

À lire avec soin avant de commencer :

Il sera tenu compte dans la notation des qualités de présentation et de rédaction de la copie.

Numéroter chaque question sur la copie, exactement comme le fait l'énoncé (même si le travail demandé est sur l'annexe). Numéroter les pages.

Toutes les affirmations doivent être justifiées avec précision. La mauvaise foi sera sévèrement sanctionnée.

Les trois parties sont indépendantes et le barème est donné à titre indicatif.

L'usage de calculatrices est interdit

On rappelle que $\log 2 = 0,30$.

On donne :

$$\log 5 = 0,70$$

$$\sqrt{2} = 1,4$$

$$1/\sqrt{5} = 0,45$$

$$(14\pi)^2 \approx 2000$$

$$1/\sqrt{2} = \sqrt{2}/2 = 0,7$$

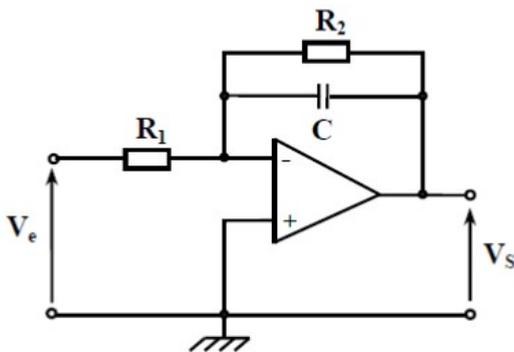
PARTIE A – QUESTION DE COURS (1,5 POINTS)

On envoie à l'entrée d'un multimètre une tension périodique $u(t)$ quelconque, donc a priori non sinusoïdale.

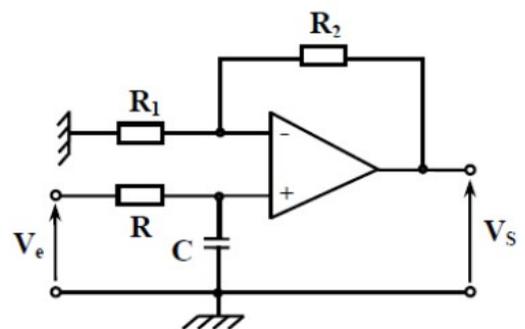
1. Quels sont les 3 modes possibles du multimètre ; les définir.
2. Quelle est la relation entre les 3 mesures de la tension u dans ces modes ?
3. Démontrer l'affirmation précédente.

PARTIE B – DEUX STRUCTURES DE FILTRES ACTIFS D'ORDRE 1 (5 POINTS)

Dans les schémas ci-dessous, le symbole triangulaire représente des ALI, supposés idéaux.



Structure 1



Structure 2

On note ε la tension entre les entrées inverseuse et non inverseuse de l'ALI.

1. Tracer l'allure de la caractéristique graphique, V_s en fonction de ε , pour un ALI idéal.
On indiquera sur le tracé deux valeurs de tension $V_{SAT,+}$ et $V_{SAT,-}$.
2. Justifier que, dans le cas des montages schématisés ci-dessus, la tension ε est toujours nulle (dans la mesure où V_s reste dans des valeurs strictement comprises entre $V_{SAT,+}$ et $V_{SAT,-}$).

Pour chacune des structures, on obtient l'une des deux fonctions de transfert :

$$\text{soit } H_A = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot \frac{1}{1 + j\omega RC}, \text{ soit } H_B = \left(-\frac{R_2}{R_1}\right) \cdot \frac{1}{1 + j\omega R_2 C}.$$

3. Quelle est alors la nature des filtres obtenus ? Justifier.
4. Obtenir par l'étude de chaque schéma les fonctions de transfert respectives de chacune des structures : H_1 et H_2 , et les identifier à H_A et H_B .
5. Quelle est l'équation différentielle, reliant les fonctions réelles $V_s(t)$ et $V_e(t)$, du filtre dont la fonction de transfert est H_B ?

On souhaite fabriquer un filtre tel que $\lim_{\omega \rightarrow 0} G_{dB}(\omega) = 0 \text{ dB}$, où G_{dB} est le gain en décibels du filtre.

6. Une seule des deux fonctions de transfert, parmi H_A et H_B , permet cela : laquelle, et quelle contrainte sur les valeurs des dipôles obtient-on ? (sachant que R_1 et R_2 ne sont ni nulles ni infinies).

On envoie donc en entrée une tension $V_e(t)$ de pulsation ω très faible.

7. La pulsation du signal d'entrée est donc très inférieure à une autre pulsation, laquelle ? Donner son expression en fonction des valeurs des dipôles utilisés.
8. Représenter alors sur le même graphique, et à la même échelle, les deux tensions $V_e(t)$ et $V_s(t)$. Justifier précisément.

On augmente alors progressivement la pulsation ω du signal d'entrée, jusqu'à ce que le signal de sortie soit en avance par rapport au signal d'entrée de $+3/8$ de période.

On choisit l'origine des dates telle que la phase à l'origine du signal d'entrée est nulle.

On peut écrire $V_s(t)$ sous la forme sinusoïdale $V_s(t) = U_s \cos(\omega_s t + \varphi_s)$.

9. Déterminer les 3 paramètres U_s, ω_s, φ_s numériquement, ou en fonction de ω , sachant que l'amplitude de la tension d'entrée est 2 volts.

PARTIE C – D'APRÈS CONCOURS 2013 (18+ POINTS)

AUTOUR DE LA GUITARE ELECTRIQUE

L'objet de ce problème concerne quelques aspects du fonctionnement d'une guitare électrique.

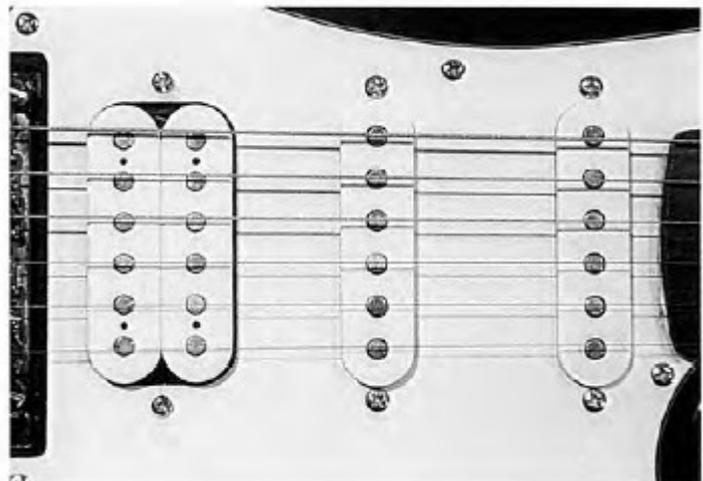
La première partie est consacrée à l'analogie entre une onde électromagnétique dans une cavité résonante et la corde d'une guitare. Dans la seconde partie, on s'intéresse au fonctionnement des microphones. Enfin, la troisième partie, présente un exemple de pédale à effet.



II – Étude d'un microphone

Situés sous les cordes, les microphones sont l'un des éléments les plus fondamentaux d'une guitare électrique, car c'est sur eux que repose toute production du son, même en l'absence totale de caisse de résonance.

Un microphone de guitare est composé d'un ou plusieurs aimants, entourés d'une bobine de cuivre.



B) Caractéristiques électriques du microphone

3) Modèle électrique du microphone

Le microphone est réalisé avec un bobinage à l'intérieur duquel on place un aimant permanent.

Le comportement électrique du microphone est donné Figure II.3 ci-dessous. Le condensateur de capacité C_0 et le dipôle ohmique de résistance R_0 sont dus à la présence de l'aimant.

Données :

$$e(t) = E_m \cos(\omega t)$$

$$C_0 = 0,1 \text{ nF}$$

$$R_0 = 1 \text{ M}\Omega$$

$$R_L = 3 \text{ k}\Omega$$

a – Déterminer, en fonction des données et de l'inductance L de la bobine, la fonction de transfert complexe $H(\omega) = \frac{v}{e}$ où v et e sont les tensions complexes associées à $v(t)$ et $e(t)$.

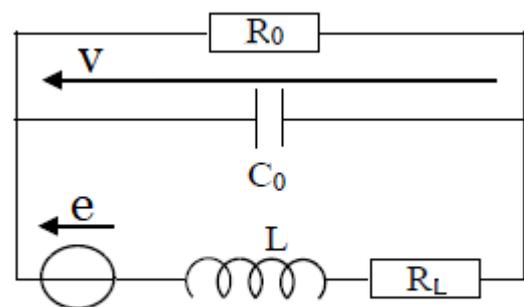


Figure II.3

b – On donne deux formes canoniques pour certains types de filtres d'ordre deux : $\underline{H} = \frac{\underline{H}_0}{1 + jQ\left(x - \frac{1}{x}\right)}$ et

$$\underline{H} = \frac{\underline{H}_0}{1 + j\frac{x}{Q} - x^2} \quad \text{avec } x = \frac{\omega}{\omega_0} \text{ la pulsation réduite et } Q \text{ le facteur de qualité.}$$

Écrire \underline{H} sous la forme canonique appropriée ; en déduire \underline{H}_0 , le facteur de qualité, et la pulsation centrale ω_0 du filtre en fonction des valeurs littérales des composants utilisés.

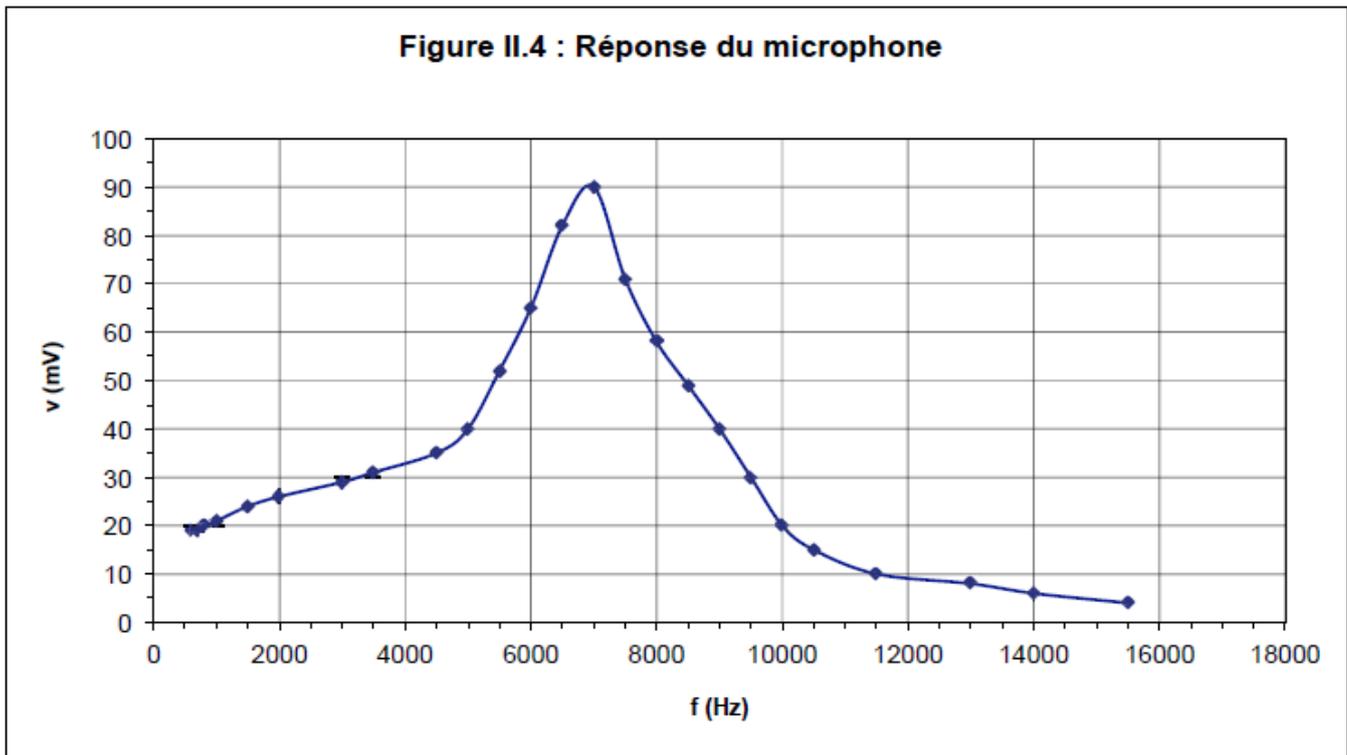
AN pour \underline{H}_0 et conclusion.

c – Établir la condition d'existence d'une résonance et déterminer la pulsation de résonance ω_R en fonction du facteur de qualité et de la pulsation centrale.

On suppose maintenant que le facteur de qualité est grand devant 1.

d – Obtenir l'allure du diagramme de Bode théorique pour le gain de cette fonction de transfert, en précisant une caractéristique des asymptotes. Indiquer où intervient Q sur la courbe.

La réponse expérimentale du microphone est donnée par la courbe de la Figure II.4. On propose trois méthodes pour estimer le facteur de qualité à l'aide de cette courbe.



Dans toutes ces méthodes, on assimilera pulsation de résonance et pulsation centrale, ce qui est valable pour les facteurs de qualité assez élevés.

On obtiendra une **estimation** de Q par chacune des méthodes décrites ci-dessous, après l'avoir justifiée lorsque c'est demandé.

e1 – On admet que le facteur de qualité (s'il est notablement supérieur à l'unité) est correctement évalué, même pour ce type de filtres, à partir de la bande passante. Compléter l'**annexe à rendre avec la copie**.

e2 – Justifier à partir de la forme canonique de la fonction de transfert que la comparaison de la réponse maximale avec l'une des limites de la fonction $v(f)$ permet de déterminer Q .

e3 – Donner une estimation de la valeur de l'inductance L ; on expliquera clairement la méthode employée. En déduire le facteur de qualité. On remarquera que $R_L \ll R_0$.

f – Commenter la cohérence des estimations.

En décomposant le son produit par une corde pincée, l'analyse de Fourier permet d'obtenir son spectre Figure II.9, c'est-à-dire l'amplitude de chaque sinusoïde constituant le son en fonction de sa fréquence.

On a ici arbitrairement fixé l'amplitude maximale à 1, ce qui permet de comparer l'influence relative de chacun des constituants du son.

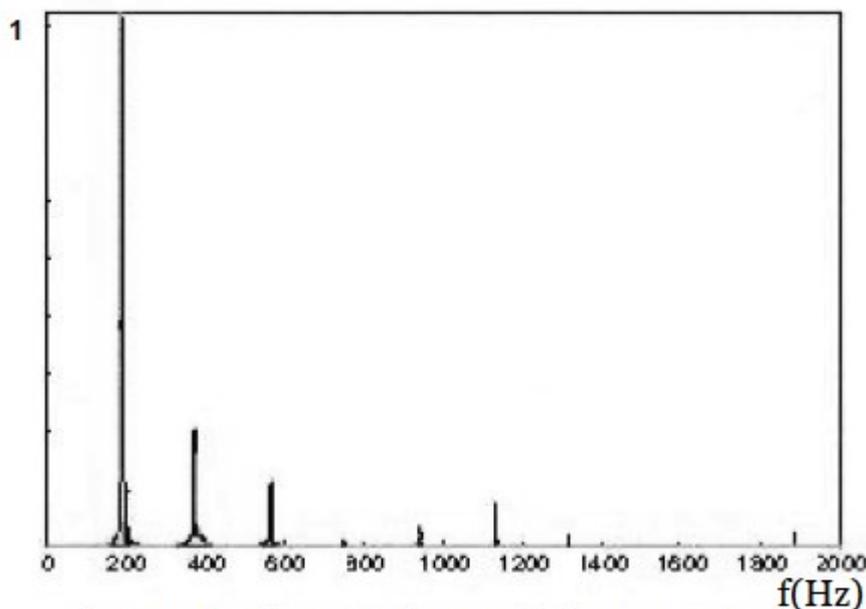


Figure II.9.: Spectre du son émis par une corde

g1 – Quelle est la fréquence fondamentale du son émis par cette corde ?

g2 – Comment s'appelle la composante à 600 Hz ?

La tension d'entrée $e(t)$ du microphone est proportionnelle à la dérivée temporelle du signal sonore émis par la corde ; on admet que, pour toute fonction dérivable, la dérivée de la fonction est la somme de la dérivée de chacune de ses composantes de Fourier.

g3 – Avec la même convention d'une amplitude fixée à 1 pour le pic principal, quelle est l'allure du spectre de la tension d'entrée du microphone, en se limitant aux trois premiers pics ?

On pourra répondre à la question posée sans faire le tracé du spectre, mais en se contentant d'expliquer comment est modifié chacun des pics du signal.

g4 – Justifier d'après ce qui précède que le microphone modifie assez peu le spectre de la tension qu'il reçoit.

III – Pédale à effet

La pédale à effet commande un circuit électronique destiné à déformer le son produit par la corde de guitare. Plusieurs types d'effets peuvent être recherchés par le musicien.

A) Réponse d'un filtre

On étudie d'abord le circuit suivant (Figure III.1) où v_e est une tension sinusoïdale de pulsation ω .

Le potentiel de la Terre est fixé à 0 volts.

Données :

$$R_1 = R_3 = 1\text{M}\Omega$$

$$R_2 = 10\text{ k}\Omega$$

$$R_4 = 50\text{ k}\Omega$$

$$C_2 = 10\text{ nF}$$

$$C_4 = 50\text{ nF}$$

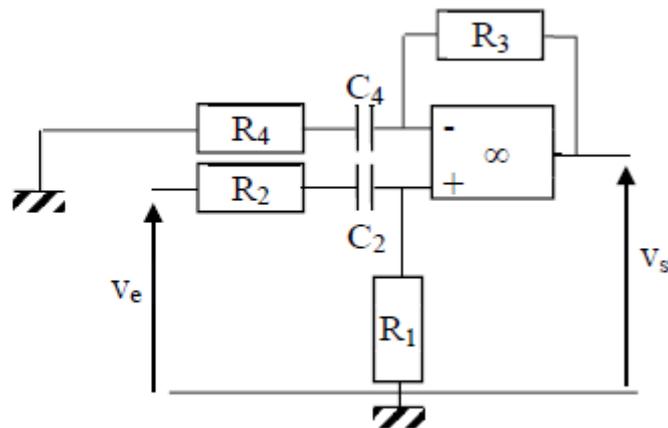


Figure III.1

L'amplificateur est idéal et fonctionne en régime linéaire.

1) Pourquoi fonctionne-t-il en régime linéaire ?

2) Nature du filtre

a – Donner les schémas équivalents en basses et hautes fréquences de ce circuit.

b – Déterminer la tension de sortie $v_{s,BF}$ dans la limite des très basses fréquences.

c – Pour déterminer la tension de sortie à la limite des très hautes fréquences, exprimer le potentiel V_+ à l'entrée non inverseuse en fonction de la tension d'entrée et des données, exprimer le potentiel à l'entrée inverseuse V_- en fonction de la tension de sortie et des données, et montrer finalement que $\frac{v_{s,HF}}{v_e} = \frac{R_1}{R_4} \frac{R_3 + R_4}{R_1 + R_2}$.

Application numérique, où l'on remarquera que certaines résistances sont négligeables par rapport à d'autres.

d – En déduire la nature du filtre.

3) Fonction de transfert théorique

a – Déterminer la fonction de transfert complexe $\underline{H}(\omega) = \frac{v_s}{v_e}$ du filtre, en remplaçant dans le résultat précédent les résistances R_2 et R_4 par des impédances \underline{Z}_2 et \underline{Z}_4 dont on donnera l'expression.

b – La simplifier pour la mettre sous la forme $\underline{H}(\omega) = \frac{\underline{H}_1(\omega) \underline{H}_2(\omega)}{\underline{H}_3(\omega) \underline{H}_4(\omega)}$

où \underline{H}_1 , \underline{H}_2 , \underline{H}_3 et \underline{H}_4 sont des fonctions de transfert du premier ordre de la forme :

$$\underline{H}_1(\omega) = j \frac{\omega}{\omega_1}$$

$$\underline{H}_k(\omega) = 1 + j \frac{\omega}{\omega_k} \text{ pour } k \in \{2, 3, 4\}$$

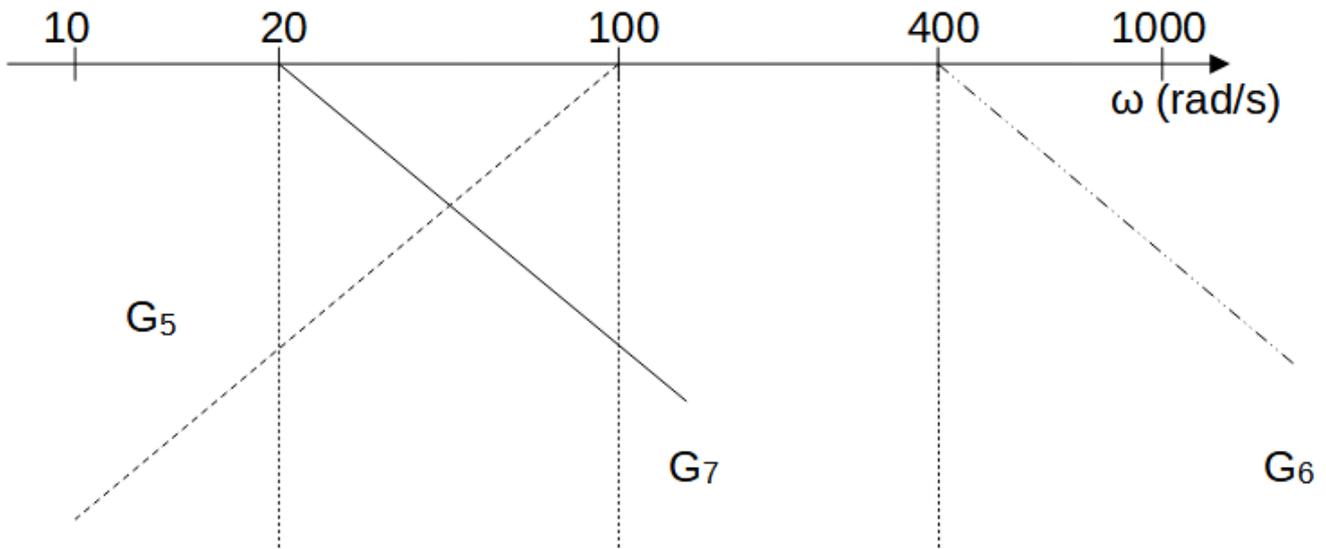
On exprimera littéralement les pulsations $\omega_k, k \in \{1, 2, 3, 4\}$ en fonction des données (valeurs littérales des composants).

c – Application numérique :

Avec la même approximation qu'à la question III.A.2.c, identifier les différentes pulsations obtenues aux valeurs suivantes, en rad/s : 20 – 100 – 400.

d – Toujours dans le cadre de cette approximation, la fonction de transfert peut s'écrire sous la forme $\underline{H} = \frac{H_5 H_6}{H_7}$, où ces trois fonctions de transfert sont celles de filtres passe-bas ou passe-haut d'ordre 1 centrés sur sur les pulsations calculées précédemment.

On a représenté ci-dessous le diagramme asymptotique de ces trois fonctions de transfert pour le gain en décibels. Pour une question de lisibilité, seules les asymptotes obliques ont été représentées (les asymptotes horizontales sont toutes confondues avec l'axe des pulsations, donc à 0dB).



α. Donner sans justification la valeur de la pente des asymptotes obliques.

β. Quelle opération graphique faut-il effectuer pour obtenir le diagramme asymptotique du gain en décibels de la fonction de transfert du filtre cherché ? On justifiera l'affirmation.

γ. **Sur l'annexe**, à rendre avec la copie, procéder à l'opération en question : on indiquera sur le diagramme la valeur des pentes des droites tracées, et on rédigera un minimum sur la copie.

δ. Combien y a-t-il de décades entre 20 rad/s et 100 rad/s ? En déduire la valeur du gain en décibels dans le diagramme asymptotique de \underline{H} , à la pulsation 20 rad/s.

4) Réponse expérimentale du filtre

Le diagramme réel du gain est tracé sur la figure III.2 suivante :

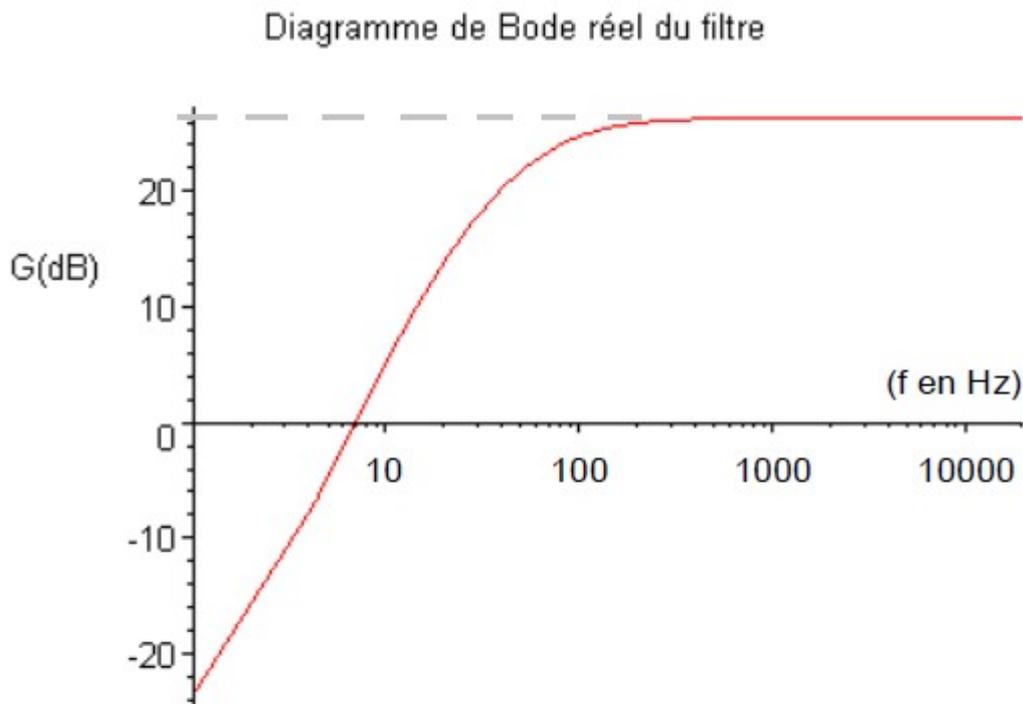


Figure III.2

a – Vérifier la valeur du gain maximum

b – Déterminer graphiquement la fréquence de coupure à -3dB, en complétant **l'annexe**.

B) Fonctionnement simplifié d'un type de pédale à effet

Le circuit étudié au A s'intègre dans le schéma de la pédale simplifiée représentée sur la Figure III.3 page suivante.

Quand le musicien ne souhaite pas utiliser la pédale à effet, les interrupteurs sont en position 2 et le signal musical est directement envoyé sur l'amplificateur. Lorsque le musicien souhaite créer un effet, les interrupteurs sont en position 1 et le signal musical transite par le circuit électronique de la pédale avant d'être amplifié.

La tension v_e contient le signal musical issu du microphone. On peut considérer que c'est une tension sinusoïdale sans composante continue. Les tensions d'alimentation sont notées V_{cc+} et V_{cc-} .

Données :

$$R_1 = R_3 = 1M\Omega$$

$$R_2 = 10\text{ k}\Omega$$

$$R_4 = 50\text{ k}\Omega$$

$$R_0 = 1M\Omega$$

$$C_2 = 10\text{ nF}$$

$$C_4 = 50\text{ nF}$$

$$C_1 = 1\mu\text{F}$$

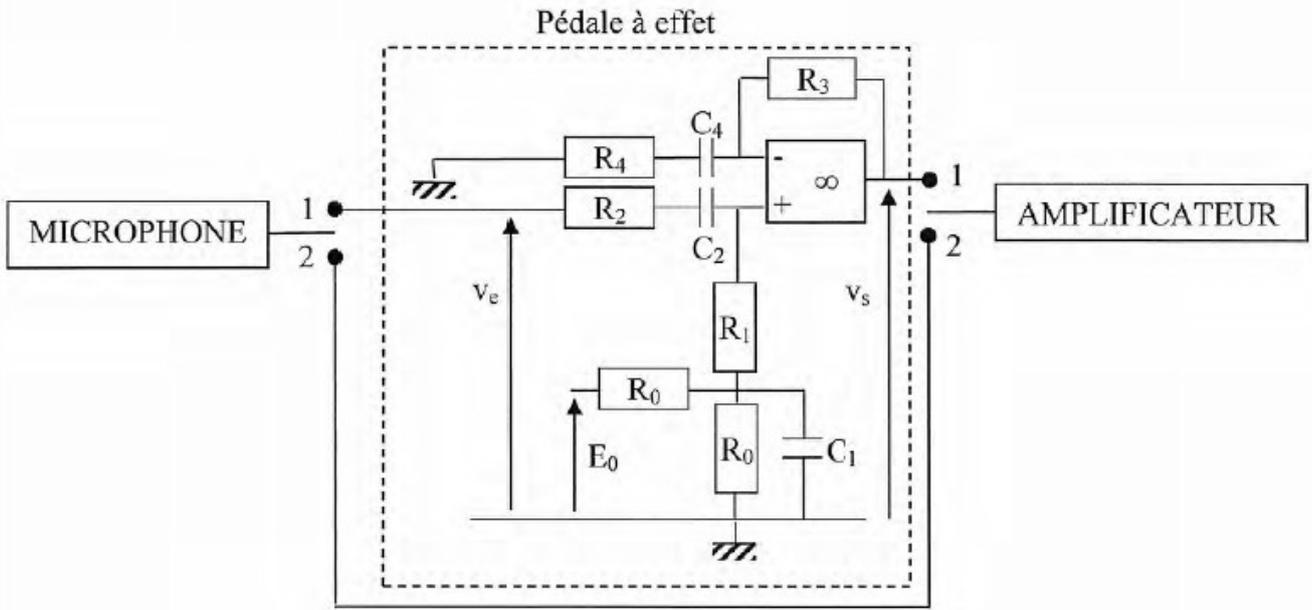


Figure III.3

On étudie cette configuration en utilisant le principe de superposition expliqué ci-après, et en supposant que l'ALI est idéal et reste en régime linéaire.

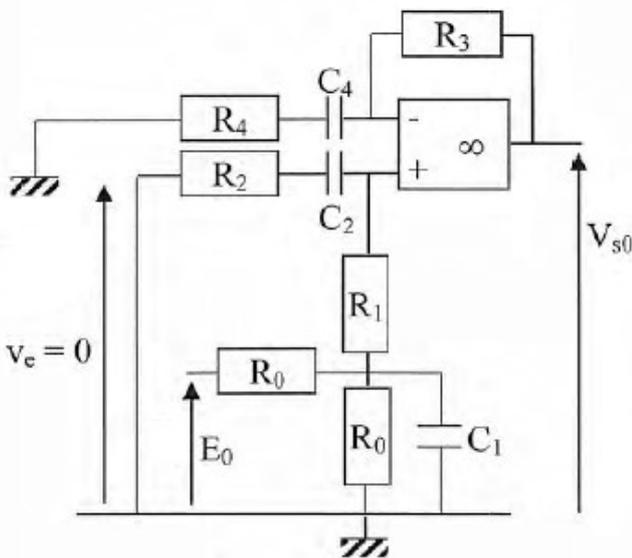


Figure III.4

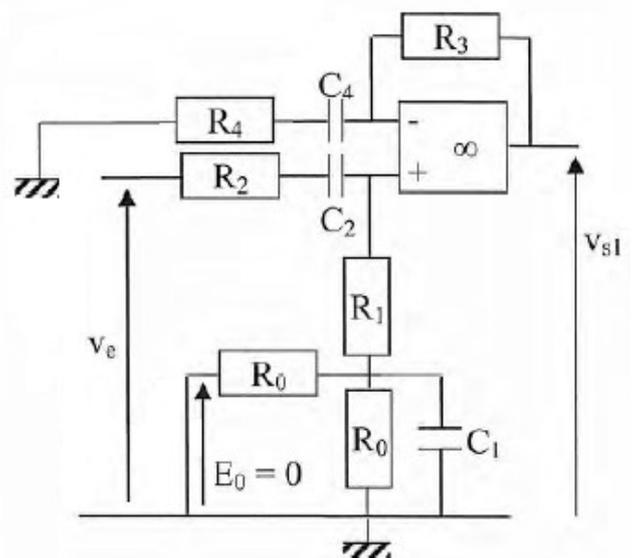


Figure III.5

1) On s'intéresse à la seule entrée E_0 , continue, la tension v_e étant court-circuitée (Figure III.4 ci-dessus).

a – Donner le schéma équivalent au circuit en régime permanent

b – Déterminer le potentiel V_{+0} de l'entrée non inverseuse de l'ALI ainsi que la tension de sortie V_{s0} dues à la seule action de E_0 .

2) On s'intéresse maintenant à la seule entrée sinusoïdale v_e de pulsation ω , la tension E_o étant court-circuitée (Figure III.5 ci-dessus).

a – Pour les fréquences sonores supérieures à 30Hz, donc pour toutes les fréquences sonores produites par la guitare, montrer que l'ensemble formée par les résistances R_o , la résistance R_1 et la capacité C_1 est équivalent à la résistance R_1 .

b – Donner l'expression du potentiel v_{+1} de l'entrée non inverseuse de l'ALI ainsi que celle de la tension de sortie v_{s1} dues à la seule action de v_e .

3) Nous admettrons le théorème de superposition : sous l'action simultanée de E_o et de v_e , on a :

$$\begin{aligned} v_s &= V_{so} + v_{s1} \\ v_+ &= V_{+o} + v_{+1} \end{aligned}$$

a – Quel est finalement le rôle des composants $2 \times R_o$, C_1 ?

b – On visualise la tension v_s à l'aide d'un oscilloscope. Qu'observe-t-on si l'oscilloscope est en mode DC ? en mode AC ?

C) Création de l'effet

L'effet créé par cette pédale est un effet de saturation. L'ALI est alimenté sous les tensions $V_{cc+} = E_o = 9V$ et $V_{cc-} = -9V$.

On suppose que dans ce cas les tensions de saturations de l'ALI sont égales à ces tensions d'alimentation.

1) Le signal musical a une amplitude de quelques centaines de mV.

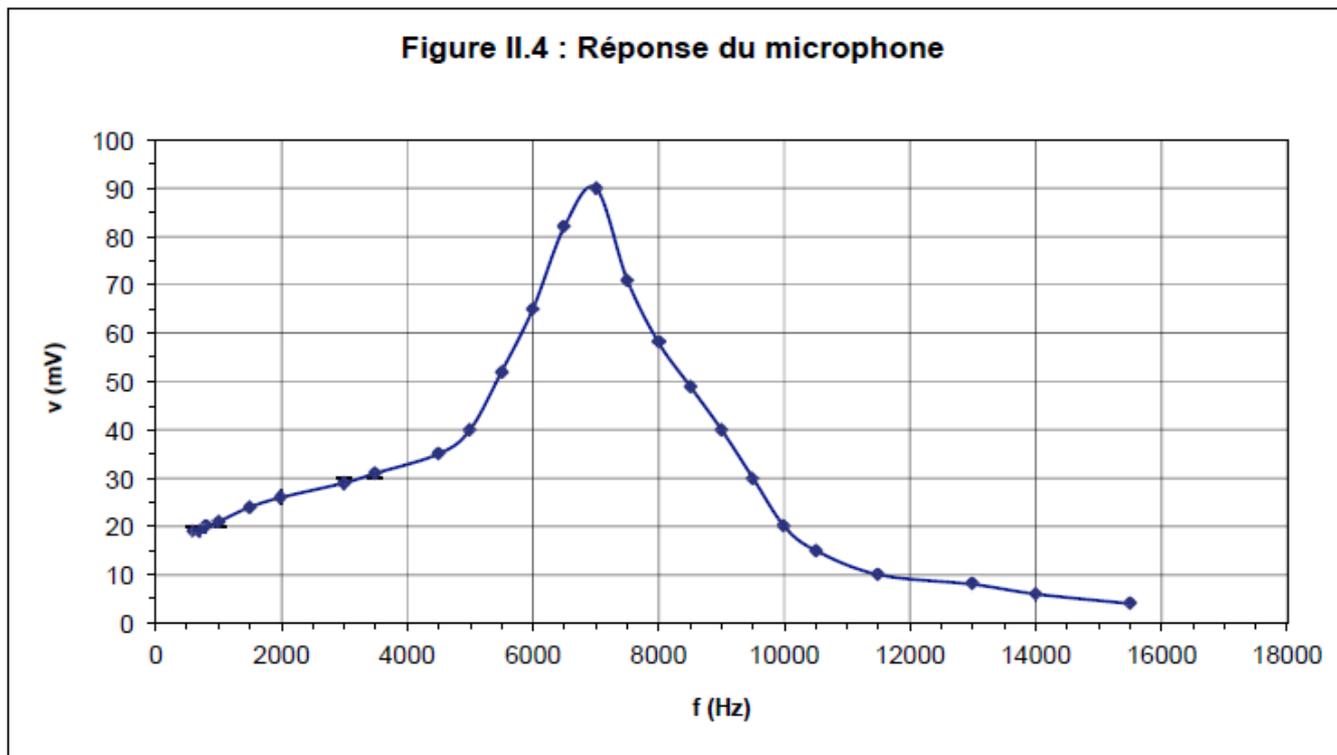
Justifier que l'on peut effectivement obtenir l'effet désiré. On pourra se contenter d'expliquer le fonctionnement pour un son de fréquence 10 kHz.

2) La résistance R_4 est en fait une résistance réglable, entre 50 et 500 k Ω . Dans quel but ?

Annexe, à rendre avec la copie

NOM :

II-B-3-e.



III-A-4.b.

Diagramme de Bode réel du filtre

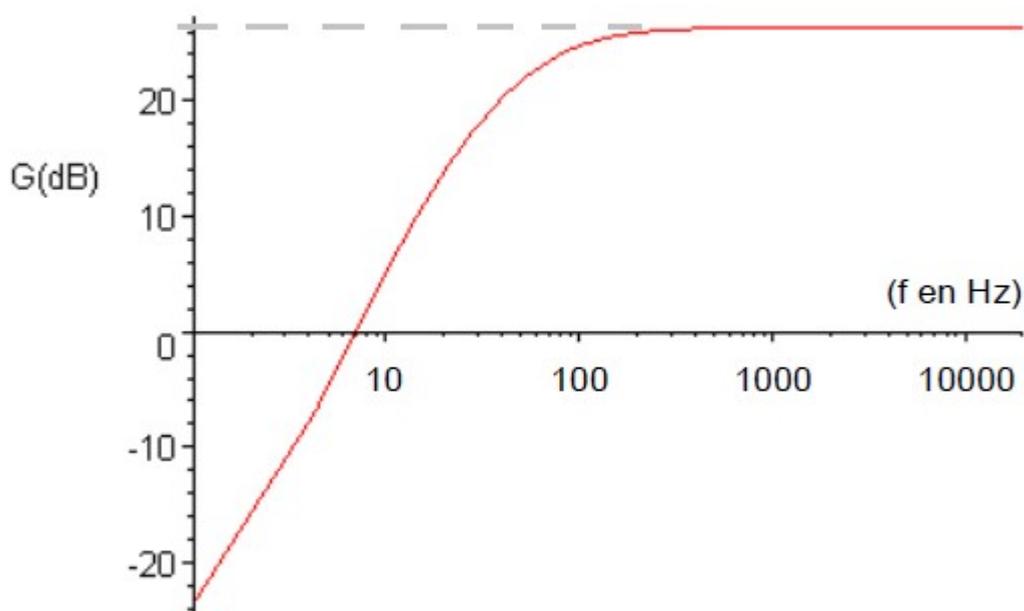


Figure III.2

Annexe, à rendre avec la copie

NOM :

III-A-3.d.γ.

