

Amplificateur Operationnel

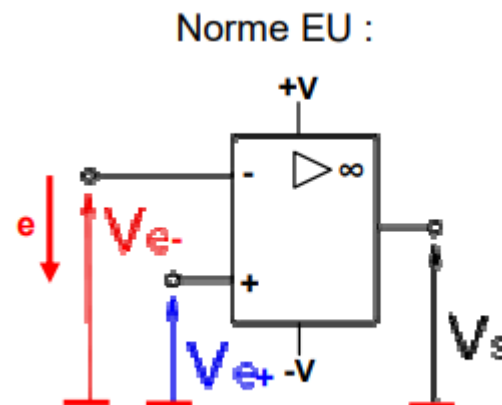
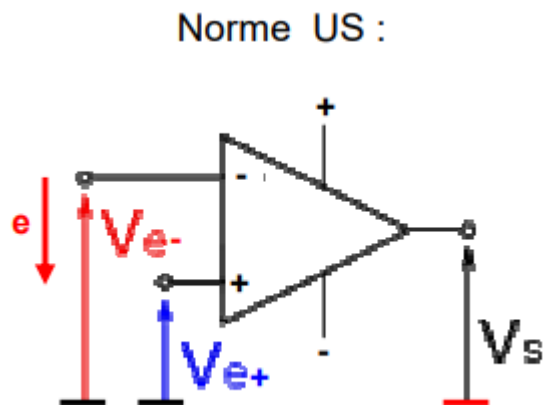
Principes et Montages principaux

Cours 1ere année
Bachelor Cybersécurité
EPITA

Principes de base d'un Ampli AOP

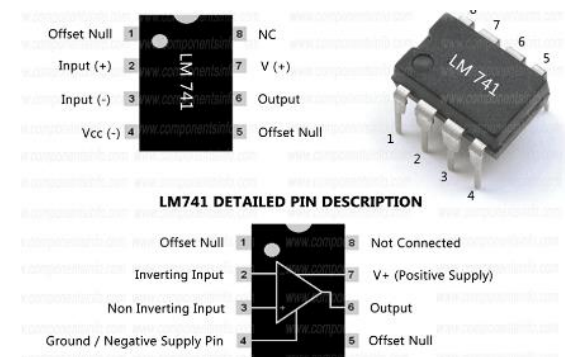
L'amplificateur opérationnel (AOP) est un circuit intégré électronique qui amplifie la différence de potentiel entre ses deux entrées (entrée inverseuse et non inverseuse), soit amplificateur pour opérations au sens - Comparer, Amplifier, Filtrer, Additionner, Soustraire, Intégrer, Dériver

Les symboles normalisés utilisés pour sa représentation en schéma sont les suivants :



Ne pas confondre +V et -V qui sont les tensions d'alimentation du CI avec V_{e+} et V_{e-} qui sont les tensions d'entrée de l'AOP.

Exemple de package :



ETAT DE FONCTIONNEMENT DE L'AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL

Pour un fonctionnement correct, il faut:

- alimenter le circuit intégré.

En général, $V_{cc}=V_{ss}$

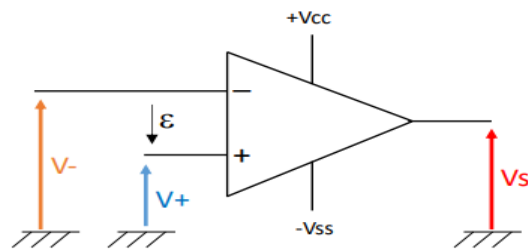
- respecter:

$$-V_{ss} < V_+ < +V_{cc}$$

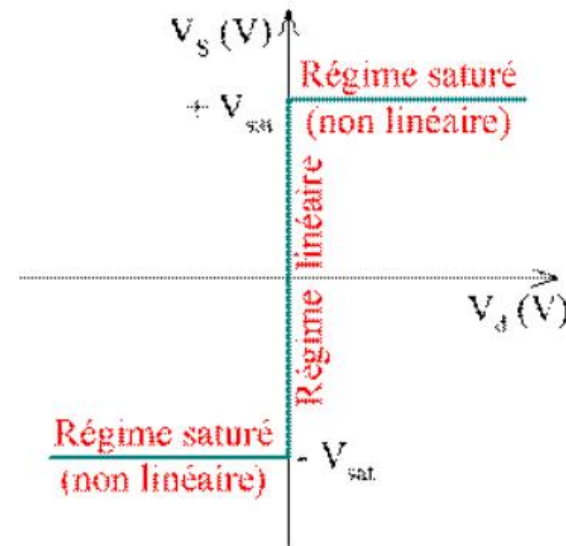
$$-V_{ss} < V_- < +V_{cc}$$

Dans ces conditions, on a:

$$-V_{ss} \leq V_s \leq +V_{cc}$$



$$\varepsilon = V_+ - V_-$$
$$V_s = A \cdot \varepsilon$$

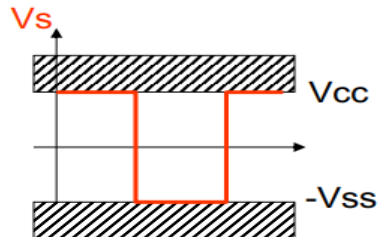
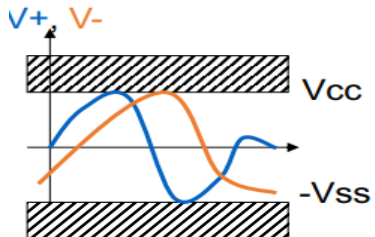


▷ Régime linéaire $v_d = 0$
et $-V_{sat} < V_s < +V_{sat}$

▷ Régime saturé / Non linéaire

$$v_d > 0 \Rightarrow v_s = +V_{sat}$$

$$v_d < 0 \Rightarrow v_s = -V_{sat}$$



Cas d'applications courantes à base d'AOP

Les cas d'applications sont multiples :

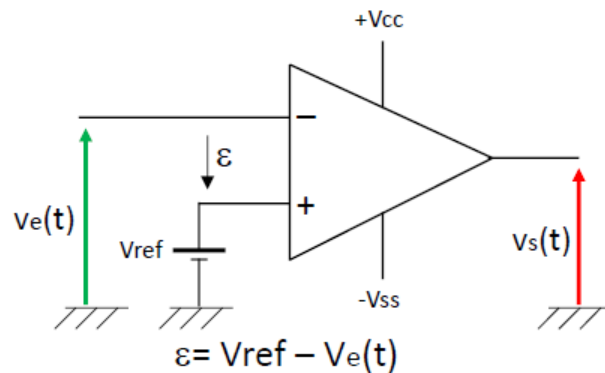
- Amplification de signaux (audio, capteur...)
- Filtrage actif (passe bas, passe haut, passe bande...)
- Comparateurs
- Oscillateurs
- Convertisseurs (analogique-numérique et numérique-analogique)

Montages

1. CIRCUIT COMPAREUR DE TENSION 1
2. CIRCUIT COMPAREUR DE TENSION 2
3. CIRCUIT AMPLIFICATEUR SUIVEUR
4. CIRCUIT AMPLIFICATEUR NON INVERSEUR
5. CIRCUIT AMPLIFICATEUR INVERSEUR
6. CIRCUIT AMPLIFICATEUR ADDITIONNEUR INVERSEUR 1
7. CIRCUIT AMPLIFICATEUR ADDITIONNEUR INVERSEUR 2
8. CIRCUIT SOUSTRACTEUR
9. CIRCUIT TRIGGER DE SCHMITT 1
10. CIRCUIT TRIGGER DE SCHMITT 2
11. CIRCUIT TRIGGER DE SCHMITT 3
12. CIRCUIT TRIGGER DE SCHMITT 3

1. CIRCUIT COMPAREUR DE TENSION 1

Montages à AOp en fonctionnement non linéaire - COMPAREUR DE TENSION 1



On suppose l'AOp idéal, donc: $i_+ = i_- = 0$
Donc le courant dans R1 est le même que dans R2.

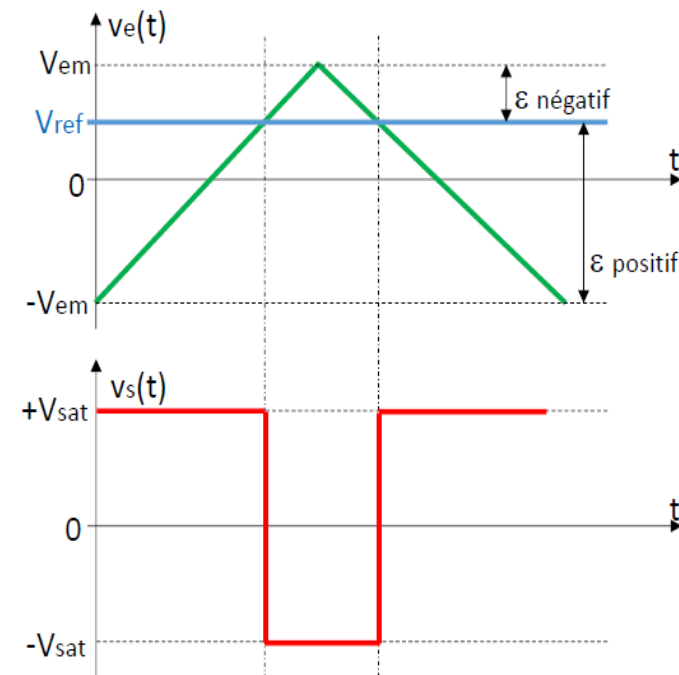
$$e = V_{ref} - V_e(t)$$

$$V_+ = V_{ref}$$

$$V_- = V_e(t)$$

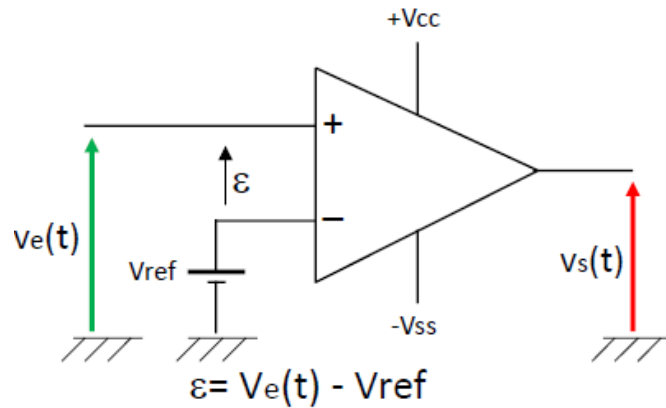
$$V_s(t) = +V_{sat} \text{ si } V_+ > V_- \text{ c a d quand } V_{ref} > V_e(t)$$

$$V_s(t) = -V_{sat} \text{ si } V_+ < V_- \text{ c a d quand } V_{ref} < V_e(t)$$



2. CIRCUIT COMPAREUR DE TENSION 2

Montages à AOp en fonctionnement non linéaire - COMPAREUR DE TENSION 2



On suppose l'AOp idéal, donc: $i_+ = i_- = 0$
Donc le courant dans R1 est le même que dans R2.

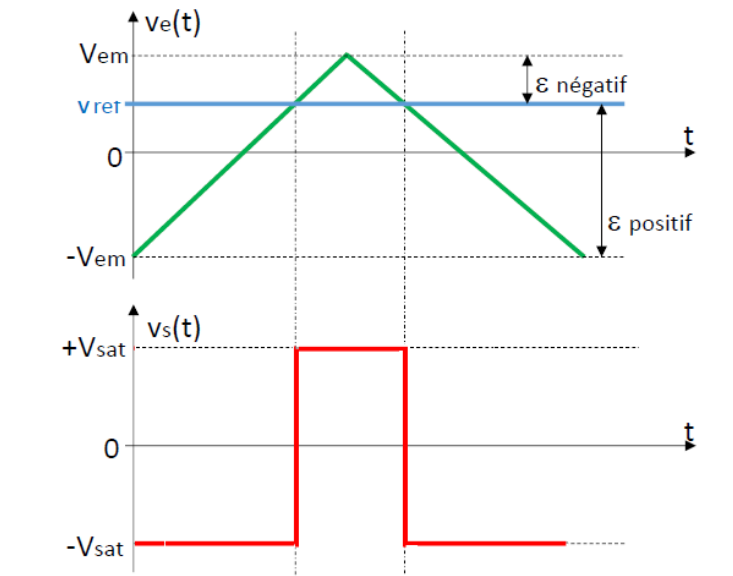
$$e = V_e(t) - V_{ref}$$

$$V_+ = V_e(t)$$

$$V_- = V_{ref}$$

$$V_s(t) = +V_{sat} \text{ si } V_+ > V_- \text{ c a d } V_e(t) > V_{ref}$$

$$V_s(t) = -V_{sat} \text{ si } V_+ < V_- \text{ c a d } V_e(t) < V_{ref}$$



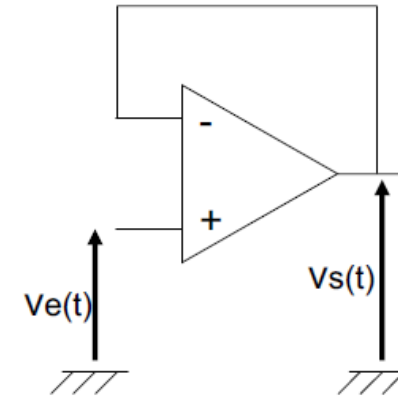
3. CIRCUIT AMPLIFICATEUR SUIVEUR

Montages à AOp en fonctionnement linéaire - MONTAGE SUIVEUR

On suppose l'AOp idéal, donc: $i_+ = i_- = 0$

Montage à contre-réaction \Rightarrow fonctionnement linéaire $\Rightarrow \mathcal{E}=0$

$$v_s = v_e$$



4. CIRCUIT AMPLIFICATEUR NON INVERSEUR

Montages à AOp en fonctionnement linéaire - AMPLIFICATEUR NON INVERSEUR

On suppose l'AOp idéal, donc: $i_+ = i_- = 0$

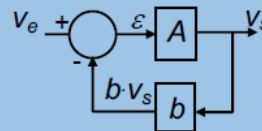
Donc le courant dans R1 est le même que dans R2.

Montage à contre-réaction => fonctionnement linéaire => $\varepsilon = 0$

- $V_- = \frac{R_1}{R_1 + R_2} v_s$
- $V_+ = V_- = v_e$

$$v_s = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) v_e$$

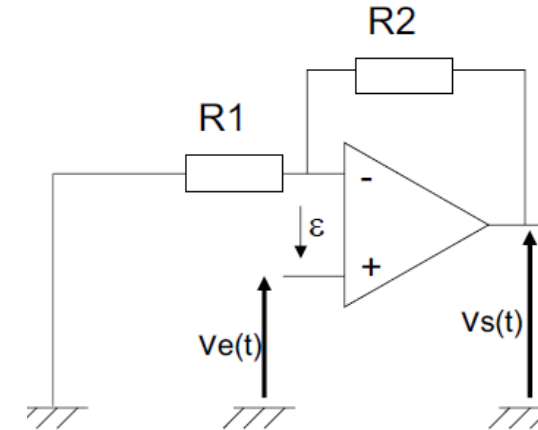
Schéma fonctionnel



La chaîne de retour est le pont diviseur de tension :

$$b = R_1 / (R_1 + R_2)$$

$$Ab > 1 \rightarrow v_s / v_e = 1 / b$$



5. CIRCUIT AMPLIFICATEUR INVERSEUR

Montages à AOp en fonctionnement linéaire - AMPLIFICATEUR INVERSEUR

On suppose l'AOp idéal, donc: $i_+ = i_- = 0$

Donc le courant dans R1 est le même que dans R2.

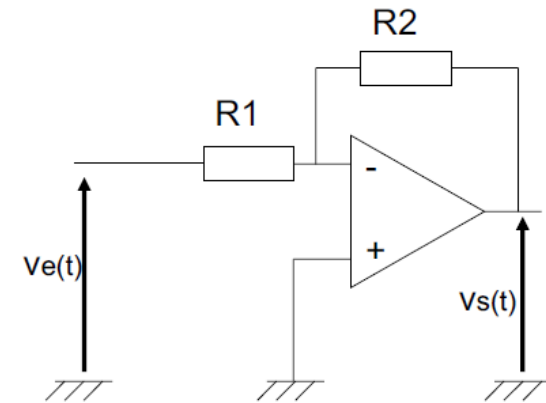
Montage à contre-réaction \Rightarrow fonctionnement linéaire $\Rightarrow \varepsilon = 0$

- $V_- = \frac{\frac{v_e}{R_1} + \frac{v_s}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}$ (Théorème de Millman)

- $V_+ = V_- = 0 \rightarrow \frac{v_e}{R_1} + \frac{v_s}{R_2} = 0$

$$v_s = -\frac{R_2}{R_1} v_e$$

➤ **Remarque** : Si $R_1 = R_2 \rightarrow$ inverseur



6. CIRCUIT AMPLIFICATEUR ADDITIONNEUR INVERSEUR

Montages à AOp en fonctionnement linéaire - ADDITIONNEUR INVERSEUR 1

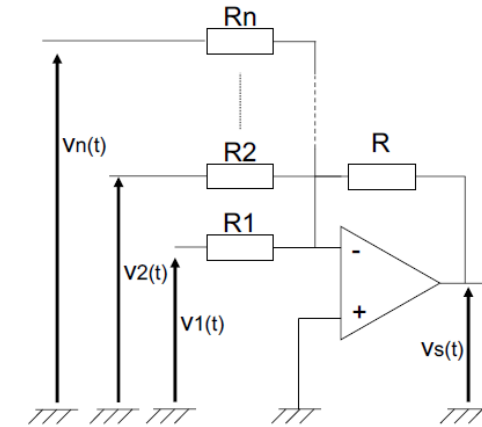
On suppose l'AOp idéal, donc: $i_+ = i_- = 0$

Montage à contre-réaction => fonctionnement linéaire => $\mathcal{E}=0$

Les théorèmes de Millman et de superposition conduisent à:

- $$V_- = \frac{\frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} + \dots + \frac{v_n}{R_n} + \frac{v_s}{R}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} + \frac{1}{R}}$$
- $$V_+ = V_- = 0$$

$$v_s = -R \left(\frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} + \dots + \frac{v_n}{R_n} \right)$$



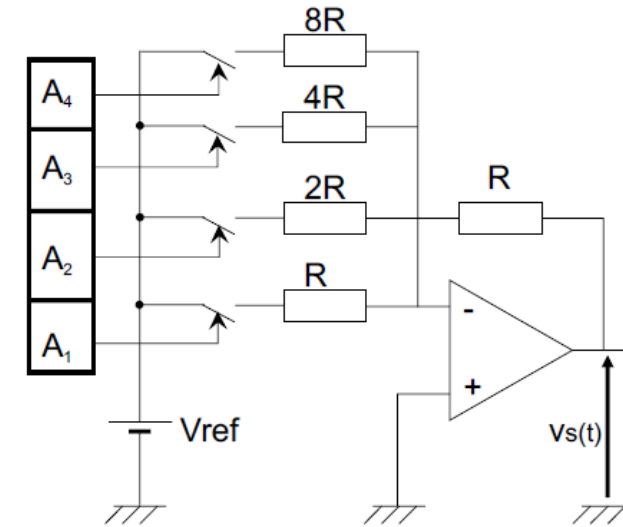
7. CIRCUIT AMPLIFICATEUR ADDITIONNEUR INVERSEUR 2

Montages à AOp en fonctionnement linéaire - ADDITIONNEUR INVERSEUR 2

Rappel:
$$v_s = -R \left(\frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} + \dots + \frac{v_n}{R_n} \right)$$

$$v_s = -V_{ref} \left(A_1 + \frac{A_2}{2} + \frac{A_3}{4} + \frac{A_4}{8} \right)$$

A_i : valeur binaire



CONVERTISSEUR NUMERIQUE ANALOGIQUE

➤ **Remarque** : les interrupteurs peuvent être des MOS

8. CIRCUIT SOUSTRACTEUR

Montages à AOp en fonctionnement linéaire - SOUSTRACTEUR

On suppose l'AOp idéal, donc: $i_+ = i_- = 0$

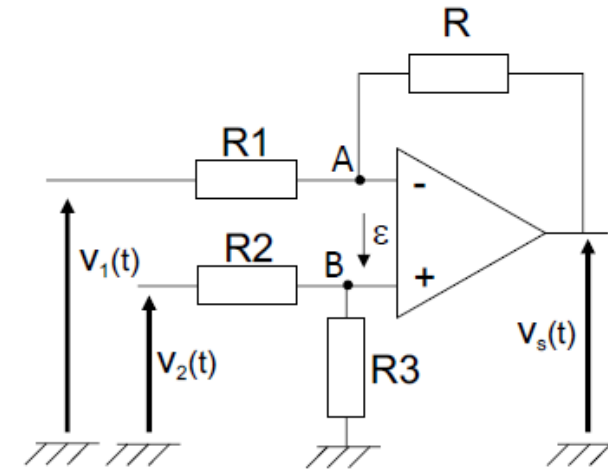
Donc le courant dans R1 est le même que dans R.

Montage à contre-réaction => fonctionnement linéaire => $\varepsilon = 0$

- Millman en A:
$$v_- = \frac{\frac{v_1}{R1} + \frac{v_s}{R}}{\frac{1}{R1} + \frac{1}{R}} = \frac{R}{R1 + R} v_1 + \frac{R1}{R1 + R} v_s$$
- Pont diviseur en B:
$$v_+ = \frac{R3}{R2 + R3} v_2$$

$$v_s = \left(\frac{R1+R}{R1} \right) \left(\frac{R3}{R2+R3} v_2 - \frac{R}{R1+R} v_1 \right)$$

➤ **Remarque :** si $R=R1=R2=R3$ alors $v_s = v_2 - v_1$



9. CIRCUIT TRIGGER DE SCHMITT 1

Montages à AOp en fonctionnement non linéaire - COMPAREUR DE TENSION A HYSTERESIS – TRIGGER DE SCHMITT 1

On suppose l'AOp idéal, donc: $i_+ = i_- = 0$

Donc le courant dans R1 est le même que dans R2.

Le circuit permet d'écrire:
$$\begin{cases} V_+ = \frac{V_e * R_2 + V_s * R_1}{R_1 + R_2} & (\text{Théorème de Millman}) \\ V_- = 0 \end{cases}$$

Hypothèse 1: état de la sortie: $v_s = +V_{sat}$. Ce qui se traduit par $V_+ > V_-$

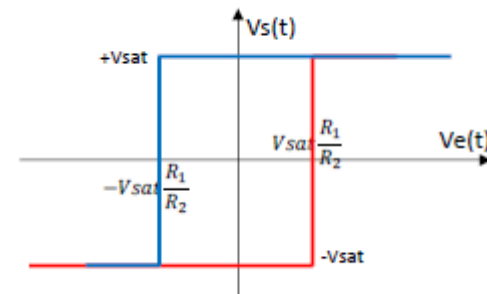
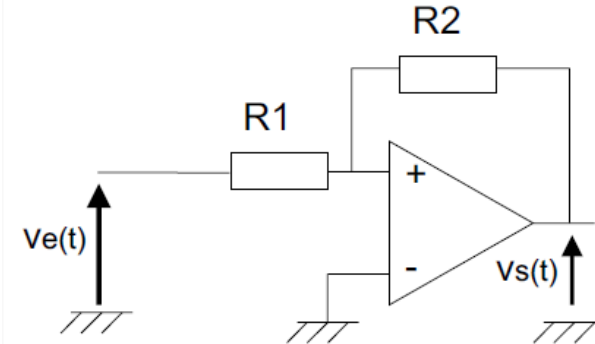
La sortie basculera donc à $-V_{sat}$ lorsque v_e sera telle que:

$$\frac{v_e * R_2 + V_{sat} * R_1}{R_1 + R_2} < 0 \quad \text{c'est-à-dire : } \boxed{v_e < -\frac{V_{sat} * R_1}{R_2}}$$

Hypothèse 2: état de la sortie: $v_s = -V_{sat}$. Ce qui se traduit par $V_+ > V_-$.

La sortie basculera donc à $+V_{sat}$ lorsque v_e sera telle que:

$$\boxed{v_e > +\frac{V_{sat} * R_1}{R_2}}$$



10. CIRCUIT TRIGGER DE SCHMITT 2

Montages à AOp en fonctionnement non linéaire - COMPAREUR DE TENSION A HYSTERESIS – TRIGGER DE SCHMITT 2

On suppose l'AOp idéal, donc: $i_+ = i_- = 0$

Donc le courant dans R1 est le même que dans R2.

Le circuit permet d'écrire:

$$\begin{cases} V_+ = \frac{V_e * R_2 + V_s * R_1}{R_1 + R_2} \\ V_- = 0 \end{cases}$$

Hypothèse 1: état de la sortie: $v_s = +V_{sat}$. Ce qui se traduit par $V_+ > V_-$

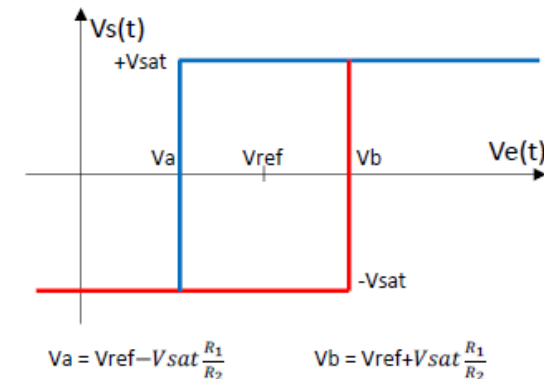
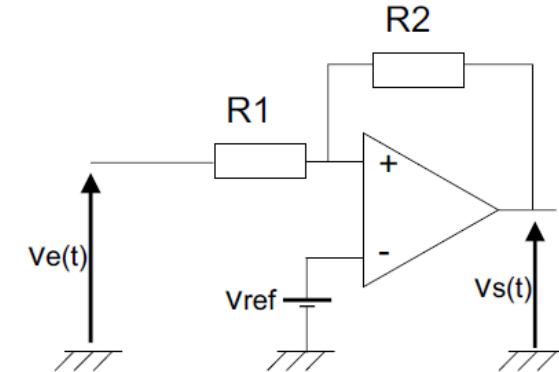
La sortie basculera donc à $-V_{sat}$ lorsque v_e sera telle que:

$$\frac{v_e * R_2 + V_{sat} * R_1}{R_1 + R_2} < V_{ref} \text{ c'est-à-dire : } v_e < V_{ref} - \frac{V_{sat} * R_1}{R_2}$$

Hypothèse 2: état de la sortie: $v_s = -V_{sat}$. Ce qui se traduit par $V_- > V_+$.

La sortie basculera donc à $+V_{sat}$ lorsque v_e sera telle que:

$$v_e > V_{ref} + \frac{V_{sat} * R_1}{R_2}$$



11. CIRCUIT TRIGGER DE SCHMITT 3

Montages à AOp en fonctionnement non linéaire - COMPAREUR DE TENSION A HYSTERESIS – TRIGGER DE SCHMITT 3

On suppose l'AOp idéal, donc: $i_+ = i_- = 0$

Donc le courant dans R1 est le même que dans R2.

Le circuit permet d'écrire:

$$\begin{cases} V_+ = \frac{R1}{R1+R2} v_s \\ V_- = v_e \end{cases}$$

Hypothèse 1: état de la sortie: $v_s = +V_{sat}$. Ce qui se traduit par $V_+ > V_-$

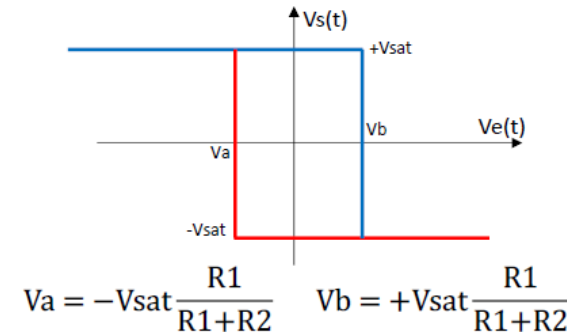
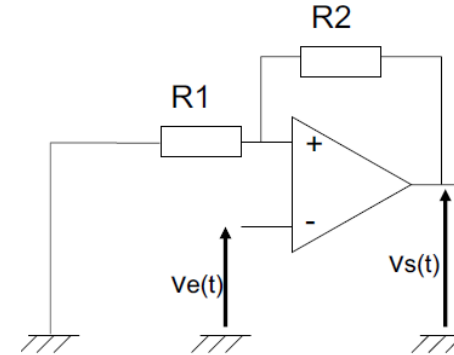
La sortie basculera donc à $-V_{sat}$ lorsque v_e sera telle que:

$$\frac{R1}{R1+R2} v_s - v_e > 0 \quad \text{c'est-à-dire :} \quad v_e > \frac{V_{sat} R1}{R1+R2}$$

Hypothèse 2: état de la sortie: $v_s = -V_{sat}$. Ce qui se traduit par $V_- > V_+$.

La sortie basculera donc à $+V_{sat}$ lorsque v_e sera telle que:

$$v_e < \frac{-V_{sat} R1}{R1+R2}$$



12. CIRCUIT TRIGGER DE SCHMITT 4

Montages à AOp en fonctionnement non linéaire - COMPAREUR DE TENSION A HYSTERESIS – TRIGGER DE SCHMITT 4

On suppose l'AOp idéal, donc: $i_+ = i_- = 0$

Donc le courant dans R1 est le même que dans R2.

Le circuit permet d'écrire:
$$\begin{cases} V_+ = V_{ref} + R1 I = V_{ref} + (V_s - V_{ref}) \frac{R1}{R1 + R2} \\ V_- = v_e \end{cases}$$

Hypothèse 1: état de la sortie: $v_s = +V_{sat}$. Ce qui se traduit par $V_+ > V_-$.

La sortie basculera donc à $-V_{sat}$ lorsque v_e sera telle que:

$$v_e > V_{ref} + (V_{sat} - V_{ref}) \frac{R1}{R1 + R2}$$

Hypothèse 2: état de la sortie: $v_s = -V_{sat}$. Ce qui se traduit par $V_- > V_+$.

La sortie basculera donc à $+V_{sat}$ lorsque v_e sera telle que:

$$v_e < V_{ref} - (V_{sat} + V_{ref}) \frac{R1}{R1 + R2}$$

