TP E5 : OSCILLATEUR QUASI-SINUSOÏDAL A RETROACTION

<u>Capacités exigibles</u> : Réaliser un oscillateur quasi-sinusoïdal et mettre en évidence la distorsion harmonique des signaux par une analyse spectrale.

Un oscillateur est un montage dans lequel apparaissent des oscillations, sans que l'on injecte de signal d'entrée.

Pour comprendre ce qu'est un oscillateur à rétroaction, partons d'un exemple connu dans le domaine acoustique : l'effet LARSEN. Quand un microphone est placé trop près d'une enceinte acoustique, on entend un sifflement. L'enceinte émet un sifflement, qui est filtré (atténué et déformé) lors de sa propagation dans l'air et lors de sa conversion en tension par le microphone. Le signal électrique obtenu est réinjecté dans l'amplificateur qui l'amplifie et l'applique à l'enceinte. Si, après le parcours de cette boucle, l'enceinte délivre un sifflement de niveau suffisant, ce dernier peut être entretenu, ou même amplifié, par ce mécanisme dit de rétroaction. Le montage réalise un oscillateur (non sinusoïdal) à rétroaction.

I) Principe d'un oscillateur quasi-sinusoïdal à rétroaction :

1) Schéma d'un oscillateur quasi-sinusoïdal à rétroaction :

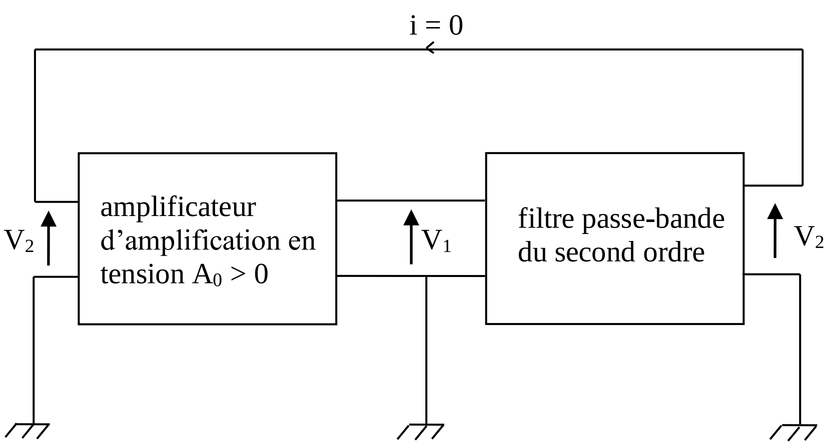
Un oscillateur quasi-sinusoïdal à rétroaction contient les deux éléments de circuit suivants :

- *<u>un montage amplificateur</u>*, d'impédance d'entrée infinie et d'impédance de sortie faible, vérifiant $V_1 = A_0 V_2$, avec A_0 une constante réelle positive. L'amplificateur peut être réalisé à l'aide d'un montage amplificateur non inverseur à amplificateur opérationnel, fonctionnant en régime linéaire.

- *<u>un filtre passe-bande du deuxième ordre</u>*, de fonction de transfert $\underline{H}(\omega)$, de pulsation de résonance ω_0. A la pulsation de résonance ω_0, les tensions V_1 et V_2 sont en phase :

$$V_2 = H_0 V_1, \text{ avec } H_0 = \underline{H}(\omega_0) \text{ réel positif.}$$

La sortie du filtre passe-bande du deuxième ordre est alors reliée à l'entrée du montage amplificateur, et la sortie du montage amplificateur est reliée à l'entrée du filtre passe-bande du deuxième ordre. On dit qu'il y a rétroaction.



2) Conditions théoriques d'auto-oscillation sinusoïdale :

Imaginons qu'à t = 0, une microtension (provenant du « bruit ») éphémère mais sinusoïdale, à la pulsation de résonance du filtre passe-bande du deuxième ordre ω_0, d'amplitude V_{2m}, soit appliquée à l'entrée du montage amplificateur. L'amplitude V_{2m} étant faible, l'amplificateur fonctionne en régime linéaire. Ce dernier délivre alors une tension $A_0 V_2$ à l'entrée du filtre qui fournit, à son tour, une tension d'amplitude $V'_{2m} = H_0 A_0 V_{2m}$ à l'entrée de l'amplificateur.

Trois cas peuvent se présenter :

- *1er cas :* $V'_{2m} < V_{2m}$. L'amplitude V'_{2m} est insuffisante pour maintenir une tension $V_2(t)$ non nulle. La tension $V_2(t)$ va s'amortir.

- *2ème cas :* $V'_{2m} = V_{2m}$. Comme $H_0 A_0 = 1$, les tensions V_2 et V'_2 sont en phase et ont même amplitude. Le signal V'_2 peut se substituer à la tension V_2 après disparition de cette dernière. Le signal $V_2(t)$ est auto-entretenu.

- *3ème cas :* $V'_{2m} > V_{2m}$. L'amplitude du signal va augmenter, jusqu'à provoquer la saturation de l'amplificateur.

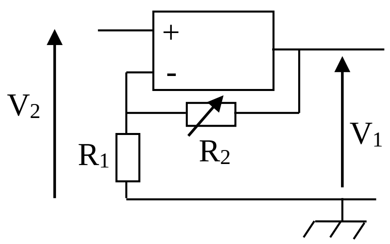
En conclusion, nous pouvons envisager des oscillations sinusoïdales auto-entretenues dans les conditions suivantes :
- *la fréquence des oscillations est la fréquence de résonance f_0 du filtre passe-bande du deuxième ordre.*
- *le produit du gain de l'amplificateur par celui du filtre à cette fréquence est égal à 1 :* $H_0 A_0 = 1$.

Expérimentalement, on choisira $H_0 A_0$ très légèrement supérieur à 1, de telle sorte que l'amplitude des oscillations soit stabilisée par la saturation de l'amplificateur opérationnel (rôle des non linéarités).

II) Etude théorique de l'oscillateur quasi-sinusoïdal à pont de Wien :

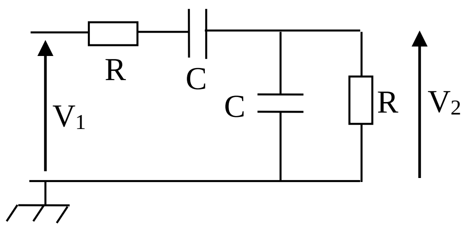
Nous allons maintenant faire une étude théorique plus poussée, sur l'exemple de l'oscillateur quasi-sinusoïdal à pont de Wien.

1) Montage amplificateur non inverseur :



Etablir la relation entre V_1 et V_2. On posera $A_0 = 1 + \frac{R_2}{R_1}$ le gain en tension de l'amplificateur non inverseur.

2) Filtre à pont de Wien :



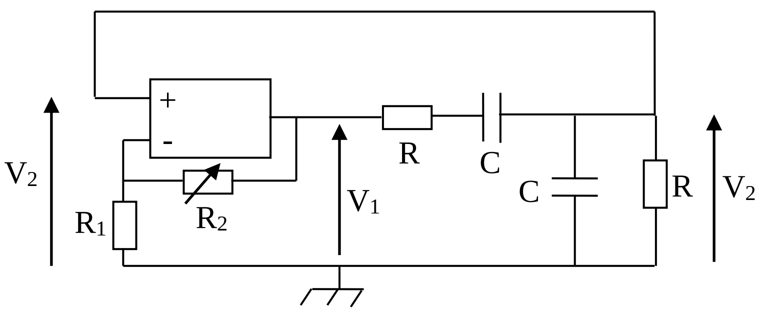
Montrer que la fonction de transfert du filtre à pont de Wien a la forme suivante :

$$\underline{H} = \frac{H_0 \frac{jx}{Q}}{1 + \frac{jx}{Q} - x^2} \qquad \text{avec } x = \frac{\omega}{\omega_0} \ ; \ \omega_0 = \frac{1}{R\,C} \quad ; \ H_0 = Q = \frac{1}{3}$$

C'est donc un filtre passe-bande du deuxième ordre de pulsation de résonance $\omega_0 = \frac{1}{R\,C}$.

3) Oscillateur quasi-sinusoïdal à pont de Wien :

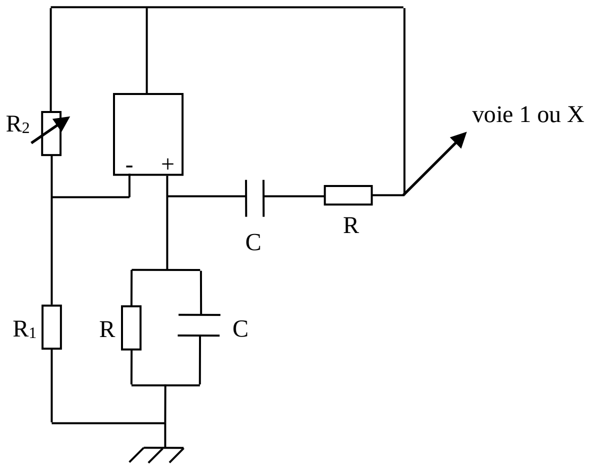
La sortie du filtre à pont de Wien est reliée à l'entrée de l'amplificateur non inverseur, et la sortie de l'amplificateur non inverseur est reliée à l'entrée du filtre à pont de Wien. Ce dernier réalise une boucle de rétroaction. Ce montage constitue dans certaines conditions un oscillateur, c'est-à-dire un dispositif fournissant un signal (ici électrique) sinusoïdal. Nous allons déterminer les conditions théoriques (gain et fréquence) d'auto-oscillation sinusoïdale de cet oscillateur.



a) Déterminer l'équation différentielle vérifiée par les tensions V_1 et V_2.
b) Etudier les solutions de cette équation différentielle selon les valeurs de A_0.
c) Pour quelle valeur de A_0 a-t-on des oscillations sinusoïdales ? Que vaut alors R_2 ? Et quelle est la fréquence des oscillations ? A quoi correspond cette fréquence ?
d) Pour quelles valeurs de A_0 le système est-il instable ? Ce résultat est-il en accord avec votre cours ?
e) Quelle inégalité doit vérifier le gain A_0 de l'amplificateur afin d'assurer le démarrage des oscillations ? Même question pour R_2.
f) Qu'est-ce qui limite physiquement l'amplitude des oscillations ? Comprendre le rôle des non linéarités dans la stabilisation de l'amplitude des oscillations.
g) Pourquoi cet oscillateur est-il qualifié de « quasi-sinusoïdal » ?
h) D'où vient l'énergie nécessaire à l'apparition des oscillations ?
i) Déterminer directement, en utilisant la notation complexe, la fréquence des oscillations, ainsi que la condition sur le gain A_0 de l'amplificateur.

III) Etude expérimentale de l'oscillateur quasi-sinusoïdal à pont de Wien :

Constater que le montage suivant est identique au montage précédent. Réaliser ce montage.

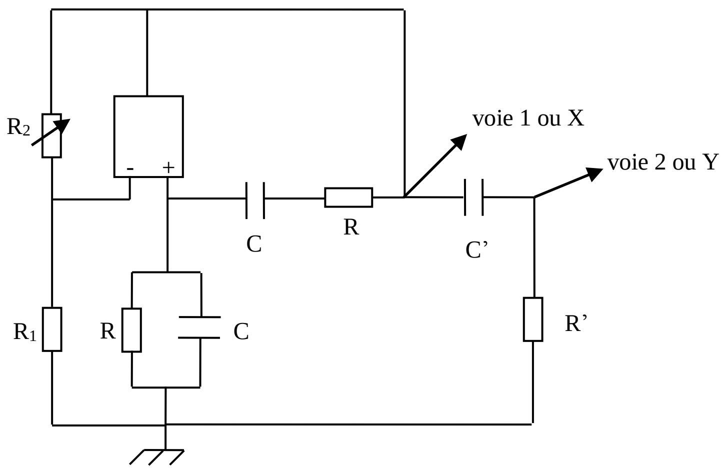


On prendra $R = 10\ k\Omega$; $C = 100\ nF$; $R_1 = 1{,}0\ k\Omega$ et R_2 une résistance variable.

1) Décrire ce que vous observez en voie 1 à l'oscilloscope en faisant varier la valeur R_2 de la résistance.
2) Pour quelle valeur de R_2 (notée R_{2min}) observe-t-on un signal V_e ayant une allure sinusoïdale ? Comparer cette valeur à la valeur théorique.
3) Pour $R_2 = R_{2min}$, mesurer la fréquence des oscillations. La comparer avec la fréquence f_0.
4) Donner ensuite à R_2 une valeur nettement plus élevée que R_{2min} : par exemple $3{,}0\ k\Omega$. Commenter et déterminer la fréquence des oscillations. Comparer à la fréquence théorique.
5) Pour différentes valeurs de R_2, faire une analyse spectrale des signaux obtenus grâce à la fonction FFT de l'oscilloscope numérique. Mettre en évidence la distorsion harmonique des signaux. Constater que le signal est d'autant plus pur que la durée de saturation est petite devant la période.

IV) Obtention d'un portrait de phase :

L'utilisation des portraits de phase (tracé de la dérivée $\frac{dx}{dt}$ en fonction de x) apporte des renseignements précieux sur les grandeurs physiques, en particulier dans le cas d'une évolution chaotique ou dans le cas d'une évolution quasi-sinusoïdale.



1) Pourquoi en mode XY obtient-on le portrait de phase $\left(V_1, \frac{dV_1}{dt}\right)$? Les valeurs choisies ($C' = 1{,}0\ nF$ et $R' = 10\ k\Omega$) conviennent-elles ? On détaillera le raisonnement suivi.
2) Observer les portraits de phase avec les valeurs de R_2 utilisées précédemment ($R_2 = R_{2min}$ et $R_2 = 3{,}0\ k\Omega$). Conclure.