $e_2(t)$ les signaux d'entrée, le signal de sortie est égal à :

$$s(t) = K e_1(t) e_2(t)$$

où K est un coefficient constant (il vaut $1/10$ en unité SI dans le multiplieur utilisé en TP).

1. Quelle est l'unité de K ?

Dans l'accordeur électronique, on envoie deux signaux sinusoïdaux à l'entrée du multiplieur :

- celui du GBF de fréquence $f_0 = 440$ Hz, que l'on note $e_{\text{ref}}(t) = E_{\text{ref}} \cos(2\pi f_0 t)$;
 - celui issu du bloc micro + amplificateur, dont la fréquence est proche de 440 Hz. Pour indiquer la différence avec le signal du GBF, on notera sa fréquence $f_0 + \Delta f$. Le signal correspondant est $e_{\text{micro}}(t) = E_{\text{micro}} \cos(2\pi (f_0 + \Delta f) t + \varphi)$.
2. Quelle est l'expression du signal $s(t)$ à la sortie du multiplieur ? On écrira celui-ci sous la forme d'une somme.

Filtrage du signal de sortie du multiplieur. Le filtre passe-bas situé après le multiplieur sert à éliminer certaines composantes du signal $s(t)$.

3. Quelles sont les composantes sinusoïdales présentes dans $s(t)$? Identifier la composante sinusoïdale de « basse fréquence » et la composante sinusoïdale de « haute fréquence », sachant que $\Delta f < 10$ Hz.
4. On souhaite conserver la composante de basse fréquence et éliminer la composante de haute fréquence. Donner l'expression du signal attendu à la sortie du filtre passe-bas.
5. En déduire comment on peut mesurer, à partir du signal de sortie du filtre observé à l'oscilloscope, l'écart de fréquence Δf entre le signal de référence et le signal du diapason.
6. À quelle condition le diapason est-il « juste » ? Qu'observe-t-on alors sur l'oscilloscope ?

Réalisation du filtre passe-bas. On réalise le filtre passe-bas à l'aide d'un circuit RC. On choisit $R = 16 \text{ k}\Omega$ et $C = 1,0\mu\text{F}$ pour les composants.

7. Où doit-on prendre la tension de sortie sur le circuit RC pour avoir un filtre passe-bas ?
8. Rappeler sans démonstration l'expression de la fréquence de coupure du filtre en fonction de R et C .
9. Vérifier que les valeurs choisies pour les composants sont compatibles avec le filtrage qu'on souhaite réaliser.

Adaptation d'impédances. Les ordres de grandeur des impédances d'entrée et de sortie des différents blocs sont donnés dans le tableau ci-dessous :

	Impédance d'entrée	Impédance de sortie
Microphone	Sans objet	100Ω
Amplificateur	$10 \text{ k}\Omega$	Inférieure à 10Ω
Multiplieur	$10 \text{ M}\Omega$ pour chaque entrée	Quelques ohms
Filtre passe-bas	Supérieure à $10 \text{ k}\Omega$	$30 \text{ k}\Omega$ à 5 Hz 300Ω à 440 Hz

10. Quelle est l'impédance de sortie du GBF ? Que vaut l'impédance d'entrée de l'oscilloscope ?
11. Rappeler à quelle condition il y a adaptation d'impédance entre blocs.
12. Vérifier qu'on a bien adaptation d'impédance entre les blocs successifs constituant l'accordeur électronique.

2 Travail expérimental

2.1 Test des blocs

Nous voulons vérifier le bon fonctionnement de chaque bloc électronique de l'accordeur. Lorsqu'on est face à un montage complexe comprenant plusieurs blocs électroniques, il est indispensable de tester le bon fonctionnement de chacun d'entre eux indépendamment avant de les mettre ensemble. En effet, si vous montez tout d'un coup et que le montage ne fonctionne pas, il sera difficile de savoir d'où vient le dysfonctionnement !

Test du bloc microphone/amplificateur.

Monter le bloc micro + amplificateur. L'amplificateur doit être alimenté par le générateur de tension continue $+/- 15 \text{ V}$. Pour tester le fonctionnement du système, enregistrer le son du diapason et observer le signal à l'oscilloscope. Si vous observez un signal de fréquence de l'ordre de 440 Hz et non bruité, le dispositif fonctionne. Laissez les connexions entre le générateur $+/- 15 \text{ V}$ et l'amplificateur, elles vous resserviront dans le montage final.

Test du bloc filtre.

Monter le filtre passe-bas en utilisant les boîtes à décades. Pour tester le filtre, envoyer un signal sinusoïdal à l'entrée du filtre et observer la sortie à l'oscilloscope. En faisant varier la fréquence du GBF, vérifier que le filtre a le comportement attendu. Vérifier notamment que la fréquence de coupure a la valeur souhaitée (il ne s'agit pas de faire une mesure précise de celle-ci, l'essentiel est d'être sûr que le filtre va couper la haute fréquence sans atténuer la basse fréquence).

Test du bloc multiplieur. Le multiplieur est un bloc actif, ce qui signifie qu'il a besoin d'être alimenté en énergie pour fonctionner.

Alimenter le multiplieur avec le générateur $+/- 15\text{ V}$ déjà utilisé pour l'amplificateur. Les bornes $+15\text{ V}$, -15 V et la masse du multiplieur doivent toutes les trois être connectées aux bornes correspondantes du générateur. Le multiplieur possède quatre bornes en entrée. Relier les deux bornes négatives à la masse du multiplieur grâce aux cavaliers. À l'aide du GBF, alimenter le multiplieur avec deux signaux identiques en entrée, et relier la borne « Z » à la masse (qui permettrait de rajouter une composante continue au signal de sortie, ce qui n'est pas souhaité ici). Observer à l'oscilloscope le signal de sortie. Que vous attendez-vous à observer sachant que les deux signaux d'entrée sont identiques ?

Lorsque le signal obtenu correspond à ce qui est attendu, débrancher l'oscilloscope et le GBF, mais conserver l'alimentation du multiplieur.

Chaque bloc a été testé indépendamment et fonctionne correctement. Il est possible de passer maintenant à la mise en cascade des différents blocs.

2.2 Réalisation et utilisation de l'accordeur

Nous voulons désormais vérifier l'accord d'un diapason et l'accorder à une fréquence donnée.

Monter en cascade l'ensemble des blocs conformément au schéma global de l'accordeur électronique, décrit au début de l'énoncé. Régler le GBF sur la fréquence de 440 Hz . Vérifier au fréquencemètre la valeur affichée par le GBF.

Exciter le diapason et observer le signal obtenu sur l'oscilloscope. Mesurer l'écart de fréquence entre le signal de référence et le signal du diapason. Le diapason est-il parfaitement accordé ?

Fixer une petite masselotte au milieu de l'une des branches du diapason. Cette masselotte a pour effet de diminuer la fréquence du diapason. Plus la masselotte est haut sur la branche, plus la fréquence diminue. Proposer et réaliser un protocole permettant de régler la fréquence de ce diapason à 436 Hz . Qu'est-ce qui limite le degré de précision de l'accordage de votre diapason ?