

TP N° 29 : ETUDE D'UN OSCILLATEUR QUASI-SINUSOÏDAL

I. Principe.

Le but de ce TP est de montrer qu'il est possible de réaliser un oscillateur quasi-sinusoidal avec un circuit (r,L,C) série et une « résistance négative » $-R'$ (figure 1 ou 2), à condition que R' soit légèrement supérieure à r .

Figure 1 :

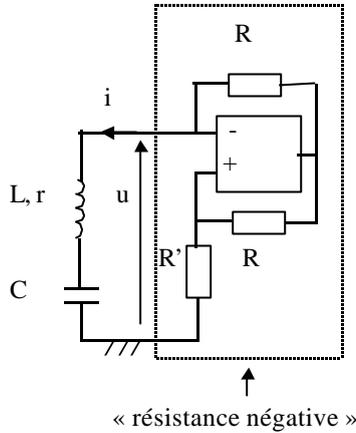
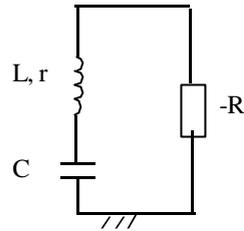


Figure 2 : schéma équivalent :



1. Dipôle à effet de résistance négative.

En considérant l'A.O. idéal, montrer qu'en régime linéaire $u = R' i$ (figure 1) et expliquer l'appellation de « résistance négative », justifier ainsi le schéma équivalent (figure 2).

2. Etude théorique.

On établit facilement, en régime linéaire, l'équation différentielle :

$$\ddot{u}_c + \frac{r-R'}{L} \dot{u}_c + \frac{1}{LC} u_c = 0.$$

Soit $\ddot{u}_c + \frac{\omega_0}{Q} \dot{u}_c + \omega_0^2 u_c = 0$ où la pulsation propre est $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ et le facteur de qualité est $Q = \frac{1}{r-R'} \sqrt{\frac{L}{C}}$.

Rappelons le principe de la naissance et de la stabilisation des oscillations pour R' légèrement supérieur à r :

- la naissance des oscillations est assurée par un déséquilibre initial,
- ces oscillations sont amplifiées tant que l'A.O. fonctionne linéairement ($Q < 0$),
- puis l'A.O. sature et on a une succession d'amortissement et d'amplification, bien représentée par le modèle de Van der Pol, assurant la stabilisation des oscillations.

On pourra se reporter aussi au cours de mécanique chapitre VI : Oscillateurs ; paragraphe V : Oscillateur auto-entretenu.

II. Etude de la naissance des oscillations.

Il s'agit d'un régime transitoire qu'on ne peut observer qu'à l'oscilloscope à mémoire ou à l'ordinateur. C'est cette deuxième méthode que nous utilisons ici, à l'aide du logiciel Synchronie.

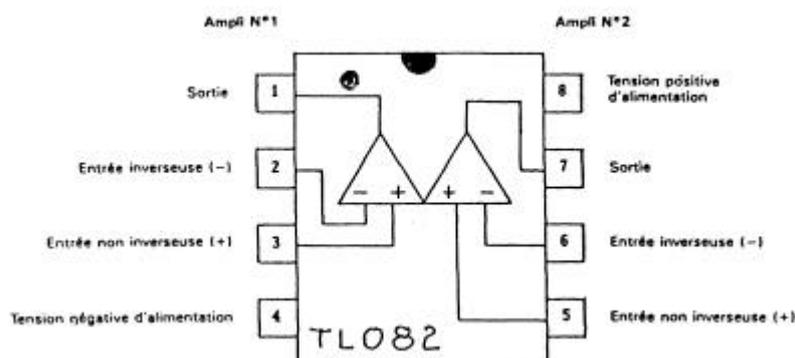
1. Réalisation du montage.

Commencer par réaliser la « résistance négative ». Deux A.O. étant nécessaires pour le montage du IV, on utilisera ici un des étages de « l'A.O. double » TL082 dont le brochage est rappelé ci-après.

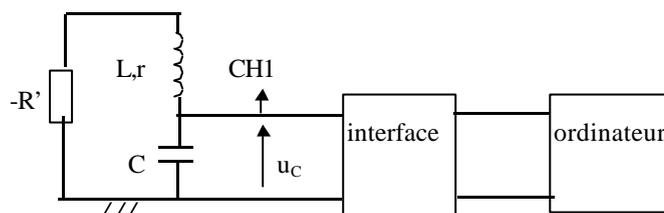
On prendra $R = 10 \text{ k}\Omega$; la résistance R' est une boîte à décades.

On dispose pour L et C de deux boîtes à décades :

- fixer sur la boîte de capacités $C = 500 \text{ nF}$, contrôler cette valeur au capacimètre ;
- fixer $L = 200 \text{ mH}$ sur la boîte d'inductances et mesurer à l'ohmmètre la résistance correspondante r .



Réaliser alors le montage ci-dessous :



(interface entre l'entrée analogique EA0 et la masse)

Remarque : pour minimiser le « bruit », on emploiera des fils courts (et on pourra éventuellement relier les boîtiers des résistances, inductance et capacité à la masse).

2. Evaluation de la valeur de R'_{\min} permettant l'auto-entretien.

A partir de $R' = 0$ augmenter progressivement la valeur de R' et montrer que des oscillations d'allure sinusoïdale apparaissent sur l'écran de l'oscilloscope pour R'_{\min} légèrement supérieur à r .

Mesurer la période de ces oscillations et comparer à la valeur attendue (on justifiera cette dernière).

Observer que pour R' trop élevée les oscillations se déforment.

3. Paramétrage du logiciel Synchronie.

Dans le menu *paramètres* :

- sous-menu *acquisition* : on fixe :

- *réglages*

points : 2000

moyenne : 1

répéter : 1

- *durée*

échantillon : 25 μ s

- *déclenchement*

source : aucune

- sous-menu *options acquisition* :

- *afficher les mesures acquises*

simultanément.

- sous-menu *entrées A/D* :

- *entrée EA0* :

nom : uc

unité : V

fenêtre 1

mode automatique

calibre : -10/+10

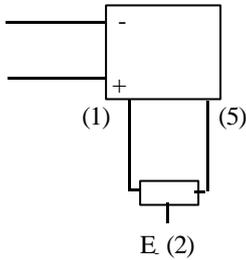
4. Acquisition à l'ordinateur.

On désire visualiser la naissance et l'entretien des oscillations. Pour cela, il faut un régime de croissance suffisamment rapide lors du passage de $R' < R'_{\min}$ à $R' > R'_{\min}$. On procédera à quelques essais visualisés sur l'écran de l'oscilloscope.

Lorsque les valeurs choisies paraissent correctes, acquérir (touche F10) tout en passant simultanément de $R' < R'_{\min}$ à $R' > R'_{\min}$ (l'opération est délicate et il faut plusieurs essais).
 Faire en sorte que la courbe occupe la plus grande partie de l'écran (*échelle manuelle en Y* à régler dans le sous-menu *fenêtres*).

Remarque.

La tension de décalage éventuellement visible sur l'enregistrement est due à la tension d'offset de l'A.O. qu'il faudrait compenser à l'aide d'un potentiomètre de 10 k Ω monté comme suit (se reporter au brochage page 2). Nous n'effectuerons pas cette correction.



5. Résultats.

On rappelle que le facteur de qualité peut-être évalué expérimentalement, lors de la phase d'amplification, à l'aide de la relation :

$$Q = \frac{\pi p}{\ln\left(\frac{u_c(t)}{u_c(t+pT)}\right)}$$

où p est un nombre d'oscillations choisi et T la pseudo-période.

Evaluer expérimentalement le facteur de qualité : pour ne pas être gêné par le décalage dû à la tension d'offset, on mesurera en réalité $2 u_c(t)$ et $2 u_c(t+pT)$, à l'aide du réticule utilisé en mesure relative, en considérant que l'amplification est négligeable sur une demi-période.

Comparer à la valeur attendue la valeur de R' choisie est à contrôler à l'ohmmètre) :

$$Q = \frac{1}{r - R'} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

III. Analyse spectrale du régime permanent.

1. On désire acquérir le signal entreteu (régime permanent) obtenu pour R'_{\min} .

Pour sauver l'acquisition précédente, dans le menu *outil* choisir *copier une variable*, copier la *source* (u_c) dans *destination...* (à nommer u_{c1} par exemple) et dans *courbes* afficher u_{c1} dans la fenêtre 2.

Paramétrer cette fois la durée à 5 μs et procéder à l'acquisition en fenêtre 1.

Pour libérer la fenêtre 1 pour une nouvelle acquisition, réitérer l'opération précédente : copier la *source* (u_c) dans *destination...* (à nommer u_{c2} par exemple) et dans *courbes* afficher u_{c2} dans la fenêtre 3.

Se placer alors dans le menu *Traitement* sous-menu *Analyse de Fourier*.

Sélectionner le signal à analyser (u_{c2}) et sélectionner une période par *période* (ne pas sélectionner le mode automatique).

Procéder à l'analyse en demandant le calcul.

S'affiche alors le spectre de fréquences du signal.

On peut dilater l'échelle des fréquences dans *fenêtres* en sélectionnant la fenêtre d'analyse correspondante (fenêtre d'analyse 1).

Vérifier que l'oscillateur est quasi-sinusoïdal : comparer la valeur affichée de la fréquence à celle attendue (on justifiera cette dernière), vérifier que l'amplitude de la composante obtenue est celle du signal (mesures à l'aide du réticule).

2. Acquérir cette fois le signal entreteu (régime permanent) obtenu pour R' beaucoup plus grand, le signal observé à l'oscilloscope étant triangulaire.

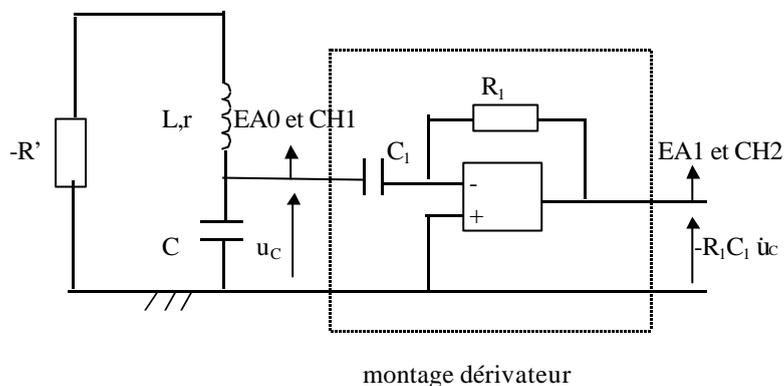
Pour libérer la fenêtre 1 pour une nouvelle acquisition, réitérer l'opération précédente : copier la *source* (u_c) dans *destination...* (à nommer u_{c3} par exemple) et dans *courbes* afficher u_{c3} dans la fenêtre 4.

Procéder à l'analyse spectrale de u_{c3} comme indiqué ci-dessus (fenêtre d'analyse 2) : on vérifiera que les harmoniques sont dans des rapports de fréquences 3, 5, ... (mesures à l'aide du réticule).

IV. Portrait de phase.

On désire visualiser le régime transitoire et le régime permanent dans l'espace de phase (u_C , \dot{u}_C).

On réalise pour cela le montage dérivateur suivant avec $R_1 = 10\text{ k}\Omega$ et $C_1 = 100\text{ nF}$ (valeurs normalisées) (pour le choix des paramètres se reporter au TP 15 : Montages intégrateur et dérivateur).



Pour visualiser le phénomène à l'oscilloscope, passer en mode XY après avoir réduit la luminosité du spot au minimum de visibilité (en l'absence d'oscillations on a un point sur l'écran) : à partir de $R' = 0$ augmenter progressivement la valeur de R' et observer l'évolution du portrait de phase.

Procéder ensuite comme au II. 4 (visualisation de la naissance des oscillations).

On désire acquérir $-R_1 C_1 \dot{u}_C$ en fonction de u_C :

- sous-menu *acquisition* : fixer à nouveau :
 - *durée*
 - échantillon* : $25\ \mu\text{s}$
- sous-menu *entrées A/D* :
 - *entrée EA0* :
 - nom* : u_C
 - unité* : V
 - fenêtre* aucune
 - mode* automatique
 - calibre* : $-10/+10$
 - *entrée EA1* :
 - nom* : du_C
 - unité* : V
 - fenêtre* 1
 - mode* automatique
 - calibre* : $-10/+10$
- dans le sous-menu *fenêtres* :
 - sélectionner la fenêtre 1
 - choisir l'abscisse u_C (l'échelle en X basée sur u_C s'affiche automatiquement)
 - choisir l'échelle en Y basée sur du_C
 - valider par *OK*

Acquérir (touche F10) tout en passant simultanément de $R' < R'_{\min}$ à $R' > R'_{\min}$ comme au II.4 (toujours aussi délicat).

Observer le portrait de phase et conclure (irréversibilité du régime transitoire, caractéristiques de l'attracteur confirmant le caractère quasi-sinusoidal des oscillations...).

Choisir une mosaïque, imprimer les quatre fenêtres et les deux fenêtres d'analyse.