Chapitre 7

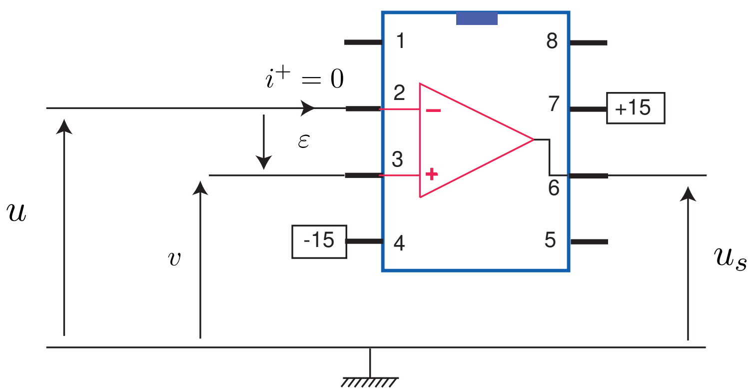
Amplificateur opérationnel-2 : Applications

7.1 Comparateurs

Les comparateurs sont des circuits fonctionnant en régime non linéaire. La tension de sortie ($\pm U_{sat}$) dépend du résultat de la comparaison de la tension d'entrée avec une tension de référence, d'où le nom donné à ces montages.

7.1.1 Comparateur simple

C'est le plus simple des montages comparateurs à amplificateur opérationnel.



Il y a *pas* de boucle entre l'entrée inverseuse ($-$) est la sortie, donc l'AO fonctionne en régime **saturé**.

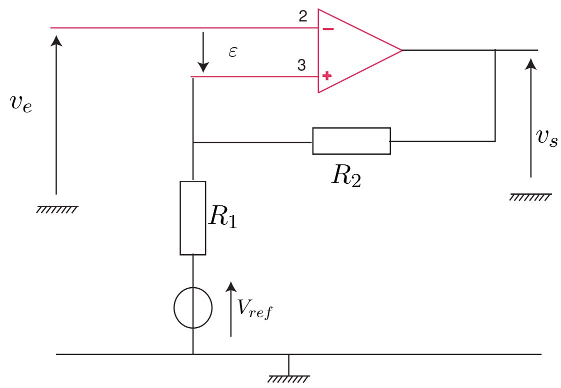
- si $u > v \rightarrow \varepsilon < 0$: $u_s = -V_{\text{sat}}$
- si $u < v \rightarrow \varepsilon > 0$: $u_s = +V_{\text{sat}}$

L'état de sortie indique laquelle des deux tension est plus élevée.

Ce comparateur est très sensible au bruit c'est-à-dire aux parasites.

7.2 Comparateur à hystérisis

Le schéma de principe de ce type de comparateur est donné sur la figure suivante.



Par application de la relation de MILLMAN à l'entrée non inverseuse de l'amplificateur opérationnel, nous obtenons :

$$v^+ = \frac{\frac{V_{ref}}{R_1} + \frac{V_s}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}$$

soit :

$$\varepsilon = v^+ - v_e = \frac{R_2 V_{ref} + R_1 v_s}{R_1 + R_2} - v_e$$

Lorsque l'amplificateur opérationnel est saturé positivement, nous avons tout à la fois :

$$v_s = V_{sat} \qquad \text{et} \qquad \varepsilon > 0$$

soit :

$$v_e < \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{ref} + \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{\text{sat}} = V_2$$

Le basculement de $v_s = +V_{sat}$ à $v_s = -V_{sat}$ se fait à la tension de seuil au point de fonctionnement B.

En revanche, lorsque l'amplificateur opérationnel est saturé négativement, nous avons :

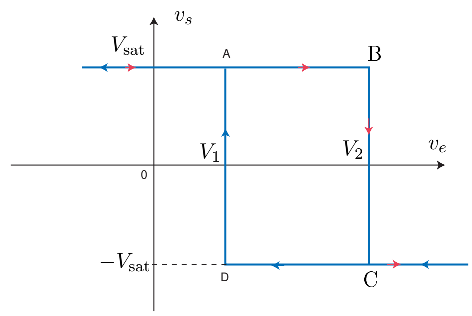
$$v_s = -V_{sat} \qquad \text{et} \qquad \varepsilon < 0$$

soit :

$$v_e > \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{ref} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{\text{sat}} = V_1$$

Le basculement de $v_s = -V_{sat}$ à $v_s = +V_{sat}$ se fait à la tension de seuil au point de fonctionnement D.

D'où la caractéristique de transfert du comparateur à hystérisis :



Le cycle d'hystérésis est centré en :

$$V_0 = \frac{V_1 + V_2}{2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{ref}$$

sa largeur est :

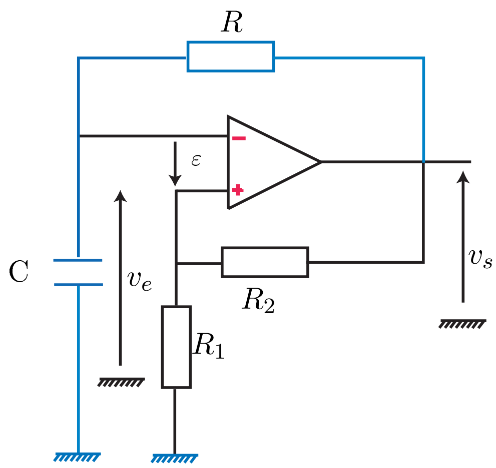
$$\Delta V = V_2 - V_1 = 2\frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{\text{sat}}$$

Remarque : La résistance d'entrée de ce comparateur est très grande.

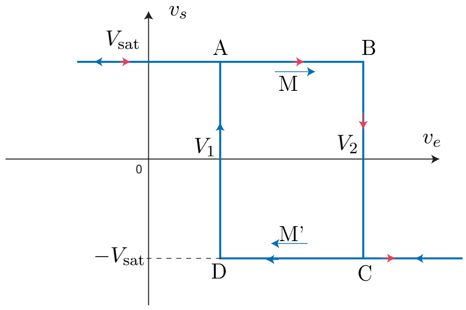
7.3 Oscillateur à relaxation

Considerons un comparateur inverseur a hysteresis pour lequel $V_{ref} = 0$.

L'oscillateur à relaxation est constitué de deux éléments : un comparateur à hystérésis et un intégrateur, dont le rôle est de faire glisser le point de fonctionnement M du comparateur vers ses points de basculement B et D.



Quand $v_s = V_{\text{sat}}$, le point de fonctionnement M du comparateur doit se déplacer de A vers B qui est le point de basculement a saturation positive.
En revanche, lorsque $v_s = -V_{\text{sat}}$, le point de fonctionnement M' du comparateur doit se déplacer de C vers D qui est le point de basculement à saturation négative.



Pour cela il faut et il suffit que :

$$\text{lorsque} \;:\quad v_s = +V_{\text{sat}} \;\rightarrow\; v_e \uparrow \;\rightarrow\; \frac{dv_e}{dt} > 0$$

et

$$\text{lorsque} \;:\quad v_s = -V_{\text{sat}} \;\rightarrow\; v_e \downarrow \;\rightarrow\; \frac{dv_e}{dt} < 0$$

Donc, le signe de $\frac{dv_e}{dt}$ doit être le même que celui de v_s.

Ces deux conditions sont simultanément réalisées par le circuit (R, C). En effet :

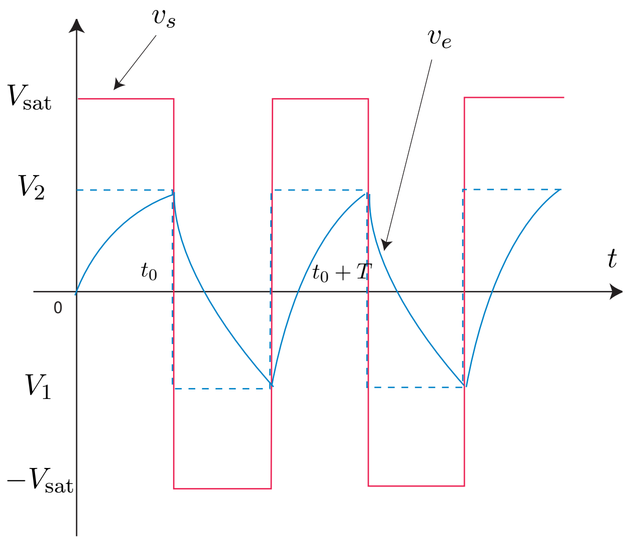
$$C\frac{dv_e}{dt} = \frac{v_s - v_e}{R}$$

puisque

$$|v_s| = V_{\text{sat}} > |v_e|$$

alors $\frac{dv_e}{dt}$ et v_s ont bien le même signe.

Donc, la tension de sortie v_s du circuit bascule *indéfiniment* entre V_{sat} et $-V_{\text{sat}}$: c'est un *multivibrateur astable.*



Calcul de la période T :

Pour ce calcul prenons comme nouvelle origine des temps $t = 0$ la date d'un basculement de V_{sat} à $-V_{\text{sat}}$.

$$v_e(0) = V_2$$

À partir de cette date, le condensateur se charge à travers R sous la tension constante $v_s = -V_{\text{sat}}$. Ce qui conduit à l'équation différentielle :

$$\frac{\mathrm{d}v_e}{\mathrm{d}t} + \frac{v_e}{\tau} = -\frac{V_{\text{sat}}}{\tau}$$

avec $\tau = RC$.

La solution est :

$$v_e(t) = (V_1 + V_{\text{sat}})e^{-\frac{t}{\tau}} - V_{\text{sat}}$$

La tension $v_e(t)$ décroît à partir de V_2 pour tendre vers la tension $-V_{\text{sat}}$ qu'elle n'atteindra pas. En effet, à $t = t_1$, la tension $v_e(t)$ aura la valeur :

$$V_1 = -\frac{R_1}{R_1 + R_2}V_{\text{sat}}$$

et un nouveau basculement se produira amenant la tension de sortie de $-V_{\text{sat}}$ à $+V_{\text{sat}}$.

La date $t = t_1$ se calcule en écrivant :

$$v_e(t_1) = V_1 = (V_1 + V_{\text{sat}})e^{-\frac{t_1}{\tau}} - V_{\text{sat}}$$

d'où :

$$t_1 = \tau \ln\left(\frac{V_2 + V_{\text{sat}}}{V_1 + V_{\text{sat}}}\right) = \tau \ln\left(\frac{1+k}{1-k}\right)$$

avec $k = \frac{R_1}{R_1+R_2}$.

Le condensateur se charge alors à travers R sous la tension constante $v_s = V_{\text{sat}}$. La tension $v_e(t)$ croît à partir de V_1 pour tendre vers la tension $+V_{\text{sat}}$ qu'elle n'atteindra pas. En effet, à $t = t_1 + t_2$ la tension $v_e(t)$ aura la valeur V_2 et un nouveau basculement se produira amenant la tension de sortie de V_{sat} à $-V_{\text{sat}}$. Le phénomène se poursuit ainsi indéfiniment.

Le calcul de la durée t_2 , qui se mène comme celui de la durée t_1 , donne :

$$t_2 = t_1 = \tau \ln\left(\frac{1+k}{1-k}\right)$$

La période T est :

$$T = 2\tau \ln\left(\frac{1+k}{1-k}\right)$$

7.4 Principe d'un générateur de fonction

Un générateur de fonctions est généralement constitué d'une boucle comprenant un comparateur à hystérésis et un intégrateur.