

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

Sommaire

1 Retour sur l'oscillateur harmonique

- 1.1 Description
- 1.2 Oscillateur amorti
- 1.3 Oscillateur à résistance négative

2 Oscillateur à réaction

- 2.1 Retour sur l'oscillateur à résistance négative
- 2.2 Structure
- 2.3 Démarrage des oscillations
- 2.4 Conditions d'auto-oscillation
- 2.5 Exemple : oscillateur à pont de Wien

3 Oscillateur à relaxation

- 3.1 Retour sur le comparateur à hystérésis
- 3.2 Retour sur l'intégrateur
- 3.3 Structure de principe de l'oscillateur à relaxation
- 3.4 Réalisation

5 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.

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 .

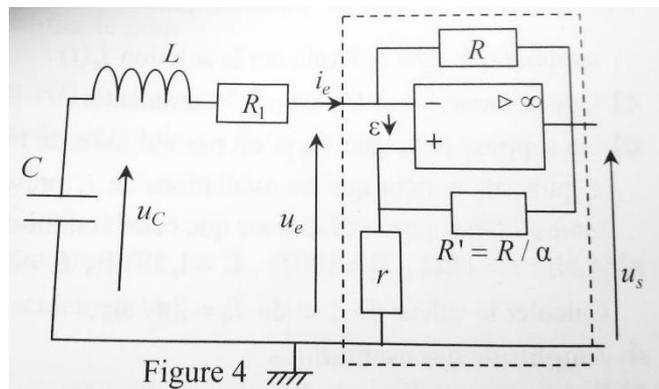


Figure 4

1) L'amplificateur linéaire intégré

- 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 définir 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) Caractéristique d'entrée de A

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) 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) Montage oscillateur : conditions de démarrage des oscillations

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 $T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0}$.

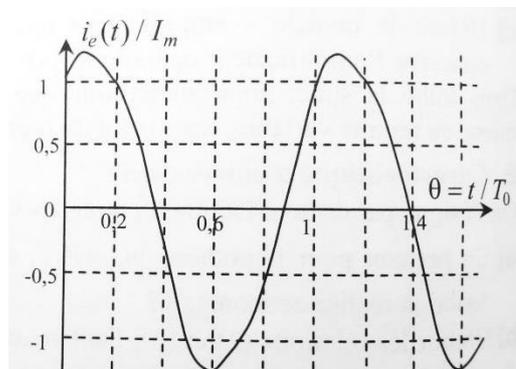
4) Amplitude des oscillations

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 : $R = 2,5k\Omega$ et $V_{sat} = 15V$.

6.2 Oscillateur à pont de Wien

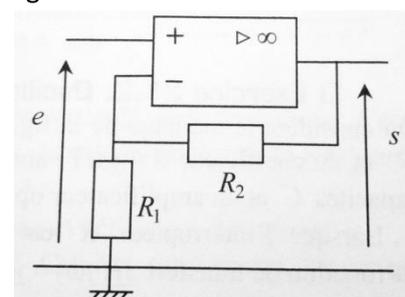
Dans tout l'exercice, on supposera les ALI idéaux, fonctionnant en régime linéaire.

1) On considère le quadripôle de la figure suivante.

a) Déterminer la fonction de transfert $\underline{F} = \frac{S}{E}$ en fonction de

R_1 et R_2 quand l'ALI fonctionne en régime linéaire. Préciser les limitations pratiques que l'on peut rencontrer.

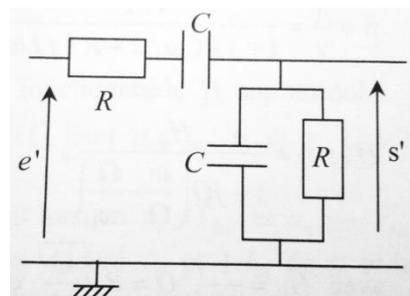
b) Tracer la caractéristique $s(e)$, c'est-à-dire le graphe représentant s en ordonnée en fonction de e en abscisse.



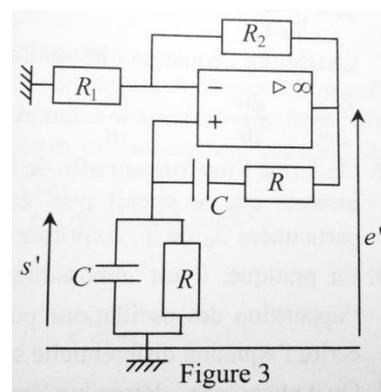
2) Etude du filtre de Wien ci-contre. Vérifier que :

$$\underline{G} = \frac{S'}{E'} = \frac{G_0}{1 + jQ\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)} \text{ avec } G_0 = \frac{1}{3}, \quad \omega_0 = \frac{1}{RC}, \quad Q = \frac{1}{3}$$

Quelle est la fonction de ce quadripôle ? Préciser les caractéristique 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.



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 $R = 10k\Omega$ et $C = 4,8nF$. 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 partir de l'équation

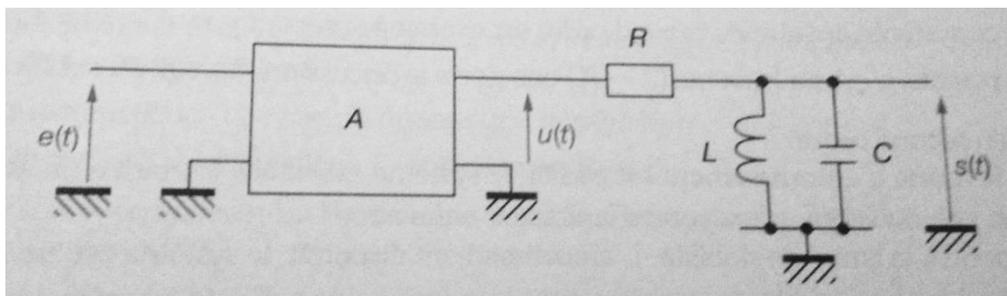
différentielle précédente, montrer qu'une condition d'apparition des oscillations est $r = \frac{R_2}{R_1} > n$ (n

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 à cellule LC

On considère le circuit de la figure suivante comme un opérateur dont les signaux d'entrée et de sortie sont respectivement les tensions $e(t)$ et $s(t)$. Le bloc désigné par A est un amplificateur délivrant un signal $u(t) = Ke(t)$, où K est une constante, dans la plage de fonctionnement envisagée.



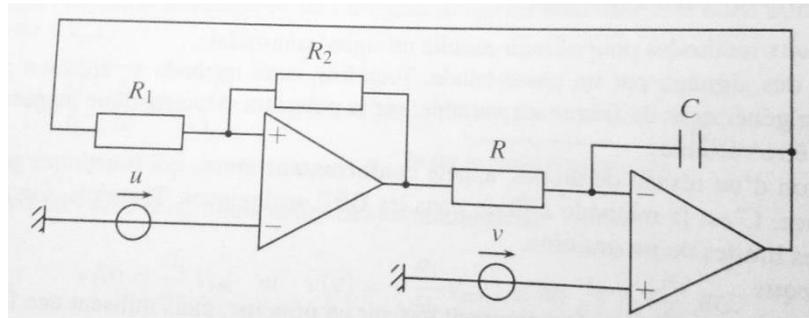
1) Quelle est la nature de ce filtre ?

2) Exprimer la relation entrée-sortie sous forme d'une équation différentielle.

- 3) On reboucle le circuit, c'est-à-dire que l'on place un fil parfaitement conducteur entre l'entrée et la sortie. Discuter selon la valeur de K l'évolution des signaux, à partir d'un état où toutes les amplitudes sont très faibles.
- 4) On souhaite réaliser un oscillateur quasi sinusoïdal avec la structure proposée, préciser les critères de choix de K et suggérer un schéma de réalisation du bloc A à l'aide d'un ALI.
- 5) Quels seront les phénomènes limitant la croissance des oscillations ?

6.4 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 ?