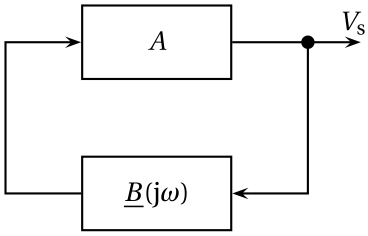
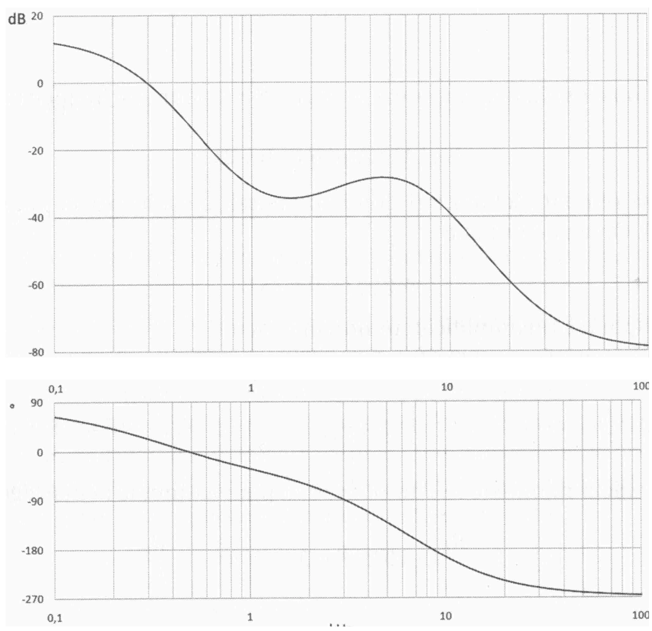
TD d'électronique n° 3 — Oscillateurs

1 — Conditions d'oscillation [*]

On souhaite réaliser un oscillateur quasi-sinusoïdal en associant un amplificateur d'amplification A, positive ou négative, et un filtre de fonction de transfert $\underline{B}(\mathrm{j}\omega)$.



On donne le diagramme de Bode associé au filtre :



On admet que l'impédance d'entrée de l'amplificateur est suffisamment grande pour qu'elle n'entraîne aucune modification du duagramme de Bode associé au filtre.

1. On veut réaliser l'oscillateur au moyen d'un amplificateur non inverseur à ALI.

Quelle sera alors la fréquence d'oscillation f_0 du montage ?

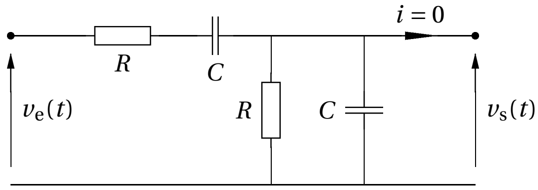
Proposer un schéma d'amplificateur en donnant des valeurs possibles pour les résistances.

2. Mêmes questions si on utilise un amplificateur inverseur.

2 — Oscillateur [*]

On considère le circuit suivant. Sa fonction de transfert est de la forme

$$\underline{H}(\mathrm{j}\omega) = \frac{H_0}{1 + \mathrm{j}Q\left(\dfrac{\omega}{\omega_0} - \dfrac{\omega_0}{\omega}\right)}.$$

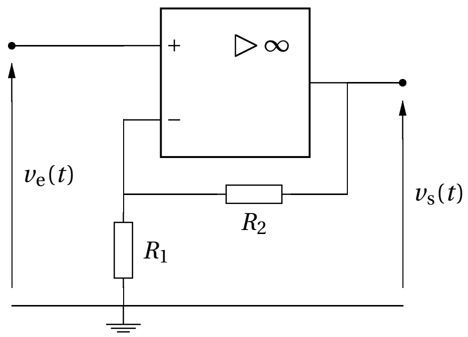


1. Montrer qu'elle est compatible avec le comportement en très haute et très basse fréquence du montage.

2. On envoie un signal sinusoïdal en entrée. Pour la fréquence $f_0 = 1{,}6$ kHz, la tension de sortie est en phase avec la tension d'entrée, et d'une amplitude trois fois plus faible. Quelles caractéristiques du filtre peut-on déterminer ? On rappelle que la bande passante Δf à -3 dB d'un tel filtre vérifie $\dfrac{\Delta f}{f_0} = \dfrac{1}{Q}$.

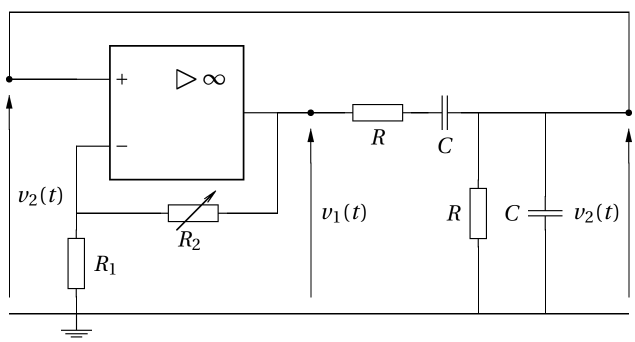
3. Le signal de sortie est déphasé de $\pm 45°$ par rapport au signal d'entrée pour les fréquences $f_1 = 0{,}48$ kHz et $f_2 = 5{,}3$ kHz. En déduire la caractéristique manquante du filtre.

4. On donne le montage suivant :



Déterminer le gain G_0 de ce circuit lorsque l'ALI est en fonctionnement linéaire. Quelle est la condition sur la tension d'entrée pour qu'il en soit ainsi ?

5. On considère maintenant le montage



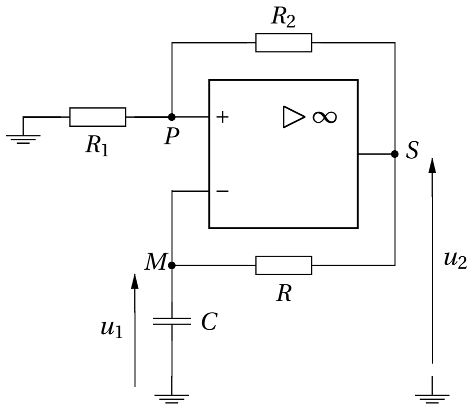
Établir l'équation différentielle vérifiée par $v_2(t)$ en considérant les deux cas : ALI linéaire, ALI non linéaire.

Pour quelle valeur G_c du gain G_0 obtient-on des oscillations harmoniques ? Quelle est leur pulsation ?

Que se passe-t-il en pratique si $G_0 > G_c$?

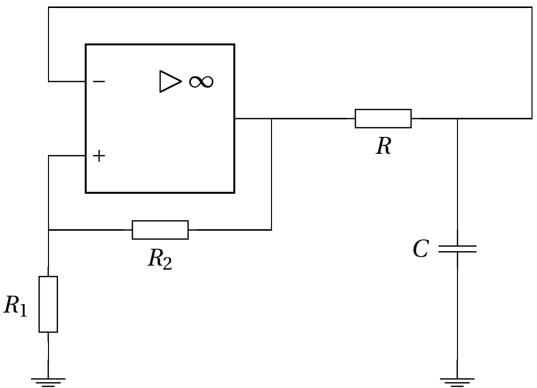
3 — Oscillateur à relaxation [*]

On considère le montage suivant, où l'on admet que l'ALI fonctionne en régime de saturation.



1. Montrer que le montage est équivalent au schéma suivant. On indiquera la position des nœuds M, P et S ainsi que les tensions u_1 et u_2.

Identifier les blocs fondamentaux d'un multivibrateur astable : comparateur à hystérésis et intégrateur. Lequel des deux blocs est inverseur ?



2. Établir la relation d'hystérésis entre u_1 et u_2. La représenter graphiquement. On notera $\pm\alpha V_{\text{sat}}$ les tensions de basculement.

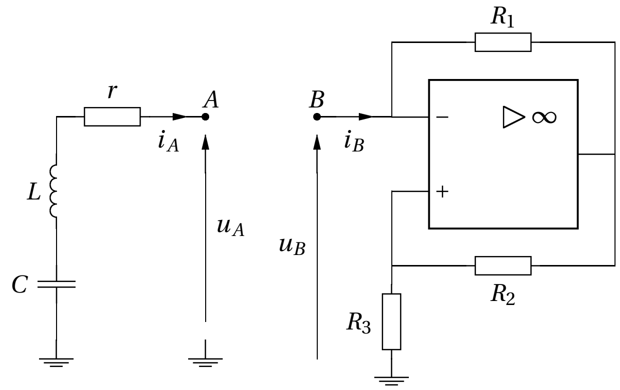
3. On suppose qu'à l'instant $t = 0$, l'ALI vient de basculer en position basse. Établir et résoudre l'équation différentielle vérifiée par $u_1(t)$. En déduire l'instant t_1 auquel l'ALI bascule en saturation haute, ce qui amorce une seconde phase.

4. On définit $t' = t - t_1$. Établir et résoudre l'équation différentielle vérifiée par $u_1(t')$ dans la seconde phase., En déduire l'instant t_2' auquel l'ALI bascule en saturation basse. À quoi correspond la troisième phase ?

5. Déterminer la période des oscillations et représenter l'allure des signaux sur quelques périodes.

4 — Oscillateur quasi-sinusoïdal [*]

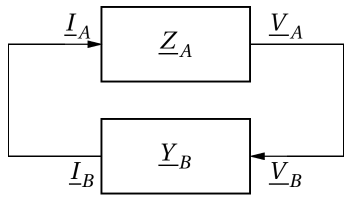
Dans le circuit suivant, les valeurs des résistances permettent *a priori* un fonctionnement linaire de l'ALI.



1. Calculer la transmittance $\underline{Y}_B = \underline{i}_B/\underline{u}_B$ lorsque le fonctionnement de l'ALI est linéaire.

2. Déterminer $\underline{Z}_A = \underline{u}_A/\underline{i}_A$.

3. Relier A et B revient à réaliser un système bouclé à partir des bloc $\underline{Z}_A$ et $\underline{Y}_B$ comme indiqué ci-après.



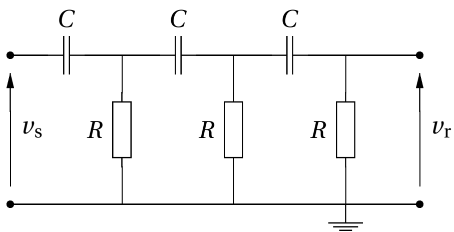
En déduire l'équation différentielle vérifiée par $v_A(t)$ lorsque l'on relie A et B.

4. Quelle est la condition pour que le circuit bouclé soit le siège d'oscillations sinusoïdales ?

5. Calculer la fréquence des oscillations.

5 — Générateur de tonalité [**]

On considère un réseau déphaseur constitué de trois cellules RC :



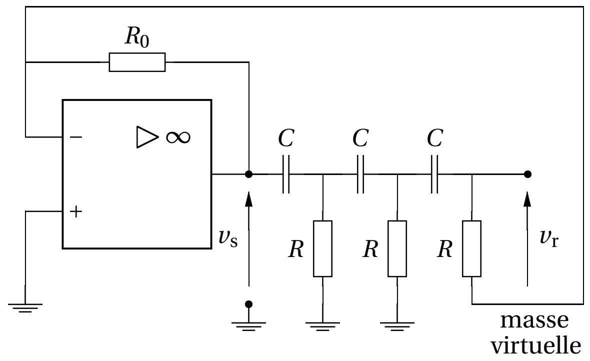
On peut établir la fonction de transfert de ce réseau :

$$\underline{B}(\mathrm{j}\omega) = \frac{(\mathrm{j}RC\omega)^3}{1 + 5\mathrm{j}RC\omega + 6(\mathrm{j}RC\omega)^2 + (\mathrm{j}RC\omega)^3}.$$

On donne $R = 3{,}14\ \mathrm{k\Omega}$.

1. Montrer qu'à la pulsation $\omega_0 = \dfrac{1}{\sqrt{6}RC}$, la fonction de transfert du réseau est réelle pure et calculer sa valeur.

On réalise un oscillateur en ajoutant un amplificateur inverseur dont la structure inclut la troisième résistance R du réseau.



2. Expliquer l'indication « masse virtuelle » notée sur le schéma.

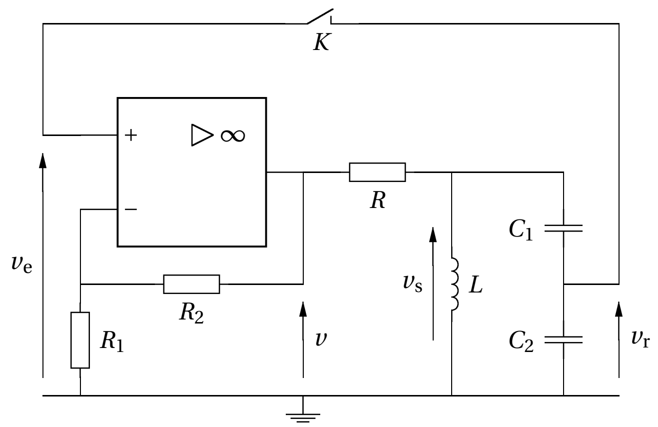
3. Exprimer le gain $A = v_s / v_r$ de l' amplificateur.

Proposer une valeur de R_0 permettant le démarrage et le fonctionnement de l'oscillateur à la pulsation ω_0.

4. On souhaite utiliser cet oscillateur pour délivrer une tonalité audio correspondant à un *la3*, c'est-à-dire une fréquence fondamentale égale à 440 Hz. Calculer la valeur à donner à la capacité C.

6 — Oscillateur à ALI [**]

Dans le montage suivant, l'ALI est considéré comme idéal.



1. L'interrupteur K est en position ouverte et on se place en régime sinusoïdal permanent à la pulsation ω.

Établir l'expression des deux transmittances complexes :

$$\underline{T}_1 = \frac{\underline{v}}{\underline{v}_e}$$

en fonction de $A = 1 + R_2/R_1$, puis

$$\underline{T}_2 = \frac{\underline{v}_r}{\underline{v}}$$

en fonction de L, R, C_1, C_2 et ω.

On pourra poser $C_{éq} = \dfrac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$.

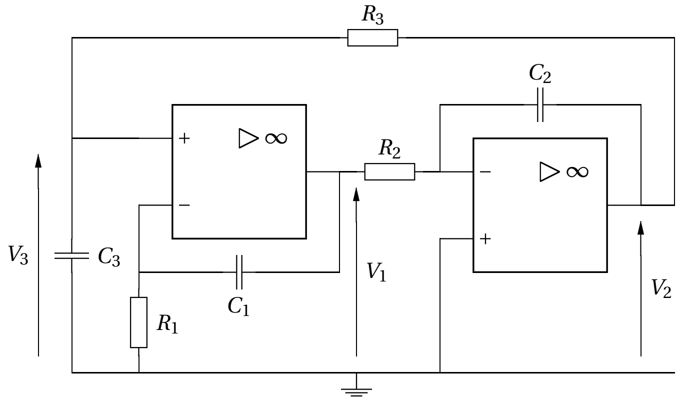
Note : pour le calcul de $\underline{T}_2$, il est possible de passer par les calculs de $\dfrac{\underline{v}_s}{\underline{v}}$ puis de $\dfrac{\underline{v}_r}{\underline{v}_s}$.

2. On ferme maintenant l'interrupteur K. Montrer que ce montage peut osciller pour une pulsation ω_0 que l'on exprimera en fonction de L et $C_{éq}$. Quelle relation doivent vérifier A, C_1 et C_2 ?

Est-il possible de prévoir l'amplitude des oscillations ? Commentez.

7 — Oscillateur sinus-cosinus [**]

On considère le montage suivant, dans lequel les ALI sont parfaits et fonctionnent en régime linéaire. On posera $\tau_i = R_i C_i$ pour i allant de 1 à 3.



1. Établir les fonctions de transfert

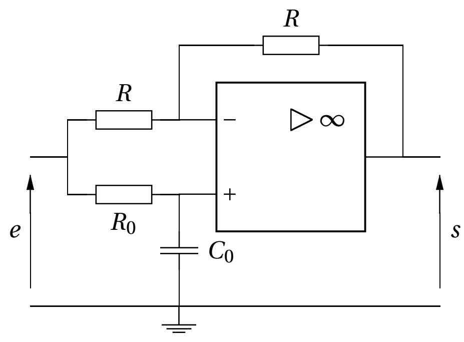
$$\underline{H}_1 = \frac{\underline{V}_1}{\underline{V}_3}, \quad \underline{H}_2 = \frac{\underline{V}_2}{\underline{V}_1} \quad \text{et} \quad \underline{H}_3 = \frac{\underline{V}_3}{\underline{V}_2}.$$

2. Établir des conditions sur les résistances et capacités pour qu'il y ait oscillations. Quelle est la pulsation des oscillations ?

3. Déterminer le déphasage entre les tensions de sortie $\underline{V}_1$ et $\underline{V}_2$. L'appellation « oscillateur sinus-cosinus » est-elle justifiée ?

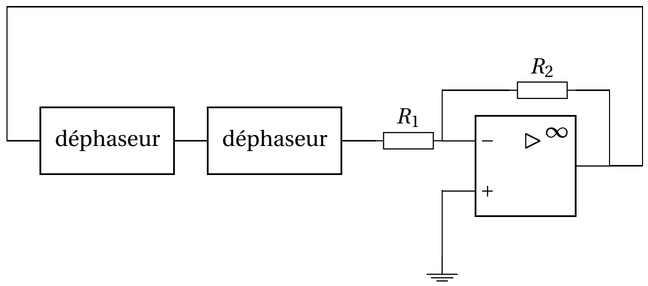
8 — Oscillateur à déphaseur [**]

1. On considère le circuit suivant, fonctionnant en régime linéaire.



Montrer qu'il s'agit d'un déphaseur. Pour quelle pulsation la sortie et l'entrée sont-elles en quadrature ?

2. On réalise ensuite le circuit bouclé suivant :



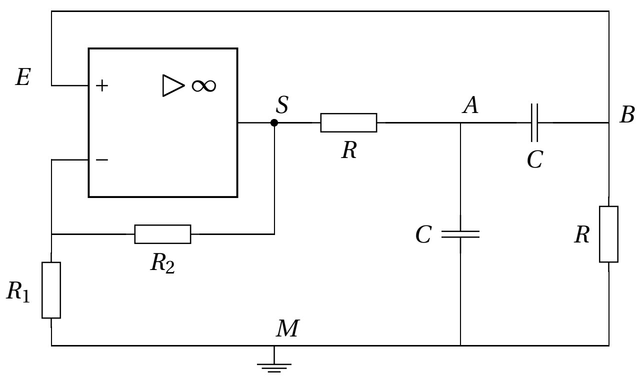
Montrer que ce circuit bouclé peut donner naissance à des oscillations pour une certaine valeur de R_2, la valeur de R_1 étant fixée. Déterminer la fréquence des oscillations.

3. Que deviennent les oscillations si R_2 est supérieure à la valeur précédente ?

---

9 — Étude d'un oscillateur [**]

On étudie le montage suivant, les potentiels étant mesurés par rapport à celui de M ($V(M) = 0$).



L'ALI est idéal, avec $V_{\text{sat}} = 15$ V. On donne $R = 1$ kΩ et $C = 1$ μF.

1. Trouver le lien entre les potentiels V_S et V_E. On posera $a = \dfrac{R_2}{R_1}$.

2. On étudie le bloc $\{S, B, M\}$.

2.a) Exprimer la fonction de transfert $\underline{H} = \dfrac{\underline{V}_B}{\underline{V}_S}$.

2.b) Tracer son diagramme de Bode en gain.

3. Les points B et E sont reliés par un fil de résistance nulle. Donner l'équation différentielle de V_E.

4. Il y aura des oscillations sinusoïdales lorsque a prend une valeur particulière a_0. Déterminer a_0.

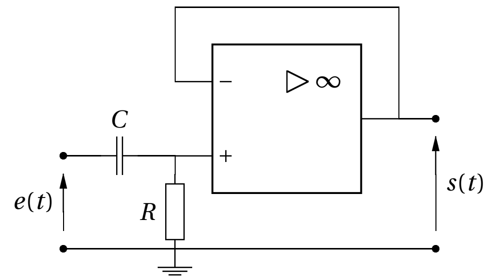
5. On fixe à présent $a = a_0 + \varepsilon$, avec $\varepsilon = 0{,}1$.

5.a) Faire les applications numériques dans l'équation différentielle de la question 3 et la résoudre sans chercher à calculer les constantes liées aux valeurs initiales.

5.b) Représenter l'allure de $V_E(t)$ en fonction de t en tenant compte des phénomènes physiques limitants.

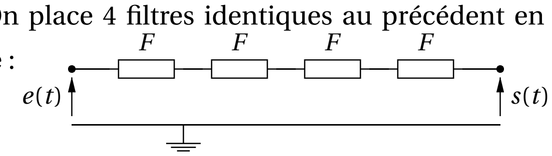
10 — Oscillateur à réseau déphaseur [***]

On considère le filtres suivant, dans lequel l'ALI est idéal, en fonctionnement linéaire :



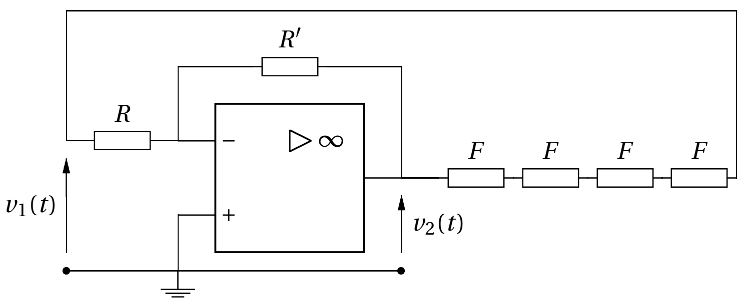
1. Déterminer sa fonction de transfert $\underline{H}(\mathrm{j}\omega)$. Quel est la nature de ce filtre ? À partir de l'examen des très basses fréquences ($\omega \to 0$) et des très hautes fréquences ($\omega \to \infty$), tracer l'allure du déphasage $\varphi(\omega)$ entre les tensions d'entrée et de sortie en régime harmonique.

2. On place 4 filtres identiques au précédent en cascade :



Quel est le rôle de l'ALI dans le filtre F ? En déduire la fonction de transfert $\underline{H}'(\mathrm{j}\omega)$ de l'ensemble.

On réalise le montage suivant, où F représente le filtre précédent.



3. Quelle relation doit vérifier $\underline{H}(\mathrm{j}\omega)$ pour que l'on puisse observer des oscillations $v_1(t)$ quasi-sinusoïdales ?
Déterminer la pulsation des oscillations et la relation que R et R' doivent vérifier.

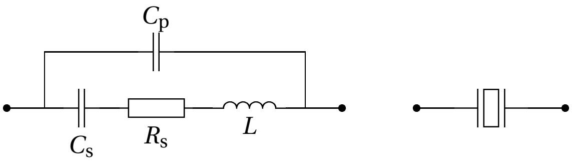
4. On donne $R = 1$ kΩ. Déterminer les valeurs de R' et C pour obtenir des oscillations quasi-sinusoïdales à la fréquence $f_0 = 10$ kHz.

5. Peut-on observer des oscillations quasi-sinusoïdales en utilisant trois filtres « F » dans le montage précédent ?
La pulsation des oscillations est-elle alors modifiée ?

---

11 — Oscillateur à quartz [***]

Les horloges ou montres dites « à quartz » utilisent les propriétés mécaniques et électriques (piézoélectricité) des cristaux de quartz dont le symbole et le schéma électrique équivalent sont donnés ci dessous.



1. En négligeant la résistance R_s pour simplifier les calculs, établir l'expression de l'impédance complexe $\underline{Z}$ du quartz.

On la mettra sous la forme « standard » en fonction de la fréquence $f = \omega/2\pi$:

$$\underline{Z}(f) = \frac{1}{jC_{éq}2\pi f}\frac{1-\frac{f^2}{f_s^2}}{1-\frac{f^2}{f_p^2}},$$

où l'on précisera les expressions de $C_{éq}$, f_s et f_p en fonction de L, C_s et C_p.

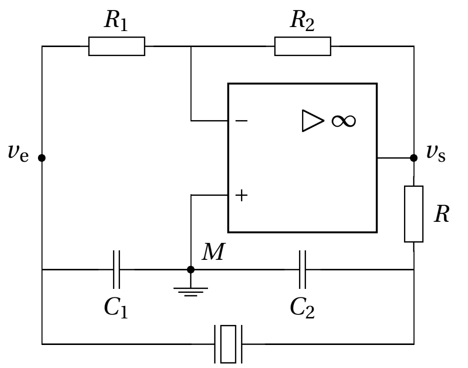
Faire l'application numérique de f_s (appelé fréquence de résonance série) et f_p (appelé fréquence de résonance parallèle) pour $L = 575$ mH, $C_s = 41{,}0273$ pF et $C_p = 5{,}86$ µF.

Les quartz utilisés en horlogerie oscillent à une fréquence $f_0 = 2^{15}$ Hz; le quartz considéré ici pourrait-il convenir?

2. En posant $\underline{Z} = jX$, préciser le signe de X en fonction de f. En déduire dans quel domaine de fréquences le quart a un comportement inductif.

3. Afin de réaliser un oscillateur, on envisage le montage suivant dans lequel l'ALI est supposé idéal et en fonctionnement linéaire, associé à un quartz dont on admet qu'il se comporte comme une inductance L connue.

Les deux tensions notées v_e et v_s sont référencées par rapport à la masse M.



3.a) Établir une relation liant $\underline{v}_s$ et $\underline{v}_e$ avec le rapport R_1/R_2.

3.b) On néglige le courant traversant R_1. Établir alors :

$$\frac{\underline{v}_e}{\underline{v}_s} = \frac{1}{1 + jR(C_1+C_2)\omega - LC_1\omega^2 - jRLC_1C_2\omega^3}.$$

3.c) En déduire que ces deux relations ne peuvent être vérifiées simultanément qu'à deux conditions :

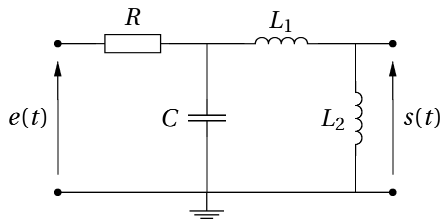
— l'une sur la fréquence f ;

— l'autre sur une relation entre R_2/R_1 et C_2/C_1.

Conclure.

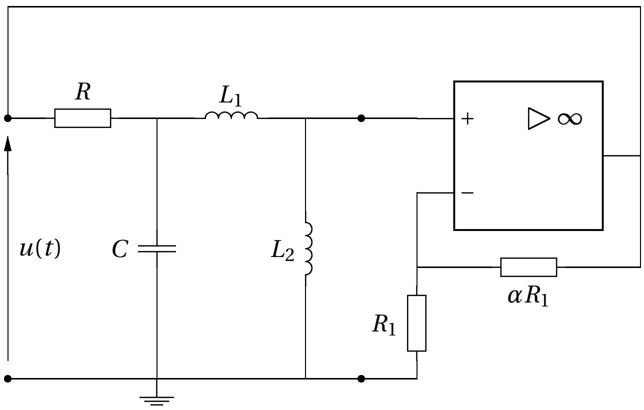
12 — Oscillateur de Hartley [***]

1. On donne le filtre de Hartley :



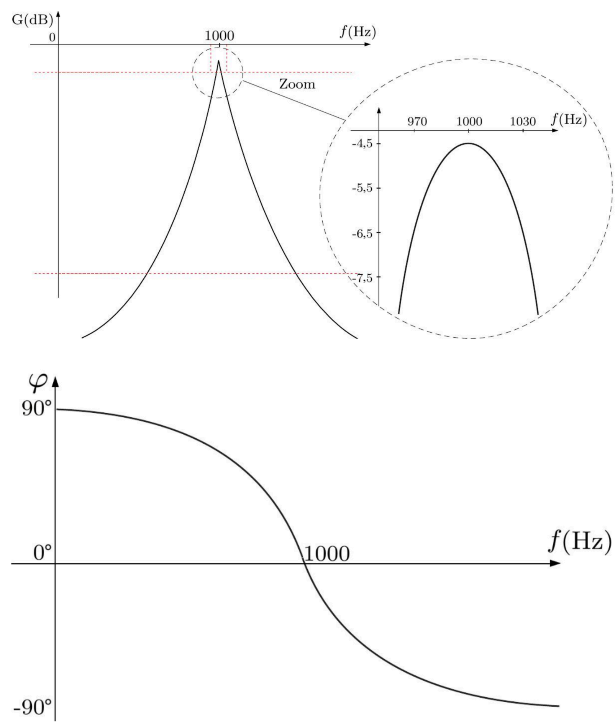
Après avoir déterminé la nature du filtre sans calcul, exprimer sa fonction de transfert $\underline{H}(j\omega) = \dfrac{\underline{s}}{\underline{e}}$.

2. On considère le montage suivant :



À quelle(s) condition(s) le montage se comporte-t-il comme un oscillateur?

3. On donne le diagramme de Bode du filtre de Hartley.



Déterminer la valeur de α pour qu'il y ait des oscillations sinusoïdales. Quelle serait leur fréquence?