DM N°14
ALI & rétroaction

Lycée Langevin - Wallon

5 décembre 2020

À lire attentivement...

Les candidats devront vérifier que le sujet comporte bien 7 pages numérotées 1/7, 2/7, ... 7/7.

Les candidats sont invités à porter une attention particulière à la rédaction : les copies illisibles ou mal présentées seront pénalisées.

Toute application numérique ne comportant pas d'unité ne donnera pas lieu à attribution de points. Les résultats numériques devront être donnés sous la forme appropriée.

Le sujet comporte :
– 2 exercices d'annale de physique.

Les diverses parties peuvent être traitées dans l'ordre choisi par le candidat. Il prendra toutefois soin de bien numéroter les questions.

Fig. 1 – Carte mémoire de Rétroaction & ALI

L'EMPLOI DE LA CALCULATRICE OU DE TOUTE AUTRE AIDE ÉLECTRONIQUE, NOTAMMENT PYTHON, EST AUTORISÉ.
LE TRAVAIL AVEC SON COURS SOUS LES YEUX EST RECOMMANDÉ.
LE PHOTO-COPILLAGE DU TRAVAIL D'UN CAMARADE SERA SANCTIONNÉ.
UN RÉSULTAT NON ENCADRÉ NE SERA PAS PRIS EN COMPTE.

Si au cours de la rédaction, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et poursuivra sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

1 2020 CCS TSI Physique Chimie 1

Les matériaux piézoélectriques ont la capacité de voir apparaitre une différence de potentiel entre leurs faces lorsqu'on exerce sur elles une contrainte (effet direct) mais également de pouvoir se déformer sous l'action d'une différence de potentiel imposée (effet inverse), ce qui en fait des matériaux très intéressants sur le plan des applications. On propose ici d'étudier différentes utilisations de ces matériaux. Les quatre parties de ce problème sont indépendantes.

1.1 Utilisation en capteur de forces

Les montages ci-après utilisent des amplificateurs linéaires intégrés (ALI) supposés idéaux et fonctionnant en régime linéaire.

1.1.1 Mesure de l'intensité d'une force s'exerçant sur une lame piézoélectrique

On suppose qu'une force $\overrightarrow{F}$ régulièrement répartie est exercée sur la face de la lame, celle-ci entrainant l'apparition d'une tension V_e à ses bornes et de deux charges opposées $+q$ et $-q$ sur les faces de la lame. La charge q est liée à V_e ainsi qu'à la force $\overrightarrow{F}$ exercée de sorte que $q = CV_e = KF$ où C, K et F représentent respectivement une capacité, une constante de proportionnalité et l'intensité de la force $\overrightarrow{F}$.

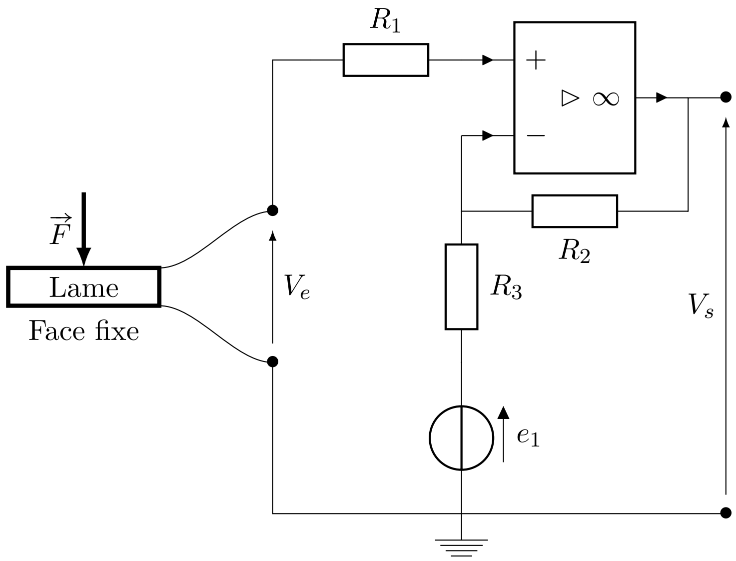


Fig. 1.1

1. Après avoir rappelé le modèle de l'amplificateur linéaire intégré idéal, exprimer la tension V_e en fonction de e_1, V_s et des différentes résistances (figure 1.1).

Application numérique

2. On donne : $R_1 = 10\,\mathrm{k\Omega}$, $R_2 = 6{,}5\,\mathrm{k\Omega}$, $R_3 = 1{,}0\,\mathrm{k\Omega}$ et $e_1 = 100\,\mathrm{mV}$. On mesure $V_s = 6{,}50\,\mathrm{V}$, en déduire V_e.
3. Sachant que $C = 8{,}0 \times 10^{-13}\,\mathrm{F}$ et que $K = 1{,}0 \times 10^{-12}\,\mathrm{C \cdot N^{-1}}$, déterminer l'intensité de la force $\overrightarrow{F}$ s'exerçant sur la lame.

1.1.2 Mesure de la fréquence d'une force excitatrice sinusoïdale s'exerçant sur une lame

On considère que la lame est soumise à une action mécanique variant sinusoïdalement dans le temps à la fréquence f, fréquence que l'on se propose de déterminer à l'aide du montage de la figure 1.2.

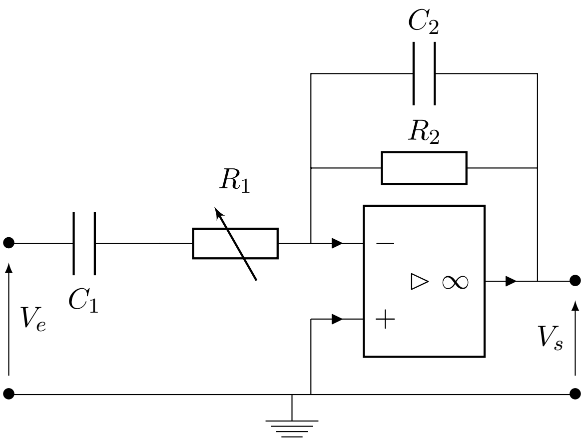


Fig. 1.2

4. Déterminer l'expression de la fonction de transfert du filtre de la figure 1.2 et la mettre sous la forme :
$$\underline{H}(\mathrm{j}\omega) = -\frac{A}{1 + \mathrm{j}\,(\omega/\omega_1 - \omega_2/\omega)}$$
en précisant les expressions de A, ω_1 et ω_2 en fonction de R_1, R_2, C_1 et C_2.
5. Indiquer quelle est la nature de ce filtre.
6. Montrer que le gain passe par un maximum pour une pulsation ω que l'on exprimera en fonction de ω_1 et ω_2.

On ajuste à présent la résistance R_1 de manière à ce que les signaux d'entrée et de sortie soient en opposition de phase.

7. Comment peut-on vérifier expérimentalement que les deux signaux sont en opposition de phase ? Indiquer quel matériel peut être utilisé pour cette opération et comment le relier au montage.
8. Déterminer la fréquence de la contrainte s'exerçant sur la lame. Calculer sa valeur numérique sachant que $R_2 = 1{,}0 \times 10^2\,\mathrm{k\Omega}$, $C_1 = 50\,\mathrm{nF}$, $C_2 = 5{,}0\,\mathrm{nF}$ et qu'il a fallu régler R_1 à $10\,\mathrm{k\Omega}$ de manière à ce que les deux signaux soient en opposition de phase.

2 2019 CCS TSI Physique Chimie 2 – Accordeur, TGV et effet Hall

2.1 Accordeur de guitare

Nous allons étudier quelques aspects d'un accordeur de guitare. La problématique est la suivante.

- La guitare comporte six cordes : Mi grave, La, Ré, Sol, Si, Mi aigu.
- Les fréquences fondamentales théoriques de vibration de ces cordes, notées f_{ac} sont données dans le tableau 1.

Corde	Fréquence (f_{ac})
Mi grave	82,4 Hz
La	110,0 Hz
Ré	146,8 Hz
Sol	196 Hz
Si	246,9 Hz
Mi aigu	329,6 Hz

- On souhaite accorder une corde *légèrement* désaccordée : on notera f_{co} la fréquence fondamentale de vibration de la corde en question.

Principe de l'accordeur

- Sélection de la corde à accorder (donc f_{ac} est fixée).
- Création d'un signal carré de référence de fréquence f_{ac} avec un oscillateur de type astable.
- Enregistrement du signal $u_e(t)$ provenant de l'excitation de la corde à accorder : signal quelconque, d'amplitude assez faible, de fréquence f_{co}.
- Amplification et filtrage de ce signal.
- Extraction de la fondamentale du signal : obtention d'un signal sinusoïdal de fréquence f_{co} par l'utilisation d'un filtre à fréquence caractéristique réglable par le signal extérieur de référence.
- Mise en forme de ce signal : obtention d'un signal carré de fréquence f_{co}.
- On a donc à disposition deux signaux carrés (signaux logiques) de fréquences respectives f_{ac} et f_{co}. Dans les accordeurs récents le traitement est numérique : les signaux sont envoyés dans un calculateur numérique intégré qui calcule l'écart de fréquence et indique à l'utilisateur quand la corde est accordée, c'est-à-dire quand $f_{co} = f_{ac}$.

Ce principe général est schématisé sur la figure 2.1.

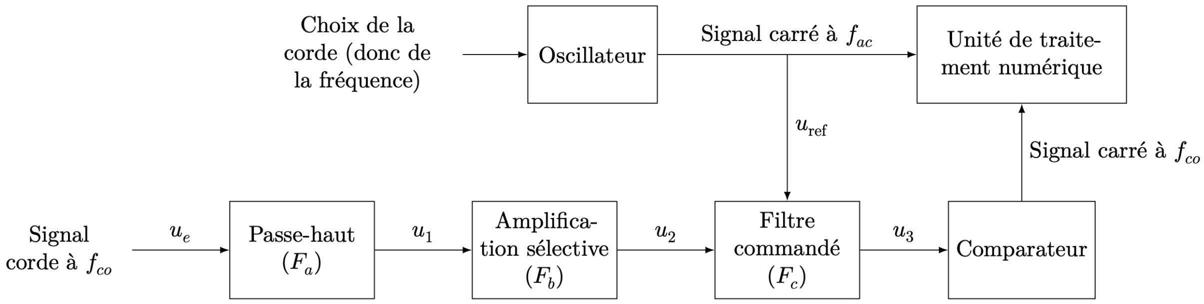


Fig. 2.1 – Principe de fonctionnement de l'accordeur de guitare

Ce problème s'intéresse au traitement du signal venant de la corde.

2.1.1 Le signal

La figure 2.2 montre un exemple de signal électrique à la sortie du micro d'une guitare électrique.

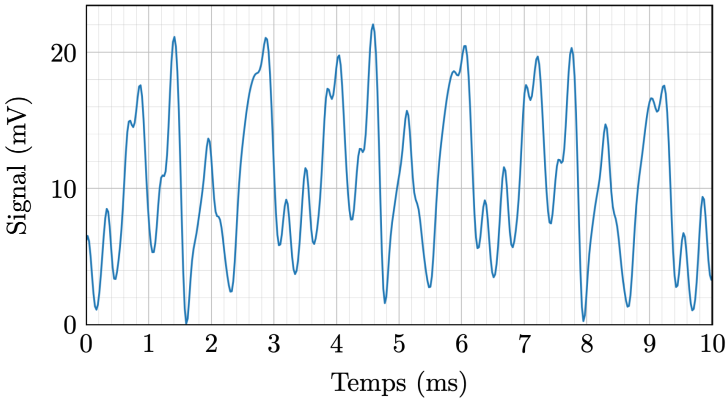


Fig. 2.2 – Signal de la guitare

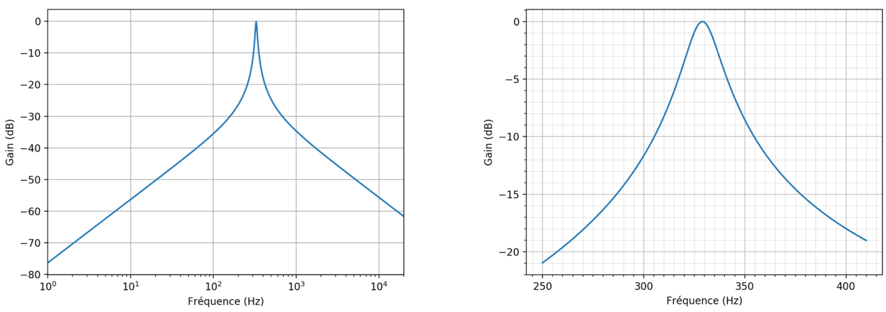
1. Donner une valeur approchée de la valeur moyenne de ce signal.
2. Donner une estimation de la valeur de la fréquence de ce signal (on peut supposer qu'en première approximation le signal est périodique).
3. De quelle corde de guitare s'agit-il ?
4. L'analyse spectrale de ce signal fera-t-elle apparaitre des harmoniques ? Justifier.

2.1.2 Filtrage (très) sélectif commandé

On souhaite maintenant sélectionner la fréquence fondamentale f_{co} du signal u_2, dont la valeur est à priori voisine de celle de la fréquence fondamentale théorique de vibration de la corde sélectionnée sur l'accordeur (f_{ac}) (on suppose que la corde est légèrement désaccordée). On suppose pour la suite que c'est la corde Mi aigüe que l'on souhaite accorder. Le principe du filtre (F_c) est que sa fréquence caractéristique soit réglée par le signal de référence de fréquence f_{ac}.

Diagramme de Bode

La figure 2.3 représente le diagramme de Bode relatif au gain du filtre (F_c) tracé à deux échelles différentes.



(a) (b)

Fig. 2.3 – Diagramme de Bode en gain du filtre (F_c)

5. Dire en le justifiant rapidement, de quel type de filtre il s'agit. Quelle est sa fréquence centrale caractéristique ?
6. Donner une estimation de sa bande-passante à $-3\,\text{dB}$ après l'avoir définie.

7. Si la corde est désaccordée à $f_{co} = 315\,\text{Hz}$, estimer, en le justifiant, de quel facteur est atténuée sa composante spectrale fondamentale en sortie de ce filtre.

Analyse spectrale

La figure 2.4 correspond au spectre du signal d'entrée u_e représenté sur la figure 2.2.

8. Justifier qu'il est parfaitement cohérent qu'il s'agisse du spectre du signal de la figure 2.2.

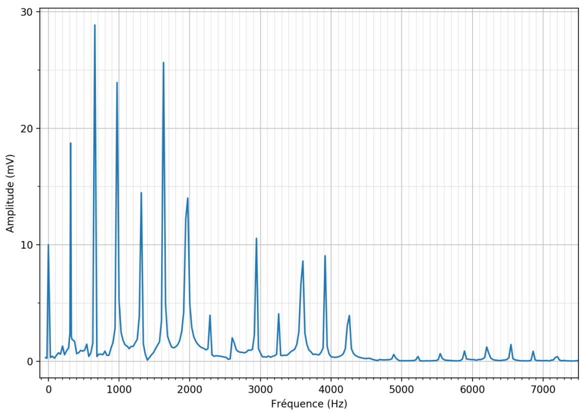


Fig. 2.4 – Spectre du signal d'entrée

2.1.3 Mise en forme

À la sortie de l'étage précédent, le signal est donc proche d'un signal sinusoïdal de fréquence f_{co} et d'amplitude dépendant de la force avec laquelle on a gratté la corde, mais de l'ordre du volt. Pour effectuer un traitement numérique qui permettra de comparer f_{co} à la fréquence théorique f_{ac} on souhaite fabriquer à partir du signal précédent un signal créneau de fréquence f_{co}. Pour cela, on utilise un comparateur à hystérésis, représenté figure 2.5.

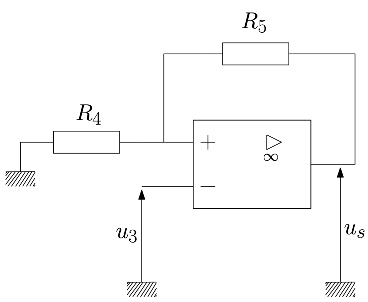


Fig. 2.5 – Comparateur à hystérsis

On note U_{sat} la tension de saturation de l'ALI et on suppose que l'ALI est idéal. Le signal u_3 est sinusoïdal alternatif d'amplitude $1\,\text{V}$ et de fréquence f_{co} (c'est le signal sortant du filtre sélectif (F_c)).

9. Qu'est ce qui permet d'être certain que l'ALI fonctionne en régime saturé ? Rappeler les propriétés d'un ALI idéal en régime saturé.
10. Exprimer V^+ le potentiel de la borne non inverseuse de l'ALI en fonction de R_4, R_5 et u_s. En déduire l'expression de $\varepsilon = V^+ - V^-$.
11. Comment varie ε quand u_3 varie (u_s étant fixé) ?

Supposons que u_3 soit suffisamment faible pour que $\varepsilon > 0$.

12. Quelle est la valeur de u_s ? À partir de cette situation, u_3 augmente : exprimer en fonction des données la valeur U_{seuil} de u_3 pour laquelle on observera le basculement de u_s. Quelle est alors la nouvelle expression de ε ?
13. À partir de cette nouvelle situation, traiter le cas où u_3 diminue.
14. Représenter finalement le cycle d'hystérésis de ce montage : $u_s = f(u_3)$.

Dans le cadre de l'accordeur de guitare, $R_4 = 1\,\mathrm{k\Omega}$, $R_5 = 10\,\mathrm{k\Omega}$ et $U_{\text{sat}} = 5\,\mathrm{V}$.

15. Tracer sur le document réponse l'allure du signal de sortie $u_s(t)$ correspondant aux deux exemples de signal $u_3(t)$ proposés.

Document réponse