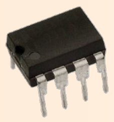


Electrocinétique

Chapitre 3 : Oscillateurs électroniques

Sommaire

1 Génération d'un signal quasi-sinusoïdal

1.1 Structure d'un oscillateur à boucle de réaction

Un oscillateur est un montage électronique qui génère un signal oscillant seul, c'est-à-dire sans l'utilisation d'un générateur de tension. L'énergie nécessaire est apportée par un composant actif, comme par exemple un amplificateur opérationnel.

L'oscillateur quasi-sinusoïdal est un système bouclé constitué :
— d'une chaîne directe, constituée d'un amplificateur ($\underline{A}$) ;
— d'une chaîne de retour, obtenu à l'aide d'un filtre passe-bande ($\underline{B}$), permettant de séléctionner la fréquence d'oscillation.

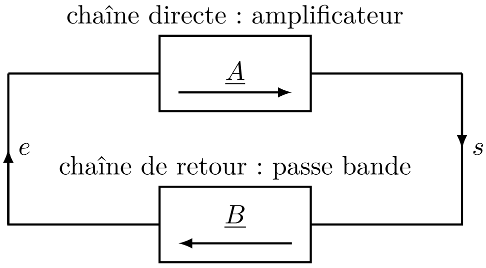


Figure 1

On se place dans le cas particulier où la chaîne directe est un montage à amplificateur opérationnel, de fonction de transfert $\underline{A} = A_0 =$ cte dans le domaine linéaire, et où la chaîne de retour est un filtre passe-bande du deuxième ordre :

$$\underline{A} = A_0 \quad \text{et} \quad \underline{B} = \frac{B_0}{1 + jQ\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)} \tag{1}$$

1.2 Etude temporelle

1.2.1 Démarrage des oscillations

Il s'agit dans un premier temps de comprendre comment un régime oscillant va s'établir dans le circuit. Pour cela, il faut considérer qu'à un instant donné il apparaît une microtension dans le circuit ($e(0) \neq 0$, $\frac{\mathrm{d}e}{\mathrm{d}t}(0) \neq 0$). Cette tension initiale étant très faible, on a :

$$-\frac{V_{sat}}{A_0} < e(0) < \frac{V_{sat}}{A_0} \tag{2}$$

l'amplificateur opérationnel est alors dans le domaine linéaire :

$$\underline{s} = A_0 \underline{e} \tag{3}$$

Par ailleurs, le filtre passe-bande permet de relier les signaux e et s :

$$\underline{e} = \underline{B}\ \underline{s} \tag{4}$$

Déduisons de ces deux fonctions de transfert l'équation différentielle à laquelle obéissent $s(t)$ et $e(t)$:

▷

Il faut envisager les deux cas suivants :

— si $A_0B_0 < 1$: le régime est amorti, les perturbations sont atténuées par le circuit ;
— si $A_0B_0 > 1$: la perturbation est amplifiée et la tension e diverge.

Démarrage des oscillations :

Les oscillations démarrent à partir de fluctuations électriques dues aux parasites (ou « bruit » électrique). Pour que ces fluctuations ne soient pas amorties, il faut :

$$A_0B_0 > 1$$

1.2.2 Rôle des non linéarités

Lorsque $|e|$ devient supérieure à $\frac{V_{sat}}{A_0}$, l'amplificateur opérationnel sature et e n'est plus régi par la même équation différentielle. Par exemple, si à $t = t_0$, e atteint $\frac{V_{sat}}{A_0}$, alors on a :

▷

Rôle des non linéarités :

Les non linéarités jouent un rôle essentiel : sans elles, il n'y aurait pas de phases d'amortissement et donc pas d'oscillations.

1.2.3 Conditions d'oscillations sinusoïdales

Afin de déterminer la condition d'oscillations sinusoïdales, revenons à l'équation différentielle relative au domaine linéaire :

$$\frac{\mathrm{d}^2 e}{\mathrm{d}t^2} + \frac{(1 - A_0 B_0)\omega_0}{Q} \frac{\mathrm{d}e}{\mathrm{d}t} + \omega_0^2 e = 0 \qquad (7)$$

Cette équation correspond à celle de l'oscillateur harmonique si $A_0 B_0 = 1$. La pulsation des oscillations est alors $\omega = \omega_0$.

1.2.4 Conclusion

Il faudra en pratique concilier la condition d'instabilité, essentielle pour assurer le démarrage des oscillations, et se rapprocher du critère assurant des oscillations sinusoïdales :

Conditions d'oscillations quasi-sinusoïdales :

En notant A_0 l'amplification de la chaîne directe et B_0 l'amplification maximale du filtre passe-bande, on peut écrire :

- $\left.\begin{array}{l}\text{démarrage des oscillations : } A_0 B_0 > 1 \\ \text{oscillations sinusoïdales : } A_0 B_0 = 1\end{array}\right\}$ condition d'oscillations quasi-sinusoïdales : $\boxed{A_0 B_0 \to 1^+}$
- la pulsation des oscillations correspond à la pulsation de résonance ω_0 du filtre.

1.3 Etude fréquentielle (critère de Barkhausen)

On suppose que le système est en régime sinusoïdal :

$$\underline{s} = \underline{A}\,\underline{e}$$

$$\underline{e} = \underline{B}\,\underline{s}$$

On a donc :

$$\underline{e} = \underline{A}\,\underline{B}\,\underline{e}$$

Critère de Barkhausen :

Pour avoir un signal sinusoïdal dans le circuit, il faut respecter le critère théorique de Barkhausen :

$$\underline{A}\,\underline{B} = 1 \tag{8}$$

Cette équation complexe conduit à deux équations scalaires :
- la première impose la condition d'oscillations sinusoïdales ;
- la seconde précise la fréquence de ces oscillations $\omega = \omega_0$.

Exprimons le critère de Barkausen à partir des expressions des fonctions de transfert $\underline{A}$ et $\underline{B}$:

▷

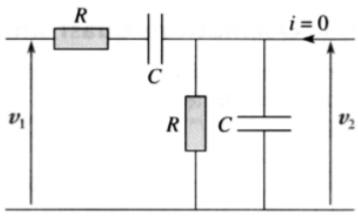
En pratique, pour assurer une légère divergence, on se placera à $|\underline{A}\ \underline{B}|$ très légèrement supérieur à 1, ce qui correspond au critère d'oscillations quasi-sinusoïdales établi plus haut :

$$A_0 B_0 \to 1^+$$

1.4 Exemple de l'oscillateur à pont de Wien

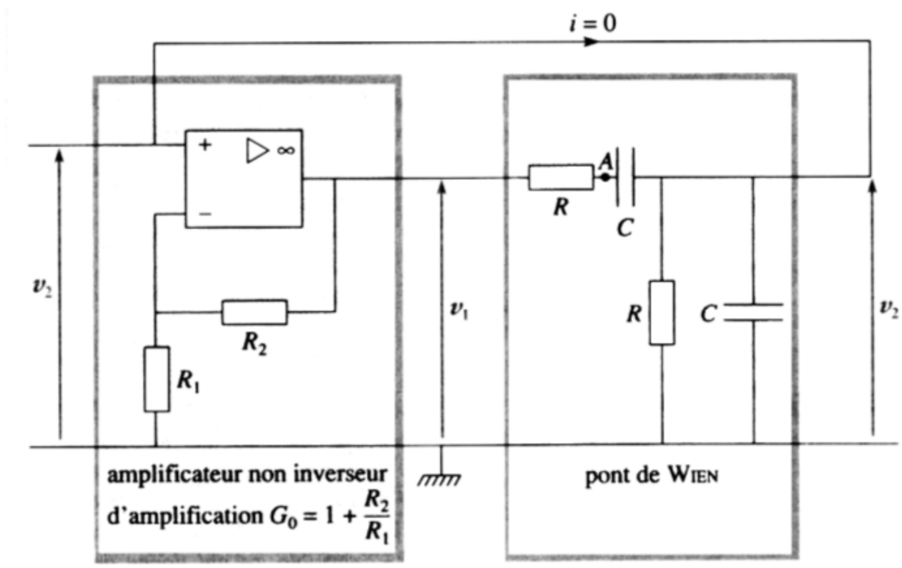
1.4.1 Filtre de Wien

Exprimer la fonction de transfert du filtre ci-dessous (filtre de Wien).



▷

1.4.2 Oscillateur à pont de Wien



A l'aide du critère de Barkhausen, déterminer la condition pour obtenir des oscillations quasi-sinusoïdales, puis retrouver ce résultat à partir de l'équation différentielle régissant $e(t)$.

▷

Retrouvons ce résultat à partir de l'équation différentielle régissant $e(t)$:

▷

Remarque : On utilise les oscillateurs électriques quasi-sinusoïdaux dans les horloges à quartz. Ce cristal piézo-électrique joue alors le rôle de filtre passe-bande (à la place du filtre de Wien). Son facteur de qualité est bien meilleur (50000 au lieu de 1/3...). L'avantage est que la bande-passante est beaucoup plus étroite. Ainsi, même si les propriétés de l'amplificateur en chaîne directe fluctuent au cours du fonctionnement de l'horloge, la fréquence d'oscillation ne fluctue presque pas (fréquence d'oscillation fixée par la FT de la chaîne de retour, i.e. le quartz). C'est cette stabilité en fréquence qui est recherchée dans les horloges à quartz.

2 Oscillateurs de relaxation (ou multivibrateurs astables)

2.1 Principe d'un oscillateur de relaxation

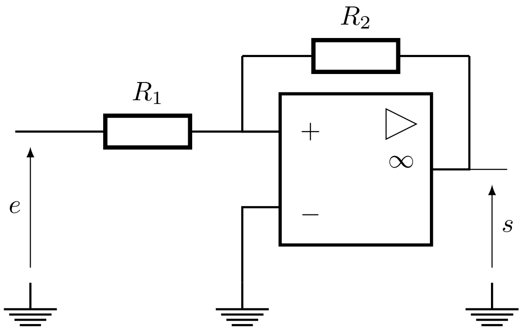
L'autre type d'oscillateur électronique est l'oscillateur de relaxation (ou multivibrateur astable), dont la structure repose sur deux états possiblesinstables, qui bascule alternativement d'un état à un autre.

Il existe des équivalents mécaniques de ces oscillateurs électriques (expérience du vase de Tantale). Ces oscillateurs mécaniques et électriques ont en commun le « relâchement » périodique d'un stock d'énergie, d'où leur nom d'oscillateurs de relaxation.

La structure d'un thermostat de chauffage est similaire : l'état « chauffage allumé » fait monter la température jusqu'à atteindre le seuil fixé, ce qui fait basculer le système dans l'état « chauffage éteint ». Les pertes thermiques font alors baisser la température jusqu'au deuxième seuil fixé, ce qui fait basculer le système dans l'état « chauffage allumé », ...

2.2 Rappels sur les comparateurs à hystérésis

Etude du comparateur à hystérésis :
Considérons le comparateur à hystérésis non inverseur :



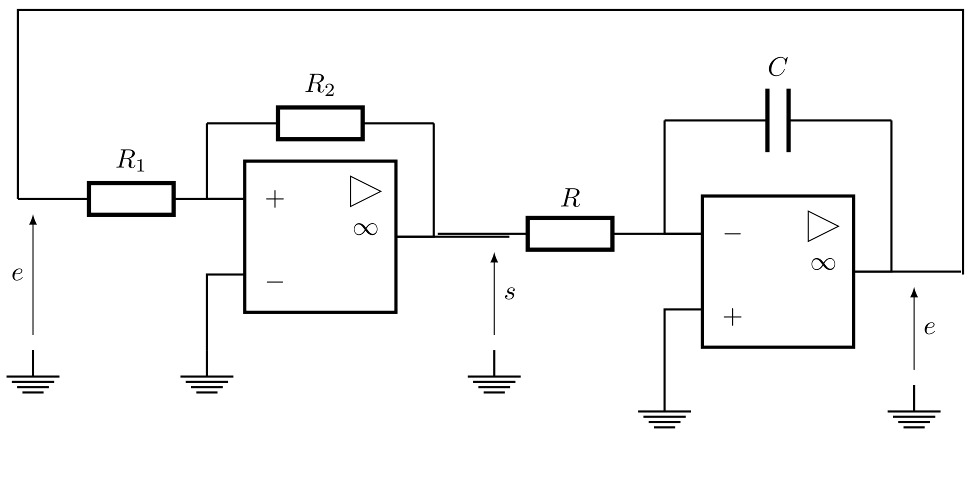
Etudier l'évolution de s en fonction de e.

▷

2.3 Multivibrateur à intégrateur

2.3.1 Structure

Si la sortie du comparateur est $s = V_{\text{sat}}$, il faut faire baisser la tension $e(t)$ jusqu'à son seuil de basculement bas $-V_1$. Pour cela, il suffit d'utiliser derrière $s(t)$ un intégrateur inverseur qui donne en sortie une tension décroissante et de l'envoyer en $e(t)$:



2.3.2 Evolution temporelle de s et e

Sachant que l'intégrateur inverseur renvoie la tension

$$e(t) = e(t_0) - K \int_{t_0}^{t} \pm V_{\text{sat}} \mathrm{d}t \quad \text{avec} \quad K = \frac{1}{RC}$$

étudions l'évolution temporelle de $e(t)$ et de $s(t)$:

▷

2.3.3 Calcul de la période d'oscillation

▷