

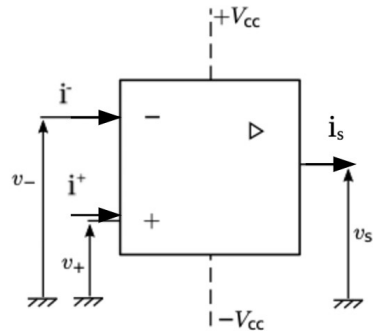
L'amplificateur linéaire intégré est un composant électronique caractérisé par deux entrées et une sortie:

- L'entrée E^+ : patte 3 se nomme
- L'entrée E^- : patte 2 se nomme
- La sortie S (output): patte 6

On note

- $\varepsilon = V^+ - V^-$ la différence de potentiel entre les deux bornes d'entrée.
- i^+ et i^- les intensités des courants de polarisation.
- i_s l'intensité du courant en sortie

On notera indifféremment : u_s ou V_s , car ...



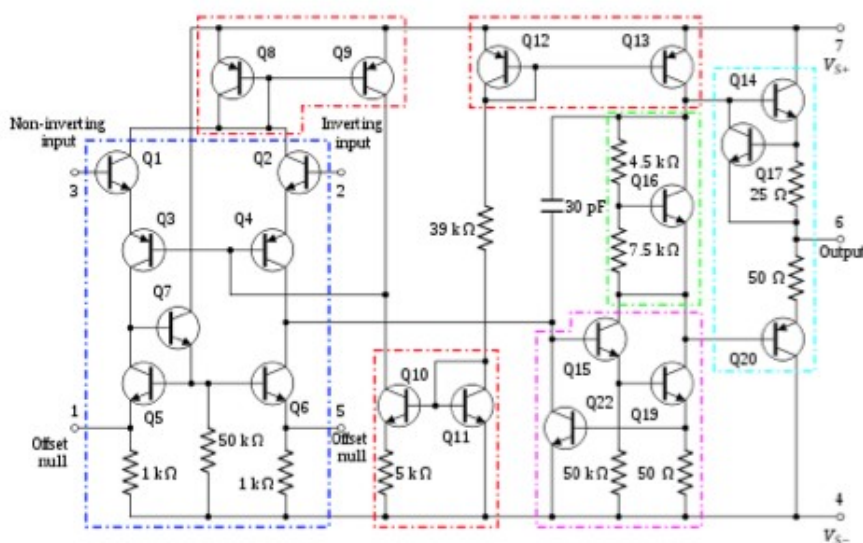
$+V_{CC}$ et $-V_{CC}$ **ne seront pas indiquées explicitement sur le schéma du montage pour ne pas le surcharger.**

Les pattes 1 et 5 permettent de compenser les petits défauts en tension: tension d'offset.

La tension d'offset est une tension de décalage de la sortie due à la constitution interne de l'ALI. Le réglage de la tension d'offset permet de régler $V_s = 0$ si $e = 0$ (ajustement du zéro en sortie).

Ces pattes ne seront pas utilisées dans les montages cette année.

L'intérêt d'un tel composant est de pouvoir réaliser une connexion entre la sortie et une des deux entrées. On parle alors de rétroaction.



À l'intérieur d'un ALI

2. MODELE de l'ALI du 1er ORDRE

La tension de sortie V_s est proportionnelle à ε uniquement dans le domaine linéaire.

La tension de sortie ne peut pas dépasser la valeur des tensions d'alimentation, négative ou positive, en général elle est même inférieure à la tension d'alimentation .

On distingue trois domaines dans la représentation $u_s(\varepsilon)$:

	<i>domaine linéaire</i>
	<i>domaine de saturation positive</i>
	<i>domaine de saturation négative</i>

L'un des intérêt des ALI est de pouvoir réaliser des **rétroactions** de la sortie du composant sur l'une des deux entrées voir les deux.

Dans certain cas, cette rétroaction aura pour effet d'atténuer les variations de la sortie, elle sera alors stabilisatrice → régime linéaire.

Dans le cas contraire elle sera déstabilisatrice → régime saturé.

Domaine de fonctionnement linéaire

Comportement temporel de l'ALI:

- La relation entre l'entrée différentielle et la sortie dans le domaine de fonctionnement linéaire est

$$u_s(t) + \tau \frac{du_s(t)}{dt} = \mu_0 \varepsilon(t) \quad \tau = 10 \text{ ms} \quad \mu_0 \approx 10^4 \text{ à } 10^6.$$

On reconnaît une équation différentielle du premier ordre à coefficients constants.

Comportement fréquentiel de l'ALI:

- en régime sinusoïdal : $u_s(t) = U_M \cos(\omega t)$, on introduit la notation complexe : $u_s(t) = \dots\dots\dots$

$$\frac{du_s(j\omega)}{dt} = \dots\dots\dots$$

La fonction de transfert de l'ALI est $\frac{u_s(j\omega)}{\varepsilon(j\omega)} =$ filtre

Sa fréquence de coupure est :

Si $\omega \ll \omega_0$ alors:

L'ALI possède une fréquence de coupure très basse de l'ordre de 10 Hz, ce qui fait que, seul, il n'est utilisable qu'en très basse fréquence ou en régime continu. D'où l'utilité d'ajouter des condensateurs, résistances etc. pour qu'il fonctionne dans une plus large gamme de fréquences.

Remarque

- La tension de sortie est limitée, elle ne peut dépasser en valeur absolue la tension de saturation V_{sat} , légèrement inférieure à la tension d'alimentation: $-V_{sat} < u_s < V_{sat}$
- L'intensité du courant délivré en sortie est elle aussi limitée à quelques dizaines de mA. On la nomme output short-circuit current : mesuré en court-circuit.

Domaine de fonctionnement saturé

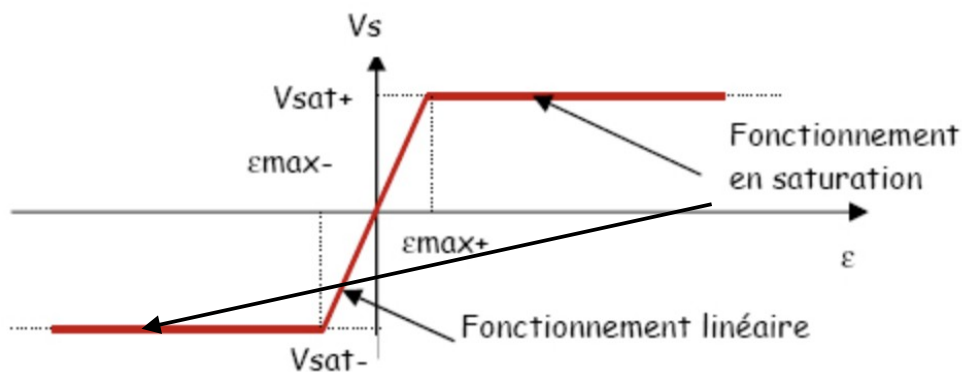
$$u_s = V_{sat} \text{ ou } -V_{sat}$$

Caractéristique statique de l'ALI réel (en régime continu ou à faible fréquence)

En régime saturé, $\pm V_{sat}$ avec $V_{sat} \approx 15 \text{ V}$ (inférieure à la tension alimentation).

En régime linéaire, $v_s = \mu_0 \epsilon$.

La pente du domaine linéaire est de l'ordre de $\mu_0 = 10^5$ à 10^6 .



On en déduit la limite du domaine linéaire: $\epsilon_{max} = 15/10^5 = 0,15 \text{ mV}$.

ϵ_{max} est inférieure au mV ($\approx 10^{-4} \text{ V}$), elle peut être négligée devant les autres tensions.

Caractéristique statique de l'ALI idéal (en régime continu ou à faible fréquence)

On appelle ALI idéal (de gain infini), un modèle simplifié d'ALI considérant que :

$$\mu_0 \rightarrow +\infty, \quad R_e \rightarrow +\infty \quad \text{et} \quad R_s \rightarrow 0.$$

Conséquences:

Comme $\mu_0 \rightarrow +\infty$, alors $\epsilon = 0$.

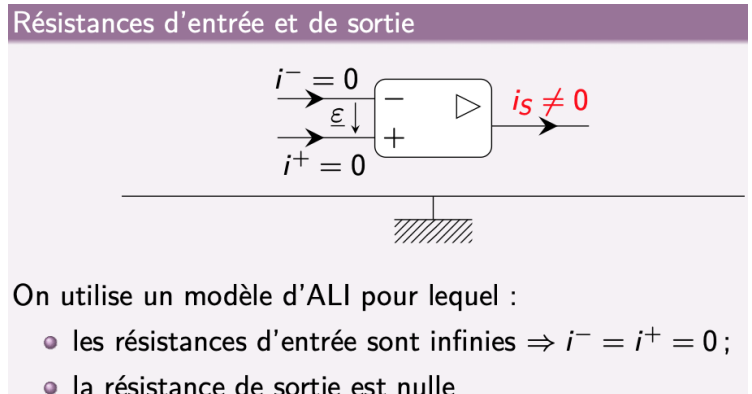
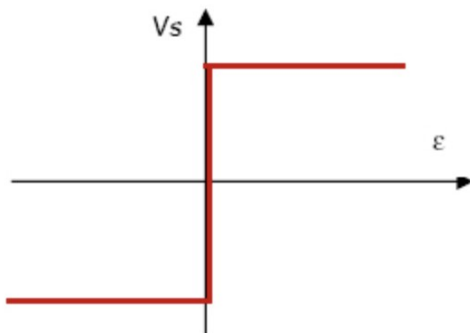
Comme $R_e \rightarrow +\infty$, alors les **courant de polarisation, i^+ et i^- sont nuls.**

De plus comme $R_s \rightarrow 0$, alors il n'y a pas de perte de tension (pas de chute de potentiel interne), la sortie est contrôlée indépendamment des variations dans la charge que l'ALI alimente, le transfert de puissance à la charge est optimal.

Modèle idéal de l'ALI

- $i^+ = i^- = 0$.
- $\mu_0 = \infty$.
- en fonctionnement linéaire: $\varepsilon = 0$ et $-V_{\text{sat}} < V_s < +V_{\text{sat}}$.
- en fonctionnement non linéaire (ou saturé): $\varepsilon \neq 0$ et $V_s = +V_{\text{sat}}$ ou $-V_{\text{sat}}$.

Ce modèle est très utilisé pour faire les calculs sur les montages classiques à ALI.



L'impédance d'entrée est très grande (environ 10 M Ω) devant les autres résistances du circuit.

L'impédance de sortie est très petite (environ 10 à 100 Ω). Ne pas confondre résistance de sortie avec résistance de charge R_c , appelée aussi résistance d'utilisation !

Défauts et limitations de ce modèle

- $\varepsilon \neq 0$
- limitation en courant de sortie: il est limité (environ 20 mA), un ALI ne produit pas de puissance.
- Existence d'une tension de décalage: si le signal d'entrée est centré sur zéro, il arrive que celui de sortie ne le soit pas à cause d'une tension de décalage V_d que l'on peut corriger:
 $u_s = \mu_0 \varepsilon + V_d$.
- Les courants d'entrées: i^+ et i^- peuvent être non nuls mais sont très faibles (< 100 nA).
- Limitation en vitesse de balayage ou slew rate : $SR = \max (dv_s/dt)$ c'est la vitesse de variation maximale que peut reproduire ALI (pente maximale que l'amplificateur peut reproduire à sa sortie (quelques V/ μ s ou $10^6/s$) . L'ALI ne peut pas suivre des variations de tensions trop rapides en sortie. voir TP.

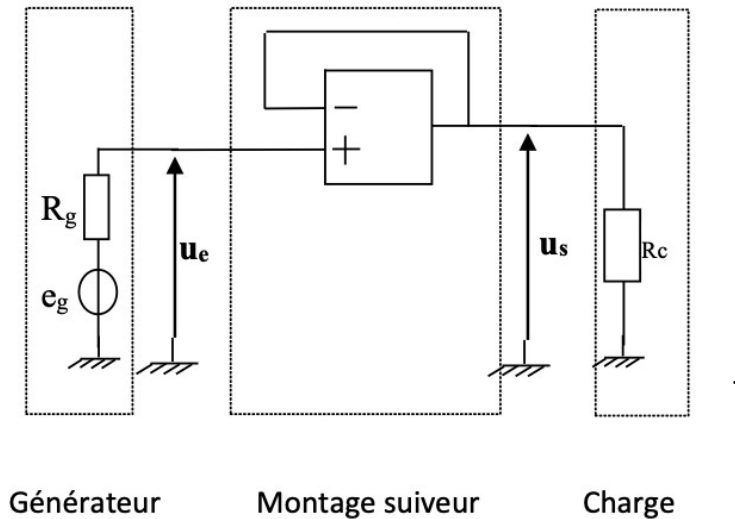
3. MONTAGE SUIVEUR

ALI idéal, de gain infini, fonctionnant en régime linéaire.

Cela est très utile lorsque l'on veut brancher un générateur (impédance de 50Ω , généralement) à un montage donc l'impédance est du même ordre de grandeur que celle du générateur.

Dans ce cas l'intensité demandée au générateur est trop forte et la tension s'effondre (il ne se comporte plus comme un générateur de tension idéal).

Le montage suiveur rend le GBF « insensible » à l'impédance du montage qui le suit.



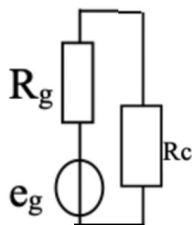
L'Ali fonctionne en régime linéaire (rétroaction S/E⁻) et le gain est infini donc $\epsilon = 0$ (ALI idéal).

Expression de u_s en fonction de u_e :

Ce montage est appelé **suiveur** car la sortie $u_s(t)$

Intérêt du suiveur :

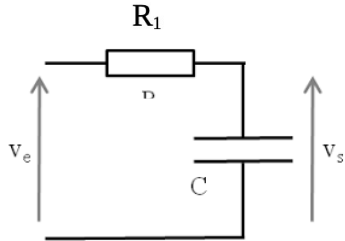
Sans ALI



Application: filtre passif / filtre actif

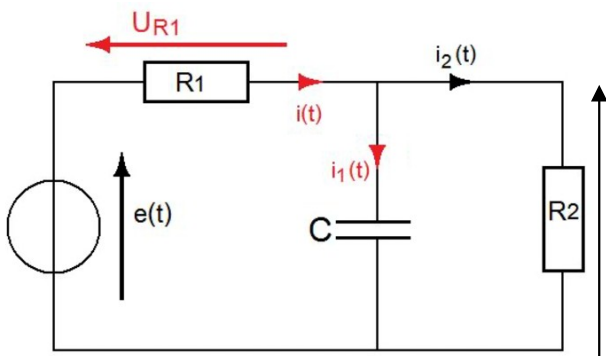
Un filtre passif est composé uniquement de dipôles passifs linéaires: R, L et C.

- 1. Déterminer la fonction de transfert de ce filtre passif.



Note importante: l'expression de cette fonction de transfert n'est valable qu'en sortie ouverte.

- 2. Déterminer la nouvelle fonction de transfert de ce filtre passif.

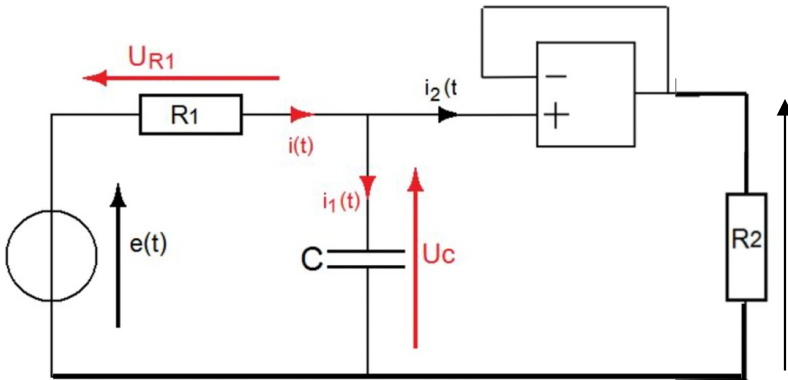


Problématique: l'expression de cette fonction de transfert dépend de R_2 (résistance de charge).

Si R_2 est très grande devant R_1 (courant qui circule dans R_2 quasiment nul) alors on retrouve la fonction de transfert du circuit en sortie ouverte; mais il s'agit d'un cas approché.

Pour résoudre ce problème, on intercale un montage suiveur entre la résistance d'utilisation R_2 et le filtre.

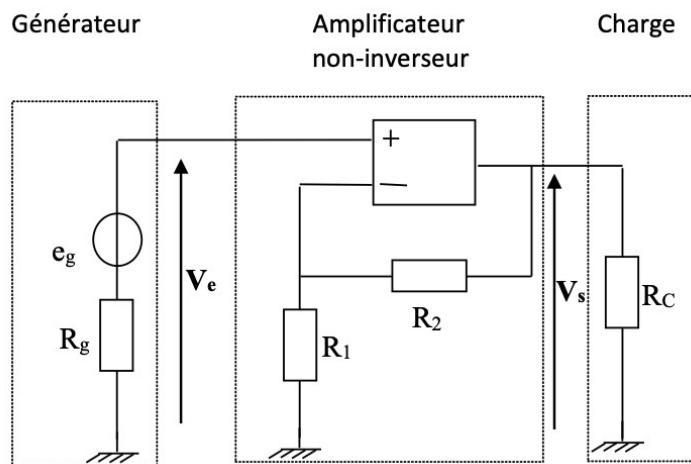
► 3. Étude du filtre actif.



Le problème est résolu mais cela a un coût, en effet, le suiveur est alimenté.

D'autre part, l'ALI ne fait pas suivre la tension pour toutes les fréquences car si l'ALI est non idéal ($\epsilon \neq 0$), il y a une chute du gain en hautes fréquences (voir comportement passe-bas de l'ALI avec une fréquence de coupure très basse et un très grand gain).

4. MONTAGE AMPLIFICATEUR NON INVERSEUR



- ➔ On peut identifier une chaîne de retour (résistances R_1 et R_2).
- ➔ Étude de la stabilité en cas de rétroaction de la sortie sur E:

► 1. Déterminer l'équation différentielle vérifiée par $u_s = V_s$ en régime linéaire variable.

Indication : partir de $u_s(t) + \tau \frac{du_s(t)}{dt} = \mu_0 \varepsilon(t)$

Conclusion:

→ **Étude de la stabilité en cas de rétroaction de la sortie sur E^+ :**

► 2. Déterminer l'équation différentielle vérifiée par V_s en régime linéaire variable.

Conclusion:

► 3. Établir la fonction de transfert $\frac{V_s(j\omega)}{V_e(j\omega)}$ du système bouclé en régime sinusoïdal.

► 4. Démontrer la propriété: le produit gain \times bande passante est égal à $\frac{\mu_0}{\tau}$.

► 5. Dans le cas d'un *ALI idéal de gain infini en régime linéaire*, établir l'expression de V_s en fonction de V_e , R_1 et R_2 .

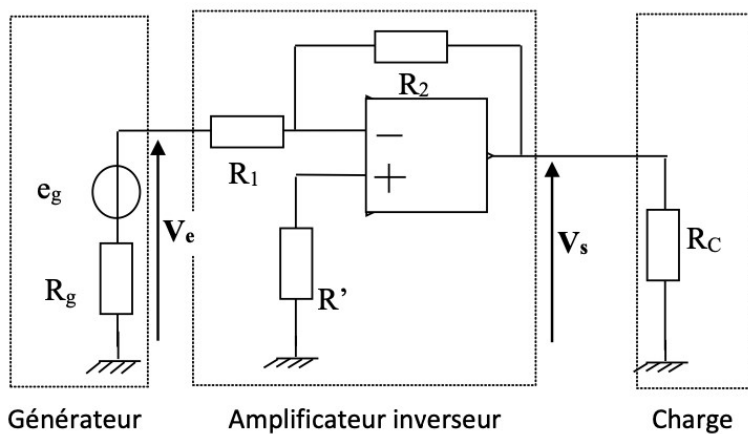
Conclusion:

5. MONTAGE AMPLIFICATEUR INVERSEUR

ALI idéal, de gain infini, fonctionnant en régime linéaire.

$R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 4,7 \text{ k}\Omega$ $R' = 1 \text{ k}\Omega$ R_C infinie, $f = 500\text{Hz}$.

R' permet de minimiser l'effet des décalages en courants i^+ et i^- (admis).



L'ALI est idéal donc

L'ALI est idéal, de gain infini et fonctionne en régime linéaire donc

Loi des nœuds à l'entrée inverseuse:

Ce montage est un amplificateur de tension :

inverseur: V_s et V_e sont de signes

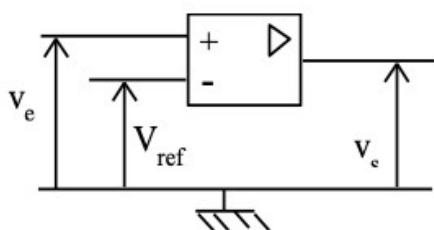
amplification:

6. COMPAREURS DE TENSION

ALI idéal dALI idéal, de gain infini, fonctionnant en régime SATURÉ.

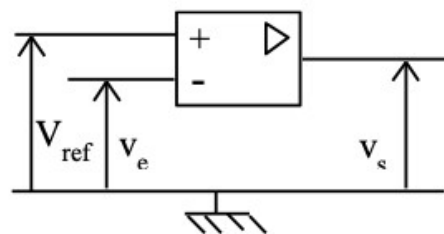
A. Comparateur simple.

Un comparateur simple réalise un test de comparaison entre la tension d'entrée v_e appliquée à l'une des entrées de l'ALI et une tension de référence constante V_{ref} appliquée à l'autre entrée de l'Ali.



Comparateur non inverseur

Montage 1



Comparateur inverseur

Montage 2

► 1. Justifier que la sortie est saturée en permanence, excepté lors de très brèves durées de commutation entre $+V_{sat}$ et $-V_{sat}$:

Étude

1 comparateur non inverseur: V_{ref} appliquée à E^-

HYP: $V_s = V_{sat}$ $\Leftrightarrow \varepsilon > 0 \Leftrightarrow \varepsilon = V^+ - V^- = V_e - V_{ref} > 0 \Leftrightarrow V_e > V_{ref}$

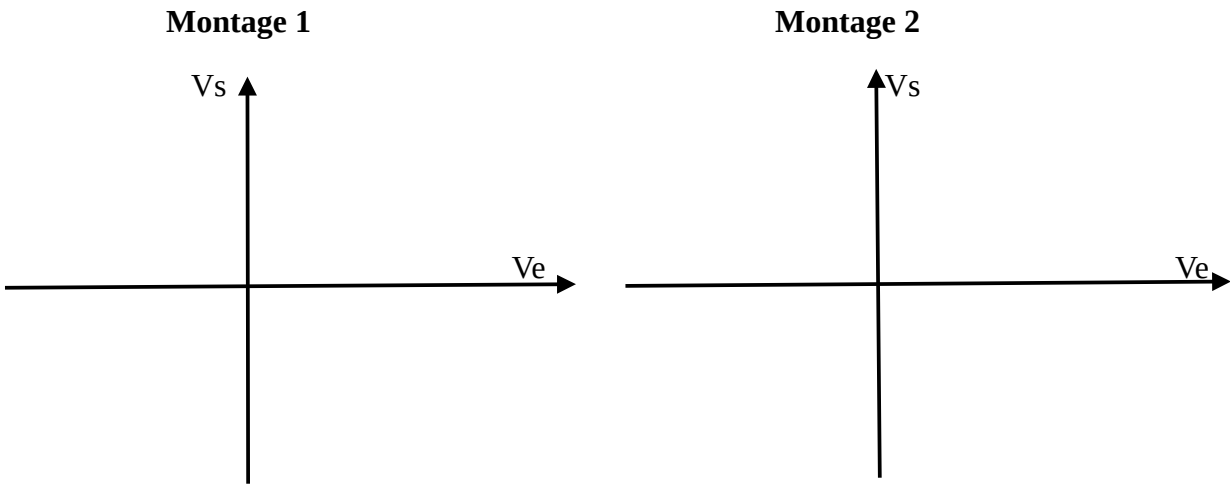
HYP: $V_s = -V_{sat}$ $\Leftrightarrow \varepsilon < 0 \Leftrightarrow \varepsilon = V^+ - V^- = V_e - V_{ref} < 0 \Leftrightarrow V_e < V_{ref}$

2 comparateur inverseur: V_{ref} appliquée à E^+

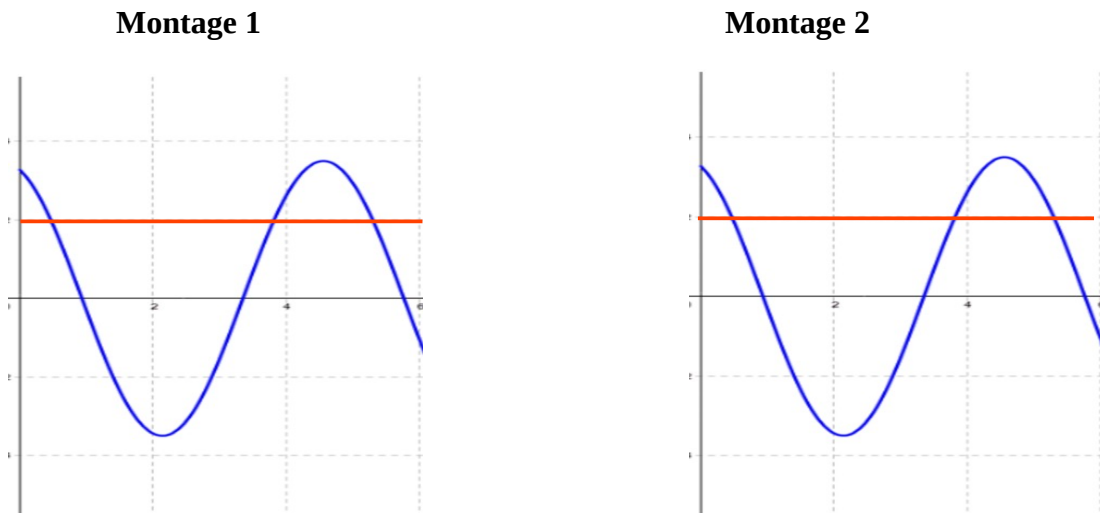
HYP: $V_s = V_{sat}$ $\Leftrightarrow \varepsilon > 0 \Leftrightarrow \varepsilon = V^+ - V^- = V_{ref} - V_e > 0 \Leftrightarrow V_{ref} > V_e$

HYP: $V_s = -V_{sat}$ $\Leftrightarrow \varepsilon < 0 \Leftrightarrow \varepsilon = V^+ - V^- = V_{ref} - V_e < 0 \Leftrightarrow V_{ref} < V_e$

► 2. Tracer la caractéristique v_s fonction de v_e dans les deux cas



► 3. On suppose $v_e = V_{em} \cos(\omega t)$, avec $V_{em} > V_{ref} > 0$, tracer v_e et v_s en fonction du temps.



Le signal de sortie est dit "logique" car il ne peut prendre que deux valeurs.

Applications

Détection d'un niveau de tension de référence.

Transformation d'un signal analogique variable en un signal numérique à deux niveaux.

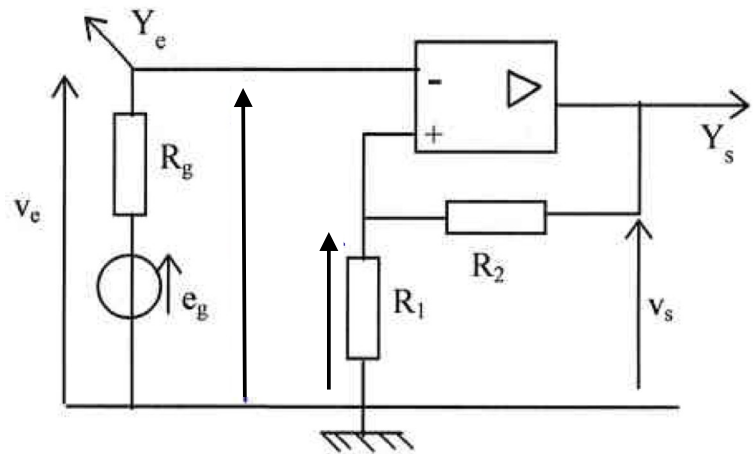
Les caractéristiques du comparateur simple sont médiocres, il est utilisé seulement en basse fréquence.

B. Comparateur à hystérésis (comparateur à mémoire).

(ou à seuil de basculement, ou "trigger de Schmitt").

Montage :

Comparateur inverseur à hystérésis.



Le montage ressemble à celui de l'amplificateur non inverseur, mais il ne doit pas être confondu avec ce dernier : le rôle des entrées E^+ et E^- a été inversé.

Le système est instable et l'ALI fonctionne en saturation.

Etude théorique.

- ALI idéal d'où:

- Expression de ϵ :

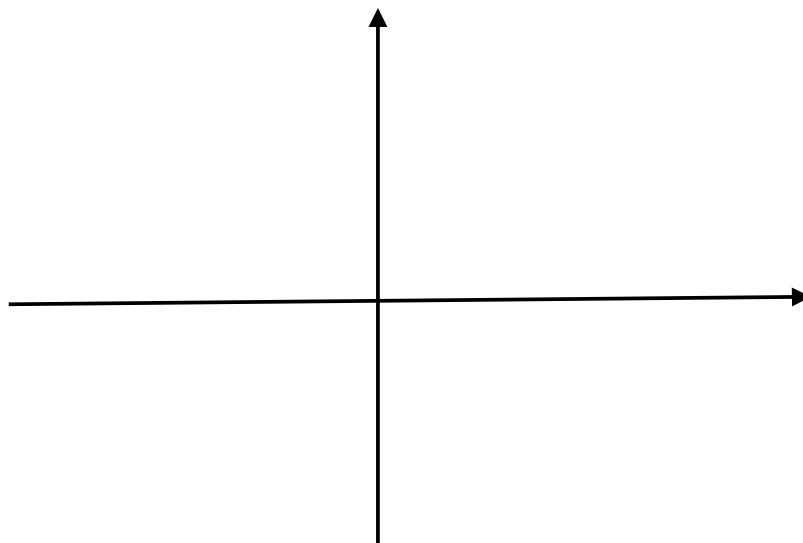
Ici ϵ dépend de V_s car V^+ est fonction de V_s .

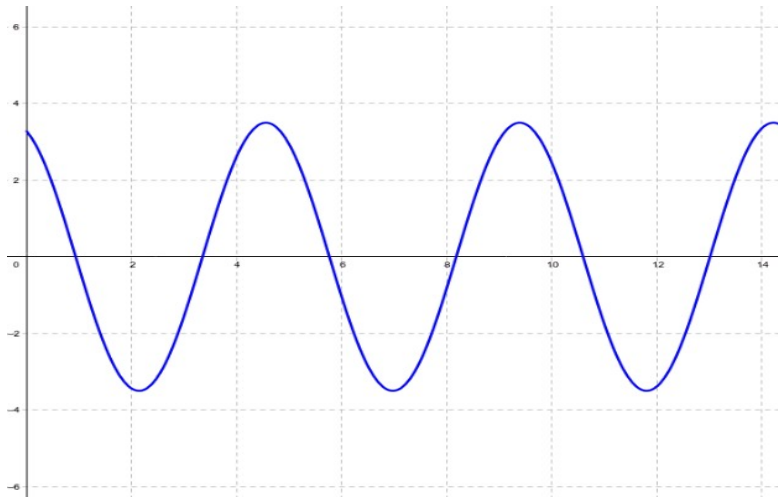
1^{er} cas: HYP: $V_s = V_{sat}$ tant que

2nd cas: HYP: $V_s = -V_{sat}$ tant que

Remarque : les deux conditions sur V_e ne s'excluent pas , c'est ce qui crée l'effet mémoire.
En effet quand $-\beta V_{sat} < V_e < \beta V_{sat}$, il y a deux valeurs possibles de V_s . Pour choisir, il faut regarder ce qui s'est passé avant (V_e croissant ou décroissant).

- Caractéristique de v_s en fonction de v_e - Caractéristique de v_s en fonction du temps





Comparteur non inverseur à hystérésis.

► *Reprendre le même raisonnement sur le montage ci-dessous.*

