Les oscillateurs électroniques

PSI*

Lycée Kléber
Marc Venturi

Sommaire

Principes

Le but d'un oscillateur électronique est de **générer** un signal périodique à partir d'une alimentation en général continue, dont la fréquence est la plus stable possible (horloge).

On distingue :

Principes

Le but d'un oscillateur électronique est de **générer** un signal périodique à partir d'une alimentation en général continue, dont la fréquence est la plus stable possible (horloge).

On distingue :

- les oscillateurs quasi-sinusoïdaux, dont le signal généré est le plus proche possible d'un signal harmonique ;

Principes

Le but d'un oscillateur électronique est de **générer** un signal périodique à partir d'une alimentation en général continue, dont la fréquence est la plus stable possible (horloge).

On distingue :

- les oscillateurs quasi-sinusoïdaux, dont le signal généré est le plus proche possible d'un signal harmonique ;
- les oscillateur non sinusoïdaux, dont le signal est périodique mais de forme quelconque (créneaux (signal numérique), triangle, ...).

Principes

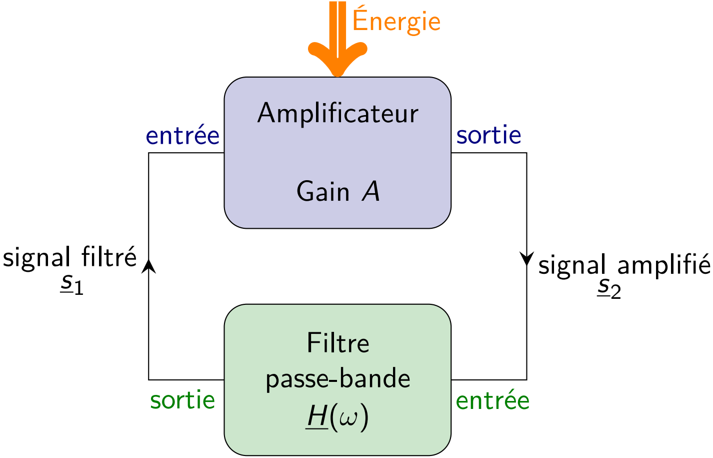
Le principe d'un oscillateur quasi-sinusoïdal repose sur le principe du bouclage de deux systèmes :

- un amplificateur actif (à large bande) ;
- un filtre sélectif (passe-bande).

Le rôle de l'amplificateur est de fournir l'énergie nécessaire à la génération du signal, sans modifier la forme du signal.

Le rôle du filtre est de sélectionner une mince bande de fréquences afin que le signal soit proche d'un signal harmonique.

Schéma bloc du système bouclé



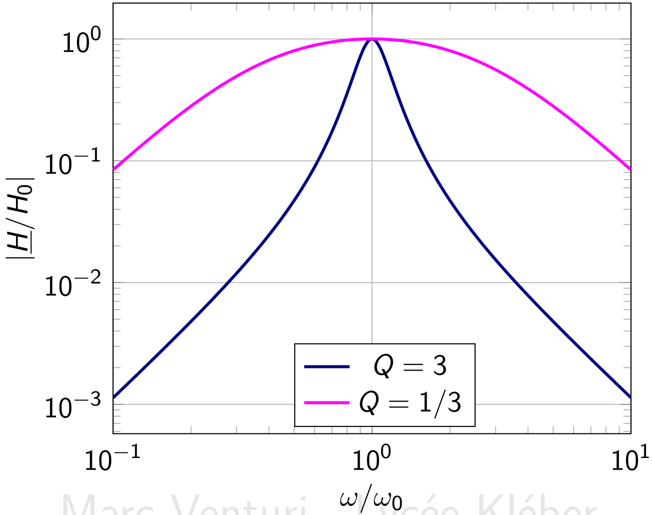
Le filtre passe-bande (rappels)

Passe-bande du deuxième ordre

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

- Gain maximal $|H_0|$,
- pulsation centrale ω_0,
- bande passante $\Delta\omega = \frac{\omega_0}{Q}$ (à retrouver) Solution
- réalisation simple et robuste.

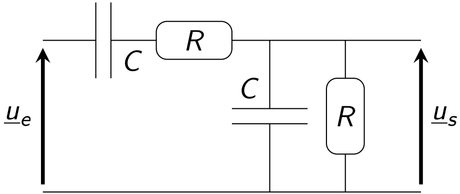
Le filtre passe-bande (rappels)



Le filtre passe-bande (rappels)

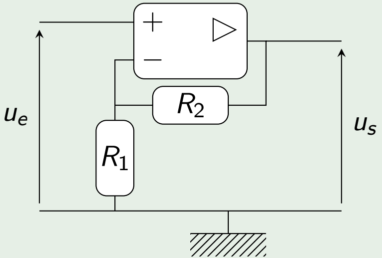
Filtre de Wien

$\omega_0 = \dfrac{1}{RC}$, $H_0 = \dfrac{1}{3}$, $Q = \dfrac{1}{3}$ (à montrer).



L'amplificateur

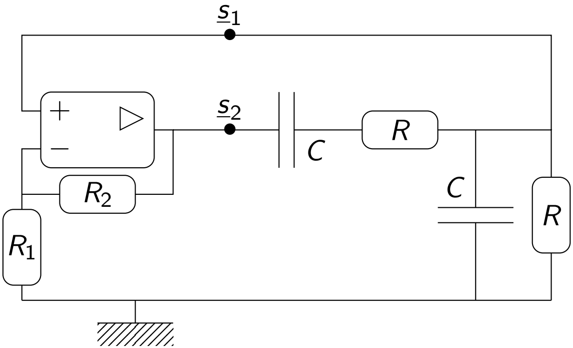
Amplificateur non inverseur



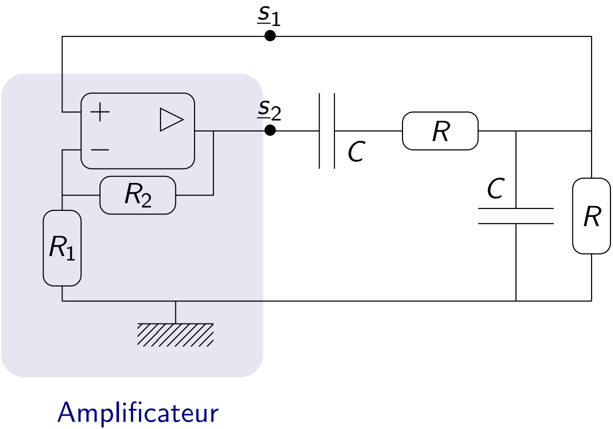
$$A = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

- Montage simple, peu de composants,
- Impédance d'entrée importante ($> 1\,\mathrm{M\Omega}$).

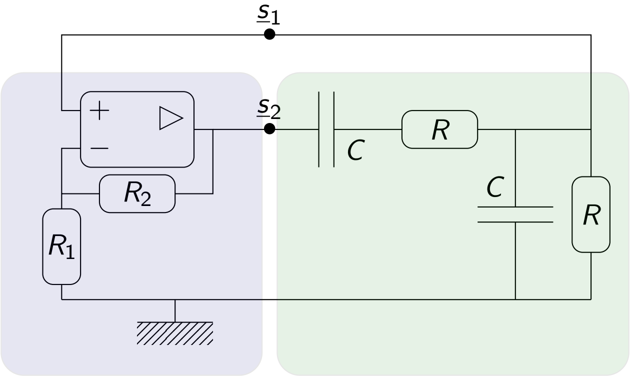
Montage complet



Montage complet



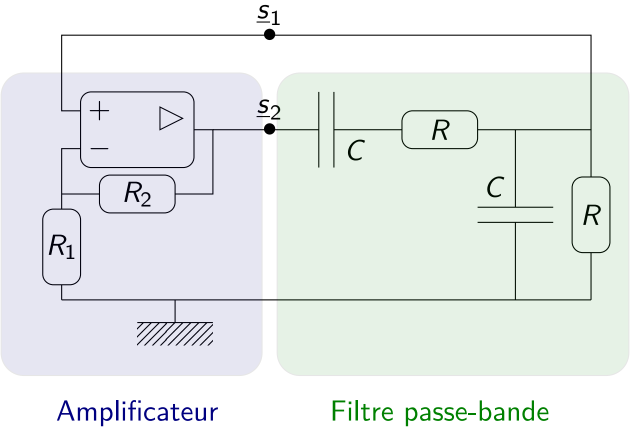
Montage complet



Amplificateur

Filtre passe-bande

Montage complet



Question : où se trouve la source d'énergie ?

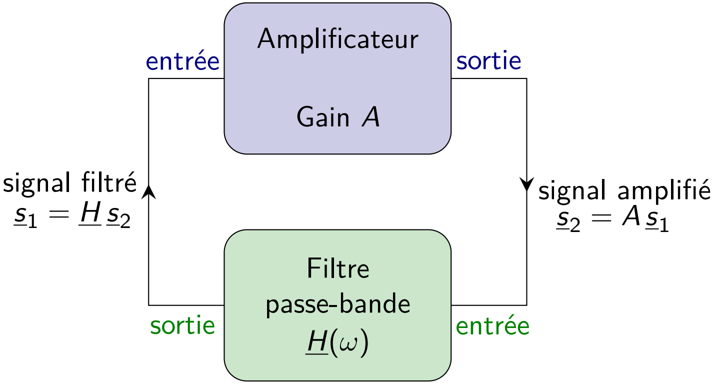
Conditions d'oscillations

Problème

Le montage ne renvoie qu'un signal nul : $s_1(t) = s_2(t) = 0$!
Il s'agit de la solution triviale !
Il faut donc, pour obtenir un oscillateur,

- qu'une solution non nulle existe,
- qu'elle soit générée physiquement,
- qu'elle persiste.

Conditions d'oscillations



$$\underline{s}_2 = A\,\underline{H}\,\underline{s}_2 \text{ et } \underline{s}_2 \neq 0 \Rightarrow \boxed{A\,\underline{H} = 1}.$$

Conditions d'oscillations

La condition d'existence d'une solution non nulle est une équation dans $\mathbb{C}$: il lui correspond deux équations dans $\mathbb{R}$.
Pour un filtre du deuxième ordre :

$$A\,\underline{H} = 1$$

$$\frac{A\,H_0}{1 + jQ\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)} = 1$$

$$A\,H_0 = 1 + jQ\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)$$

Conditions d'oscillations

d'où les deux équations dans $\mathbb{R}$:

$$\left\{\begin{array}{l} A\,H_0 = 1 \\ \dfrac{\omega}{\omega_0} - \dfrac{\omega_0}{\omega} = 0 \Rightarrow \omega = \omega_0. \end{array}\right.$$

Ces deux conditions mathématiques ont des statuts physiques différents :

- $A\,H_0 = 1$ doit être imposé par le choix des paramètres du filtre ou de l'amplificateur.
- $\omega = \omega_0$ est spontanée : le système, s'il oscille, oscille à la pulsation ω_0.

Conditions d'oscillations

La génération des oscillations est spontanée : l'agitation thermique des électrons dans les conducteurs ainsi que les bruits électriques ambiants sont des sources d'oscillations, dont l'amplitude peut augmenter grâce à l'amplificateur.

Pour entretenir les oscillations, il faut que le système soit **instable**, sinon le signal s'annule à long terme.

Conditions d'oscillations

L'équation différentielle associée à la relation $\underline{s} = A\,\underline{H}\,\underline{s}$ s'établit de la façon suivante.

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

d'où :

$$\left(1 + \frac{j\omega}{Q\omega_0} + \frac{(j\omega)^2}{\omega_0^2}\right)\underline{s} = AH_0\frac{j\omega}{Q\omega_0}\underline{s}$$

$$\left((1 + (1 - AH_0)\frac{j\omega}{Q\omega_0} + \frac{(j\omega)^2}{\omega_0^2}\right)\underline{s} = 0.$$

Conditions d'oscillations

Équation différentielle

Enfin, en ordonnant les termes, en multipliant par ω_0^2 et en transposant l'équation dans le domaine temporel, on obtient :

$$\boxed{\frac{\mathrm{d}^2 s}{\mathrm{d}t^2} + (1 - AH_0)\,\frac{\omega_0}{Q}\,\frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t} + \omega_0^2\ s = 0.}$$

Il existe alors trois cas pour $AH_0 \simeq 1$:

- $AH_0 = 1$: oscillateur harmonique. $s(t) \neq 0$ existe **mais les oscillations spontanées restant de faible amplitude !**
- $AH_0 \lesssim 1$: le régime libre tend vers 0 : pas d'oscillations.
- $AH_0 \gtrsim 1$: le régime libre oscillant est **amplifié** : les oscillations spontanées de faible amplitude croissent.

Le montrer Solution

Stabilisation des oscillations

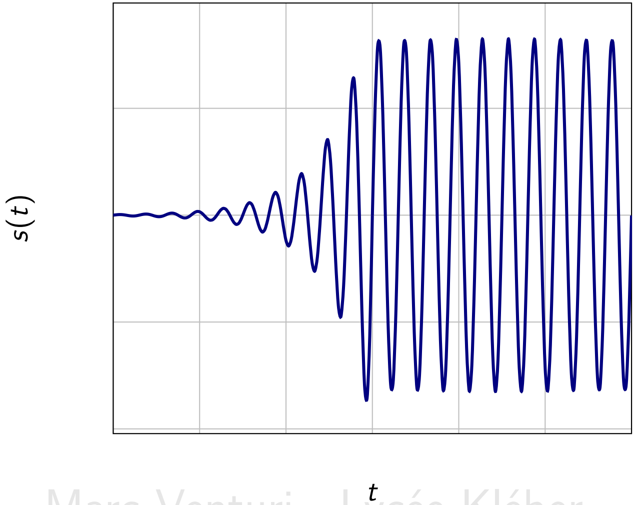
Les oscillations engendrées par les bruits thermiques ou autres, amplifiées et filtrées par le système électrique, ne peuvent croître indéfiniment.

La limitation de l'amplitude des oscillations ne peut pas être réalisé par le système **linéaire**.

Ce sont des caractéristiques **non linéaires** qui stabilisent l'amplitude :

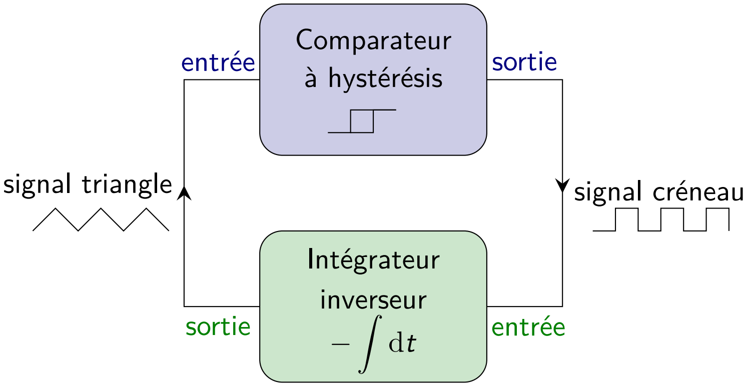
- la dissipation de puissance, limitée par l'alimentation énergétique ;
- la saturation en sortie de l'amplificateur.

Stabilisation des oscillations

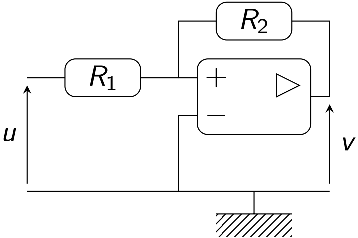


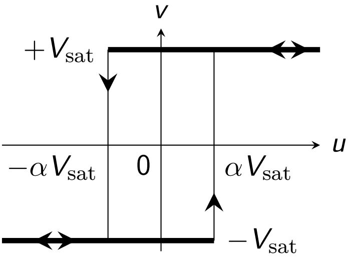
Sommaire

Système actif bouclé



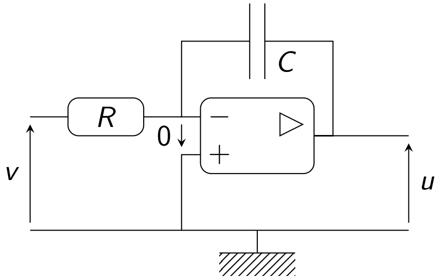
Le comparateur à hystérésis





$$\alpha = \frac{R_1}{R_2}$$

L'intégrateur (inverseur)

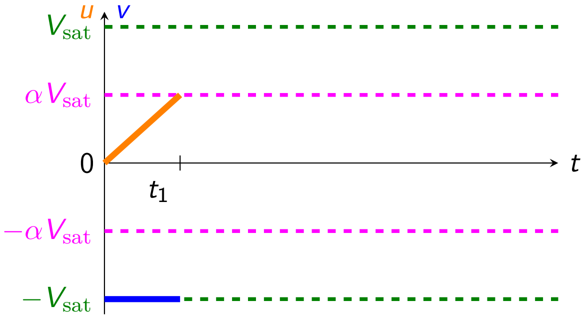


$$\boxed{u = -\frac{1}{RC}\int v\,\mathrm{d}t.}$$

Fonctionnement

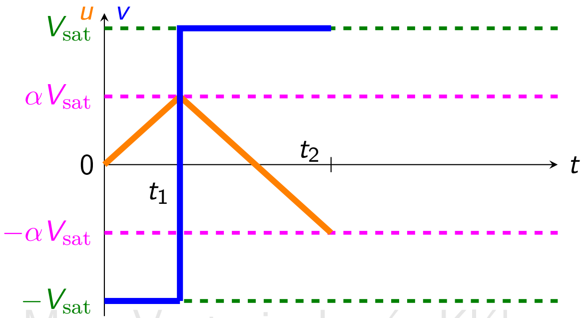
Hypothèse de départ : $v(0) = -V_{\text{sat}}, u(0) = 0$.

Dans ce cas, $\begin{cases} v = -V_{\text{sat}} \\ u(t) = +\dfrac{V_{\text{sat}}}{RC} t. \end{cases}$



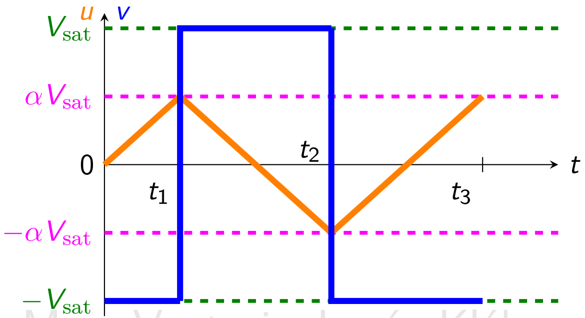
Fonctionnement

$$\begin{cases} v = V_{\text{sat}} \\ u(t) = \alpha V_{\text{sat}} - \dfrac{V_{\text{sat}}}{RC}(t - t_1). \end{cases}$$



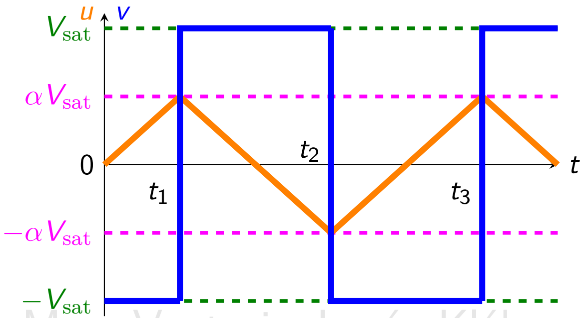
Fonctionnement

$$\begin{cases} v = -V_{\text{sat}} \\ u(t) = -\alpha V_{\text{sat}} + \dfrac{V_{\text{sat}}}{RC}(t - t_2). \end{cases}$$



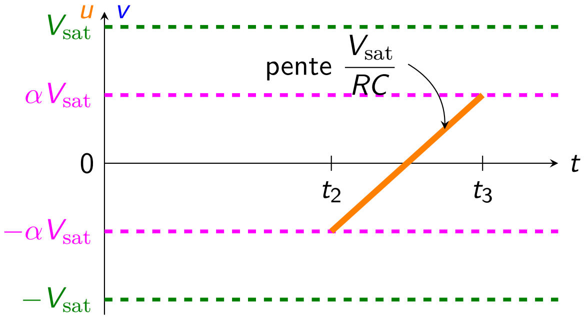
Fonctionnement

$$\begin{cases} v = V_{\text{sat}} \\ u(t) = \alpha V_{\text{sat}} - \dfrac{V_{\text{sat}}}{RC}(t - t_3). \end{cases}$$



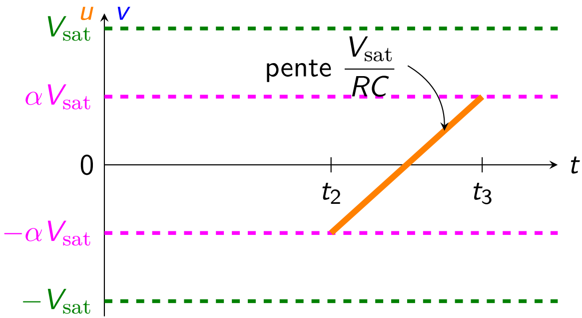
Expression de la période

$$T = t_3 - t_1 = 2(t_3 - t_2).$$



Expression de la période

$$\frac{V_{\mathrm{sat}}}{RC} = \frac{2\alpha V_{\mathrm{sat}}}{t_3 - t_2} \Rightarrow \boxed{T = 4\,\alpha\,RC}.$$



Sommaire

Bande passante d'un filtre passe-bande du deuxième ordre

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

Limites de bande passante : $|\underline{H}(\omega_{1,2}|) = \frac{|H|_{\max}}{\sqrt{2}} = \frac{|H_0|}{\sqrt{2}}$.

Alors, en posant $x = \frac{\omega}{\omega_0}$:

$$Q^2\left(x - \frac{1}{x}\right)^2 = 1$$
$$x - \frac{1}{x} = \pm\frac{1}{Q}$$

Bande passante d'un filtre passe-bande du deuxième ordre

On obtient deux équations du second degré :

$$x^2 \pm \frac{x}{Q} - 1 = 0$$

Le discriminant est $\Delta = \frac{1}{Q^2} + 4$. Les quatre racines sont :

$$x_1 = \frac{1}{2Q} - \frac{\sqrt{\Delta}}{2} \qquad x_2 = \frac{1}{2Q} + \frac{\sqrt{\Delta}}{2}$$
$$x_3 = -\frac{1}{2Q} - \frac{\sqrt{\Delta}}{2} \qquad x_4 = -\frac{1}{2Q} + \frac{\sqrt{\Delta}}{2}$$

Bande passante d'un filtre passe-bande du deuxième ordre

Seules deux racines sont positives : x_2 et x_4. Alors :

$$\Delta x = x_2 - x_4 = \frac{1}{Q},$$

puis :

$$\Delta\omega = \frac{\omega_0}{Q}.$$

◂ Retour

Oscillateur

On pose $\epsilon = 1 - AH_0 \ll 1$. L'équation différentielle est :

$$\frac{\mathrm{d}^2 s}{\mathrm{d}t^2} + \epsilon \frac{\omega_0}{Q} \frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t} + \omega_0^2 \; s = 0.$$

Le discriminant de l'équation caractéristique est :

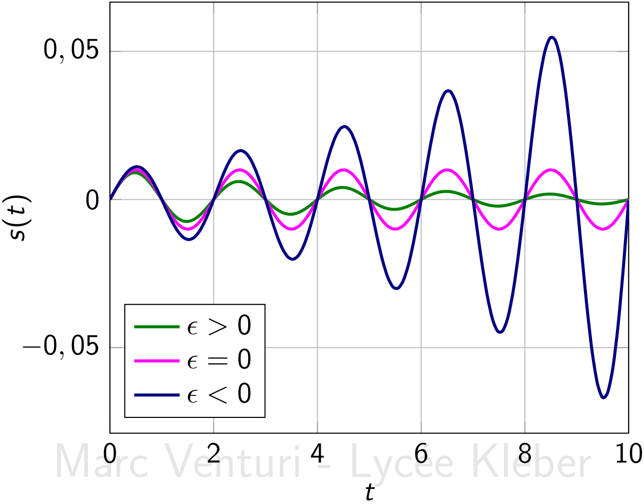
$$\Delta = -4\omega_0^2 \left(1 - \frac{\epsilon^2}{4Q^2}\right) < 0$$

et les racines sont :

$$r_{1,2} = -\epsilon \frac{\omega_0}{2Q} \pm j\omega_0 \sqrt{1 - \frac{\epsilon^2}{4Q^2}} \simeq -\epsilon \frac{\omega_0}{2Q} \pm j\omega_0.$$

Oscillateur

D'où les solutions $s(t) = a\cos(\omega_0 t + \varphi)\exp\left(-\epsilon\dfrac{\omega_0}{2Q}t\right)$.



Oscillateur