OSCILLATEURS

Une feuille de papier semi-logarithmique est nécessaire pour ce TP.

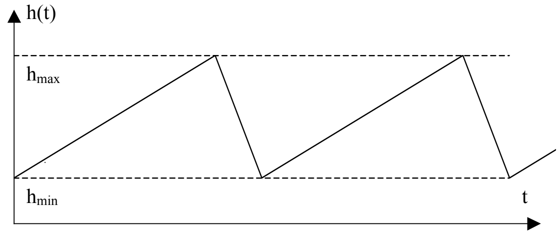
Il se peut dans certains cas que le signal soit déformé ou parasité par des oscillations haute fréquence prenant naissance dans l'A.O. Il est alors possible de les filtrer en plaçant un condensateur de faible valeur, 2,2 nF par exemple, entre la sortie de l'A.O. et la borne +15V de son alimentation.

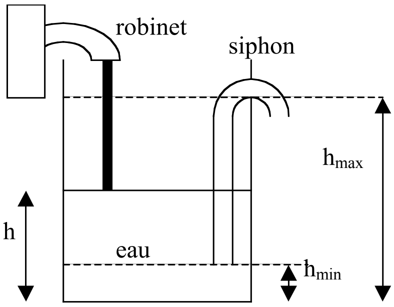
I Oscillateur de relaxation

1) Principe

La notion d'oscillateur de relaxation n'est pas restreinte au cas de montages électroniques.
On parlera d'oscillateur dans le cas d'un système dont au moins une grandeur physique va varier de façon périodique dans le temps. Nous avons par exemple envisagé dans des cours précédents le cas d'un oscillateur harmonique, qui oscille autour de son équilibre, en y repassant sans s'y arrêter : c'est le cas d'un circuit RLC avec compensation de la résistance R (voir II 3)).
Dans le cas des oscillations de relaxation, le système ne passe pas par un état d'équilibre. Ce système est constitué de telle façon qu' à un instant donné, il évolue vers un premier état d'équilibre qui ne sera jamais atteint. En effet, avant d'atteindre cet équilibre, un phénomène interne va modifier le fonctionnement du système, de façon à le faire évoluer ensuite en direction d'un second état d'équilibre. Une nouvelle modification interne survient alors pour réorienter l'évolution du système vers le premier état d'équilibre. Le système adopte finalement une évolution périodique, dont la période est déterminée par ses propres caractéristiques.

Un exemple d'oscillateur de relaxation : le vase de Tantale.
L'eau monte jusqu'au niveau h_{max} où le siphon est activé. La cuve se vide alors jusqu'à ce que le niveau atteigne h_{min} où le siphon se désamorce.

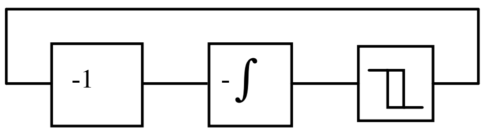




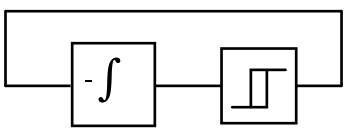
On retiendra qu'un oscillateur de relaxation évolue périodiquement entre deux états extrêmes, sa période étant fixée par ses propres carctéristiques. Nous allons retrouver des comportement analogues dans les montages suivants.

2) Réalisation à partir de quadripôles connus

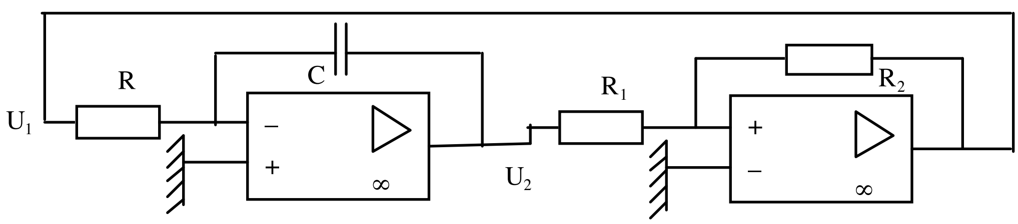
L' oscillateur de relaxation peut être réalisé par la mise en cascade de trois montages précédemment étudiés selon le schéma-bloc ci-contre correspondant, dans l'ordre, aux quadripôles inverseur (amplificateur inverseur de gain –1), intégrateur et comparateur à hystérésis.



Afin de simplifier ce montage, on utilisera une autre version du comparateur à hystérésis permettant de se passer de l'inverseur ce qui donne le nouveau schéma bloc ci-contre.



Le schéma de câblage complet reprend ces différents montages :



R = 15 kΩ; C = 0,1 µF
R_1 = 1 kΩ ; R_2 = 10 kΩ

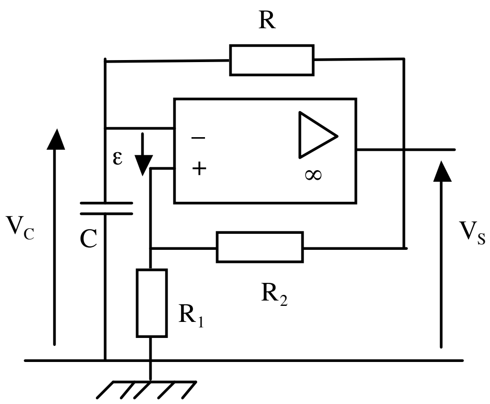
Tester d'abord séparément le bon fonctionnement du chaque cellule (les deux AO sont branchés sur la même alimentation) :

* Comparateur : obtention du cycle en mode XY à partir d'un signal d'entrée sinusoïdal (d'amplitude suffisante pour permettre le basculement) ;
* Intégrateur : obtention d'un signal triangulaire à partir d'un signal d'entrée rectangulaire. On rappelle que pour éviter une dérive de la tension de sortie, il est nécessaire de placer un résistor en parallèle sur C (par exemple 100 kΩ). Il sera ensuite ôté lors du bouclage.

Boucler les deux cellules et vérifier que le montage délivre alors des signaux $U_1(t)$ et $U_2(t)$ périodiques et non sinusoïdaux.
Relever sur un même graphe l'allure des deux signaux en concordance de temps (chronogramme). Interpréter en vérifiant que le signal à la sortie de chaque bloc est compatible avec le signal appliqué à son entrée et avec la fonction réalisée par celui-ci.

Les signaux sont de période théorique T = $4RC\dfrac{R_1}{R_2}$ = 0,6 ms donc de fréquence f = 1,67 kHz. Vérifier expérimentalement l'ordre de grandeur de cette valeur. En observant précisément le signal $U_1(t)$, indiquer quel "défaut " de l'AO permet d'expliquer l'écart significatif entre les valeurs théorique et expérimentale de T.

3) Compactification

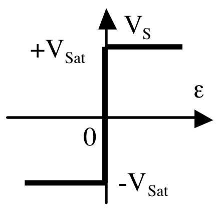


Un montage assez analogue, mais encore plus compact que le précédent, est envisageable.
R est boîte à décades (prendre par exemple R = 5 kΩ), $R_1 = R_2$ = 22 kΩ, C = 0,1 μF.
Vérifier que ce montage délivre des signaux $V_C(t)$ et $V_S(t)$ périodiques et non sinusoïdaux de période T = 2RC Ln3 donc de fréquence 910 Hz.
Relever sur un même graphe l'allure des deux signaux.

Calcul de la période (**assez long ; à préparer impérativement avant la séance**) :

On pose $\beta = \dfrac{R_1}{R_1+R_2}$ ($0 < \beta < 1$) et $\tau = RC$.

Les potentiels des entrées inverseuse et non inverseuse de l'AO valent alors respectivement $E^- = V_C$ et $E^+ = \beta\ V_S$.
On suppose l'AO fonctionnant en régime saturé. On part d'un état donné et on cherche l'évolution ultérieure du système.



* On prend comme conditions initiales à t = 0 : $V_C = 0$ (condensateur déchargé) et $V_S = +V_{sat}$. On vérifie d'abord que ces conditions constituent un état possible pour le système. En effet, si $E^- = 0$ et $E^+ = \beta\ V_{sat}$, on en déduit $E^+ > E^-$ donc $\varepsilon > 0$ et donc $V_S = +V_{sat}$ (on rappelle ci-contre la caractéristique statique de transfert de l'AO idéal).

* A t = 0, le potentiel à gauche de R est nul et celui à droite vaut + $V_{sat} > 0$ ⇒ un courant circule dans R de droite à gauche (sens des potentiels décroissants) et charge le condensateur ⇒ $V_C > 0$ augmente.

Montrer que, pour t > 0, V_C obéit à l'équation différentielle suivante : $\tau\dfrac{dV_C}{dt} + V_C = +V_{sat}$.

Montrer que, compte tenu des conditions initiales à t = 0 (et de la continuité de V_C), sa solution est $V_C = V_{sat}\ (1 - e^{-t/\tau})$.
V_C part donc de la valeur 0 pour tendre vers V_{sat} quand t tend vers l'infini.
Il existe donc un instant à la date $t = t_0$ où V_C va atteindre la valeur $\beta\ V_{sat}$.
Alors E^- atteint la valeur de E^+, ε s'annule et la sortie de l'AO bascule et devient égale à $V_S = -\ V_{sat}$, ce qui interrompt l'évolution de la tension $V_C(t)$ calculée.

* On introduit une nouvelle échelle de temps t' qui débute à t' = 0 lors du basculement de l'AO (on a donc $t' = t - t_0$).
A t' = 0, le potentiel à gauche de R vaut $\beta\ V_{sat}$ (continuité de V_C au moment du basculement) et celui à droite vaut – V_{sat} ⇒ un courant circule dans R de gauche à droite et décharge le condensateur avant d'inverser sa polarité ⇒ V_C diminue.

Montrer que pour t' > 0, V_C vérifie l'équation différentielle suivante : $\tau\dfrac{dV_C}{dt'} + V_C = -V_{sat}$.

Montrer que compte tenu des conditions initiales à t' = 0, sa solution est $V_C = V_{sat}\ [\ (\beta+1)\ e^{-t'/\tau} - 1\ ]$.
V_C part donc de la valeur $\beta\ V_{sat}$ pour tendre vers - V_{sat} quand t' tend vers l'infini.
Il existe donc un instant à la date $t' = t'_1$ où V_C va atteindre la valeur $-\ \beta\ V_{sat}$.
Alors E^- atteint la valeur de E^+, ε s'annule et la sortie de l'AO bascule et devient égale à $V_S = +\ V_{sat}$.

De l'expression de V_C (t') obtenue précédemment, déduire l'expression de t'_1 : $t'_1 = \tau \text{ Ln } \dfrac{1+\beta}{1-\beta}$.

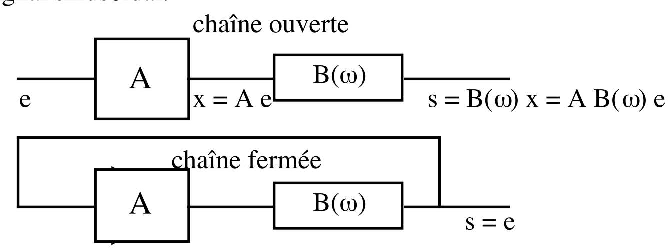
* On introduit une nouvelle échelle de temps t'' qui débute à t'' = 0 lors du dernier basculement de l'AO (on a donc $t'' = t' - t'_1$).
A t'' = 0, le potentiel à gauche de R vaut - β V_{sat} et celui à droite vaut + V_{sat} ⇒ un courant circule dans R de gauche à droite comme au tout début et décharge le condensateur avant d'inverser sa polarité ⇒ V_C augmente.
Pour t'' > 0, V_C vérifie de nouveau l'équation différentielle du début : $\tau \dfrac{dV_C}{dt''} + V_C = +V_{sat}$.
Montrer que compte tenu des conditions initiales à t'' = 0, sa solution est $V_C = V_{sat} [1 - (\beta+1) e^{-t''/\tau}]$.
V_C part donc de la valeur - β V_{sat} pour tendre vers + V_{sat} quand t'' tend vers l'infini.
Il existe donc un instant à la date $t'' = t''_2$ où V_C va atteindre la valeur + β V_{sat}.
Alors E^- atteint la valeur de E^+, ε s'annule et la sortie de l'AO bascule et devient égale à $V_S = - V_{sat}$.
De l'expression de V_C (t'') obtenue précédemment, déduire l'expression de t''_2 : $t''_2 = \tau \text{ Ln } \dfrac{1+\beta}{1-\beta}$.

* On a alors décrit un peu plus d'une période T du système. L'exprimer en fonction de t'_1 et t''_2 puis en fonction de R, C et β. Compte-tenu de la valeur de β , vérifier l'expression donnée : T = 2RC Ln 3.

II Oscillateurs quasi-sinusoïdaux

1) Principe

Un oscillateur sinusoïdal est un dispositif capable de générer un signal sinusoïdal.
Soit une chaîne électronique ouverte comprenant un amplificateur de gain A, indépendant de la fréquence, et un réseau de gain B(ω) dépendant de la fréquence.



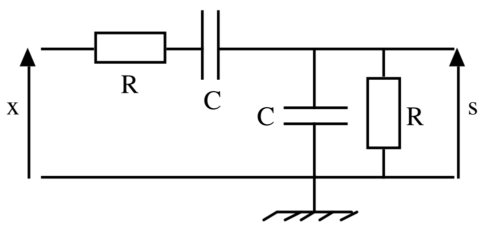
S'il existe une pulsation ω_0 telle que $A.B(\omega_0) = 1$, alors on peut fermer la chaîne et l'oscillation s'entretient d'elle-même à la pulsation ω_0. En effet, on retrouve alors à la sortie un signal s identique au signal d'entrée (même amplitude que e et en phase avec lui).

En pratique, la condition d'oscillation est A.B un peu supérieur à 1, et l'amplitude des oscillations est limitée par la non linéarité (saturation) de l'amplificateur.

2) Oscillateur à pont de Wien

a) Réseau

La fonction de transfert s'écrit : $\dfrac{S}{X} = \dfrac{1}{3 + j\left(\dfrac{\omega}{\omega_o} - \dfrac{\omega_o}{\omega}\right)}$ avec $\omega_0 = \dfrac{1}{RC}$.



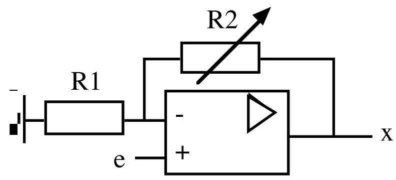
On prendra R = 15 kΩ et C = 22 nF.

Tracer sur papier semi-logarithmique la courbe expérimentale donnant le gain en décibel en fonction du logarithme de la fréquence (on placera la résonance au milieu de la largeur de la feuille).

Vérifier sa conformité avec l'expression de la fonction de transfert : confronter les valeurs calculées et mesurées correspondant à la fréquence de gain maximal et aux pentes des asymptotes de la courbe de gain.

b) Amplificateur

Pour ω_0, la fonction de transfert du pont de Wien est réelle, positive et vaut 1/3.
L'oscillateur sera donc réalisé avec un amplificateur non inverseur de gain 3.
Prendre R_1 = 12 kΩ et une résistance variable pour R_2 (boîte à décades).



Vérifier le bon fonctionnement de l'amplificateur en appliquant un signal sinusoïdal à l'entrée : confronter la valeur expérimentale de R_2 à la valeur attendue théoriquement.

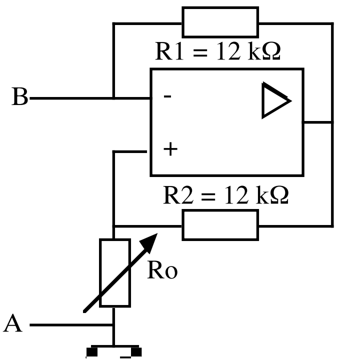
c) Oscillateur

Câbler la chaîne ouverte en reliant la sortie de l'amplificateur à l'entrée du pont de Wien.
En appliquant un signal sinusoïdal à l'entrée, rechercher et mesurer la fréquence telle que A.B = 1.

Passer en chaîne fermée en ôtant le GBF et régler le gain de l'amplificateur pour avoir juste l'entretien des oscillations. Mesurer alors la fréquence des oscillations. Conclure sur la conséquence de l'enlèvement de la résistance interne du G.B.F. sur le fonctionnement du dispositif.

3) Oscillateur à résistance négative

a) Réalisation d'une résistance négative



Montrer par le calcul que le montage ci-contre, vu des bornes A et B, est équivalent à une résistance négative dont on donnera l'expression en fonction des résistances R_0, R_1 et R_2.
On admettra que l'AO fonctionne en régime linéaire.

On prendra pour R_0 une boîte à décades.

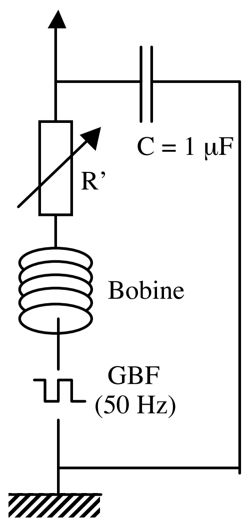
Il est important d'utiliser des fils courts dans toute cette partie 3) pour minimiser les parasites HF dans les montages.

Vérifier à l'ohmmètre, en prenant quelques centaines d'ohm pour la résistance R_0, que l'on a bien réalisé une résistance négative ayant la valeur attendue (remarquer que certains modèles indiquent bien un signe moins devant la valeur numérique, par exemple le modèle MX 579 utilisé sur l'un des deux calibres de gauche).
Le résultat de cette mesure se révélant parfois relativement aléatoire, on n'insistera pas outre mesure. Cela n'altère en rien en principe la suite des manipulations.

En ajoutant une résistance, un GBF et une sonde différentielle au dispositif ci-contre, proposer sur la copie et réaliser un montage permettant de visualiser à l'oscilloscope la caractéristique de la résistance négative.
La représenter et la commenter (en particulier, que se passe-t-il lorsque l'amplitude de sortie du G.B.F. est suffisante ?).

Ne pas démonter la résistance négative pour la suite du TP.

b) Nécessité de la résistance négative



On étudie les oscillations libres d'un circuit (R_{tot}, L, C) série. Afin de pouvoir les observer à l'oscilloscope en visualisant la tension aux bornes du condensateur, on entretient les oscillations avec un GBF délivrant un signal carré (de période très supérieure à la période des oscillations).

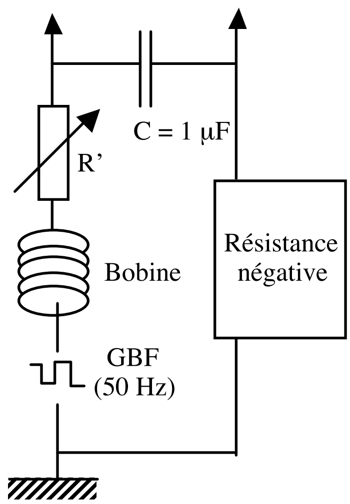
La résistance totale du circuit R_{tot} est composée de la résistance variable R ' (boîte à décades), de la résistance de la bobine (environ 8 Ω) et de la résistance de sortie du GBF (environ 50 Ω).
Pour R ' = 0, observer ces oscillations.

Observer l'influence de R '. En particulier, que se passe-t'il si on augmente trop sa valeur ?

L'amortissement est du à la résistance du circuit (perte d'énergie par dissipation par effet Joule dans celle ci et donc dégagement de chaleur).
Ce montage ne permet pas d'obtenir des oscillations sinusoïdales donc non amorties car on ne peut pas annuler cette résistance.
On va donc ajouter à ce circuit un composant se comportant comme une résistance négative, destiné à compenser la résistance précédente, ce qui va permettre d'obtenir des oscillations non amorties.

c) Oscillateur

Inclure la résistance négative dans le circuit précédent en prenant R' = 0 et R_O = 30 Ω.
Vérifier que l'on a toujours des oscillations amorties, mais moins qu'avant, la résistance négative compensant une partie de la résistance R_{tot}.
Augmenter la valeur de R_O jusqu'à la valeur minimale permettant d'obtenir des oscillations non amorties (la résistance négative compensant juste la résistance R_{tot}).

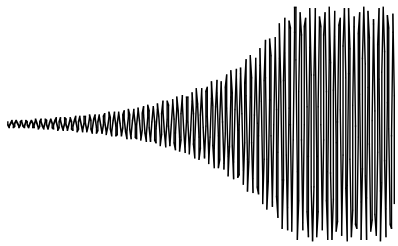


On peut alors ôter le GBF et le remplacer par un court-circuit, les oscillations s'entretenant d'elles mêmes. Pour cela, relier directement la borne inférieure de la bobine à la masse.
Vérifier que les oscillations sont toujours présentes, et que l'on peut diminuer la valeur de R_O, la résistance interne du GBF ne faisant plus partie du circuit.
On est à l'entretien limite des oscillations lorsque $R_O = R_{omin}$.

Vérifier qu'alors la période des oscillations est la période propre du circuit (L, C), et que le signal est sinusoïdal (observer sa décomposition en série de Fourier à l'aide de l'oscilloscope).

Prendre $R_O > R_{omin}$. Observer de nouveau la décomposition en série de Fourier du signal. Que devient la fréquence des oscillations et la forme du signal. Vérifier ces modifications sur le signal lui même.

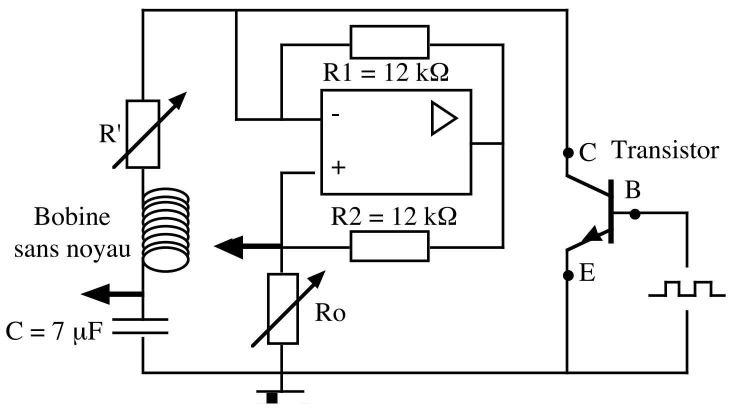
D'où vient l'énergie permettant de compenser la dissipation par effet Joule ?



Observer l'établissement des oscillations : passer de $R_O < R_{omin}$ à $R_O = R_{omin}$ et utiliser la mémoire de l'oscilloscope en choisissant une vitesse de balayage adaptée.
Observer le passage des oscillations d'une amplitude pratiquement nulle à leur amplitude maximale (courbe ci-contre).

Observer enfin le portrait de phase du circuit. On rappelle qu'il s'agit de la courbe obtenue en traçant une grandeur physique en fonction de sa dérivée par rapport au temps. Cette grandeur est ici la tension U_C aux bornes du condensateur. La tension aux bornes d'une résistance du même circuit en série avec ce condensateur est alors proportionnelle à $\frac{dU_c}{dt}$. On choisit ici la résistance R_O de la résistance négative. Les deux voies de l'oscilloscope seront donc placées sur les bornes supérieures du condensateur et de la résistance R_O. On se place alors en mode XY.

De plus, de façon à visualiser le portrait de phase correspondant à l'établissement des oscillations, on complète le montage conformément au schéma ci-contre. Le transistor fonctionne ici en interrupteur entre le collecteur C et l'émetteur E, commandé par la base B. Lorsque le signal délivré par le GBF est à l'état haut (signal rectangulaire de quelques Hz), la ddp entre B et E est suffisante (> 0,7 V) pour que la jonction CE soit fermée, la résistance négative est court-circuitée et il n'y a donc pas d'oscillations dans le circuit. Par contre, lorsque le signal délivré par le GBF est à l'état bas, la jonction CE est ouverte et les oscillations non amorties prennent naissance dans le circuit (la résistance négative sera réglée pour être à la condition minimale d'oscillations).
On prendra R ' = 100 Ω .



Le GBF étant tout d'abord éteint, on ajustera R_O pour que le circuit se trouve à la condition minimale d'oscillations (de l'ordre de - 100 Ω) et on observera le portrait de phase du circuit, c'est à dire une ellipse.
Allumer ensuite le GBF et observer la spirale correspondant à la montée en régime.