

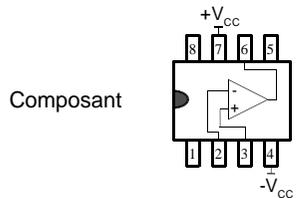
Table des matières

I	Présentation	3
II	Fonctionnement en régime linéaire	3
III	Le montage suiveur	4
III.1	Montage et oscillogrammes	4
III.2	Démonstration	4
IV	Le montage amplificateur inverseur	5
IV.1	Montage et oscillogrammes	5
IV.2	Démonstration	5
V	Le montage amplificateur non - inverseur	6
V.1	Montage	6
V.2	Démonstration	6
VI	Le montage sommateur inverseur	7
VI.1	Montage	7
VI.2	Démonstration	7
VII	Le montage sommateur non - inverseur	8
VII.1	Montage	8
VII.2	Démonstration	8
VIII	Le montage amplificateur de différence ou différentiel	9
VIII.1	Montage	9
VIII.2	Démonstration	9
IX	Le montage dérivateur	10
IX.1	Montage	10
IX.2	Démonstration	10
X	Le montage intégrateur	10
X.1	Montage	10
X.2	Démonstration	10
XI	Fonctionnement en régime de saturation	11
XII	Le comparateur à un seuil	13
XII.1	Montage et oscillogrammes	13
XII.2	Démonstration	14
XIII	Le comparateur inverseur à un seuil	15
XIII.1	Montage et oscillogrammes	15
XIII.2	Démonstration	16
XIV	Comparateur à deux seuils symétriques	17
XIV.1	Montage et oscillogrammes	17
XIV.2	Démonstration	18
XV	Comparateur à deux seuils asymétriques	19
XV.1	Montage et oscillogrammes	19
XV.2	Démonstration	20

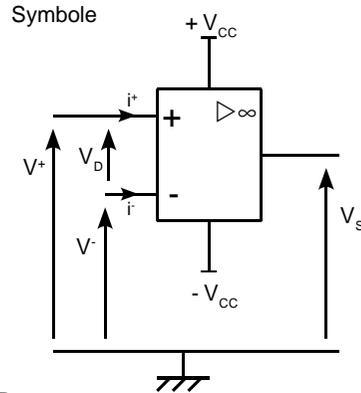
L'AMPLIFICATEUR INTÉGRÉ LINÉAIRE

I PRÉSENTATION :

L'amplificateur opérationnel est un circuit intégré. Il est composé de différents éléments parmi lesquels des transistors, des diodes ou des résistances. Il possède deux entrées, une sortie et deux bornes nécessaires à son alimentation.



Composant



$+V_{cc}$ et $-V_{cc}$ sont les deux tensions d'alimentation de l'AOP. En général, on ne les représente pas. Les valeurs usuelles sont $+15V$; $-15V$.

On appelle E^+ l'entrée non-inverseuse, E^- l'entrée inverseuse et S la sortie.

On définit la tension différentielle $V_D = V^+ - V^-$ et la tension de sortie $V_S = A_D \cdot V_D$

A_D est l'amplification différentielle propre de l'AOP et est de l'ordre de 10^5 . Cependant, même si A_D est très élevée, la tension de sortie ne peut dépasser $\pm V_{cc}$.

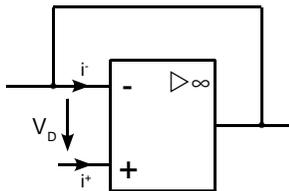
L'impédance d'entrée est très élevée et les courants d'entrée i^+ et i^- sont considérés comme nuls.

L'impédance de sortie est très faible.

II FONCTIONNEMENT EN RÉGIME LINÉAIRE :

Il est possible de réduire l'amplification différentielle afin que le fonctionnement de l'amplificateur opérationnel se situe dans la zone où la tension de sortie est comprise entre les deux tensions d'alimentation, autrement dit que v_D la différence entre les potentiels v^+ et v^- , soit pratiquement nulle.

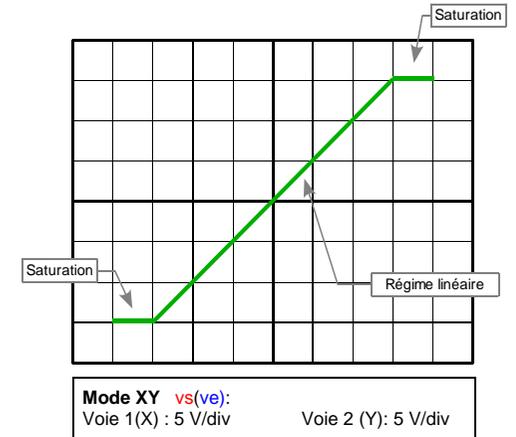
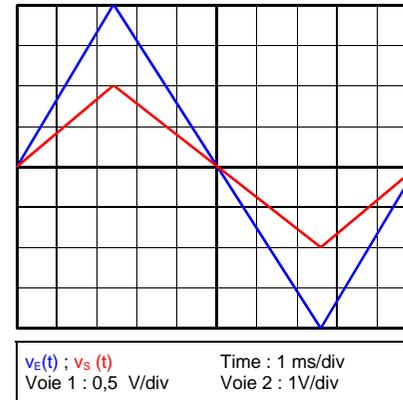
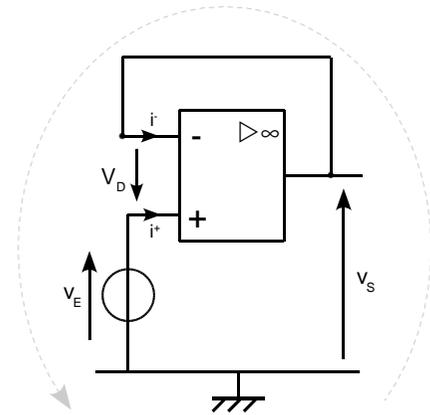
Pour cela il convient de relier la sortie avec l'entrée inverseuse, cette liaison est parfois nommée **contre réaction négative** ou boucle de réaction négative, on réinjecte une partie de la tension de sortie sur l'entrée inverseuse.



Sans indication contraire, lorsqu'il y a une **contre-réaction négative**, la tension différentielle est toujours nulle ($V_D = 0 \Leftrightarrow V^+ - V^- = 0 \Leftrightarrow V^+ = V^-$) et l'AOP fonctionne en régime linéaire.

III LE MONTAGE SUIVEUR :

III.1 Montage et oscillogrammes:



III.2 Démonstration :

Hypothèses simplificatrices :

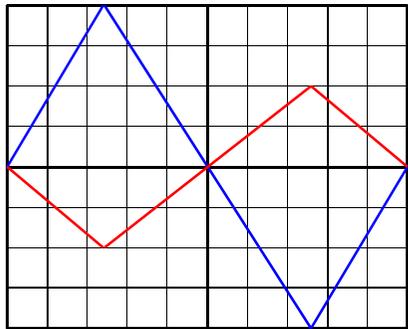
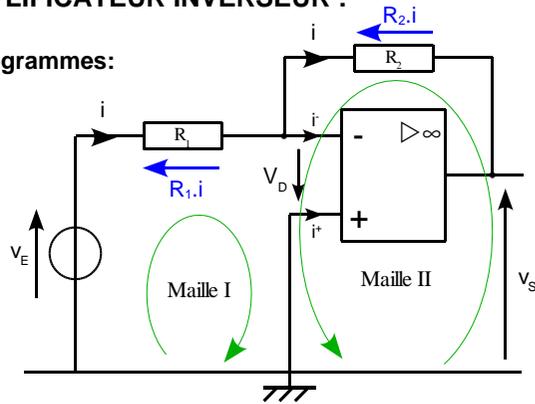
contre-réaction négative → régime linéaire

$$i^+ = i^- = 0 \quad \text{et} \quad V_D = V^+ - V^- = 0 \Leftrightarrow V^+ = V^-$$

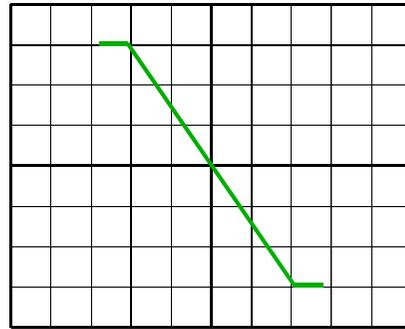
Loi des mailles : $v_S + V_D - v_E = 0$ comme $V_D = 0$ alors $v_S = v_E$

IV LE MONTAGE AMPLIFICATEUR INVERSEUR :

IV.1 Montage et oscillogrammes:



$v_E(t)$; $v_S(t)$
 Voie 1 : ___ V/div Time : ___ s/div
 Voie 2 : ___ V/div



Mode XY : $v_S(v_E)$
 Voie 1(X) : ___ V/div Voie 2 (Y) : ___ V/div

IV.2 Démonstration :

Hypothèses simplificatrices :

contre-réaction négative → régime linéaire

$$i^+ = i^- = 0 \quad \text{et} \quad V_D = V^+ - V^- = 0 \leftrightarrow V^+ = V^-$$

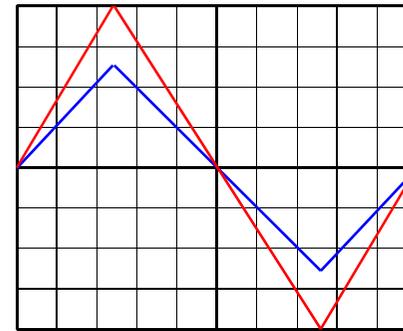
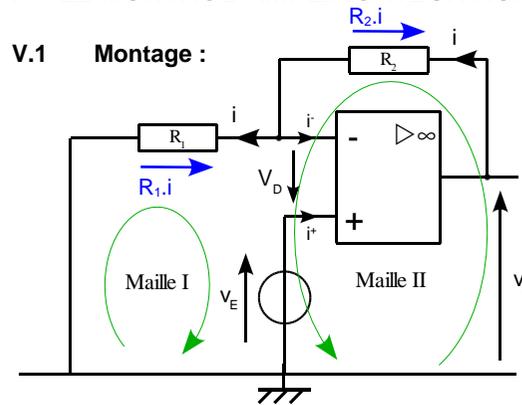
$$\text{Maille I : } v_E - R_1 \cdot i + V_D = 0 ; V_D = 0 \text{ alors } v_E - R_1 \cdot i = 0 \Rightarrow i = \frac{v_E}{R_1}$$

$$\text{Maille II : } v_S + R_2 \cdot i + V_D = 0 ; V_D = 0 \text{ alors } v_S + R_2 \cdot i = 0 \Rightarrow i = -\frac{v_S}{R_2}$$

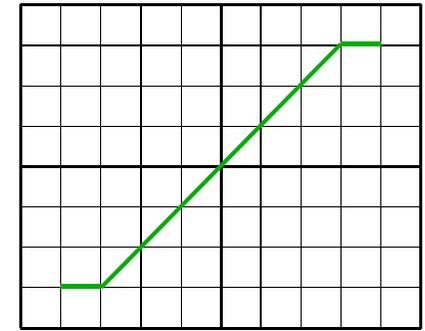
en égalisant les deux relations précédentes, on obtient
$$v_S = -\frac{R_2}{R_1} \cdot v_E$$

V LE MONTAGE AMPLIFICATEUR NON - INVERSEUR :

V.1 Montage :



$v_E(t)$; $v_S(t)$
 Voie 1 : ___ V/div Time : ___ s/div
 Voie 2 : ___ V/div



Mode XY : $v_S(v_E)$
 Voie 1(X) : ___ V/div Voie 2 (Y) : ___ V/div

V.2 Démonstration :

Hypothèses simplificatrices :

contre-réaction négative → régime linéaire

$$i^+ = i^- = 0 \quad \text{et} \quad V_D = V^+ - V^- = 0 \leftrightarrow V^+ = V^-$$

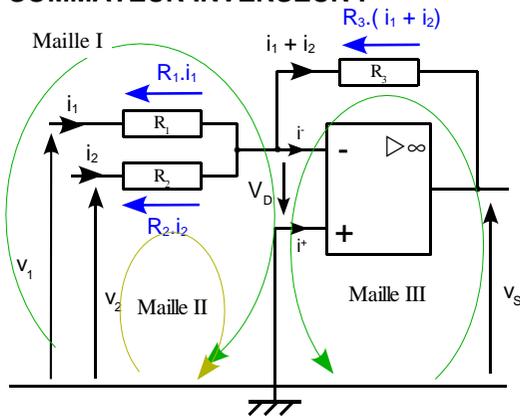
$$\text{Maille I : } R_1 \cdot i + V_D - v_E = 0 ; V_D = 0 \text{ alors } R_1 \cdot i - v_E = 0 \Rightarrow i = \frac{v_E}{R_1}$$

$$\text{Maille II : } v_S - R_2 \cdot i + V_D - v_E = 0 ; V_D = 0 \text{ alors } v_S - v_E - R_2 \cdot i = 0 \Rightarrow i = \frac{v_S - v_E}{R_2}$$

en égalisant les deux relations précédentes, on obtient
$$v_S = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot v_E$$

VI LE MONTAGE SOMMATEUR INVERSEUR :

VI.1 Montage :



VI.2 Démonstration :

Hypothèses simplificatrices :

contre-réaction négative → régime linéaire

$$i^+ = i^- = 0 \quad \text{et} \quad V_D = V^+ - V^- = 0 \Leftrightarrow V^+ = V^-$$

$$\text{Maille I : } v_1 - R_1 \cdot i_1 + V_D = 0; V_D = 0 \text{ d'où } i_1 = \frac{v_1}{R_1}$$

$$\text{Maille II : } v_2 - R_2 \cdot i_2 + V_D = 0; V_D = 0 \text{ d'où } i_2 = \frac{v_2}{R_2}$$

$$\text{Maille III : } v_S + R_3 \cdot (i_1 + i_2) + V_D = 0; V_D = 0 \text{ d'où } v_S = -R_3 \cdot (i_1 + i_2)$$

en remplaçant i_1 et i_2 par leurs expressions, on obtient

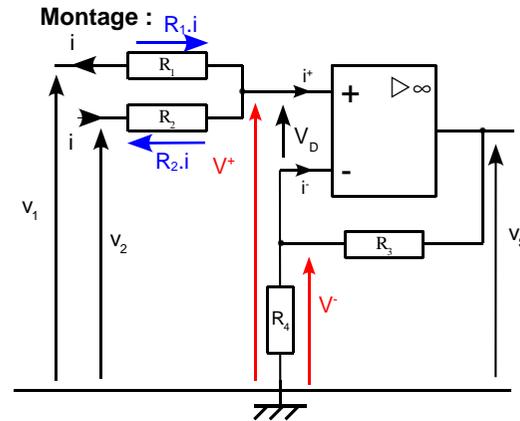
$$v_S = -R_3 \left(\frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} \right)$$

Si $R_1 = R_2 = R_3 = R$ alors

$$v_S = - (v_1 + v_2)$$

VII LE MONTAGE SOMMATEUR NON - INVERSEUR :

VII.1 Montage :



VII.2 Démonstration :

Hypothèses simplificatrices :

contre-réaction négative → régime linéaire

$$i^+ = i^- = 0 \quad \text{et} \quad V_D = V^+ - V^- = 0 \Leftrightarrow V^+ = V^-$$

$$\text{Maille I : } v_1 + R_1 \cdot i - V^+ = 0; V_D = 0 \text{ d'où } i = \frac{V^+ - v_1}{R_1}$$

$$\text{Maille II : } v_2 - R_2 \cdot i - V^+ = 0; V_D = 0 \text{ d'où } i = \frac{v_2 - V^+}{R_2}$$

En égalisant les deux expressions, on obtient :

$$V^+ = \frac{R_2 \cdot v_1 + R_1 \cdot v_2}{R_1 + R_2}$$

En utilisant le diviseur de tensions, $V^- = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot v_S$

$V^+ = V^-$ alors $\frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot v_S = \frac{R_2 \cdot v_1 + R_1 \cdot v_2}{R_1 + R_2}$ soit

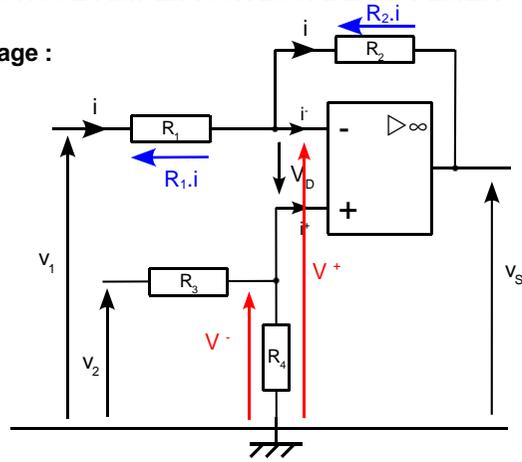
$$v_S = \frac{R_3 + R_4}{R_4} \cdot \frac{R_2 \cdot v_1 + R_1 \cdot v_2}{R_1 + R_2}$$

Si $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$ alors

$$v_S = v_1 + v_2$$

VIII LE MONTAGE AMPLIFICATEUR DE DIFFÉRENCE OU DIFFÉRENTIEL :

VIII.1 Montage :



VIII.2 Démonstration :

Hypothèses simplificatrices :

contre-réaction négative → régime linéaire

$$i^* = i^* = 0 \quad \text{et} \quad V_D = V^+ - V^- = 0 \leftrightarrow V^+ = V^-$$

$$\text{Maille I : } v_1 - R_1 \cdot i - V^+ = 0; V_D = 0 \text{ d'où } i = \frac{v_1 - V^+}{R_1}$$

$$\text{Maille II : } v_S + R_2 \cdot i - V^+ = 0; V_D = 0 \text{ d'où } i = \frac{V^+ - v_S}{R_2}$$

$$\text{En égalisant les deux expressions, on obtient : } V^+ = \frac{R_2 \cdot v_1 + R_1 \cdot v_S}{R_1 + R_2}$$

$$\text{En utilisant le diviseur de tensions, } V^- = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot v_2$$

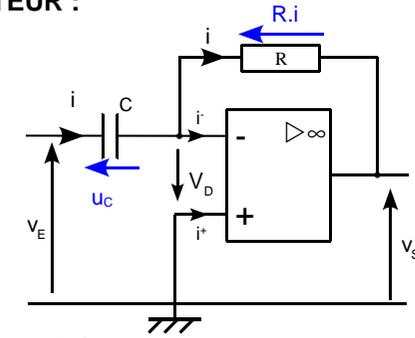
$$V^+ = V^- \text{ alors } \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot v_2 = \frac{R_2 \cdot v_1 + R_1 \cdot v_S}{R_1 + R_2} \text{ soit } v_S = \frac{R_1 + R_2}{R_3 + R_4} \cdot \frac{R_4}{R_1} \cdot v_1 - \frac{R_2}{R_1} \cdot v_2$$

$$\text{Si } R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R \text{ alors } v_S = v_1 - v_2$$

IX LE MONTAGE DÉRIVATEUR :

IX.1 Montage :

$$\text{Rappel : } i = C \cdot \frac{du_c}{dt}$$



IX.2 Démonstration :

Hypothèses simplificatrices :

contre-réaction négative → régime linéaire

$$i^* = i^* = 0 \quad \text{et} \quad V_D = V^+ - V^- = 0 \leftrightarrow V^+ = V^-$$

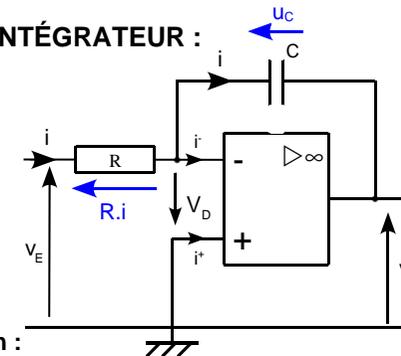
$$\text{Maille I : } v_E - u_C + V_D = 0; V_D = 0 \Rightarrow v_E = u_C$$

$$\text{Maille II : } v_S + R \cdot i + V_D = 0; V_D = 0 \Rightarrow v_S = -R \cdot i$$

$$\text{Comme } i = C \cdot \frac{du_c}{dt} \text{ alors } v_S = -RC \cdot \frac{du_c}{dt} \text{ et comme } v_E = u_C \text{ alors } v_S = -RC \cdot \frac{dv_E}{dt}$$

X LE MONTAGE INTÉGRATEUR :

X.1 Montage :



X.2 Démonstration :

Hypothèses simplificatrices :

contre-réaction négative → régime linéaire

$$i^* = i^* = 0 \quad \text{et} \quad V_D = V^+ - V^- = 0 \leftrightarrow V^+ = V^-$$

$$\text{Maille I : } v_E - R \cdot i + V_D = 0; V_D = 0 \Rightarrow v_E = R \cdot i$$

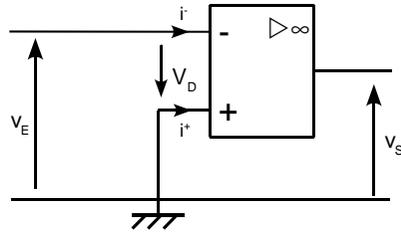
$$\text{Maille II : } v_S + u_C + V_D = 0; V_D = 0 \Rightarrow v_S = -u_C$$

$$\text{Comme } i = C \cdot \frac{du_c}{dt} \text{ alors } v_E = RC \cdot \frac{du_c}{dt} \text{ et comme } v_S = -u_C \text{ alors } v_E = -RC \cdot \frac{dv_S}{dt}$$

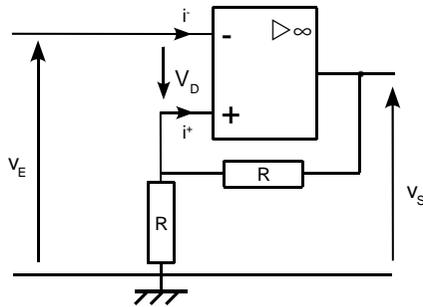
$$\text{soit } v_S = -\frac{1}{RC} \int v_E \cdot dt$$

XI FONCTIONNEMENT EN RÉGIME DE SATURATION

Lorsqu'il n'y a pas de contre-réaction négative



ou une réaction « positive »



L'amplificateur fonctionne en régime de saturation c'est-à-dire que la tension de sortie ne peut prendre que deux valeurs $+V_{SAT}$ ou $-V_{SAT}$.

On admet que les tensions de saturation $\pm V_{SAT} = \pm V_{CC}$

Pour ce mode de fonctionnement, la tension de sortie ne dépend que du signe de V_D tel que :

$$V_D = V^+ - V^-$$

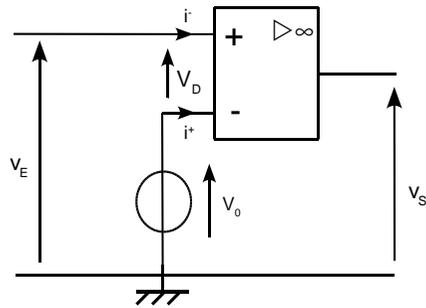
et

$$\text{Si } V_D > 0 \Leftrightarrow V^+ - V^- > 0 \Leftrightarrow V^+ > V^- \text{ alors } v_s = +V_{sat}$$

$$\text{Si } V_D < 0 \Leftrightarrow V^+ - V^- < 0 \Leftrightarrow V^- > V^+ \text{ alors } v_s = -V_{sat}$$

XII LE COMPAREUR À UN SEUIL :

XII.1 Montage et oscillogrammes :

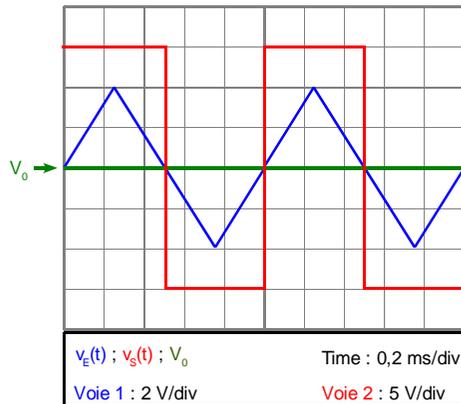


Hypothèses :

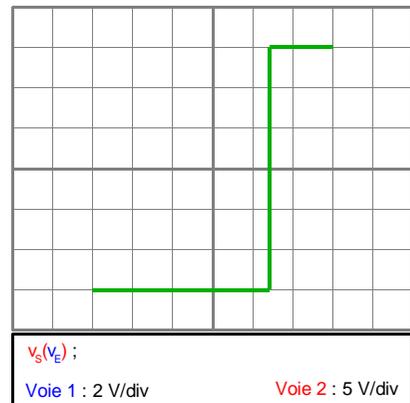
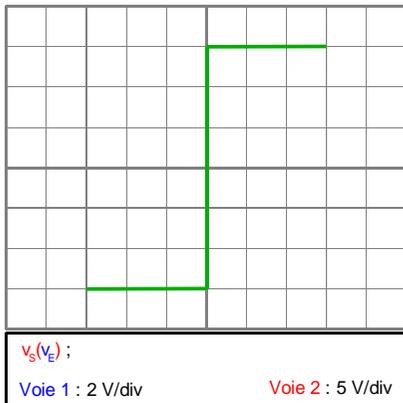
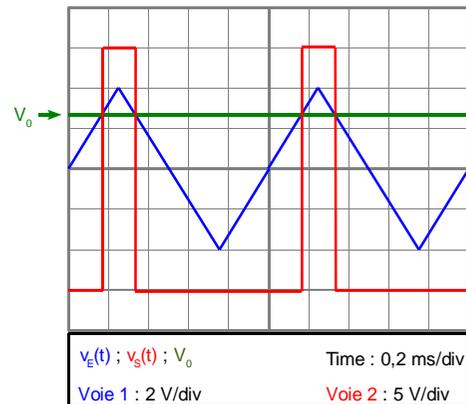
Les courants d'entrée $i^+ = i^- = 0$

V_0 est une tension continue.

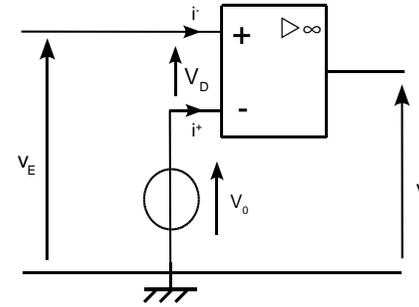
Compareur à 0 ($V_0 = 0$ V) :



Compareur à V_0 :



XII.2 Démonstration :



Hypothèses simplificatrices :

pas de contre-réaction négative → régime de saturation

$i^+ = i^- = 0$ et v_s ne dépend que du signe de V_D .

$$V_D = V^+ - V^- \text{ avec } V^+ = v_E \text{ et } V^- = V_0 \text{ soit } V_D = v_E - V_0$$

Pour connaître la tension de sortie, on étudie le signe de v_D :

Premier cas :

Si $V_D > 0$ alors $v_s = +V_{SAT}$

$$V_D > 0 \Leftrightarrow v_E - V_0 > 0 \Leftrightarrow v_E > V_0$$

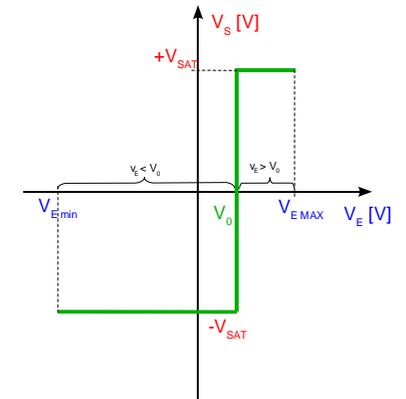
$$\text{Si } v_E > V_0 \text{ alors } v_s = +V_{SAT}$$

Deuxième cas :

Si $V_D < 0$ alors $v_s = -V_{SAT}$

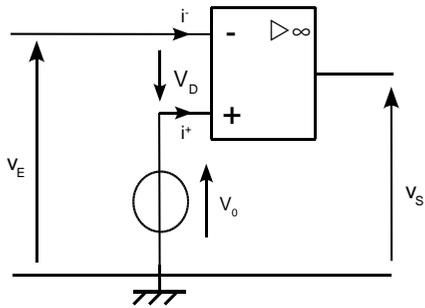
$$V_D < 0 \Leftrightarrow v_E - V_0 < 0 \Leftrightarrow v_E < V_0$$

$$\text{Si } v_E < V_0 \text{ alors } v_s = -V_{SAT}$$



XIII LE COMPAREUR INVERSEUR À UN SEUIL :

XIII.1 Montage et oscillogrammes :

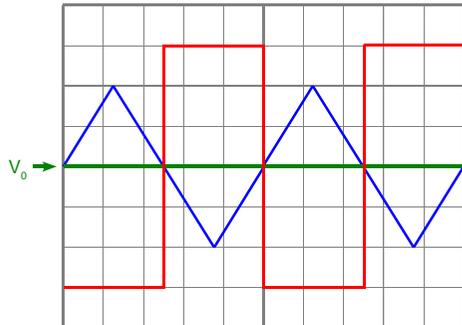


Hypothèses :

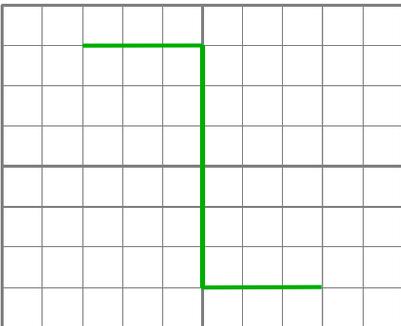
Les courants d'entrée $i^+ = i^- = 0$

V_0 est une tension continue.

Compareur à 0 ($V_0 = 0$ V) :

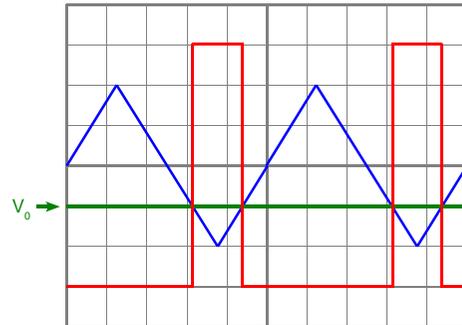


$V_E(t)$; $v_s(t)$; V_0 Time : 0,2 ms/div
Voie 1 : 2 V/div Voie 2 : 5 V/div

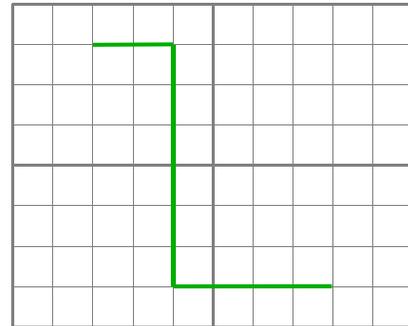


$v_s(V_E)$; Time : 0,2 ms/div
Voie 1 : 2 V/div Voie 2 : 5 V/div

Compareur à V_0 :

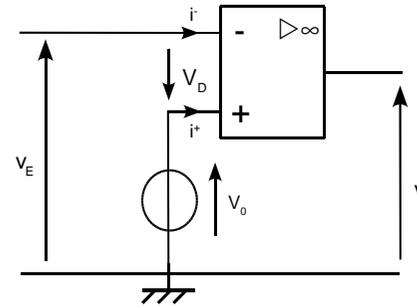


$V_E(t)$; $v_s(t)$; V_0 Time : 0,2 ms/div
Voie 1 : 2 V/div Voie 2 : 5 V/div



$v_s(V_E)$; Time : 0,2 ms/div
Voie 1 : 2 V/div Voie 2 : 5 V/div

XIII.2 Démonstration :



Hypothèses :

Les courants d'entrée $i^+ = i^- = 0$

V_0 est une tension continue.

Hypothèses simplificatrices :

pas de *contre-réaction négative* → régime de saturation

$i^+ = i^- = 0$ et v_s ne dépend que du signe de V_D .

$$V_D = V^+ - V^- \text{ avec } V^+ = v_0 \text{ et } V^- = V_E \text{ soit } V_D = v_0 - V_E$$

Pour connaître la tension de sortie, on étudie le signe de v_D :

Premier cas :

Si $V_D > 0$ alors $v_s = +V_{SAT}$

$$V_D > 0 \Leftrightarrow v_0 - V_E > 0 \Leftrightarrow v_E < V_0$$

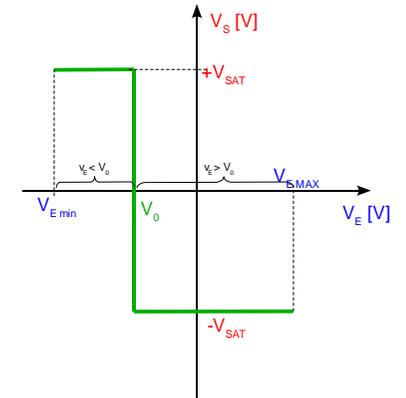
$$\text{Si } v_E < V_0 \text{ alors } v_s = +V_{SAT}$$

Deuxième cas :

Si $V_D < 0$ alors $v_s = -V_{SAT}$

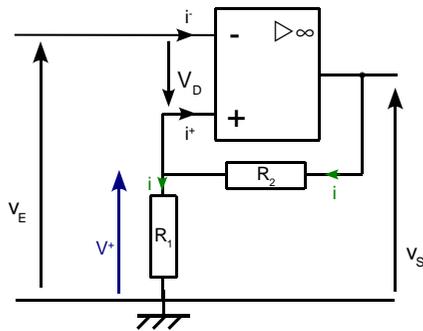
$$V_D < 0 \Leftrightarrow v_0 - V_E < 0 \Leftrightarrow v_E > V_0$$

$$\text{Si } v_E > V_0 \text{ alors } v_s = -V_{SAT}$$



XIV COMPARATEUR À DEUX SEUILS SYMÉTRIQUES :

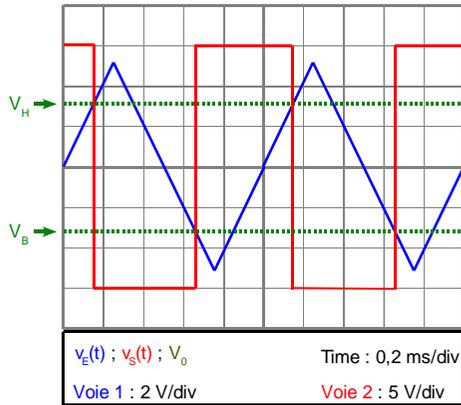
XIV.1 Montage et oscillogrammes :



Hypothèses :

Les courants d'entrée $i^+ = i^- = 0$

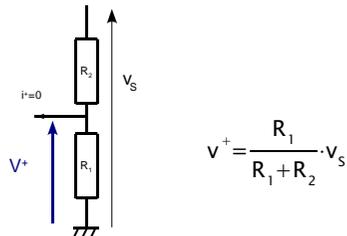
Les résistances R_1 et R_2 sont traversées par la même intensité i ; elles sont donc branchées en série et alimentées par la tension de sortie v_s .



Expression de la tension d'entrée V^+ :

La tension V^+ est la tension aux bornes de R_1 .

Comme les deux résistances R_1 et R_2 sont branchées en série et la tension qui alimente cette branche est v_s ; d'où, en appliquant le diviseur de tension :



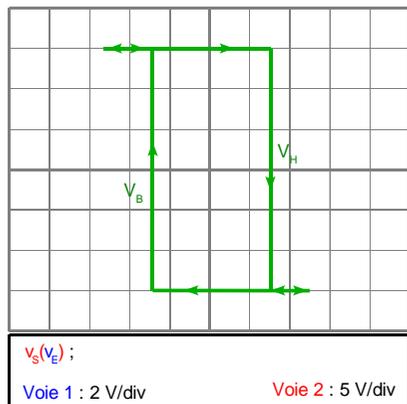
La tension de sortie v_s ne pouvant prendre que 2 valeurs ($\pm V_{SAT}$), la tension V^+ ne prend aussi que deux valeurs.

Lorsque $v_s = +V_{SAT}$,

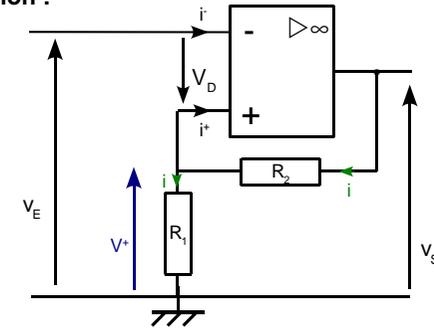
$$v^+ = V_H = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot (+V_{SAT})$$

Lorsque $v_s = -V_{SAT}$,

$$v^+ = V_B = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot (-V_{SAT})$$



XIV.2 Démonstration :



Hypothèses simplificatrices :

pas de contre-réaction négative \rightarrow régime de saturation

$i^+ = i^- = 0$ et v_s ne dépend que du signe de V_D .

$$V_D = V^+ - V^- \text{ avec } v^+ = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot v_s \text{ et } V^- = V_E \text{ soit } V_D = v^+ - V_E$$

Pour connaître la tension de sortie, on étudie le signe de v_D :

Premier cas :

Si $V_D > 0$ alors $v_s = +V_{SAT}$ et $V^+ = V_H$

$$V_D > 0 \Leftrightarrow V_H - V_E > 0 \Leftrightarrow v_E < V_H$$

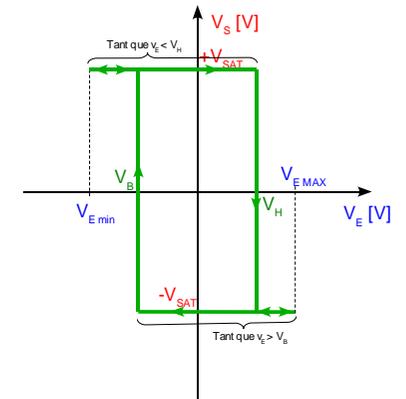
Tant que $v_E < V_H$ alors $v_s = +V_{SAT}$

Deuxième cas :

Si $V_D < 0$ alors $v_s = -V_{SAT}$ et $V^+ = V_B$

$$V_D < 0 \Leftrightarrow V_B - V_E < 0 \Leftrightarrow v_E > V_B$$

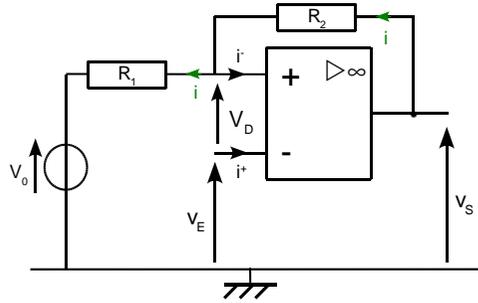
Tant que $v_E > V_B$ alors $v_s = -V_{SAT}$



Remarque : On suppose qu'à $t = 0$, $v_s = +V_{SAT}$

XV COMPARATEUR À DEUX SEUILS ASYMÉTRIQUES :

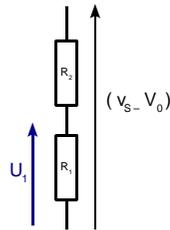
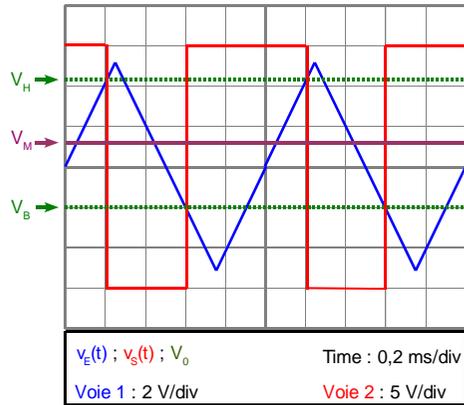
XV.1 Montage et oscillogrammes :



Hypothèses :

Les courants d'entrée $i^+ = i^- = 0$

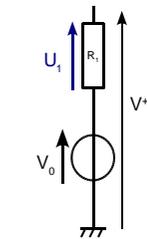
Les résistances R_1 et R_2 sont traversées par la même intensité i ; elles sont donc branchées en série et alimentées par la tension de $(v_s - V_0)$.



Expression de la tension aux bornes de R_1 :

La tension aux bornes de R_1 est :

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} (v_s - v_0)$$



Expression de la tension V^+ :

$V^+ = V_0 + U_1$ soit

$$V^+ = V_0 + \frac{R_1}{R_1 + R_2} (v_s - V_0)$$

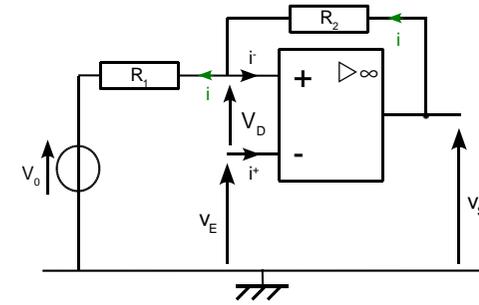
Soit $V^+ = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_0 + \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot v_s$

On pose $V_M = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_0$ d'où :

Si $v_s = +V_{SAT} \Rightarrow V^+ = V_H = V_M + \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot (+V_{SAT})$

Si $v_s = -V_{SAT} \Rightarrow V^+ = V_B = V_M + \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot (-V_{SAT})$

XV.2 Démonstration :



Hypothèses simplificatrices :

pas de contre-réaction négative \rightarrow régime de saturation

$i^+ = i^- = 0$ et v_s ne dépend que du signe de V_D .

$$V_D = V^+ - V^- \text{ avec } V^+ = V_M + \frac{R_1}{R_1 + R_2} v_s \text{ et } V^- = V_E \text{ soit } V_D = v^+ - V_E$$

Pour connaître la tension de sortie, on étudie le signe de v_D :

Premier cas :

Si $V_D > 0$ alors $v_s = +V_{SAT}$ et $V^+ = V_H$

$$V_D > 0 \Leftrightarrow V_H - V_E > 0 \Leftrightarrow v_E < V_H$$

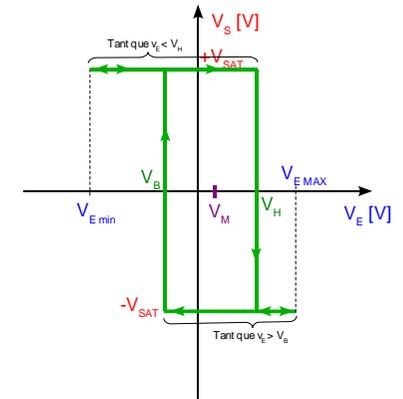
Tant que $v_E < V_H$ alors $v_s = +V_{SAT}$

Deuxième cas :

Si $V_D < 0$ alors $v_s = -V_{SAT}$ et $V^+ = V_B$

$$V_D < 0 \Leftrightarrow V_B - V_E < 0 \Leftrightarrow v_E > V_B$$

Tant que $v_E > V_B$ alors $v_s = -V_{SAT}$



Remarque : On suppose qu'à $t = 0$, $v_s = +V_{SAT}$