# Tp-cours Éc1. Oscillateur quasi sinusoïdal

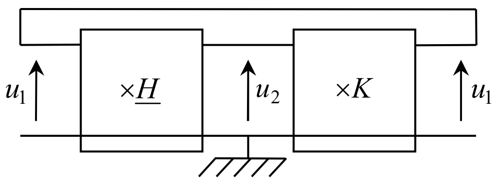
## 1. Principe des oscillateurs quasi sinusoïdaux

### a) Présentation

● Un *oscillateur* est un montage produisant un signal périodique, sans excitation extérieure. Il est donc à la base du fonctionnement d'un générateur de signaux, d'une horloge, etc.
Il existe plusieurs structures d'oscillateurs, qui sont toutes basées sur le *bouclage* de deux quadripôles (ou blocs) : la sortie de chacun est reliée à l'entrée de l'autre.

● Dans un *oscillateur quasi sinusoïdal*, l'un des quadripôles est un *amplificateur*, de gain $K$ (réel), et l'autre est un *filtre passe-bande* d'ordre 2, de fonction de transfert :

$$\underline{H}(j\omega)=\frac{H_0}{1+jQ\left(\omega/\omega_0-\omega_0/\omega\right)}=\frac{H_0\ j\omega/Q\omega_0}{1+j\omega/Q\omega_0-\omega^2/\omega_0^2}\ .$$




### b) Fonctionnement théorique

● Le premier bloc permet d'écrire : $\dfrac{\underline{u}_2}{\underline{u}_1}=\underline{H}(j\omega)$. Le second bloc permet d'écrire : $\dfrac{\underline{u}_1}{\underline{u}_2}=K$. En multipliant ces deux relations membre à membre, on obtient la *condition d'oscillation de Barkhausen* : $\boxed{\underline{H}(j\omega)\times K=1}$.

● Le gain $K$ étant réel, cela implique nécessairement que $\underline{H}(j\omega)$ soit réelle : la partie imaginaire du dénominateur doit donc être nulle, ce qui impose $\boxed{\omega=\omega_0}$. L'oscillateur ne peut fonctionner, en régime sinusoïdal, qu'à la fréquence de résonance du filtre passe-bande.
La condition de Barkhausen se simplifie alors : $H_0\times K=1$.

### c) Fonctionnement pratique

● Les relations précédentes sont purement théoriques. En effet, dans la réalité, il est impossible d'obtenir une égalité (avec une précision infinie) entre deux grandeurs indépendantes. On ne peut donc jamais vérifier exactement la condition de Barkhausen et obtenir une oscillation sinusoïdale.
Cependant, le montage amplificateur réel n'est pas rigoureusement linéaire, à cause du phénomène de saturation. On peut alors obtenir des oscillations, non sinusoïdales car elles font apparaître périodiquement la saturation. Cependant, en s'approchant au maximum de la condition de Barkhausen, on peut réduire fortement la saturation, et obtenir ainsi des oscillations *quasi sinusoïdales*.

● Équation différentielle d'évolution
À partir des égalités complexes précédentes, retrouvons les équations différentielles pour $u_1(t)$ et $u_2(t)$.

Le bloc filtre conduit à : $\dfrac{\underline{u}_2}{\underline{u}_1}=\dfrac{H_0\ j\omega/Q\omega_0}{1+j\omega/Q\omega_0-\omega^2/\omega_0^2}\ \Leftrightarrow\ \left(1+\dfrac{j\omega}{Q\omega_0}+\dfrac{(j\omega)^2}{\omega_0^2}\right)\underline{u}_2(t)=H_0\dfrac{j\omega}{Q\omega_0}\underline{u}_1(t)$

$$\Leftrightarrow\quad u_2(t)+\frac{1}{Q\omega_0}\frac{\mathrm{d}u_2}{\mathrm{d}t}+\frac{1}{\omega_0^2}\frac{\mathrm{d}^2u_2}{\mathrm{d}t^2}=H_0\frac{1}{Q\omega_0}\frac{\mathrm{d}u_1}{\mathrm{d}t}\ .$$

Le bloc amplificateur donne simplement $u_1(t)=K\,u_2(t)$. En injectant ceci dans l'équation différentielle précédente, et en réordonnant les termes de façon habituelle, on obtient :

$$\frac{\mathrm{d}^2u_2}{\mathrm{d}t^2}+\frac{\omega_0(1-H_0K)}{Q}\frac{\mathrm{d}u_2}{\mathrm{d}t}+\omega_0^2\,u_2(t)=0\quad\text{et de même}\quad\boxed{\frac{\mathrm{d}^2u_1}{\mathrm{d}t^2}+\frac{\omega_0(1-H_0K)}{Q}\frac{\mathrm{d}u_1}{\mathrm{d}t}+\omega_0^2\,u_1(t)=0}.$$

● Régimes de fonctionnement
– Dans le cas théorique où $H_0K=1$ (condition de Barkhausen), l'équation devient celle d'un oscillateur harmonique $\dfrac{\mathrm{d}^2u_1}{\mathrm{d}t^2}+\omega_0^2\,u_1(t)=0$, dont la solution est sinusoïdale de pulsation $\omega_0$. On retrouve bien le résultat de l'étude en complexes… et son caractère purement théorique.
– Si $H_0K<1$, le coefficient de $\dfrac{\mathrm{d}u_1}{\mathrm{d}t}$ est positif, on peut le noter $\dfrac{2}{\tau}$, et la solution de l'équation différentielle est alors :
$u_1(t)=A\exp\left(-\dfrac{t}{\tau}\right)\cos(\omega t+\varphi)$ avec $\omega=\sqrt{\omega_0^2-\dfrac{1}{\tau^2}}$ (voir méthode de résolution habituelle).

La tension $u_2(t)$ est alors : $u_2(t)=\dfrac{u_1(t)}{K}=\dfrac{A}{K}\exp\left(-\dfrac{t}{\tau}\right)\cos(\omega t+\varphi)$, de même forme mais $K$ fois plus petite.

C'est un régime pseudo-périodique, amorti et tendant vers 0. Dans ces conditions, si une oscillation initiale est présente (à cause des bruits parasites…), elle est très rapidement amortie, et on n'observe rien.

– Si $H_0K>1$, le coefficient de $\dfrac{\mathrm{d}u_1}{\mathrm{d}t}$ est négatif, on peut le noter $-\dfrac{2}{\tau}$, et la solution de l'équation différentielle est alors : $u_1(t)=A\exp\left(+\dfrac{t}{\tau}\right)\cos(\omega t+\varphi)$ avec toujours $\omega=\sqrt{\omega_0^2-\dfrac{1}{\tau^2}}$, et $u_2(t)=\dfrac{A}{K}\exp\left(+\dfrac{t}{\tau}\right)\cos(\omega t+\varphi)$.

Il s'agit cette fois d'oscillations *amplifiées*, qui aboutissent rapidement à la saturation : $u_1=\pm V_{\mathrm{sat}}$. Lorsqu'on sort ainsi du régime linéaire, $\dfrac{\mathrm{d}u_1}{\mathrm{d}t}$ devient nulle, et l'équation différentielle pour $u_2(t)$ devient : $\dfrac{\mathrm{d}^2u_2}{\mathrm{d}t^2}+\dfrac{\omega_0}{Q}\dfrac{\mathrm{d}u_2}{\mathrm{d}t}+\omega_0^2u_2(t)=0$.

On retrouve un régime pseudo-périodique amorti, l'amplitude de $u_2(t)$ diminue, et on finit par sortir du régime saturé et retrouver le régime linéaire, et à nouveau les oscillations amplifiées, etc.

Finalement, lorsque $H_0K>1$, on a une alternance d'oscillations amplifiées (à partir d'un bruit initial) jusqu'à saturation, puis amorties, qui donne un régime d'oscillation stable, d'amplitude $V_{\mathrm{sat}}$ pour $u_1(t)$, et $V_{\mathrm{sat}}/K$ pour $u_2(t)$.

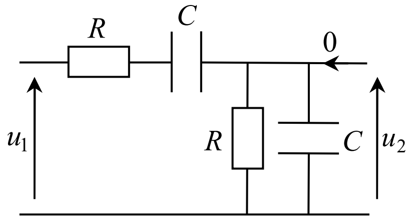
En se rapprochant au maximum de $H_0K=1$, on fait tendre la durée de saturation vers 0, et on fait tendre $\omega$ vers $\omega_0$.

● Conclusion

Pour faire osciller le montage de façon quasi sinusoïdale, on doit chercher à se rapprocher au maximum de $H_0K=1$ (critère à calculer en fonction du montage utilisé), mais en restant toujours au-dessus de 1. Dès qu'on passe au-dessous de 1, les oscillations disparaissent.

## 2. Exemple classique : l'oscillateur à pont de Wien

a) Premier bloc : filtre de Wien




Le filtre de Wien a la structure ci-contre. Il est utilisé en sortie ouverte (impédance de charge infinie, c'est-à-dire que rien n'est branché entre les bornes de sortie).

**➲ Question 1**

– Déterminer sa fonction de transfert $\underline{H}(j\omega)$ en sortie ouverte.

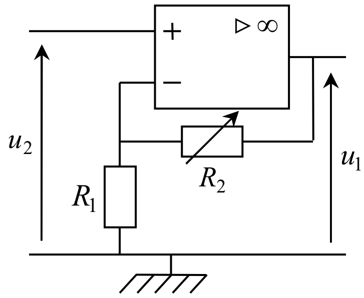
– Mettre cette fonction de transfert sous la forme canonique indiquée ci-dessus, et préciser les valeurs de la pulsation centrale $\omega_0$, du facteur de qualité $Q$ et du gain maximal $H_0$.

**➲ Protocole 1**

– Réaliser le montage sur la plaquette, avec $R$ = 1 kΩ et $C$ = 22 nF.

– Vérifier rapidement qu'il se comporte bien en passe-bande (d'ordre 2), et déterminer expérimentalement sa fréquence centrale $f_0$ et son gain maximal $H_0$ (avec leurs incertitudes).

b) Deuxième bloc : amplificateur non inverseur




L'amplificateur non inverseur est le montage ci-contre, déjà étudié (TP ÉcB).

**➲ Question 2**

– Rappeler la valeur théorique du gain $K$ de ce montage, et son impédance d'entrée.

**➲ Protocole 2**

– Réaliser le montage sur la plaquette, en prenant une résistance $R_1$ moyenne (mesurer sa valeur précise), et pour $R_2$ des boîtes à décades.

– Vérifier son fonctionnement et mesurer précisément son gain $K$.

c) Montage bouclé et oscillations

On réalise maintenant le bouclage, la sortie de chaque bloc alimentant l'entrée de l'autre (il n'y a donc plus de signal fourni par l'extérieur).

**➲ Question 3**

– L'étude du filtre, qui supposait une sortie ouverte, reste-t-elle valable pour ce montage bouclé ? Si oui, justifier ; sinon, proposer une adaptation.

– D'après l'étude théorique, quelle serait la valeur particulière $R_{2\text{osc}}$ de $R_2$ pour que le montage oscille de façon sinusoïdale ? Comment choisir en pratique $R_2$ pour obtenir des oscillations quasi sinusoïdales ?

**➲ Protocole 3**

– Faire les connexions pour boucler le système.

– Rechercher la valeur expérimentale de $R_{2\text{osc}}$, et observer le comportement du circuit pour $R_2 \neq R_{2\text{osc}}$.

– Faire l'analyse spectrale du signal avec l'oscilloscope pour le signal quasi sinusoïdal obtenu, et aussi pour un signal nettement saturé. Pour cela il faut utiliser une fonction notée FFT pour *fast Fourier transform* ; elle est accessible sur les oscilloscopes numériques (bouton **FFT** sur l'oscilloscope Keysight, bouton rose **Math** puis opération **FFT** sur l'oscilloscope Tektronix).