Correction – TD – Oscillateurs

I Vrai-faux / questions courtes

★ | [● ○ ○]

1 - Les oscillateurs électroniques vus en cours oscillent indéfiniment ? Si oui, comment est-ce possible ?

Oui, et cela est possible car ils disposent d'une source d'énergie extérieure qui compense toute dissipation (par exemple cette source est l'alimentation du ou des ALI).

2 - Par quoi est fixée l'amplitude des oscillations dans un oscillateur quasi-sinusoïdal ?

Cette amplitude est fixée par les non-linéarités du montage. Dans les exemples vus en cours il s'agit des non-linéarités de l'ALI, c'est à dire du moment où l'ALI sature.

3 - Pour faire fonctionner un oscillateur quasi-sinusoïdal, pourquoi est-il pertinent de choisir le gain de l'amplificateur juste au-dessus du seuil ?

Ceci permet d'avoir des oscillations proches d'oscillations sinusoïdales.

4 - (V/F) Lorsque A est au-dessus du seuil, un oscillateur quasi-sinusoïdal oscille toujours à la même pulsation ω_0 indépendemment de A.

Faux : lorsque $A \gg A_0$, la pulsation devient différente de ω_0.

VI Limite en fréquence d'un oscillateur utilisant un ALI

1 - Le slew rate, ou vitesse limite de balayage, est la vitesse maximale à laquelle la tension de sortie de l'ALI peut varier. Il s'exprime donc en volt par seconde.

2 - On a dessiné ci-dessous sur le schéma du haut l'allure du signal en sortie de l'ALI lors d'un fonctionnement normal.

Mais en réalité, l'ALI met un certain temps à passer de $-V_{\text{sat}}$ à $+V_{\text{sat}}$, puisque la sortie ne bascule pas instantanément (comme sur le schéma du milieu). Calculons ce temps $t_{\text{montée}}$. Il faut utiliser le slew rate, puisque le slew rate est la pente du signal s lorsqu'il monte de $-V_{\text{sat}}$ à $+V_{\text{sat}}$:

$$\text{SR} = \frac{2V_{\text{sat}}}{t_{\text{montée}}}. \tag{1}$$

On a donc

$$t_{\text{montée}} = \frac{2V_{\text{sat}}}{\text{SR}}. \tag{2}$$

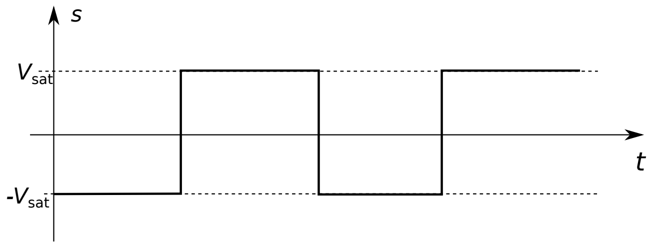
Ici on trouve $t_{\text{montée}} = 30\,V/(15\,\text{V}\cdot\mu\text{s}^{-1}) = 2\,\mu\text{s}$.

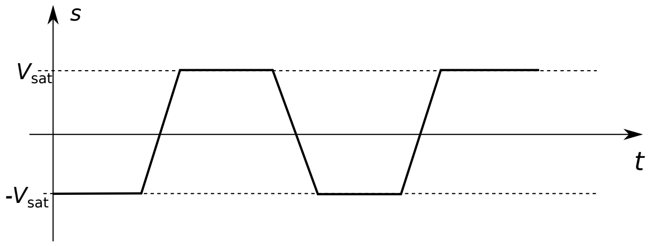
La fréquence maximale que l'on peut atteindre est lorsque le signal s a à peine atteint $+V_{\text{sat}}$ qu'il faut déjà qu'il redescende (situation du schéma en bas sur la figure). La période est alors égale à $2t_{\text{montée}}$, d'où une fréquence maximale :

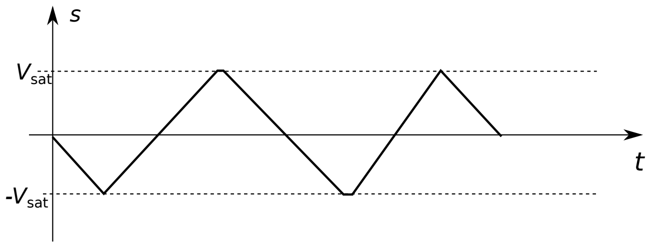
$$f_{\max} = \frac{1}{2t_{\text{montée}}} = \frac{\text{SR}}{4V_{\text{sat}}}. \tag{3}$$

On trouve $f_{\max} = 2.5 \times 10^2\,\text{kHz}$.

On ne peut donc pas générer de signaux de fréquence supérieure à 250 kHz avec un montage à ALI. Si on veut aller au dessus, il faut utiliser d'autres composants pour le bloc amplificateur (des transistors par exemple).







VII Oscillateur sinus-cosinus [• • ○]

1 - On passe les détails.

Bloc avec le premier ALI :

$$\boxed{\underline{H}_1 = \frac{\underline{v_1}}{\underline{v_3}} = \frac{1 + \mathrm{j}\tau_1\omega}{\mathrm{j}\tau_1\omega} = 1 + \frac{1}{\mathrm{j}\tau_1\omega}.}$$

Bloc avec le second ALI :

$$\boxed{\underline{H}_2 = \frac{\underline{v_2}}{\underline{v_1}} = -\frac{1}{\mathrm{j}\tau_2\omega}.}$$

Retour :

$$\boxed{\underline{H}_3 = \frac{\underline{v_3}}{\underline{v_2}} = \frac{1}{1 + \mathrm{j}\tau_3\omega}.}$$

(On utilise un diviseur de tension entre v_2 et v_3, possible car $i_+ = 0$ dans l'ALI 1.)

2 - S'il y a oscillations purement sinusoïdales à la pulsation ω, alors on a

$$\underline{H}_1\underline{H}_2\underline{H}_3 = \frac{\underline{v_1}}{\underline{v_3}}\frac{\underline{v_2}}{\underline{v_1}}\frac{\underline{v_3}}{\underline{v_2}} = 1,$$

c'est le critère de Barkhausen.

Cela donne donc :

$$\begin{aligned}
& \underline{H}_1\underline{H}_2\underline{H}_3 = 1 \\
\Leftrightarrow \quad & -\frac{1 + \mathrm{j}\tau_1\omega}{\mathrm{j}\tau_1\omega} \times \frac{1}{\mathrm{j}\tau_2\omega} \times \frac{1}{1 + \mathrm{j}\tau_3\omega} = 1 \\
\Leftrightarrow \quad & 1 + \mathrm{j}\tau_1\omega = \tau_1\tau_2\omega^2(1 + \mathrm{j}\tau_3\omega) \\
\Leftrightarrow \quad & 1 - \tau_1\tau_2\omega^2 + \mathrm{j}\tau_1\omega - \mathrm{j}\tau_1\tau_2\tau_3\omega^3 = 0
\end{aligned}$$

On a donc un nombre complexe égal à 0. Il faut donc que la partie réelle soit nulle, ce qui donne $1 - \tau_1\tau_2\omega^2 = 0$, d'où $\omega = \dfrac{1}{\sqrt{\tau_1\tau_2}}$.

La partie imaginaire doit être nulle également, donc il faut que $\tau_1\omega - \tau_1\tau_2\tau_3\omega^3 = 0$. Donc il faut $\omega = \dfrac{1}{\sqrt{\tau_2\tau_3}}$.

Finalement, on voit que la condition est $\sqrt{\tau_1\tau_2} = \sqrt{\tau_2\tau_3}$, donc

$$\boxed{\tau_1 = \tau_3, \quad \text{soit} \quad R_1C_1 = R_3C_3.}$$

La pulsation des oscillations est alors

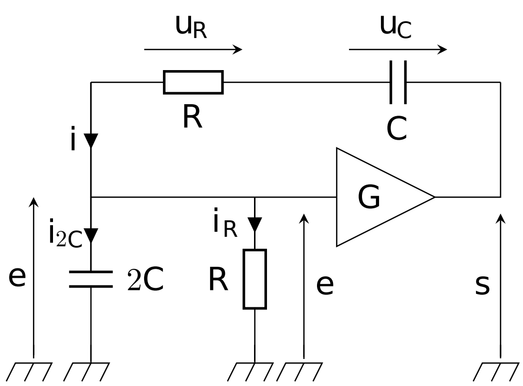
$$\boxed{\omega = \frac{1}{\sqrt{\tau_1\tau_2}} = \frac{1}{\sqrt{\tau_2\tau_3}}.}$$

3 - On a $\underline{H}_2 = \dfrac{\underline{v_2}}{\underline{v_1}} = -\dfrac{1}{\mathrm{j}\tau_2\omega}$, donc le déphasage de v_2 par rapport à v_1 est $\varphi_2 - \varphi_1 = \arg(-1/\mathrm{j}\tau_2\omega) = \arg(\mathrm{j}) = \pi/2$.

Ainsi si $v_1 = v_{10}\cos(\omega t)$, alors $v_2 = v_{20}\cos(\omega t + \pi/2) = -v_{20}\sin(\omega t)$, d'où le nom du montage.

VIII Oscillateur en courant [• • •]

Remarque : Ce montage est en fait un oscillateur de Wien où l'une des capacités C est remplacée par $2C$. On pourrait utiliser la même démarche que pour l'oscillateur de Wien et passer par les complexes, puis repasser en réel pour avoir l'équation sur i. Nous allons néanmoins rester dans le domaine réel et travailler sur le courant i.



1 - Si l'impédance d'entrée de l'amplificateur est infinie, cela signifie que son courant d'entrée est nul.

2 - Loi des nœuds :

$$i = i_{2C} + i_R \tag{4}$$
$$i = 2C\frac{\mathrm{d}e}{\mathrm{d}t} + \frac{e}{R}. \tag{5}$$

On a d'autre part :

$$\begin{aligned} i &= C\frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} \\ &= C\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}(s - u_R - e) \qquad \text{(loi des mailles)} \\ &= C\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}(G \times e - Ri - e) \\ &= C(G-1)\frac{\mathrm{d}e}{\mathrm{d}t} - RC\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}. \end{aligned}$$

À partir de cette dernière expression, exprimons $\frac{\mathrm{d}e}{\mathrm{d}t}$ en fonction de i :

$$\frac{\mathrm{d}e}{\mathrm{d}t} = \frac{1}{C(G-1)} i + \frac{R}{(G-1)} \frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}. \tag{6}$$

On voudrait bien insérer cette équation 6 dans l'équation 5. Pour cela il faut d'abord dériver l'équation 5 :

$$\begin{aligned}
& i = 2C\frac{\mathrm{d}e}{\mathrm{d}t} + \frac{e}{R}. \\
\Leftrightarrow\ & \frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} = 2C\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\frac{\mathrm{d}e}{\mathrm{d}t} + \frac{1}{R}\frac{\mathrm{d}e}{\mathrm{d}t} \\
\Leftrightarrow\ & \frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} = 2C\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(\frac{1}{C(G-1)}i + \frac{R}{(G-1)}\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}\right) + \frac{1}{R}\left(\frac{1}{C(G-1)}i + \frac{R}{(G-1)}\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}\right) \\
\Leftrightarrow\ & \frac{2RC}{G-1}\frac{\mathrm{d}^2 i}{\mathrm{d}t^2} + \left(\frac{3}{G-1} - 1\right)\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} + \frac{1}{RC(G-1)} i = 0 \\
& \boxed{\Leftrightarrow\ \frac{\mathrm{d}^2 i}{\mathrm{d}t^2} + \frac{4-G}{2RC}\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} + \frac{1}{2(RC)^2} i = 0.}
\end{aligned}$$

3 - Il y a démarrage des oscillations si et seulement si $G \geq 4$.

Pour $G = 4$, l'équation précédente devient $\frac{\mathrm{d}^2 i}{\mathrm{d}t^2} + \frac{1}{2(RC)^2} i = 0$, c'est-à-dire qu'il s'agit de l'équation de l'oscillateur harmonique de pulsation $\omega^2 = \frac{1}{2(RC)^2}$, donc $\boxed{\omega = \frac{1}{\sqrt{2}RC}.}$