Amplificateur opérationnel en régime non linéaire

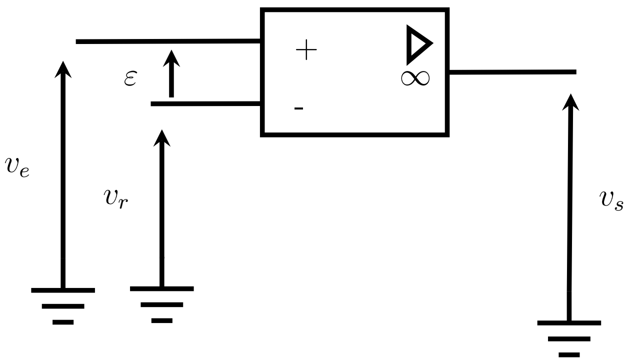
Table des matières

1 Comparateur à AO

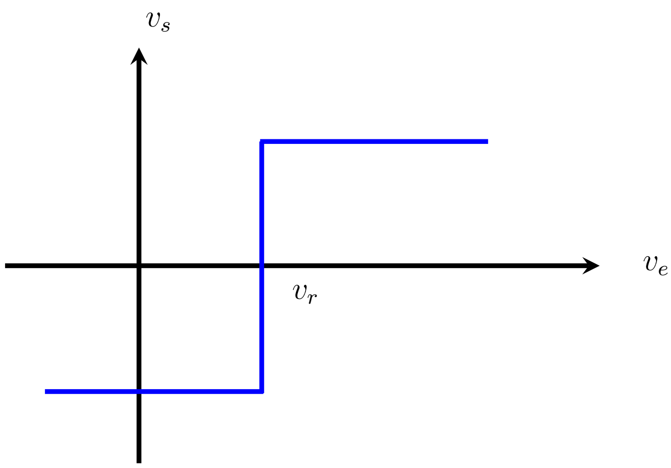
Il s'agit d'opérateur à AO supposé ideal,en régime non linéaire ($\varepsilon \neq 0$) on obtient à la sortie
• Saturation basse si $\varepsilon < 0$
• Saturation haute si $\varepsilon > 0$

1.1 Comparateur simple en boucle ouverte

Cet opérateur à AO va permettre de comparer une tension $v_e(t)$ appliquée sur une entrée (+) (par exemple) et une tension de référence v_r sur l'autre entrée .



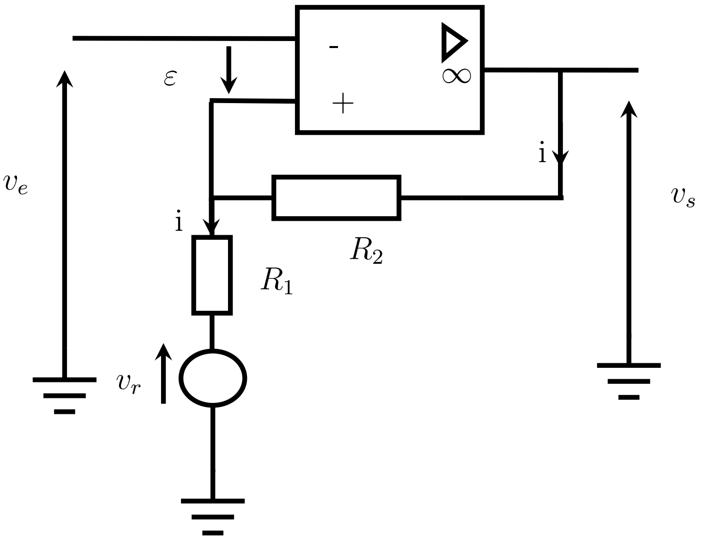
$\varepsilon = v^+ - v^- = v_e - v_r$
si $v_e > v_r \Rightarrow \varepsilon > 0$ saturation haute
si $v_r > v_e \Rightarrow \varepsilon < 0$ saturation basse



• Remarque : Si l'on permute les deux entrées,le comparateur est dit inverseur .
En pratique la caractéristique de transfert est visualisé en mode $X - Y$ de l'oscilloscope .

1.2 Comparateur en boucle fermée : trigger de schmitt

1.2.1 Montage



On pose

$$\boxed{\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2}}$$

$$\boxed{v_r' = (1-\beta)v_r = \frac{R_2}{R_1 + R_2}v_r}$$

1.2.2 Stabilisation du montage

Pour montrer l'instabilité du montage on considère que l'AO est réel tq v_s et ε sont reliés par l'équation : on suppose que $v_r = 0$

$$\boxed{\tau\frac{dv_s}{dt} + v_s = \mu\varepsilon}$$

$v^+ = R_1 i = \dfrac{R_1}{R_1 + R_2}v_s = \beta v_s$ et $\varepsilon = \beta v_s - v_e$

$$\boxed{\tau\frac{dv_s}{dt} + (1-\mu\beta)v_s = -\mu v_e}$$

$\mu\beta >> 1 \Rightarrow v_s = k\exp(\dfrac{\mu\beta}{\tau}t) \rightarrow \infty, t \rightarrow \infty$ (solution de l'équation SSM)
donc v_s diverge et l'AO sature en tension .

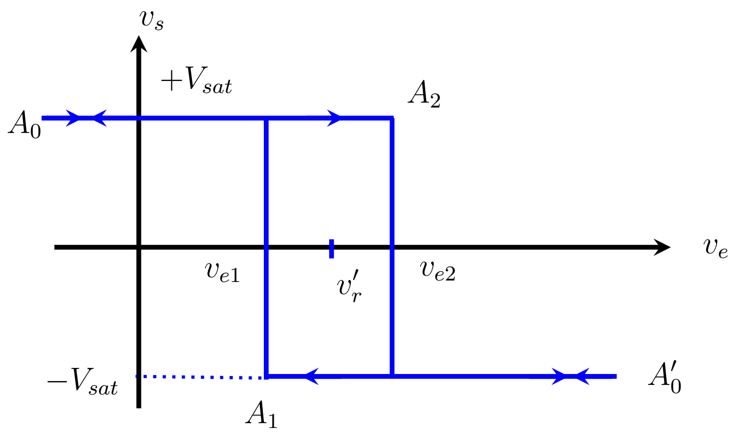
1.2.3 Comparateur à hysterésis

$v^+ = v_r + R_1 i = v_r + R_1\dfrac{v_s - v_r}{R_1 + R_2} = v_r + \beta(v_s - v_r) = \beta v_s + v_r'$

$$\boxed{\varepsilon = v^+ - v^- = \beta v_s + v_r' - v_e}$$

- Saturation haute $\varepsilon > 0 \Rightarrow v_e < \beta v_s + v_r' = \beta V_{sat} + v_r' = v_{e2}$

- Saturation basse $\varepsilon < 0 \Rightarrow v_e > -\beta V_{sat} + v'_r = v_{e1}$
- Cycle d'hysterésis



On part du point A_0 tq $v_s = +V_{sat} \Rightarrow \varepsilon > 0$
On augmente la tension jusqu'à $v_e = v_{e2}$ donc on décrit le ségment A_0A_2 .
À $v_e = v_{e2}$: $\varepsilon = v_{e2} - v_{e2} = 0 \Rightarrow$ basculement de v_s à $-V_{sat}$ et si on augmente v_e toujours on aura $v_s = -V_{sat}$ car $\varepsilon < 0$
On diminue v_e jusqu'à $v_e = v_{e1}$ tq $\varepsilon = 0 \Rightarrow$ basculement de v_s à $+V_{sat}$ d'où l'allure du cycle à hysterésis
La largeur du cycle est

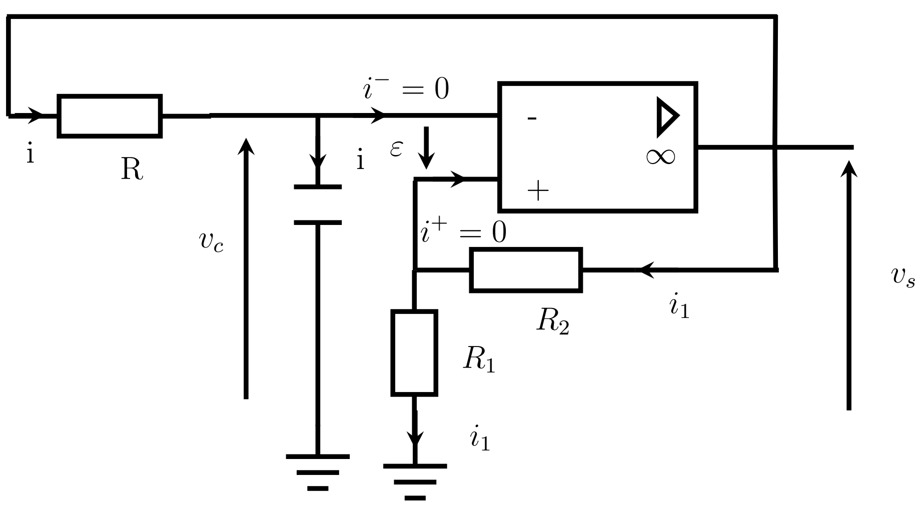
$$\boxed{\Delta v_e = v_{e2} - v_{e1} = 2\beta V_{sat}}$$

Le centre du cycle à hysterésis

$$\boxed{v_e = \frac{v_{e1} + v_{e2}}{2} = v'_r}$$

2 Multivibrateur astable

2.1 Montage



Le signal de sortie $\pm V_{sat}$ fournie par le trigger de schmitt,est intégré par un circuit RC
Ce système (non linéaire) à deux états instables correspondant aux basculement de v_s

est appelé multivibrateur astable .

Intérêt : Il permet de générer des signaux périodiques créneau $v_s(t)$ et pseudo-triangulaire $v_c(t)$ associés à des oscillations de relaxation .

2.2 Etude théorique

$v_c = v^-, \beta = \dfrac{R_1}{R_1+R_2}, \tau = RC$ et $v^+ = R_1 i_1 = \dfrac{R_1}{R_1+R_2} v_s = \beta v_s$

on choisit comme origine du temps $t = 0$ l'instant où v_s bascule de $+V_{sat}$ à $-V_{sat}$

$v_s(0^-) = V_{sat}$ et $v_s(0^+) = -V_{sat}$,$\varepsilon(0^-) = v^+(0^-) - v^-(0^-) = 0$

$v_c(0^-) = \beta v_s(0^-) = \beta V_{sat}$

La continuité de la tension aux bornes du condensateur

$v_c(0^+) = v_c(0^-) = \beta V_{sat}$

$\varepsilon(0^+) = v^+(0^+) - v^-(0^+) = \beta v_s(0^+) - v_c(0^+) = -\beta V_{sat} - \beta V_{sat} = -2\beta V_{sat}$

on déduit que

$$\boxed{\varepsilon(0^+) = -2\beta V_{sat} < 0}$$

donc le condensateur se décharge dans R :

$i = c\dfrac{dv_c}{dt}$ et $v_c + Ri = v_s \Rightarrow \boxed{\tau\dfrac{dv_c}{dt} + v_c = v_s = -V_{sat}}$

la solution de cette équation est $v_c(t) = k\exp(-\dfrac{t}{\tau}) - V_{sat}$

$v_c(0^+) = \beta V_{sat} \Rightarrow k = (1+\beta)V_{sat}$

$$\boxed{v_c(t) = V_{sat}[(1+\beta)\exp(-\frac{t}{\tau}) - 1]}$$

v_c diminue jusqu'à $\varepsilon = 0 \Rightarrow$ basculement à $+V_{sat}$

$\varepsilon = 0 \Rightarrow v_c(t_1^-) = v^+(t_1^-) = -\beta V_{sat}$ donc

$-\beta V_{sat} = V_{sat}[(1+\beta)\exp(-\dfrac{t_1}{\tau}) - 1] \Rightarrow \boxed{t_1 = \tau \ln\dfrac{1+\beta}{1-\beta}}$

à $v_s = +V_{sat}$: $v_c + \tau\dfrac{dv_c}{dt} = V_{sat} \Rightarrow v_c = k\exp(-\dfrac{t-t_1}{\tau}) + V_{sat}$

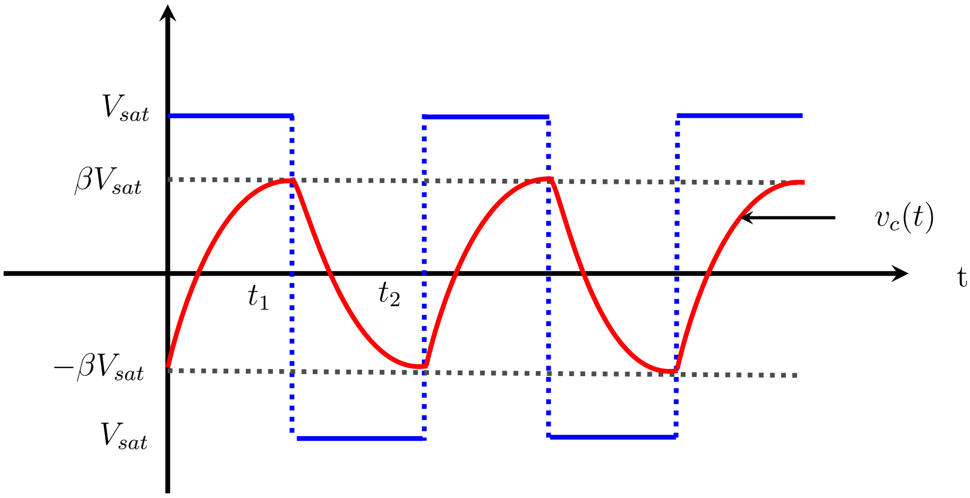
$v_c(t_1^+) = v_c(t_1^-) = -\beta V_{sat} \Rightarrow \boxed{v_c = V_{sat}[1 - (1+\beta)\exp(-\dfrac{t-t_1}{\tau})]}$

v_c augmente jusqu'à $\varepsilon = 0$ à $t = t_2 \Rightarrow$ basculement à $-V_{sat}$

$\varepsilon(t_2^-) = 0, v_c(t_2^-) = \beta V_{sat} = v^+(t_2^-)$

$\exp(-\dfrac{t_2 - t_1}{\tau}) = \dfrac{1-\beta}{1+\beta}$

$$\boxed{t_2 = t_1 + \tau\ln(\frac{1+\beta}{1-\beta}) = 2t_1}$$



$$T = 2t_1 = 2\tau\ln(\frac{1+\beta}{1-\beta}) = 2Rc\ln(\frac{2R_1+R_2}{R_2})$$

$$\boxed{T = 2Rc\ln(1+2\frac{R_1}{R_2})}$$