Oscillateurs

Extrait du programme

La partie **2** s'intéresse à une étude non exhaustive des oscillateurs en électronique. Les exemples sont choisis à l'initiative du professeur et les fonctions de transfert des filtres utilisés sont fournies.
En TP, on complète l'étude par une analyse spectrale des signaux.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2. **Oscillateurs**	
Oscillateur quasi-sinusoïdal.	Exprimer les conditions théoriques (gain et fréquence) d'auto-oscillation sinusoïdale d'un système linéaire bouclé. Analyser sur l'équation différentielle l'inégalité que doit vérifier le gain de l'amplificateur afin d'assurer le démarrage des oscillations. Interpréter le rôle des non linéarités dans la stabilisation de l'amplitude des oscillations. **Réaliser un oscillateur quasi-sinusoïdal et mettre en évidence la distorsion harmonique des signaux par une analyse spectrale.** **Approche documentaire** : en relation avec le cours sur les ondes, décrire le fonctionnement d'un oscillateur optique (laser) en termes de système bouclé auto-oscillant. Relier les fréquences des modes possibles à la taille de la cavité.
Oscillateur à relaxation associant un intégrateur et un comparateur à hystérésis.	Décrire les différentes séquences de fonctionnement. Exprimer les conditions de basculement. Établir la fréquence d'oscillation.
Générateur de signaux non sinusoïdaux.	**Réaliser un oscillateur à relaxation et effectuer l'analyse spectrale des signaux générés.**

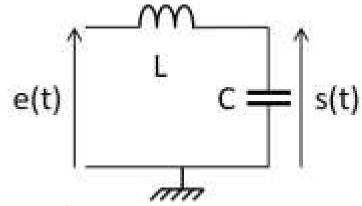
Sommaire

Les oscillateurs sont utilisés dans de nombreux circuits pour créer une tension périodique à partir d'alimentations continues. C'est la brique de base de tout circuit intégré électronique (montres digitales, horloge de microcontrolleur, …). Sa fonction est en général réalisée par un générateur basse fréquence (GBF) en travaux pratiques, mais peut aussi être réalisée par des circuits plus petits, transportables.

1 Retour sur l'oscillateur harmonique

1.1 Description

En électronique, l'oscillateur harmonique est le plus simplement réalisé d'une bobine d'inductance L et d'un condensateur de capacité C.



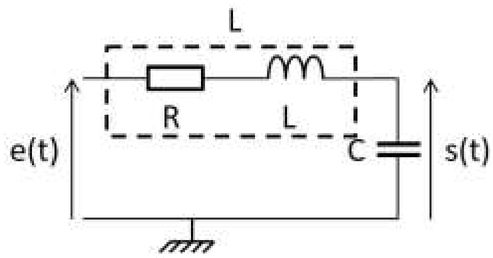
1) Donner l'équation différentielle vérifiée par $s(t)$ pour $t > 0$, sachant que $e(t) = \begin{cases} E \text{ si } t < 0 \\ 0 \text{ si } t > 0 \end{cases}$.

2) Résoudre l'équation différentielle précédente. On exprimera $s(t)$ en fonction d'un paramètre ω_0 dont on précisera la signification.

Il est donc possible en théorie d'arriver à générer une tension périodique sinusoïdale à partir d'une alimentation continue. En pratique, ces deux composants ne sont pas parfaits et possède des résistances parasites, qui mènent donc à l'étude de l'oscillateur amorti.

1.2 Oscillateur amorti

On peut ici considérer que la bobine possède une résistance série non nulle, on va donc étudier un circuit RLC série.



3) Montrer que l'équation différentielle vérifiée par la tension de sortie est : $\ddot{s} + \frac{\omega_0}{Q}\dot{s} + \omega_0^2 s = 0$, sachant que $e(t) = \begin{cases} E \text{ si } t < 0 \\ 0 \text{ si } t > 0 \end{cases}$. On exprimera la pulsation propre, ainsi que le facteur de qualité en fonction de R, L et C.

4) Si la valeur de la résistance est suffisamment faible, dans quel régime se situe-t-on ? Quelle est alors la forme de la solution ? On exprimera l'amortissement λ en fonction de R et L.

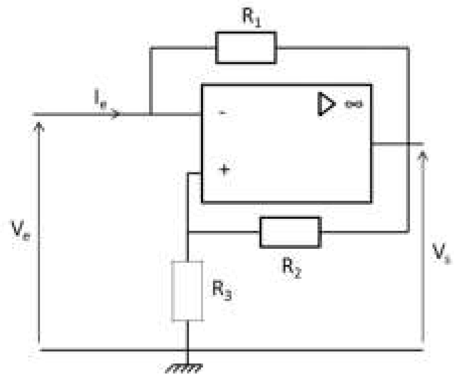
5) *Réaliser le montage de l'oscillateur amorti avec $C = 1\mu F$, $L = 100mH$ et R qui représente la résistance interne de la bobine. Choisir proprement la tension délivrée par le GBF pour pouvoir observer les oscillations amorties. En déduire une valeur approchée de la résistance interne de la bobine.*

Pour éliminer totalement cet amortissement, il est nécessaire d'annuler la résistance totale R du circuit. Cela peut être réalisé par un dipôle équivalent à une résistance négative.

1.3 Oscillateur à résistance négative

1.3.1 Dipôle à résistance négative

Différents dipôles possèdent une partie de leur caractéristique (I, U) possédant une pente négative et peuvent donc être utilisés comme résistance négative. Nous allons ici étudier le cas d'un montage utilisant un amplificateur linéaire intégré idéal.

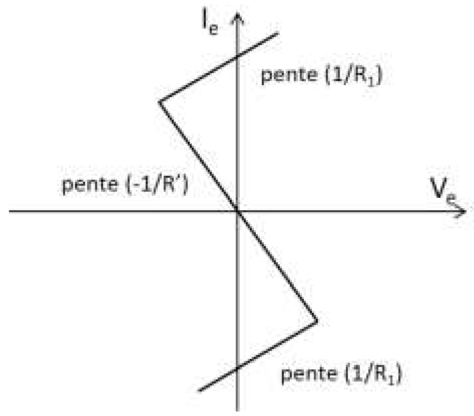


6) Montrer qu'en régime linéaire, on obtient la relation suivante entre la tension d'entrée V_e et le courant d'entrée I_e : $I_e = -\frac{V_e}{R'}$. On exprimera R' en fonction de R_1, R_2 et R_3.

En régime saturé, on obtient :

$$\begin{cases} V_s = V_{sat} \quad \Rightarrow \quad V_e - V_{sat} = R_1 I_e \quad \Rightarrow \quad I_e = \frac{V_e - V_{sat}}{R_1} \\ V_s = -V_{sat} \quad \Rightarrow \quad V_e + V_{sat} = R_1 I_e \quad \Rightarrow \quad I_e = \frac{V_e + V_{sat}}{R_1} \end{cases}$$

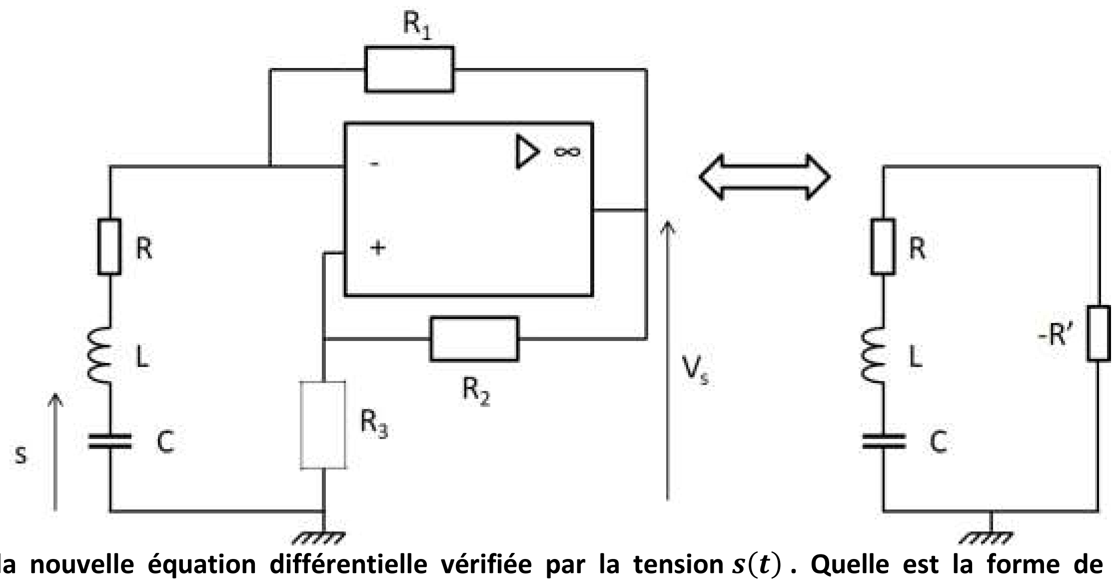
Ainsi, si on trace la caractéristique de ce dipôle $I_e = f(V_e)$, on obtient :



Dans le domaine de fonctionnement linéaire de l'amplificateur opérationnel, ce montage se comporte comme une résistance négative de valeur $-R'$.

1.3.2 Réalisation de l'oscillateur

On branche en série le circuit RLC et le dipôle à résistance négative. On remarquera qu'il n'y a plus d' « entrée » au circuit. Le GBF est ici éteint.

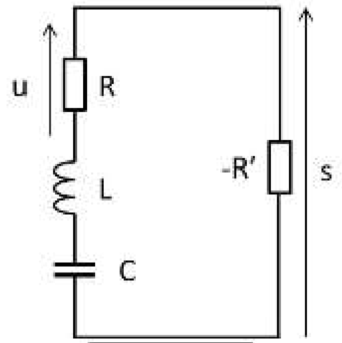


7) Donner la nouvelle équation différentielle vérifiée par la tension $s(t)$. Quelle est la forme de la solution $s(t)$ dans les trois cas suivants : $R > R'$, $R = R'$ et $R < R'$? Accompagner chacun des cas d'un tracé de la fonction $s(t)$ en fonction du temps. Dans quel cas a-t-on réalisé un oscillateur ? Dans quel cas peut-on considérer cet oscillateur comme quasi-sinusoïdal ?

8) *Réaliser le montage (le GBF est maintenant éteint). On prendra $R_1 = R_2 = 10k\Omega$. Pour R_3, on utilisera une résistance à décade pour pouvoir l'ajuster. Donner la valeur de R' qui permet d'obtenir des oscillations sinusoïdales. Dans le cas où $R < R'$, commenter la forme du signal. Observer le spectre dans les deux cas $R = R'$ et $R < R'$. Commenter.*

2 Oscillateur à réaction

2.1 Retour sur l'oscillateur à résistance négative



On étudie le circuit précédent en régime permanent sinusoïdal, alors :

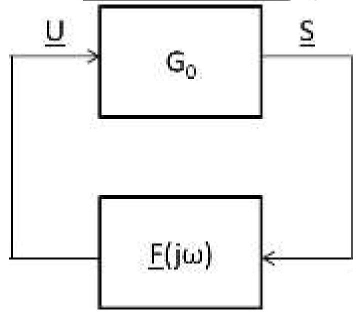
$$\underline{U} = \frac{R}{R + jL\omega + \frac{1}{jC\omega}}\underline{S} = \frac{1}{1 + jQ\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)}\underline{S} \quad avec \quad \begin{cases} Q = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}} \\ \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \end{cases}$$

On retrouve l'expression d'un filtre passe bande : $\underline{F}(j\omega) = \frac{\underline{U}}{\underline{S}}$

Mais aussi :

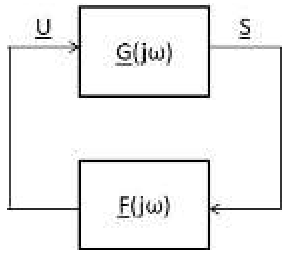
$$\underline{U} = R\underline{I} \quad et \quad \underline{S} = R'\underline{I} \quad \Rightarrow \quad \underline{S} = \frac{R'}{R}\underline{U} = G_0\underline{U} \quad avec \quad G_0 = \frac{R'}{R}$$

On a alors l'expression d'un gain simple : $G_0 = \frac{\underline{S}}{\underline{U}}$



On peut donc représenter le circuit sous la forme du système bouclé suivant.
On pourra alors utiliser cette représentation pour représenter tout oscillateur à réaction.

2.2 Structure



Il s'agit d'un système bouclé qui génère un signal sinusoïdal en l'absence de signal d'entrée :
- la **chaîne directe** est constituée par un **amplificateur**, de fonction de transfert $\underline{G}(j\omega)$
- la **chaîne de retour** est un **filtre** obtenu avec un quadripôle passif, de fonction de transfert $\underline{F}(j\omega)$

2.3 Conditions d'auto-oscillation

Le signal $\underline{S}$ doit donc vérifier l'équation suivante :

$$\underline{S} = \underline{G}(j\omega)\underline{U} = \underline{G}(j\omega)\underline{F}(j\omega)\underline{S} \quad \Rightarrow \quad \underline{S}\left(1 - \underline{G}(j\omega)\underline{F}(j\omega)\right) = 0 \quad \Rightarrow \quad \underline{G}(j\omega)\underline{F}(j\omega) = 1$$

Le système linéaire bouclé oscillera donc à la pulsation ω si les deux conditions théoriques suivantes (**conditions de Barkhausen**) sont remplies :

$$\begin{cases} \left|\underline{G}(j\omega)\right|\left|\underline{F}(j\omega)\right| = 1 \\ Arg\left[\underline{F}(j\omega)\right] + Arg\left[\underline{G}(j\omega)\right] = 2n\pi \quad n \in \mathbb{Z} \end{cases}$$

2.4 Démarrage des oscillations

On considère un circuit dont :
- la chaîne directe est un amplificateur de fonction de transfert : $\underline{G}(j\omega) = G_0$
- la chaîne de retour est un passe-bande de fonction de transfert : $\underline{F}(j\omega) = \frac{A_0}{1+jQ\left(\frac{\omega}{\omega_0}-\frac{\omega_0}{\omega}\right)}$

Le signal $\underline{S}$ doit donc vérifier l'équation suivante : $\underline{S}\left(1 - \underline{G}(j\omega)\underline{F}(j\omega)\right) = \underline{S}\left(1 - \frac{G_0A_0}{1+jQ\left(\frac{\omega}{\omega_0}-\frac{\omega_0}{\omega}\right)}\right) = 0$

$$\underline{S}\left(1 + jQ\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right) - G_0A_0\right) = \underline{S}\left(j\frac{\omega}{\omega_0} - Q\frac{\omega^2}{\omega_0^2} + Q - jG_0A_0\frac{\omega}{\omega_0}\right) = \underline{S}\left(-\frac{\omega^2}{\omega_0^2} + j(1 - G_0A_0)\frac{\omega}{Q\omega_0} + 1\right) = 0$$

Ceci est équivalent à l'équation différentielle suivante : $\frac{1}{\omega_0^2}\frac{d^2s(t)}{dt^2} + \frac{1-G_0A_0}{Q}\frac{1}{\omega_0}\frac{ds(t)}{dt} + s(t) = 0$

- si $G_0A_0 = 1$: $s(t) = A\cos(\omega_0 t) + B\sin(\omega_0 t)$ on a un oscillateur harmonique à la pulsation ω_0

- si $G_0A_0 > 1$: $s(t) = e^{\frac{G_0A_0-1}{2Q}\omega_0 t}\left(A\cos\left(\omega_0\sqrt{4-\frac{(1-G_0A_0)^2}{Q^2}}t\right) + B\sin\left(\omega_0\sqrt{4-\frac{(1-G_0A_0)^2}{Q^2}}t\right)\right)$

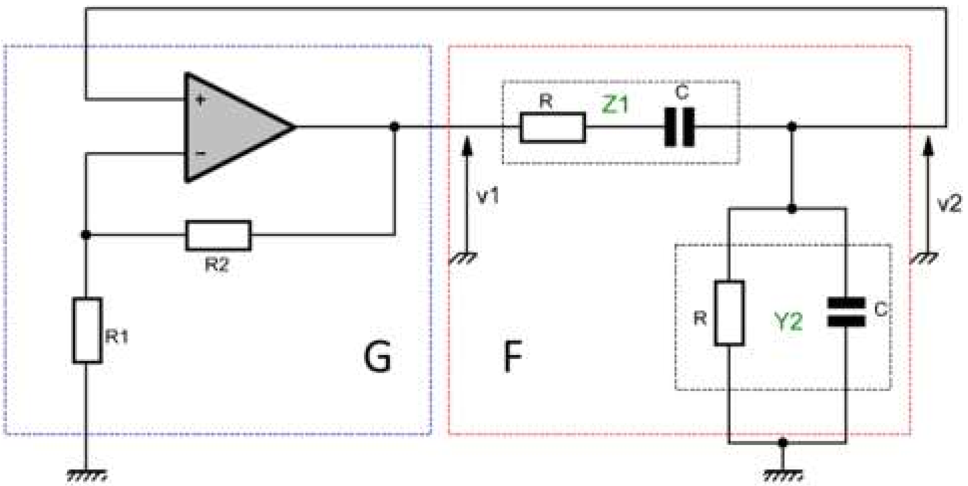
on a un oscillateur à la pulsation $\omega_0\sqrt{4-\frac{(1-G_0A_0)^2}{Q^2}}$ dont l'amplitude croît avec le temps, jusqu'à atteindre une valeur de saturation imposée par le circuit.

Il faut donc que G_0 vérifie $G_0 \geq \frac{1}{A_0}$ pour assurer le démarrage des oscillations.

2.5 Exemple : oscillateur à pont de Wien

2.5.1 Schéma

L'oscillateur à pont de Wien est constitué d'un amplificateur non inverseur à amplificateur opérationnel et d'un filtre.



2.5.2 Filtre de Wien

On étudie dans un premier temps la chaine de retour où se trouve le filtre F.

1) Sans utiliser la fonction de transfert, trouver de quel type de filtre il s'agit.

2) Déterminer la fonction de transfert du filtre de Wien seul, $\underline{F} = \frac{\underline{v2}}{\underline{v1}}$. Donner sa pulsation propre, son facteur de qualité et son gain maximal.

3) Quelle valeur de pulsation ce filtre "sélectionne-t-il"? Que vaut alors la phase? Que vaut alors le gain ?

4) *Réaliser le filtre de Wien à l'aide des composants (R = 1 kΩ, C = 100 nF). Appliquer une tension sinusoïdale appropriée. Commenter l'allure de la tension de sortie lorsque l'on fait varier la fréquence.*

5) *Déterminer la valeur de la fréquence centrale f_0, de la bande passante Δf et du facteur de qualité, ainsi que le gain maximal et le déphasage à la fréquence de résonance. Comparer aux valeurs théoriques.*

2.5.3 Amplificateur

On étudie dans un second temps la chaine directe où se trouve l'amplificateur G. L'ALI est supposé idéal.

6) L'ALI fonctionne-t-il en régime linéaire ou saturé ? Déterminer la fonction de transfert du montage amplificateur seul, $\underline{G} = \frac{\underline{v1}}{\underline{v2}}$.

7) Compte tenu des conditions de Barkhausen, seule la pulsation ω_0 est sélectionnée. Quelle condition doit satisfaire la fonction de transfert $\underline{G}$ pour engendrer les oscillations ?

8) *Réaliser l'amplificateur à l'aide des composants (R1 = 10kΩ, R2 = 47kΩ). Mesurer le gain de l'amplificateur.*

2.5.4 Oscillateur à pont de Wien

9) Retrouver l'équation différentielle vérifiée par v1. En déduire la condition de démarrage des oscillations.

10) *Réaliser l'oscillateur à pont de Wien. Visualiser les tensions v1 et v2 à l'oscilloscope. Partir de R2 < R1, et augmenter R2 jusqu'à naissance des oscillations.*

Quelle est la valeur de R2 donnant naissance aux oscillations. Mesurer la fréquence des oscillations. Comparer aux valeurs attendues.

11) *Que se passe-t-il si l'on continue à augmenter R2 ? Expliquez.*

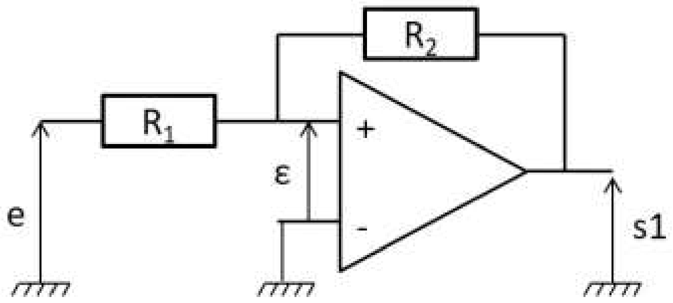
12) *Observer le spectre des signaux obtenus. Commentez leur « pureté ».*

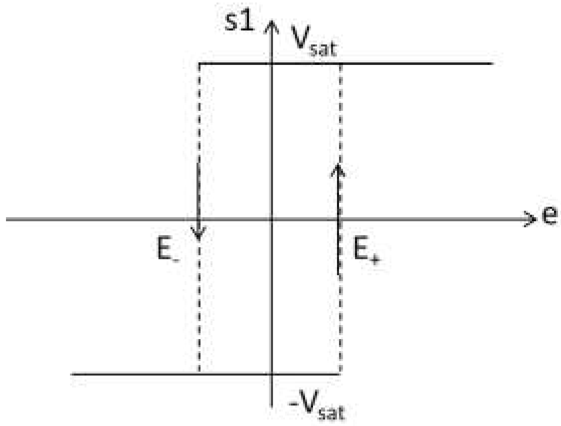
3 Oscillateur à relaxation

Jusqu'à présent, nous avons vu des oscillateurs qui sous certaines conditions délivraient un signal sinusoïdal. Il existe d'autres oscillateur, qui oscille systématiquement, sans condition et délivrent des signaux créneau ou triangulaire : les oscillateurs à relaxation.

3.1 Retour sur le comparateur à hystérésis

On raisonne sur le circuit suivant comparateur non-inverseur.
La caractéristique entrée-sortie d'un tel opérateur est donnée dans la figure suivante.





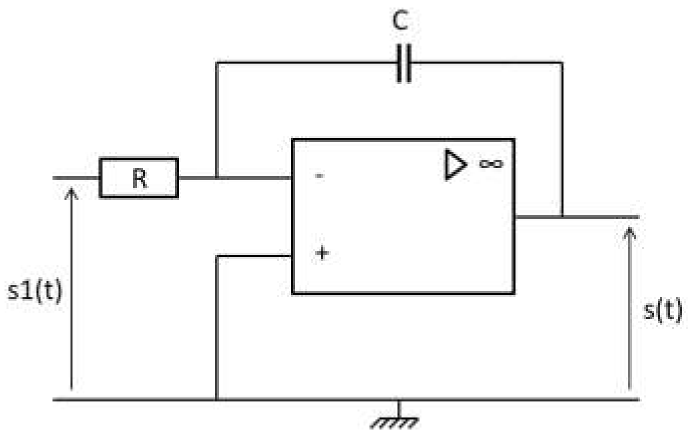
Deux seuils sont utilisés : E_{-} et E_{+}
- si $e \leq E_{-}$, la sortie du comparateur non inverseur est $-V_{sat}$
- si $e \geq E_{+}$, la sortie du comparateur non inverseur est V_{sat}
- si $E_{-} < e < E_{+}$, la sortie du comparateur non inverseur dépend de l'évolution antérieure du signal d'entrée, comme l'indique les flèches sur la caractéristique.

1) En supposant l'ALI idéal en régime saturé, montrer que les deux tensions de seuil du cycle d'hystérésis du comparateur non-inverseur sont $E_{-} = -\frac{R_1}{R_2}V_{sat}$ et $E_{+} = \frac{R_1}{R_2}V_{sat}$. Tracer la caractéristique $s1 = f(e)$ du montage.

2) *En réalisant le montage correspondant avec $R_1 = 1k\Omega$ et $R_2 = 10k\Omega$, vérifier les tensions de seuil déterminées précédemment. Observer les tensions en mode temporel et en mode XY. Dans quel sens le cycle est-il parcouru ?*

3.2 Montage intégrateur

Le schéma suivant représente un intégrateur dit « pur » basé sur l'utilisation d'un amplificateur linéaire intégré (ALI).



3) L'ALI étant supposé en régime linéaire et idéal, montrer que entrée et sortie sont reliées par l'équation différentielle suivante : $s1(t) = -RC\frac{ds}{dt}(t)$. **En déduire l'expression de la fonction de transfert : $\underline{I}(j\omega) = \frac{\underline{S}}{\underline{S1}}$. Justifier que le montage soit qualifié d'intégrateur.**

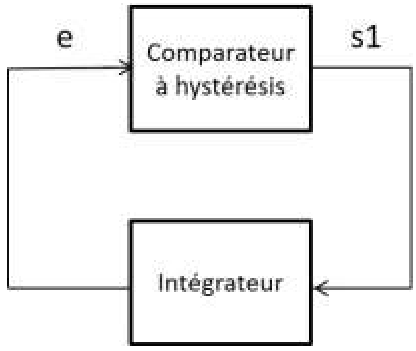
4) Pour un signal créneau en entrée, qu'observe-t-on en sortie ?

5) *Réaliser le montage précédent avec $R = 1k\Omega$ et $C = 470nF$. Mettre une tension créneau en entrée. Quelle est la forme du signal de sortie ? Commenter.*

3.3 Structure de principe de l'oscillateur à relaxation

Un oscillateur à relaxation est un système bouclé qui comporte deux blocs :
- un comparateur à hystérésis, élément non linéaire
- un intégrateur.

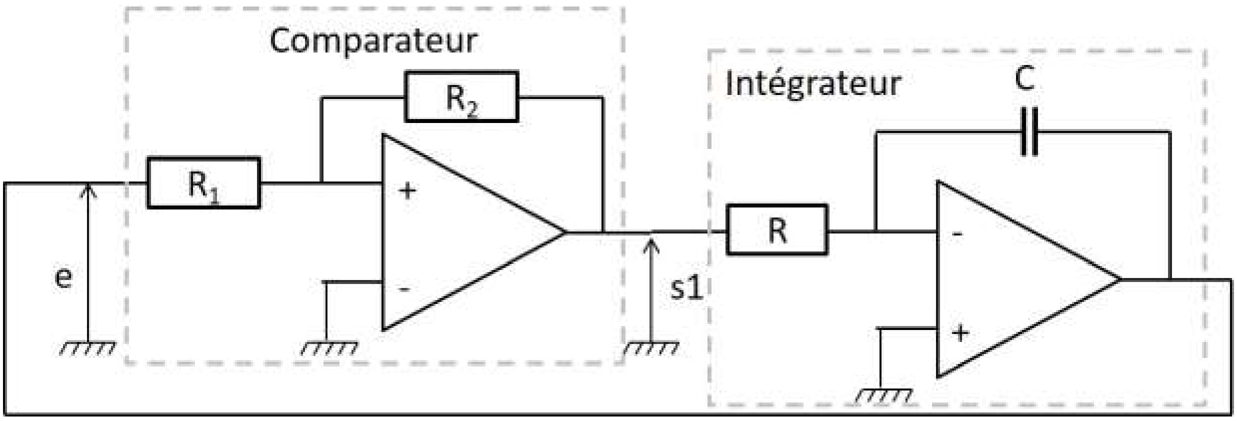
En sortie du comparateur les oscillations prennent une forme carrée et en sortie de l'intégrateur une forme triangulaire.
Le circuit global n'a donc ni entrée ni sortie, tout dépend de la forme du signal attendue.



3.4 Réalisation

Le montage est représenté sur la figure suivante avec :

$$R_1 = 1k\Omega, \quad R_2 = 10k\Omega, \quad R = 1k\Omega, \quad C = 470nF .$$



6) *Réaliser le montage précédent et observer les signaux $s(t)$ et $e(t)$. Pour rappel, le GBF n'est plus ici branché au circuit. Commenter leur forme. Retrouver en particulier les valeurs de la tension de saturation de l'ALI et des deux tensions de seuil du montage comparateur.*

7) *Exprimer la pente du signal triangulaire de deux manières différentes : d'abord en fonction de R, C et V_{sat}, puis en fonction de R_1, R_2, V_{sat} et de la période T des signaux. En identifiant les deux expressions, trouver la fréquence théorique des 2 signaux. Comparer à la valeur mesurée.*

8) *La forme des signaux n'est pas parfaite et on observe une certaine durée de commutation. Expliquer.*

9) *Observer les signaux en mode XY. Commenter.*

10) *Réaliser l'analyse spectrale des signaux mesurés.*

4 Questions de cours

1) Qu'est-ce qu'un oscillateur ?

2) Citer deux structures possibles d'oscillateurs.

3) Dans le cas d'un oscillateur quasi-sinusoïdal, quelles sont les conditions d'auto-oscillation sinusoïdale du système bouclé ?

4) Que se passe-t-il si l'amplitude des oscillations croît avec le temps ? Commenter la forme du signal en sortie.

5) Expliquer le fonctionnement d'un oscillateur à relaxation.

5 Questions à choix multiples

En ligne sur la plateforme Moodle accessible via Atrium : section « Electronique / Oscillateurs / Test ».

6 Exercices

6.1 Oscillateur à résistance négative

On étudie le montage électrique représenté sur la figure suivante. Le facteur α est un réel positif qui peut être modifié afin de permettre d'ajuster la valeur de la résistance $R' = \frac{R}{\alpha}$.

Dans un premier temps, on isole le circuit noté A, inclus dans le domaine délimité par les traits en pointillés, dont les grandeurs d'entrée, définies sur la figure, sont u_e, i_e et la grandeur de sortie est u_s.

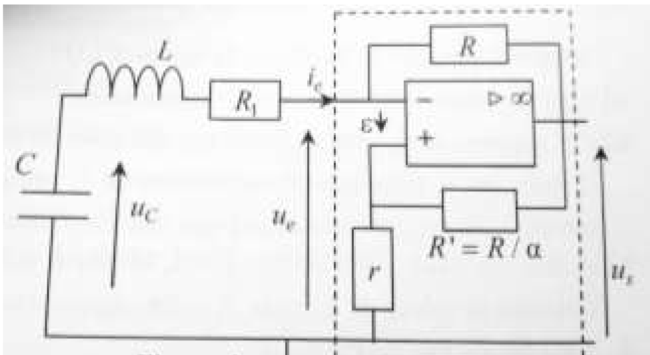


Figure 4

1) <u>L'amplificateur linéaire intégré</u>

a) Pour un amplificateur linéaire intégré (ALI) idéal, tracer la caractéristique de transfert statique, c'est-à-dire les variations de u_s en fonction de ε. On notera V_{sat} la valeur absolue de la tension de saturation.

b) Cette caractéristique fait apparaître deux domaines. Nommer et défini ces domaines.

c) Définir le modèle « amplificateur linéaire intégré idéal ». Celui-ci sera adopté en ce qui concerne l'ALI de$A$.

Dans toute la suite, nous admettrons que le comportement de l'ALI, même en régime variable, reste celui du régime statique.

2) <u>Caractéristique d'entrée de A</u>

On désigne par caractéristique d'entrée les variations de i_e en fonction de u_e.

a) En prenant pour hypothèse $|u_s| < V_{sat}$, établir la relation (1) liant u_e, i_e, α et r. Quelle fonction réalise ce montage ?

b *facultatif*) Etablir les relations (2) et (3), liant u_e et i_e lorsque $u_s = V_{sat}$ et $u_s = -V_{sat}$. Expliciter en fonction des paramètres du problème les deux valeurs I_m et $-I_m$ de i_e et les deux valeurs U_m et $-U_m$ de u_e correspondant aux limites de validité des relations précédentes ? Représenter la caractéristique globale d'entrée du montage étudié, dans le cas où $\alpha r < R$. On fera apparaître sur le graphique I_m et U_m.

3) <u>Montage oscillateur : conditions de démarrage des oscillations</u>

Le dipôle d'entrée est désormais connecté au dipôle formé de l'association série d'un condensateur de capacité C et d'une inductance L. Lorsque les dipôles sont connectés, l'intensité circulant dans l'inductance est initialement nulle et le condensateur présente une tension $u_C(t = 0) = U_0$ suffisamment faible pour que $u_s < V_{sat}$.

a) Montrer que $i_e(t)$ est solution de l'équation différentielle (E) du second ordre : $\frac{d^2 i_e}{dt^2} + 2\xi\omega_0 \frac{di_e}{dt} + \omega_0^2 i_e = 0$

Exprimer l'amortissement ξ et ω_0 en fonction de L, C, R_1, r et α.

b) D'après les conditions initiales, quelles sont les valeurs de $i_e(t = 0)$ et de $\frac{di_e}{dt}(t = 0)$? On suppose que $|\xi| < 1$. Expliciter la solution $i_e(t)$.

c) Que se passe-t-il si U_0 est nul ? Commenter.

d) On suppose donc que U_0 n'est pas nul mais de très faible valeur. Quelle est la condition sur ξ puis sur α pour que les oscillations de i_e présentent une amplitude croissante au cours du temps ? On suppose désormais que cette condition est réalisée.

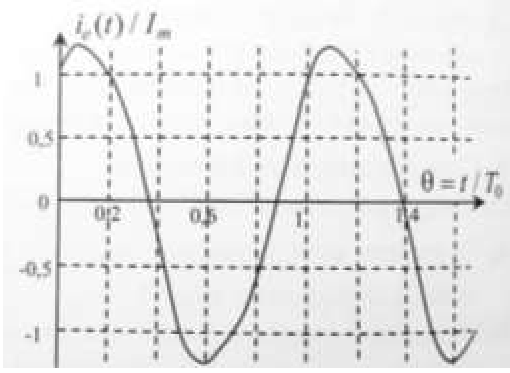
e) AN : $r = 1k\Omega$, $R_1 = 100\Omega$, $C = 1{,}28nF$, $L = 2mH$, $\alpha = 0{,}35$

Calculer la valeur de ξ et de $T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0}$.

4) <u>Amplitude des oscillations</u>

a) Représenter l'allure de l'évolution de $i_e(t)$ en fonction du temps à compter de $t = 0$. En utilisant la caractéristique d'entrée établie au 2, montrer que cette loi d'évolution n'est valable que sur une durée limitée. Donner l'autre équation différentielle régissant l'évolution de $i_e(t)$.

b) Après un régime transitoire que l'on n'étudiera pas, les variations de i_e en fonction du temps suivent un régime périodique établi. La figure suivante montre les évolutions de $\frac{i_e}{I_m}$ en fonction de la variable réduite $\theta = \frac{t}{T_0}$. Déterminer les domaines de cette courbe qui se rapportent respectivement aux zones (1) (2) et (3) de la caractéristique d'entrée de A.

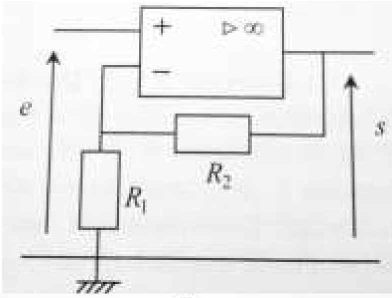


c) Comment qualifier les oscillations représentées sur cette figure ? Evaluer la période, puis la fréquence f de ces oscillations ainsi que la valeur maximale de i_e.
AN : $R = 2{,}5k\Omega \quad et \quad V_{sat} = 15V$.

6.2 Oscillateur à pont de Wien

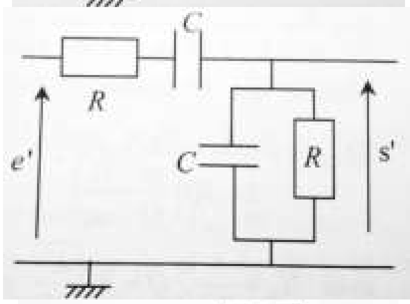
Dans tout l'exercice, on supposera les ALI idéaux, fonctionnant en régime linéaire.

1) On considère le quadripôle de la figure suivante.



a) Déterminer la fonction de transfert $\underline{F} = \frac{\underline{S}}{\underline{E}}$ en fonction de R_1 et R_2 quand l'ALI fonctionne en régime linéaire. Préciser les limitations pratiques que l'on peut rencontrer.
b) Tracer la caractéristique $s(e)$, c'est-à-dire le graphe représentant s en ordonnée en fonction de e en abscisse.

2) Etude du filtre de Wien ci-contre. Vérifier que :
$\underline{G} = \frac{\underline{S'}}{\underline{E'}} = \frac{G_0}{1+jQ\left(\frac{\omega}{\omega_0}-\frac{\omega_0}{\omega}\right)}$ avec $G_0 = \frac{1}{3}, \quad \omega_0 = \frac{1}{RC}, \quad Q = \frac{1}{3}$



Quelle est la fonction de ce quadripôle ? Préciser les caractéristiques du filtre (gain maximum, facteur de qualité, pulsation particulière).

3) a) On couple le filtre de Wien avec le montage amplificateur du 1. A partir des expressions $\underline{F}$ et $\underline{G}$, montrer qu'il peut théoriquement exister un signal sinusoïdal sans générateur basse fréquence pour une valeur $r = \frac{R_2}{R_1}$ et une fréquence f particulière à déterminer.

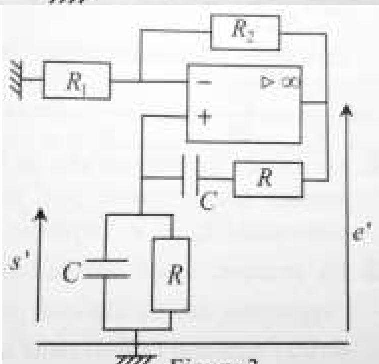
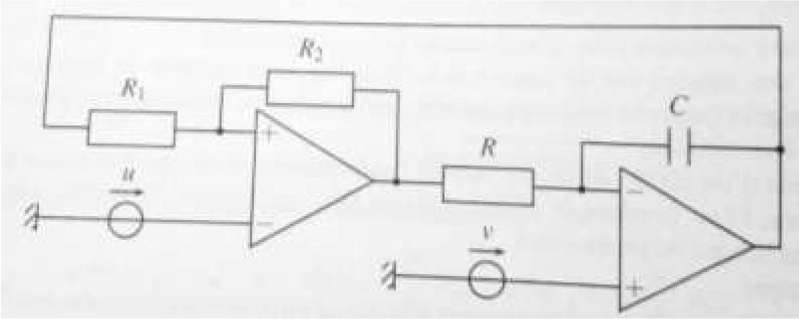


Figure 3

b) En utilisant la relation imposée par l'amplificateur et l'équation différentielle du filtre de Wien, établir l'équation différentielle vérifiée par s'. Montrer qu'il peut exister un signal sinusoïdal sans générateur BF. Retrouver les conditions du 3a.
c) Calculer numériquement f si $R = 10k\Omega \quad et \quad C = 4{,}8nF$. Peut-on légitimement ignorer la réponse fréquentielle de l'ALI ?
d) En pratique, on ne sait pas réaliser exactement la condition $r = \frac{R_2}{R_1}$. A partie de l'équation différentielle précédente, montrer qu'une condition d'apparition des oscillations est $r = \frac{R_2}{R_1} > n$ (n entier à définir). Si on choisit $R_2 = 10k\Omega$, les valeurs disponibles dans les catalogues étant $4{,}7k\Omega$, $5{,}6k\Omega$ et $10k\Omega$, quelle valeur doit-on prendre pour R_1 ?
e) On fait varier la valeur de R_1 de $10k\Omega$ à $1k\Omega$ à l'aide d'un potentiomètre. Décrire ce que l'on observe suivant la valeur de R_1. Donner l'amplitude des oscillations pour $e'(t)$ et $s'(t)$. Faire l'application numérique si la tension de saturation de l'ALI vaut 13 V.

6.3 Oscillateur réglable



Dans le schéma ci-contre, les tensions u et v sont constantes. On note $a(t)$ la tension de sortie de l'ALI de gauche et $b(t)$ celle de celui de droite.

1) Pourquoi reconnaît-on un oscillateur à relaxation ?

2) Tracer le cycle d'hystérésis du comparateur.

3) Calculer l'équation différentielle qui régit l'évolution de l'autre bloc.

4) Etablir la période de fonctionnement et l'utilité des tensions u et v.

5) Dans quel domaine doit-on choisir v afin que le montage oscille convenablement ? Y a-t-il une condition similaire sur u ?