Électronique 3
Oscillateurs

Compétences

A la fin de ce chapitre, je saurai :

- ❑ 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.
- ❑ Décrire les différentes séquences de fonctionnement.
- ❑ Exprimer les conditions de basculement.
- ❑ Déterminer l'expression de la période d'oscillation.
- ❑ 💻À l'aide d'un langage de programmation, simuler l'évolution temporelle d'un signal généré par un oscillateur.
- ❑ 👋Mettre en œuvre un oscillateur quasi-sinusoïdal et analyser les spectres des signaux générés.

Résumé du cours

1 Les oscillateurs

Un oscillateur est un montage électronique délivrant un signal périodique.La fréquence peut généralement être réglée via le choix des composants.

Deux grandes familles d'oscillateurs existent :

- les oscillateurs quasi-sinusoïdaux produisent des signaux proches de sinusoïdes
- les oscillateurs à relaxation produisent des signaux créneaux ou triangulaires

Les oscillateurs sont souvent des systèmes bouclés.

2 Oscillateur quasi-sinusoïdal : l'oscillateur de Wien

2.1 Montage de l'oscillateur de Wien

Les oscillateurs quasi-sinusoïdaux sont très souvent constitués

- d'un amplificateur
- d'un filtre passe-bande

Pour le filtre de Wien, le filtre passe-bande est un filtre de Wien et l'amplificateur est un amplificateur non-inverseur.

Montage de l'oscillateur de Wien

Schéma

Avec

- $v_1(t)$ est la sortie de l'amplificateur non-inverseur et l'entrée du filtre de Wien (en V)
- $v_2(t)$ est l'entrée de l'amplificateur non-inverseur et la sortie du filtre de Wien (en V)

Schéma bloc [1]

Hypothèses

- la circuit est dans l'ARQS
- la fréquence est dans la bande passante de l'amplificateur non-inverseur
- l'ALI est en régime linéaire

Schéma

Avec

- R_1, R_2 et R sont des résistances (en Ω)
- C est la capacité des condensateurs (en F)
- $V_1(p)$ est la sortie de l'amplificateur non-inverseur et l'entrée du filtre de Wien (en V)
- $V_2(p)$ est l'entrée de l'amplificateur non-inverseur et la sortie du filtre de Wien (en V)

2.2 Condition d'oscillation et fréquence des oscillations

Condition d'oscillation [2]

Hypothèses

- la circuit est dans l'ARQS
- la fréquence est dans la bande passante de l'amplificateur non-inverseur
- l'ALI est en régime linéaire

Des oscillations sinusoïdales existent ssi $R_2 = 2R_1$

Avec

- R_1 et R_2 sont les résistances de l'amplificateur non-inverseur (en Ω)

Pulsation des oscillations sinusoïdales [3]

Hypothèses

- la circuit est dans l'ARQS
- la fréquence est dans la bande passante de l'amplificateur non-inverseur
- l'ALI est en régime linéaire
- la condition d'oscillation est vérifiée

$$\omega = \frac{1}{RC}$$

Avec

- R est la résistance des résistors dans le filtre de Wien (en Ω)
- C est la capacité des condensateurs dans le filtre de Wien (en F)

De manière générale, un oscillateur quasi-sinusoïdal composé d'un filtre passe-bande et d'un amplificateur oscille à la pulsation caractéristique du filtre passe-bande si les conditions d'oscillation sont vérifiées.

2.3 Démarrage des oscillations

Si le système est stable et que les tensions sont initialement nulles, rien ne se passe. Pour que des oscillations démarrent, le système bouclé doit être instable[1].

Condition de démarrage des oscillations [4]

Hypothèses

- la circuit est dans l'ARQS
- la fréquence est dans la bande passante de l'amplificateur non-inverseur
- l'ALI est en régime linéaire

Les oscillations démarrent ssi $R_2 > 2R_1$

Avec

- R_1 et R_2 sont les résistances de l'amplificateur non-inverseur (en Ω)

La condition d'existence d'oscillations sinusoïdales apparait comme un cas limite de cette inégalité.

2.4 Saturation de l'ALI

S'il n'y avait pas la saturation de l'ALI, l'amplitude des oscillations continuerait à augmenter indéfiniment. C'est la saturation de l'ALI qui fixe l'amplitude des oscillations.

[1] C'est le système bouclé qui doit être instable. Chacun des deux systèmes qui le composent sont stables.

Amplitude des tensions [5]

Hypothèses

- la circuit est dans l'ARQS
- la fréquence est dans la bande passante de l'amplificateur non-inverseur
- l'ALI est en régime linéaire
- la condition d'oscillation est vérifiée

---

v_1 a pour amplitude V_{sat}
v_2 a pour amplitude $\frac{V_{sat}}{3}$

Avec

- $v_1(t)$ la sortie de l'amplificateur non inverseur et l'entrée du filtre de Wien (en V)
- $v_1(t)$ l'entrée de l'amplificateur non inverseur et la sortie du filtre de Wien (en V)
- V_{sat} la tension de saturation de l'ALI ($\approx 15\,\text{V}$) (en V)

La saturation de l'ALI est un phénomène non linéaire, qui modifie donc les spectres de v_1 et v_2. Expérimentalement, on observe que plus $R_2 - 2R_1$ est grand, plus les spectres comportent d'harmoniques et moins les signaux sont sinusoïdaux.

v_2 est « plus sinusoïdal » que v_1 car c'est la sortie du filtre passe-bande, qui diminue l'amplitude relative des harmoniques.

3 Oscillateur à relaxation

3.1 Montage de l'oscillateur à relaxation

L'oscillateur à relaxation est constitué d'un comparateur à hystérésis positif et d'un intégrateur.

Montage de l'oscillateur à relaxation

Schéma

Avec

- $u(t)$ est la sortie du comparateur à hystérésis positif et l'entrée de l'intégrateur (en V)
- $v(t)$ est l'entrée du comparateur à hystérésis positif et la sortie de l'intégrateur (en V)

Caractéristique du comparateur à hystérésis positif [6]

Schéma

Avec

- $u(t)$ est la sortie du comparateur à hystérésis positif (en V)
- $v(t)$ est l'entrée du comparateur à hystérésis positif (en V)

Fonction intégrateur [7]

Hypothèses

- le circuit est dans l'ARQS
- l'ALI est en régime linéaire

$$v(t) = v_0 - \frac{1}{RC}\int_0^t u(x)dx$$

Avec

- $v(t)$ est la sortie de l'intégrateur (en V)
- $u(t)$ est l'entrée de l'intégrateur (en V)
- R est la résistance du résistor (en Ω)
- C est la capacité du condensateur (en F)
- $v_0 = v(t = 0)$ est la valeur initiale de v (en V)

3.2 Signaux de sortie

Alure des signaux de sortie [8]

Hypothèses

- le circuit est dans l'ARQS
- l'ALI de l'intégrateur est en régime linéaire
- la période est très grande devant la durée de commutation de l'ALI

Schéma

Avec

- V_{sat} est la tension de saturation des ALI (en V)
- R_1 et R_2 les résistances des résistors du comparateur à hystérésis positif (en Ω)
- $u(t)$ est la sortie du comparateur à hystérésis positif et l'entrée de l'intégrateur (en V)
- $v(t)$ est l'entrée du comparateur à hystérésis positif et la sortie de l'intégrateur (en V)

3.3 Période d'oscillation

Période d'oscillation de l'oscillateur à relaxaton [9]

Hypothèses

- le circuit est dans l'ARQS
- l'ALI de l'intégrateur est en régime linéaire
- la période est très grande devant la durée de commutation de l'ALI

$$T = 4\frac{R_1}{R_2}RC$$

Avec

- R_1 et R_2 les résistances des résistors du comparateur à hystérésis positif (en Ω)
- R la résistance du résistor de l'intégrateur (en Ω)
- C la capacité du condensateur de l'intégrateur (en F)

Cette expression est valable tant que la période est très grande devant la durée de commutation de l'ALI.

Schéma Influence de la vitesse de balayage sur le signal créneau.

Application 10

Déterminer la durée de commuation de l'ALI.

3.4 Choix de R_1 et R_2

$v(t)$ étant la sortie de l'ALI, $v \in [-V_{sat}, V_{sat}]$. Pour que la commutation ait lieu, il faut que $\frac{R_1}{R_2}V_{sat} < V_{sat}$, i.e. que $R_1 < R_2$.

Méthodes

1 Mettre un système bouclé sous forme d'un schéma-bloc

1. Déterminer la fonction de transfert de chacune des parties du système.
2. Représenter un schéma bloc en faisant apparaitre ces fonctions de transfert.

2 Déterminer la fréquence d'oscillation d'un oscillateur sinusoïdal

1. A partir du schéma bloc ou des fonctions de transfert, écrire un système de deux équations reliant les deux tensions du système bouclé.
2. Combiner les équations en remplaçant une des tensions par son expression et simplifier pour ne plus avoir de tension.
3. Passer en complexe si on est dans le domaine de Laplace.
4. Prendre partie réelle et partie imaginaire.

3 Déterminer la condition d'oscillation sinusoïdales

1. A partir du schéma bloc ou des fonctions de transfert, écrire un système de deux équations reliant les deux tensions du système bouclé.
2. Combiner les équations en remplaçant une des tensions par son expression et simplifier pour ne plus avoir de tension.
3. Passer en complexe si on est dans le domaine de Laplace.
4. Prendre partie réelle et partie imaginaire.

4 Déterminer les conditions de démarrage des oscillations

1. A partir du schéma bloc ou des fonctions de transfert, écrire un système de deux équations reliant les deux tensions du système bouclé.
2. Combiner les équations en remplaçant une des tensions par son expression.
3. Passer dans le domaine temporel pour obtenir une équation différentielle sur une tension.
4. Écrire la condition de stabilité (le système ne doit **pas** être stable.)

5 Déterminer l'amplitude des différents signaux mesurables pour un oscillateur quasi-sinusoïdal

1. Identifier les tensions qui sont des sorties d'ALI. Ces tensions sont bornées par V_{sat}.
2. Pour les autres tensions, utiliser la fonction de transfert des blocs dont elles sont la sortie.

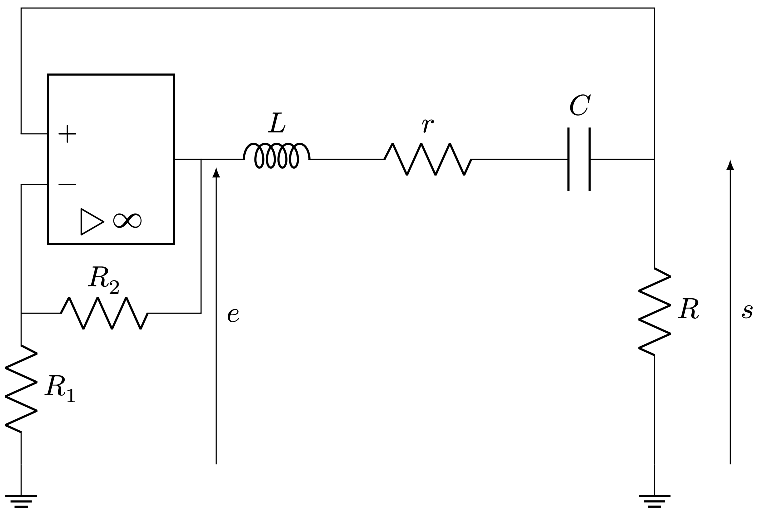
6 Déterminer la forme des signaux et leur fréquence pour un oscillateur à relaxation

1. Identifier les tensions sortant d'un ALI en régime instable. Ces tensions sont des créneaux.
2. A partir des équations différentielles régissant les autres blocs, établir les formes des autres signaux.

TD

1 Oscillateur à filtre RLC

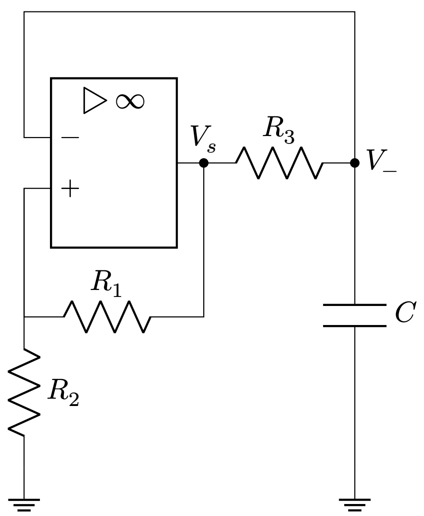
On considère le montage suivant, constitué d'un montage amplificateur non-inverseur et d'un filtre RLC-série.



1. Déterminer la fonction de transfert $H(p) = \dfrac{S(p)}{E(p)}$ du filtre RLC-série.
2. Donner la fonction de transfert du montage amplificateur non-inverseur.
3. À quelle condition observe-t-on des oscillations quasi-sinusoïdales ?
4. Quelle est l'amplitude de $e(t)$? Quelle est celle de $s(t)$?
5. Laquelle de ces deux tensions est la « plus sinusoïdale » ?
6. À quelle condition les oscillations démarrent-elles ?

2 Oscillateur à décharge de condensateur

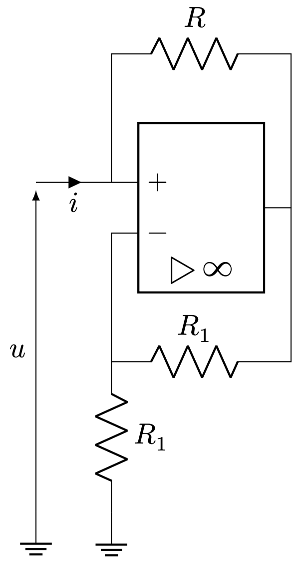
On étudie le circuit suivant, où $R_1 = 100\,\mathrm{k}\Omega$, $R_2 = 10\,\mathrm{k}\Omega$, $R_3 = 10\,\mathrm{k}\Omega$ et $C = 10\,\mathrm{nF}$.



1. Identifier le filtre passif inclus dans ce montage. Quelle est sa fonction de transfert ? Quelle est l'équation différentielle associée ?
2. Résoudre cette équation différentielle en supposant V_s constant.
3. Quel montage de l'ALI reconnait-on dans ce montage ? Donner sa caractéristique (V_s, V_-).
4. En supposant qu'à $t = 0$, $V_s = +V_{\text{sat}}$ et $V_- =$, tracer $V_-(t)$ et $V_s(t)$.
5. Que vaut la période des signaux produits ?

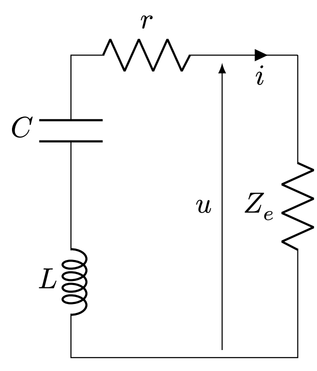
3 Oscillateur à résistance négative

On considère le montage ci-dessous, appelé montage à résistance négative. On **suppose** l'ALI en fonctionnement stable.



1. Déterminer une relation entre la tension u et la tension de sortie de l'ALI.
2. En utilisant la loi d'Ohm, en déduire l'impédance d'entrée du montage $Z_e = \frac{u}{i}$.

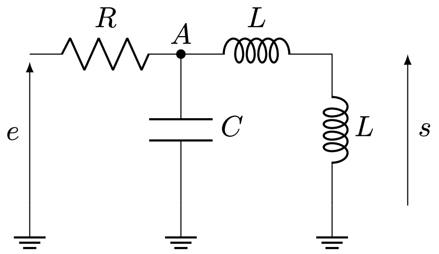
Ce montage, qui se comporte comme une « résistance négative », est placée dans le circuit suivant où $R_1 = 10\,\text{k}\Omega$ et $r = 10\,\text{k}\Omega$.



3. Déterminer une équation différentielle sur i.
4. Sous quelles conditions sur la valeur de R les oscillations démarrent-elles ?

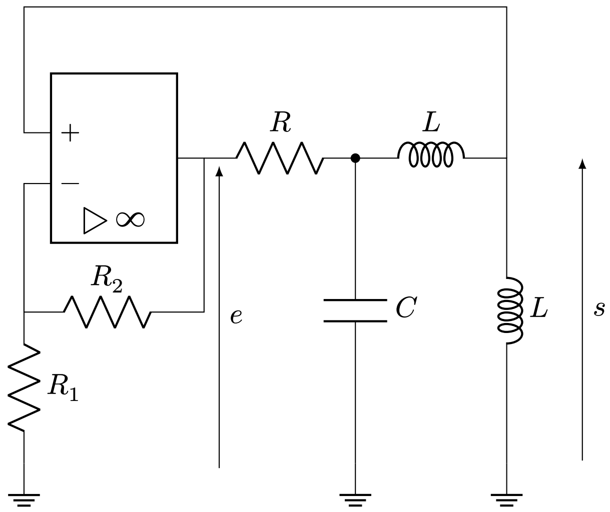
4 Hartley oscillator

First, we will study the electronic filter below, named Hartley filter.



1. Using Kirchhoff's nodal rule in A, express its potential as a function of the voltages e and s.
2. Ascertain s as a function of the potential in A thanks to the voltage diviser law. With the help of the previous question, determine the transfer function of the Hartley filter.

The complete Hartley oscillator's electrical schema is shown below.



3. Which operational amplifier assembly can be recognized ? Give its transfer function without any demonstration.
4. Under which condition do the oscillations **start** ?
5. How sinusoidal oscillations can be obtained ? What will be their frequency ?
6. What is the amplitude of e ? What is the one of s ?
7. Which voltage will be the most sinusoidal ?