Chapitre : 1.2 Oscillateurs

Partie : 1 Electronique

Mise en contexte
La description et l'étude de phénomène se caractérisent régulièrement par leur caractère périodique (fréquence fondamentale d'une note en musique, fréquence de résonance d'une structure mécanique, longueur d'onde d'un rayonnement ...). On nomme oscillateur ces systèmes au fonctionnement périodique et nous étudierons en particulier les oscillateurs électroniques.



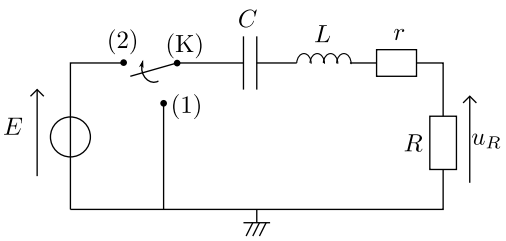
Les oscillateurs électroniques trouvent leurs applications notamment dans la génération de signaux pour l'instrumentation, la commande ou le cadencement d'autres circuits. Ces applications nécessitent alors le contrôle et l'entretien des oscillations sur une durée voulue.
Nous allons donc étudier comment nous pouvons passer de système électronique oscillant librement comme vu en TSI-1 à un oscillateur contrôlé.

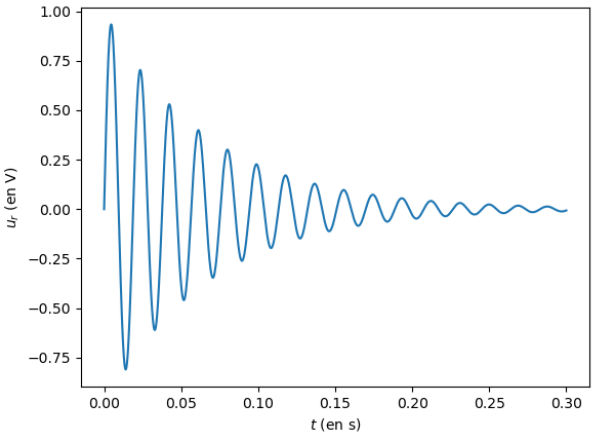
1 Oscillateurs quasi-sinusoïdaux

1.1 Conditions d'auto-oscillation sinusoïdale

Un oscillateur libre en électronique peut être réalisé à partir d'un simple circuit RLC.

(a) (b)





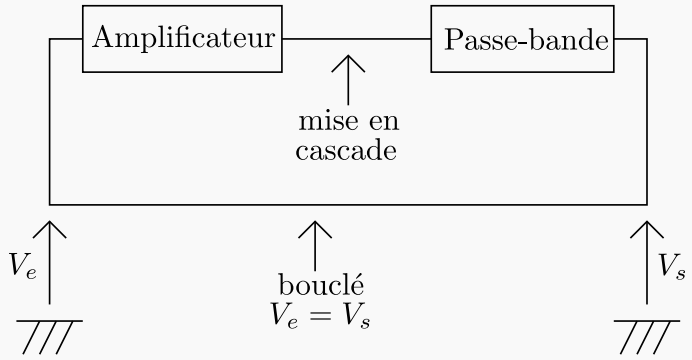
Oscillations libres (a) Schéma d'un circuit RLC série soumis à un échelon de tension, (b) Oscillations libres de la tension u_r d'un circuit RLC série de facteur de qualité $Q = 10$.

Remarques 1 *Pour des oscillations libres amorties, rappelez les notions de pulsation propre ω_0, de pulsation de résonnance ω_r, de facteur de qualité. Puis rappelez la forme de la fonction de transfert du filtre passe-bande du 2nd ordre associé.*

La problématique est alors d'entretenir les oscillations d'un circuit réel. Parmi les solutions possibles, nous allons étudier les systèmes linéaire bouclés.

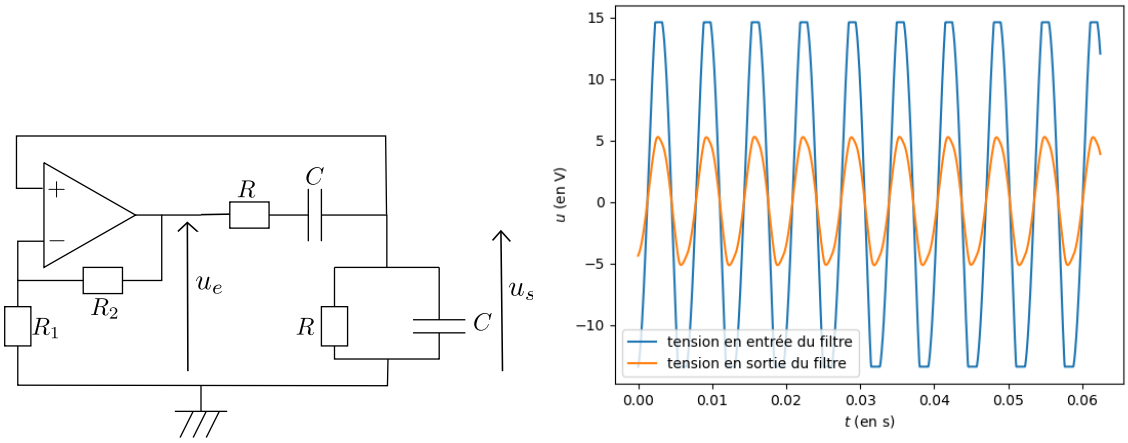
Définition 1 *Oscillateur à contre-réaction*

Un système linéaire bouclé constitue un oscillateur à contre-réaction lorsqu'il met en cascade un amplificateur linéaire avec un filtre passe-bande dans une boucle. L'entrée et la sortie du système sont connectées ensemble formant la boucle :



Un exemple d'oscillateur à contre-réaction courant est un système bouclé constitué d'un montage amplificateur non-inverseur et d'un filtre à pont de Wien.

(a) (b)



Oscillations entretenues (a) Schéma d'un oscillateur à contre réaction, (b) Oscillations en tension entretenues dans un oscillateur à contre réaction. Le circuit comporte un amplificateur de gain $A = 3,1$ et un filtre passe-bande de gain $G = \dfrac{1}{3}$ et de facteur de qualité $Q = \dfrac{1}{3}$.

Propriétés 1 *Critère de stabilité de Barkhausen*

Soit un oscillateur à contre-réaction dont les fonctions de transfert de l'amplificateur et du filtre passe-bande sont respectivement $\underline{A}(\omega)$ et $\underline{H}(\omega)$.
Si il existe une pulsation ω_c telle que

$$\underline{H}(\omega_c) \times \underline{A}(\omega_c) = 1$$

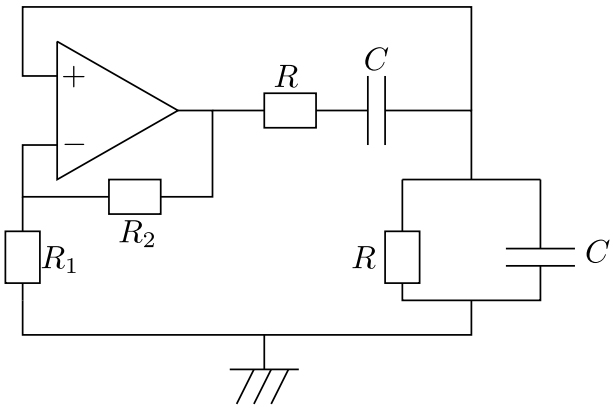
alors il peut exister une oscillation entretenue à ω_c.

Propriétés 1 *Critère de stabilité de Barkhausen (suite)*

Remarques 2 *Par quelle méthode pouvons nous déterminer la pulsation des oscillations entretenues ω_c et le gain A de l'amplificateur à choisir ? Que se passe-t-il si le critère de Barkhausen n'est pas exactement vérifié ?*

Applications 1 *Condition d'auto-oscillation sinusoïdale*

Soit un oscillateur à pont de Wien :



Q1. Identifier le bloc amplificateur, le bloc filtre passe-bande, et la rétroaction.

Q2. On donne le gain A de l'amplificateur, $A = 1 + \dfrac{R_2}{R_1}$ la fonction de transfert du filtre $\underline{H}(\omega) = \dfrac{1}{3 + j\left(RC\omega - \dfrac{1}{RC\omega}\right)}$

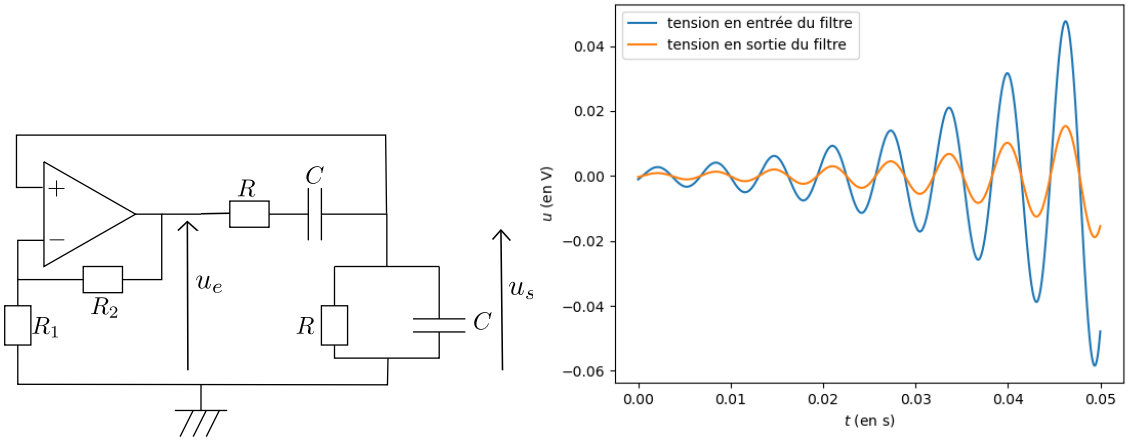
(a) Quelle serait la pulsation des oscillations sinusoïdales stables ?

(b) Quel serait la valeur de $\dfrac{R_2}{R_1}$ intervenant dans A à choisir pour avoir des oscillations stables ?

1.2 Démarrage des oscillations

Le critère de Barkhausen indique la condition à vérifer pour avoir des oscillations entretenues et décrit donc le régime permanent. Étudions ici la naissance de ces oscillations qui apparaissent lors du branchement du système bouclé ou de la mise en route de l'amplificateur.

(a) (b)



Démarrage des oscillations (a) Schéma d'un oscillateur à contre réaction, (b) Démarrage des oscillations en tension dans un oscillateur à contre réaction. Le circuit comporte un amplificateur de gain $A = 3,1$ et un filtre passe-bande de gain $G = \dfrac{1}{3}$ et de facteur de qualité $Q = \dfrac{1}{3}$.

Remarques 3 *Définissez le cadre de l'étude du démarrage des oscillations. Puis rappelez la forme de l'équation différentielle décrivant un filtre passe-bande du 2nd ordre.*

Propriétés 2 *Critère de démarrage des oscillations*

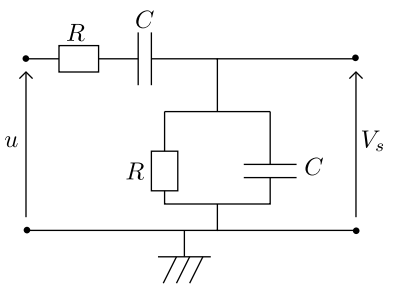
Pour un système bouclé constitué d'un amplificateur de gain réel A et d'un filtre du deuxième ordre de gain à la pulsation propre G, on appelle critère de démarrage de l'oscillateur :

$$G \times A > 1$$

Remarques 4 *Quelle est la durée τ du régime transitoire de démarrage des oscillations ? Comment évolue-t-elle avec le gain A de l'amplificateur ?*

Applications 2 *Démarrage des oscillations*

Soit le filtre à pont de Wien :

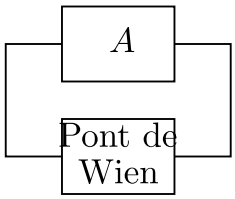


dont on donne la fonction de transfert $\underline{H}(\omega) = \dfrac{1}{3 + j\left(RC\omega - \dfrac{1}{RC\omega}\right)}$

Q1. A partir de la fonction de transfert retrouver l'équation différentielle décrivant le filtre.

Q2. Mettre l'équation différentielle sous forme canonique et identifier le gain G, la pulsation propre ω, le facteur de qualité Q.

Q3. Quelle inégalité doit vérifier un amplificateur de gain réel A pour assurer le démarrage spontanée d'oscillation dans un système bouclé ?



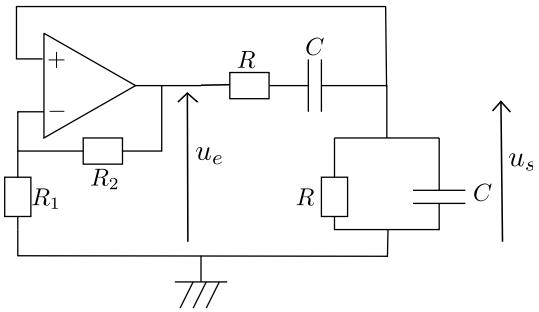
Q4. Quelle est l'équation différentielle décrivant le démarrage des oscillations ?

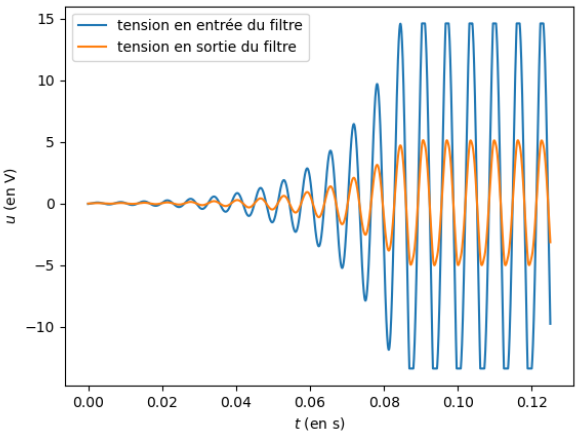
1.3 Stabilisation des oscillations

La solution trouvée pour décrire le démarrage des oscillations est valable lors du régime transitoire. Mais elle est divergente, en effet l'amplitude des oscillations tend vers $+\infty$. Il est donc impossible que cette solution décrive le régime permanent. Il faut donc modifier le cadre d'étude pour décrire le phénomène de stabilisation des oscillations.

Remarques 5 *Quelles hypothèses du cadre d'étude du démarrage des oscillations sont à modifier en régime permanent ? Quelle est alors le nouveau cadre d'étude ?*

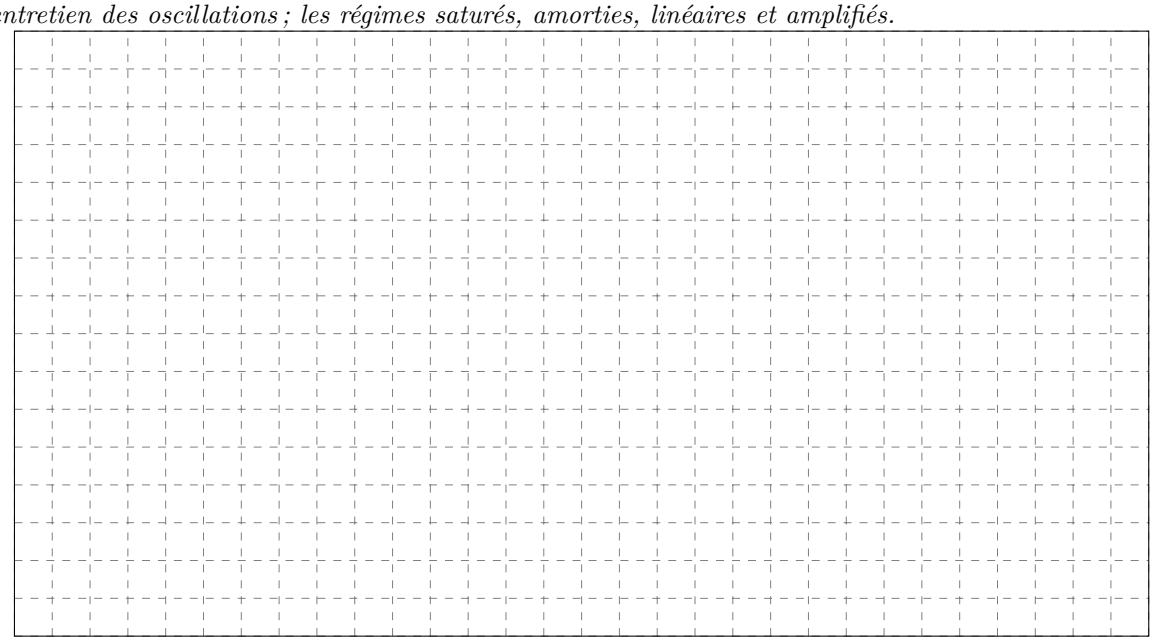
(a) (b)



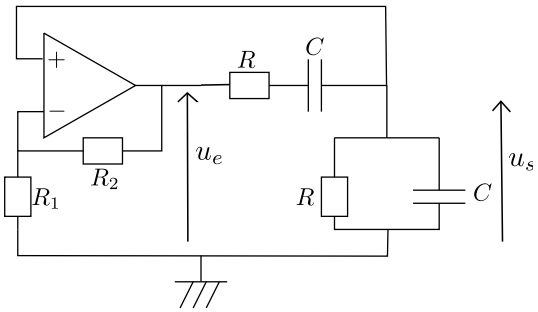


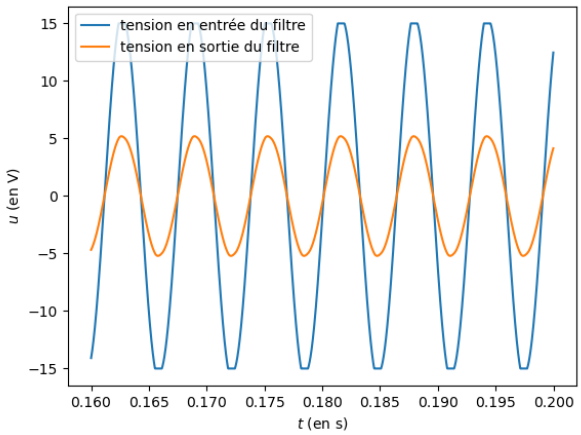
Stabilisation des oscillations (a) Schéma d'un oscillateur à contre réaction, (b) Visualisation du démarrage et entretien des oscillations en tension dans un oscillateur à contre réaction. Le circuit comporte un amplificateur de gain $A = 3,1$ et un filtre passe-bande de gain $G = \frac{1}{3}$ et de facteur de qualité $Q = \frac{1}{3}$.

Remarques 6 *Sur un exemple de graphique montrant les oscillations des tensions dans un oscillateur à contre réaction, identifiez : les régimes transitoire et permanent ; le démarrage , la stabilisation et l'entretien des oscillations ; les régimes saturés, amorties, linéaires et amplifiés.*

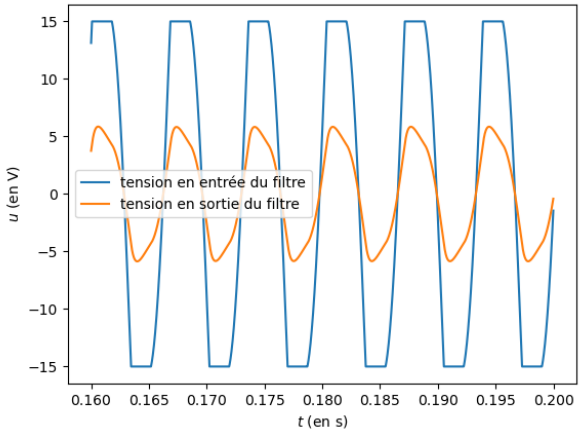


(a) (b)





(c)



Oscillateur quasi-sinusoïdal (a) Schéma d'un oscillateur à contre réaction, (b) Oscillations en tension entretenues dans un oscillateur à contre réaction. Le circuit comporte un amplificateur de gain $A = 3,01$ et un filtre passe-bande de gain $G = \frac{1}{3}$ et de facteur de qualité $Q = \frac{1}{3}$, (c) Oscillations en tension entretenues dans un oscillateur à contre réaction. Le circuit comporte un amplificateur de gain $A = 3,5$ et un filtre passe-bande de gain $G = \frac{1}{3}$ et de facteur de qualité

Remarques 7 *Quelle est la forme des oscillations d'un oscillateur à contre réaction ? Comment évolue cette forme entre l'entrée et la sortie du filtre ? Et en fonction du gain de l'amplificateur ?*

Définition 2 *Oscillateur quasi-sinusoïdal :*

On appelle oscillateur quasi-sinusoïdal, un oscillateur à contre-réaction avec un amplificateur de gain réel A, un filtre passe-bande du 2^{nd} ordre de gain G, qui vérifié le critère de démarrage $G \times A > 1$ avec A le plus proche possible de $\frac{1}{G}$:

$$0 < G \times A - 1 \ll 1$$

2 Oscillateur de relaxation

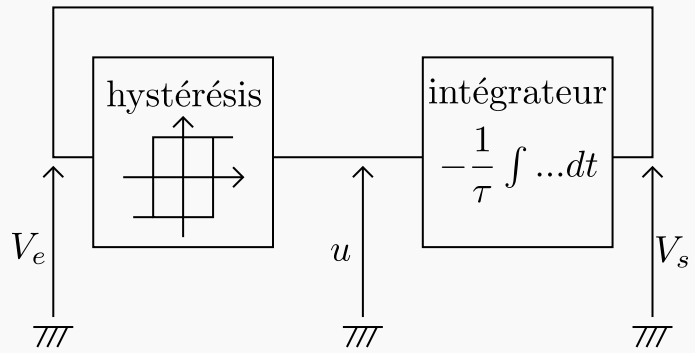
2.1 Principe de fonctionnement

Une autre méthode pour réaliser des oscillations périodiques mais non-harmonique, est d'utiliser un système bistable qui changera d'état automatiquement et périodiquement.

Définition 3 *Oscillateur de relaxation*

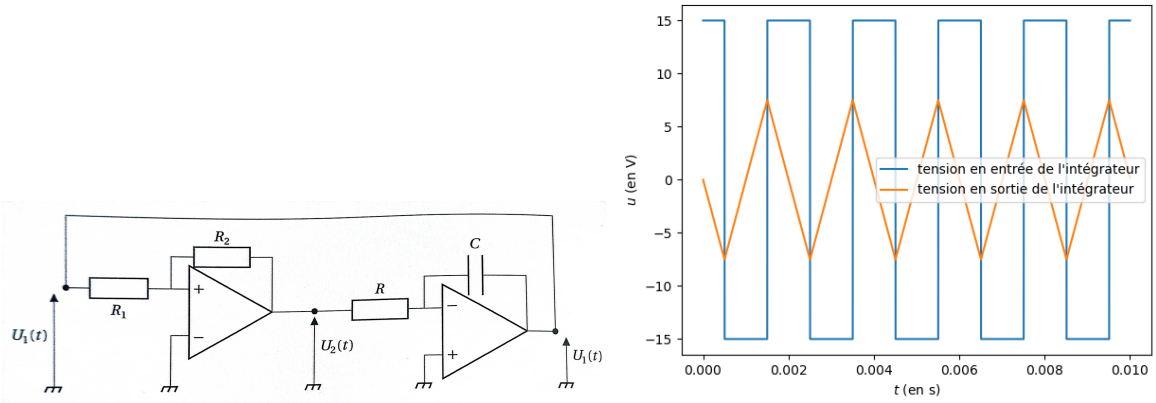
Un oscillateur de relaxation est un système qui oscille périodiquement entre deux états distincts. On peut réaliser un oscillateur de relaxation à l'aide d'un système bouclé comportant :

- un comparateur à hystérésis : qui possède deux états distincts
- un intégrateur : qui fait évoluer le système entre ces deux états



A partir de nos connaissances sur les montages à ALI nous pouvons donner un exemple de montage dont les fonctions hystérésis et intégrateur sont réalisées à l'aide d'ALI.

(a) (b)



Oscillateur de relaxation (a) Schéma d'un oscillateur de relaxation, (b) Oscillations en tension entretenues dans un oscillateur de relaxation. Le circuit comporte un comparateur à hystérésis de tension de saturation $V_{sat}^{\pm} = \pm 15$ V et de seuil de basculement $V_0^{\pm} = \pm 7.5$ V, et un intégrateur inverseur de temps de réponse $\tau = 1$ ms

Remarques 8 *Identifiez les montages à ALI usuel dans l'exemple d'oscillateur de relaxation. Identifiez les régimes linéaire ou saturé des ALI. Justifiez de la forme des signaux.*

Propriétés 3 *Séquences de fonctionnement d'un oscillateur de relaxation*

Le fonctionnement d'un oscillateur de relaxation se décompose en 4 séquences qui se répètent périodiquement :

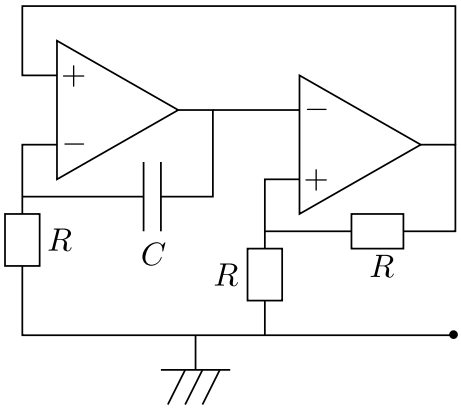
- Saturation négative : $u_{\text{ampli}} = V_{\text{sat}}^-$ et $u_{\text{intégrateur}}$ évolue d'un seuil de basculement V_0^- à l'autre V_0^+
- Basculement : u_{ampli} bascule de V_{sat}^- à V_{sat}^+ et $u_{\text{intégrateur}} = V_0^+$
- Saturation positive : $u_{\text{ampli}} = V_{\text{sat}}^+$ et $u_{\text{intégrateur}}$ évolue de V_0^+ à V_0^-
- Basculement : u_{ampli} bascule de V_{sat}^+ à V_{sat}^- et $u_{\text{intégrateur}} = V_0^-$

Propriétés 3 *Séquences de fonctionnement d'un oscillateur de relaxation (suite)*

Remarques 9 *Quelles associations pouvons nous faire entre montage à hystérésis et intégrateur ? Et quelle condition doit vérifier le montage intégrateur pour le fonctionnement de l'oscillateur ?*

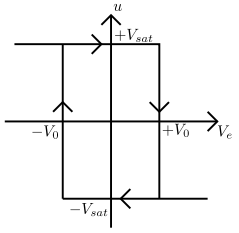
Applications 3 *Principe de fonctionnement des oscillateurs à relaxation*

Soit le montage suivant :



Q1. Identifier les blocs comparateur à hystérésis, pseudo-intégrateur, boucle de rétroaction. Puis anoter les tensions V_e entrée du comparateur, u sortie du comparateur, V_s sortie du pseudo-intégrateur.

Q2. Le pseudo-intégrateur est d'équation différentielle $RC\dfrac{dV_s}{dt} = u + RC\dfrac{du}{dt}$ et le comparateur à hystérésis de cycle :



Tracer $u(t)$, $V_s(t)$ et le cycle u en fonction de V_e en notant les séquences de fonctionnement.

2.2 Paramètres de fonctionnement

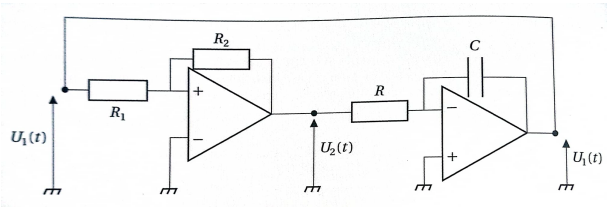
Pour prédire de manière quantitative les signaux générés par un oscillateur de relaxation on peut déterminer 3 paramètres caractéristiques : temporel, d'amplitude pour le comparateur et d'amplitude pour l'intégrateur.

Définition 4 *Paramètres de fonctionnement d'un oscillateur de relaxation :*

Les paramètres de fonctionnement d'un oscillateur de relaxation sont :

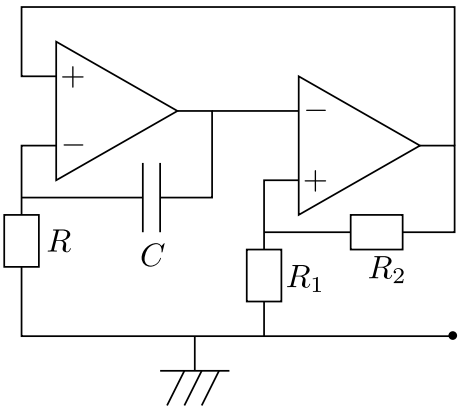
- Les tensions de saturation du comparateur : ce sont les saturations en tension de l'ALI utilisé
- Les conditions de basculement : ce sont les conditions de passage d'un état à l'autre du cycle d'hystérésis
- La période des différents signaux : c'est la durée des 4 séquences de fonctionnement saturation négative - basculement - saturation positive - basculement.

Remarques 10 *Comment pouvons nous exprimer les paramètres de fonctionnement de l'oscillateur de relaxation suivant en fonction des composants V_{sat}, R, C, R_1, R_2 ?*



Applications 4 *Paramètres de fonctionnement des oscillateurs de relaxation*

Q1. Déterminez les paramètres de fonctionnement de l'oscillateur à relaxation suivant :



Vers les concours

- Établir les équations différentielles décrivant chaque montage d'un oscillateur quasi-sinusoïdal ou de relaxation.
- Manipuler les notations complexes et fonction de transfert dans le cadre d'un oscillateur quasi-sinusoïdal.
- Décomposer le fonctionnement d'un oscillateur de relaxation.
- Déterminer les critères et paramètres de fonctionnement d'un oscillateur quasi-sinusoïdal ou de relaxation.
- Représenter les différentes tensions lors du fonctionnement d'un oscillateur quasi-sinusoïdal ou de relaxation.