Partie I : Électronique
Chapitre 2

TD – Oscillateurs électroniques

Remarque : exercice avec ⋆ : exercice particulièrement important, à maîtriser en priorité (de même que les exemples de questions de cours des “ce qu'il faut savoir faire”) | [• ◦ ◦] : difficulté des exercices

I Vrai-faux / questions courtes ⋆ | [• ◦ ◦]

1 - Les oscillateurs électroniques vus en cours oscillent indéfiniment ? Si oui, comment est-ce possible ?

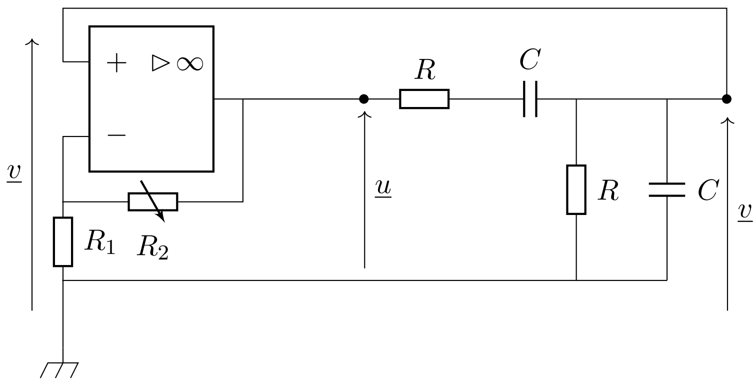
2 - Par quoi est fixée l'amplitude des oscillations dans un oscillateur quasi-sinusoïdal ?

3 - Pour faire fonctionner un oscillateur quasi-sinusoïdal, pourquoi est-il pertinent de choisir le gain de l'amplificateur juste au-dessus du seuil ?

4 - (V/F) Lorsque A est au-dessus du seuil, un oscillateur quasi-sinusoïdal oscille toujours à la même pulsation ω_0 indépendemment de A.

II Oscillateur de Wien ⋆ | [• ◦ ◦]

Remarque : Il s'agit de l'exemple vu dans le I du cours. Il est formulé ici sous forme d'exercice, et il est essentiel de savoir le faire parfaitement.



On considère l'oscillateur de Wien, dont le circuit est donné ci-dessus. On donne les fonctions de transfert de chacun des deux blocs :

$$\underline{H}_{\text{ampli}} = \frac{\underline{u}}{\underline{v}} = 1 + \frac{R_2}{R_1} = A, \quad \text{et} \quad \underline{H}_{\text{filtre}} = \frac{\underline{v}}{\underline{u}} = \frac{H_0}{1 + \mathrm{j}Q\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)}, \quad \begin{cases} \omega_0 = 1/(RC) \\ H_0 = Q = 1/3 \end{cases}$$

1 - Sur ce schéma, repérer le bloc “amplificateur” et le bloc “filtre passe bande”.

2 - En restant en formalisme complexe, donner une condition sur R_2 et ω pour avoir des oscillations purement sinusoïdales.

3 - On effectue ensuite l'étude dans le domaine temporel.

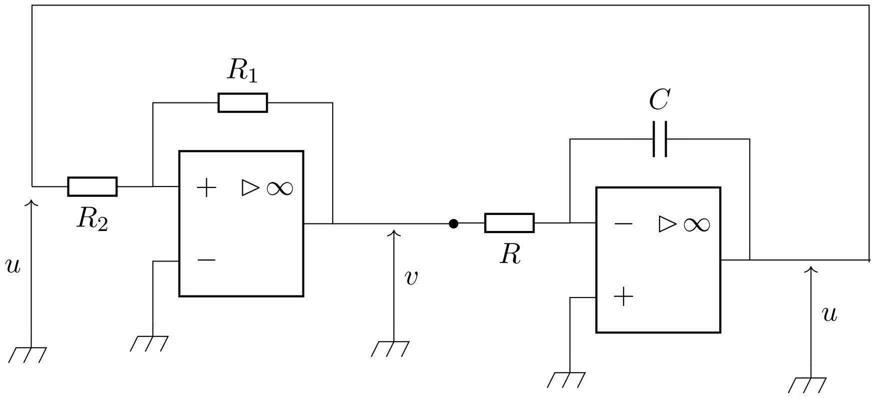
- **a -** En partant des fonctions de transfert, donner l'équation différentielle suivie par la tension $v(t)$ uniquement. On fera apparaître ω_0 et A dans cette équation, sans remplacer par leurs expressions.
- **b -** Donner alors un critère portant sur A pour que les oscillations démarrent.
- **c -** Tracer l'allure de $v(t)$ lorsque A vérifie ce critère. On prendra $v(0) = 0$.

d - Quel phénomène va faire saturer les oscillations ? Comment choisir A pour que le signal soit le plus pur possible ?

Remarque : Il faut également être capable de retrouver les expressions des fonctions de transfert $\underline{H}_{\text{ampli}}$ et $\underline{H}_{\text{filtre}}$.

III Multivibrateur astable ★ | [● ○ ○]

Remarque : Il s'agit de l'exemple vu dans le II du cours. Il est formulé ici sous forme d'exercice, et il est essentiel de savoir le faire parfaitement.



On étudie le multivibrateur astable dont le circuit est donné ci-dessus. Il est constitué d'un comparateur à hystérésis non inverseur, et d'un intégrateur inverseur.

On donne les valeurs des seuils de basculement de l'hystérésis : $E_+ = \dfrac{R_2}{R_1} V_{\text{sat}}$ et $E_- = -E_+$. On prendra $R_1 = 2R_2$.

On donne également la fonction de transfert du bloc intégrateur : $\underline{H}_{\text{int}} = -\dfrac{1}{\text{j}\tau\omega}$ avec $\tau = RC$.

1 - **a -** Identifier chacun des deux blocs sur le schéma du circuit.

b - Tracer l'allure de la caractéristique entrée-sortie du montage à hystérésis.

c - Donner la relation entre u et v dans le régime temporel.

2 - On suppose par exemple que à $t = 0$, le montage est dans l'état $v = V_{\text{sat}}$ et $u = E_+$.

a - Situer ce point de départ sur la caractéristique du montage à hystérésis.

b - Donner alors l'expression de $u(t)$.

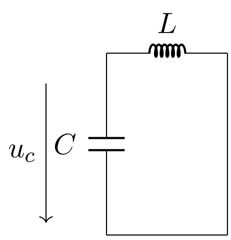
c - Justifier que l'hystérésis va finir par basculer. Donner l'expression du temps au bout duquel il bascule.

d - Tracer enfin la séquence de fonctionnement de l'oscillateur (tracé de $u(t)$ et $v(t)$ sur un même graphique).

3 - Donner l'expression de la période des oscillations en fonction de τ.

IV Oscillateur quasi-sinusoïdal à résistance négative [● ○ ○]

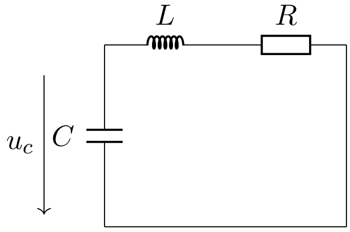
On étudie ici un autre exemple d'oscillateur quasi-sinusoïdal. Pour en comprendre le principe, on considère d'abord un circuit LC.



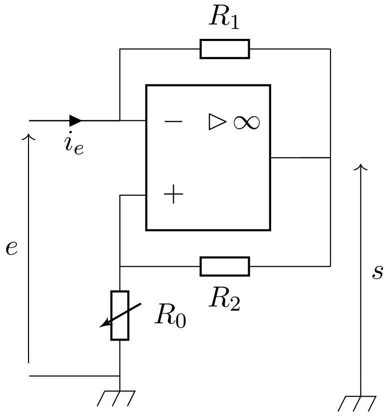
1 - Donner l'équation différentielle suivie par la tension u_c aux bornes du condensateur. On posera $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$.

2 - Donner la solution de cette équation pour une condition initiale où $u_c(t = 0^-) = u_0$ et $i(t = 0^-) = 0$.

En pratique, les oscillations que l'on obtient ne durent pas indéfiniment : elles sont amorties et on a rapidement $u_c = 0$. Ceci est dû à la résistance du circuit, notamment la résistance de la bobine. Le circuit est donc celui ci-contre.



Pour compenser les pertes causées par la résistance R, il faudrait une sorte de "résistance négative", c'est-à-dire un dipôle dont la caractéristique est $u = -R_N i$.
Si l'on prend ensuite R_N supérieure à R, on s'attend à compenser les pertes dues à la résistance R.

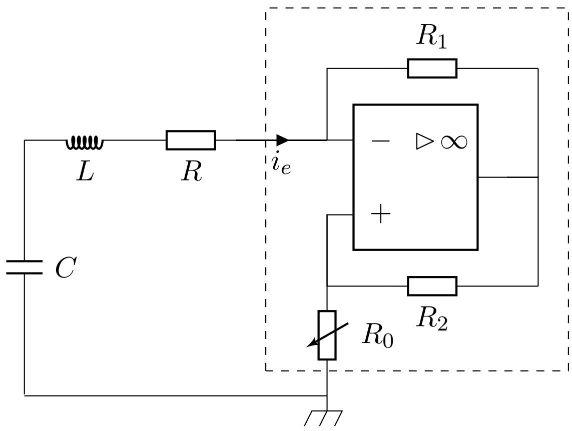


Étudions justement le dipôle représenté à gauche. On suppose que l'ALI est idéal. Comme on étudie le démarrage des oscillations, les signaux sont faibles et on suppose que pour de tels signaux il fonctionne en régime linéaire.

3 - Établir la relation entre e et i_e. On posera $R_N = R_1 R_0 / R_2$.

4 - Le dipôle répond-il au cahier des charges ?

On réalise donc finalement le montage ci-dessous :



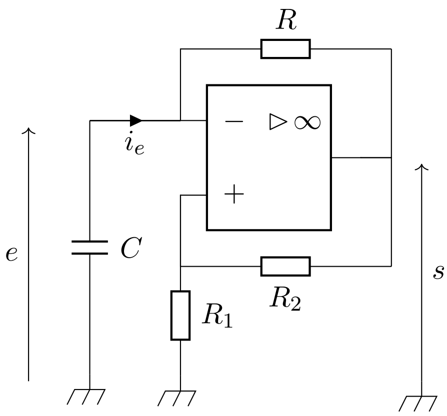
5 - Établir l'équation différentielle vérifiée par la tension aux bornes du condensateur.

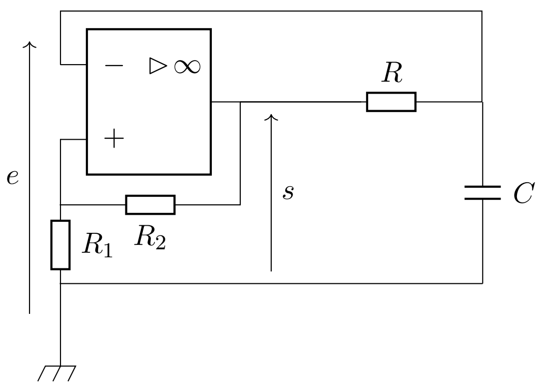
6 - Quelle est la condition pour avoir des oscillations auto-entretenues ? Quelle est la condition pour avoir des oscillations auto-entretenues et quasi-sinusoïdales ? Quelle est alors leur pulsation ?

7 - Qu'est ce qui va finir par limiter la croissance de l'amplitude des oscillations ?

V Multivibrateur astable compact [● ● ○]

On considère le montage ci-dessous. Les deux schémas sont équivalents, mais le second se prête mieux à une analyse par bloc. On indique que l'ALI fonctionne en régime saturé, et on utilise le modèle idéal.





1 - Êtes-vous convaincus que les deux schémas sont équivalents ?

2 - Diviser le montage en deux blocs et dessiner le schéma fonctionnel.

3 - On indique que l'un des deux blocs est un comparateur à hystérésis inverseur. Rappeler le tracé de sa caractéristique $s = f(e)$. On donne les tensions seuils : $V_0 = V_{\text{sat}} \dfrac{R_1}{R_1 + R_2}$ et $-V_0$.

4 - On étudie maintenant le second bloc.

- **a -** Calculer la fonction de transfert du second bloc.
- **b -** En déduire, pour le second bloc, l'équation différentielle liant $e(t)$ à $s(t)$. On introduira $\tau = RC$.
- **c -** Donner la solution en supposant que $s = +V_{\text{sat}}$ et que à $t = 0$ on a $e = -V_0$. Tracer l'allure de la solution.
- **d -** Donner sans calcul l'allure de la solution dans le cas où $s = -V_{\text{sat}}$ et $e(t = 0) = +V_0$ (où faites le calcul si besoin).

5 - On étudie enfin le montage complet.

- **a -** Décrire qualitativement l'évolution de $s(t)$ et de $e(t)$ lors du fonctionnement, et réaliser un tracé dans le cas où à $t = 0$ on a $e = -V_0$ et $s = +V_{\text{sat}}$.
- **b -** Calculer la période des oscillations.

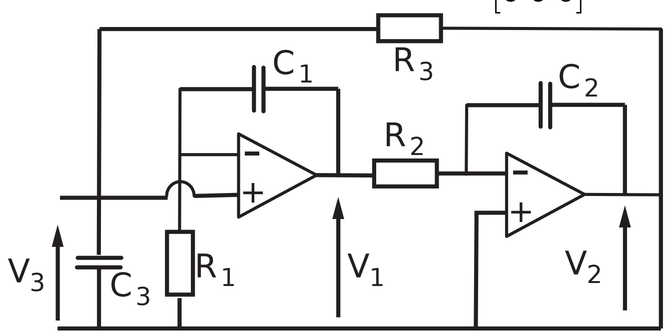
VI Limite en fréquence d'un oscillateur utilisant un ALI [● ● ○]

1 - Rappeler ce qu'est le "slew rate" ou vitesse limite de balayage sur un ALI. Dans la suite on le prendra égal à $15\,\text{V} \cdot \mu\text{s}^{-1}$.

2 - On considère par exemple l'oscillateur astable vu en cours. Sa fréquence est donnée par $f = \dfrac{R_2}{4R_1RC}$. Quelle est la valeur maximale de fréquence que l'on peut espérer atteindre ?

VII Oscillateur sinus-cosinus [● ● ○]

Oral banque PT 2017



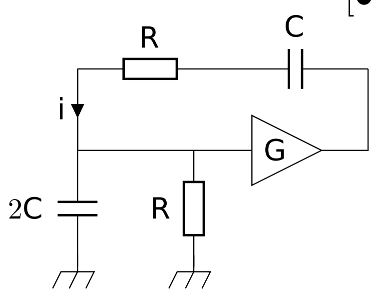
On considère le circuit ci-contre. On utilise le modèle idéal pour décrire les deux ALI. On posera $\tau_1 = R_1C_1$, $\tau_2 = R_2C_2$, $\tau_3 = R_3C_3$.

1 - Établir l'expression des fonctions de transfert $\underline{H}_1 = \dfrac{\underline{v_1}}{\underline{v_3}}$, $\underline{H}_2 = \dfrac{\underline{v_2}}{\underline{v_1}}$, $\underline{H}_3 = \dfrac{\underline{v_3}}{\underline{v_2}}$.

2 - Donner les conditions que doivent vérifier les valeurs des résistances et capacités pour qu'il y ait oscillations sinusoïdales. Donner alors la pulsation des oscillations.

3 - Déterminer le déphasage entre les tensions v_1 et v_2. Peut-on alors justifier le nom du montage ?

VIII Oscillateur en courant [● ● ●]



On considère le circuit ci-contre. Le bloc G représente un amplificateur de tension, qui multiplie sa tension d'entrée par un facteur G. On supposera que son impédance d'entrée est infinie.

1 - Que peut-on dire du courant d'entrée de l'amplificateur G ?

2 - Montrer que le courant i suit l'équation différentielle suivante : $\dfrac{\mathrm{d}^2 i}{\mathrm{d}t^2} + \dfrac{4 - G}{2RC}\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} + \dfrac{1}{2(RC)^2}\, i = 0.$

3 - Donner la condition sur le gain G pour qu'il y ait démarrage des oscillations.

Si les oscillations sont purement sinusoïdales, quelle est leur pulsation ?