Oscillateurs

4 Exercices

4.1 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 $R' = \frac{R}{\alpha}$.

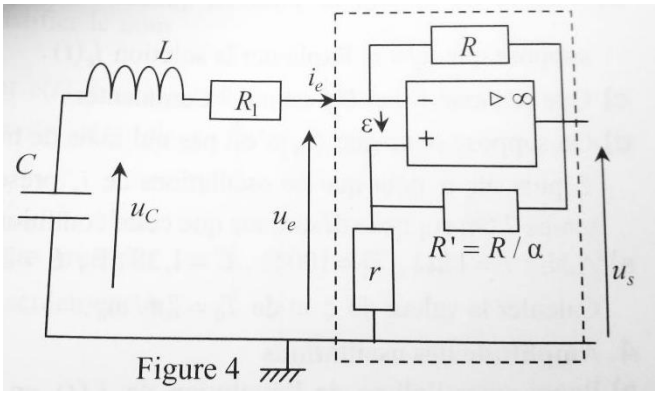


Figure 4

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

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 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) 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.

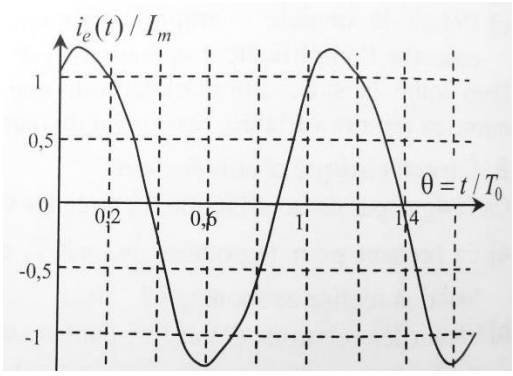
e) AN : $r=1k\Omega, \quad R_1=100\Omega, \quad C=1,28nF, \quad L=2mH, \quad \alpha=0,35$

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

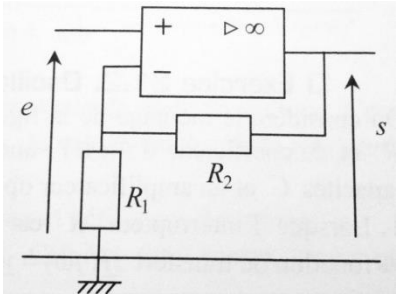
4.2 Oscillateur à pont de Wien

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

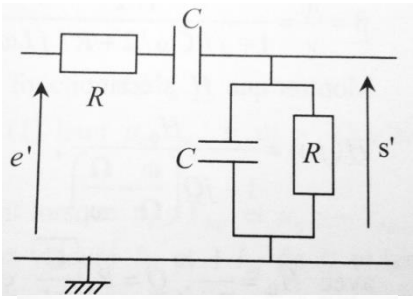
1) On considère le quadripôle de la figure suivante.

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 $G_0 = \frac{1}{3}$, $\omega_0 = \frac{1}{RC}$, $Q = \frac{1}{3}$.



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.

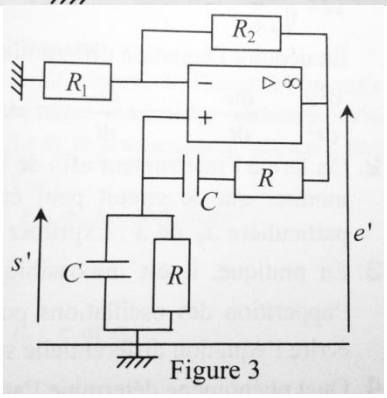


Figure 3

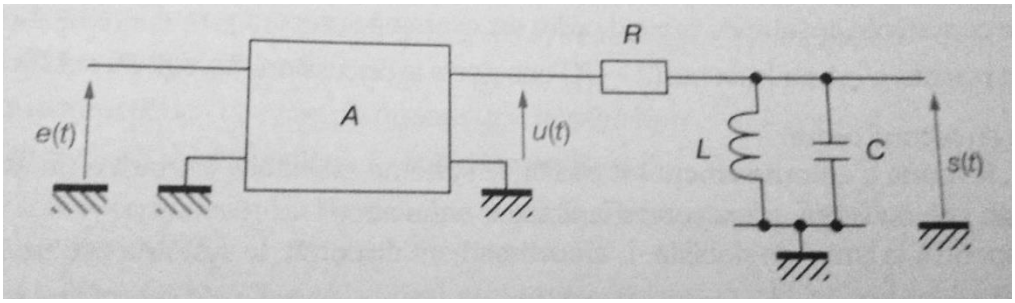
c) Calculer numériquement f si $R = 10k\Omega \quad et \quad C = 4{,}8nF$. Peut –on légitimement ignorer la réponse fréquentielle de l'ALI ?

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 13V.

4.3 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.



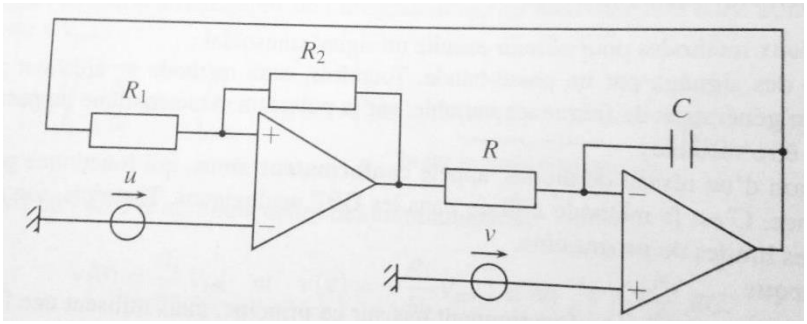
1) Quelle est la nature de ce filtre ?

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 ?

4.4 Oscillateur réglable

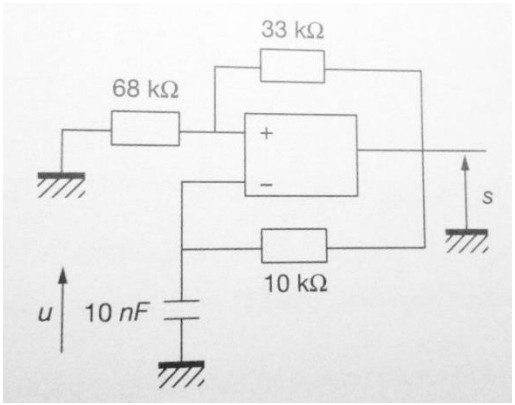
Dans le schéma ci-contre, les tensions u et v sont constantes. On note a(t) la tension de sortie de l'ALI de gauche et b(t) celle de celui de droite.

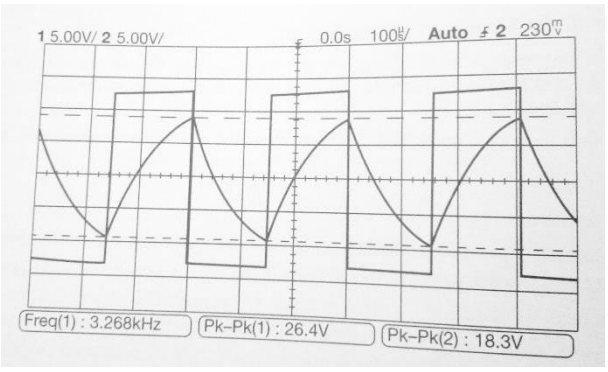


1) Pourquoi reconnaît-on un oscillateur à relaxation ?
2) Tracer le cycle d'hystérésis du comparateur.
3) Calculer l'équation différentielle qui régit l'évolution de l'autre bloc.
4) Etablir la période de fonctionnement et l'utilité des tensions u et v.
5) Dans quel domaine doit-on choisir v afin que le montage oscille convenablement ? Y a-t-il une condition similaire sur u ?

4.5 Observation du fonctionnement d'un astable

La réalisation du circuit suivant a donné les oscillogrammes de la figure jointe, une des tensions étant prise en sortie du circuit intégré linéaire (signal s) et l'autre aux bornes du condensateur (signal u).





1) En exploitant la forme de ces oscillogrammes, préciser lequel correspond à s(t) et lequel correspond à u(t).
2) Les amplitudes crête à crête relevées sont gales à 26,4 V et 18,3 V. Quelle est la tension de saturation V_s de l'ALI ? Le rapport entre ces valeurs est-il conforme à ce que le choix des composants permet d'attendre ?
3) La fréquence mesurée est f = 3,27 kHz, quelle est la durée d'une phase de croissance du signal u ?
4) Proposer une expression de u(t) pendant cette phase de croissance, en choisissant l'origine des temps à son début. On posera $\tau = RC$.
5) La fréquence mesurée est-elle conforme aux attentes ?