

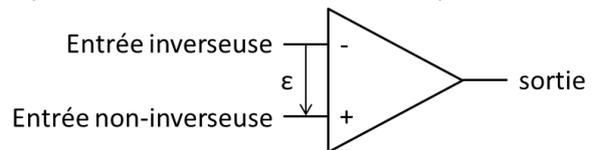
Rétroaction

1 Modèle de l'ALI (Amplificateur Linéaire Intégré)

1.1 Composant électronique

L'ALI doit être alimenté pour fonctionner, ce qui en fait un composant actif. L'alimentation est la première chose à brancher lors d'un montage (non représentée sur les schémas électriques).

Symbole de l'ALI :



1.2 Propriétés essentielles

Le **modèle de l'ALI** est donné par les propriétés suivantes :

- Courants de polarisation nuls $i_+ = i_- = 0A$

- Résistance de sortie nulle

- Fonction de transfert du premier ordre en régime linéaire $A_d(j\omega) = \frac{s(j\omega)}{\underline{\varepsilon}(j\omega)} = \frac{A_0}{1 + j\tau\omega}$

- Saturation de la tension de sortie à $V_{sat} \approx V_{CC}^+ = 15V$

- Saturation de l'intensité de sortie

1.3 Régimes de fonctionnement

On distingue 3 domaines :

- la **plage de linéarité** (1) : $|\varepsilon| < \frac{V_{sat}}{A_0}$, le signal de sortie est

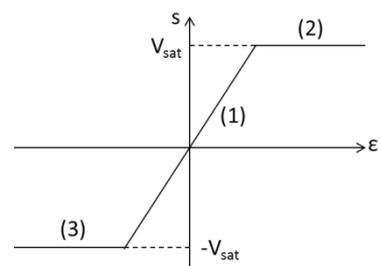
proportionnel à ε .

Fonction de transfert assimilé à son gain statique: $A_d(j\omega) \approx A_0$

- la **zone de saturation** (2) : $\varepsilon \geq \frac{V_{sat}}{A_0}$ alors $s = V_{sat} \approx V_{CC}^+$

- la **zone de saturation** (3) : $\varepsilon \leq -\frac{V_{sat}}{A_0}$ alors $s = -V_{sat} \approx V_{CC}^-$

Caractéristique de l'ALI :



1.4 Modèle idéal de l'ALI

Le **modèle de l'ALI idéal** rajoute au modèle précédent les propriétés suivantes :

- Fonction de transfert en régime linéaire assimilée à son gain statique infini $A_d = A_0 \rightarrow \infty$

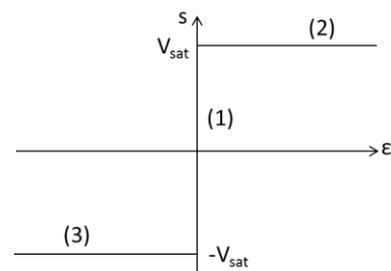
- Egalité des tensions d'entrée en régime linéaire $v_+ = v_-$

Caractéristique de l'ALI idéal :

- la **plage de linéarité** (1) : $|s| < V_{sat} \Rightarrow \varepsilon = 0$ ou $v_+ = v_-$

- la **zone de saturation positive** (2) : $\varepsilon > 0 \Rightarrow s = V_{sat}$

- la **zone de saturation négative** (3) : $\varepsilon < 0 \Rightarrow s = -V_{sat}$



2 Principe de rétroaction

2.1 Montage amplificateur non inverseur

2.1.1 Schéma-bloc

Amplification de la tension d'entrée :

$$\underline{\varepsilon} = \underline{e} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \underline{s}$$

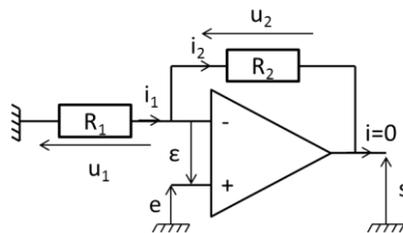
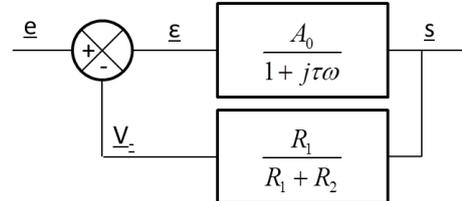


Schéma-bloc typique d'un système bouclé avec rétroaction :



2.1.2 Fonction de transfert

Simplifiée avec $A_0 \gg 1$:
$$H(j\omega) = \frac{1 + \frac{R_2}{R_1}}{1 + j \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \frac{\tau}{A_0} \omega}$$
 Filtre passe-bas du premier ordre

2.1.3 Stabilité du montage

Les coefficients du dénominateur de la fonction de transfert tous de même signe = système stable.
On dira qu'une rétroaction négative est stabilisatrice.

2.1.4 Diagramme de Bode et fonction amplificatrice

Ce montage assurera la fonction d'amplificateur dans toute la zone où $\omega < \omega_{BF}$.

Au-delà de cette pulsation, le gain chute et le système intègre le signal d'entrée.

Un système électronique ne réalise la fonction pour laquelle il a été conçu que dans une zone limitée de fréquence.

2.1.5 Produit gain-bande passante

On définit la **bande passante** de l'amplificateur comme la gamme de pulsation pour laquelle :

$$|H| > \frac{|H|_{\max}}{\sqrt{2}} \quad \text{ou} \quad G_{dB} = 20 \log |H| > G_{dB_{\max}} - 3dB, \quad \text{soit pour un passe-bas du premier ordre :}$$

$$BP = [0, \omega_{BF}].$$

Le produit gain-bande passante est constant : $H_0 \times BP = H_0 \times \omega_{BF} = \frac{A_0}{\tau} = cte$

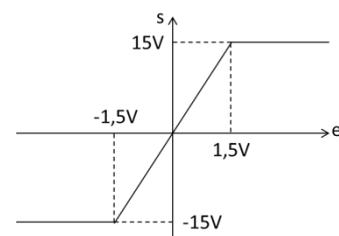
Plus l'amplification est forte, moins la gamme de fréquences utilisable est importante et vice versa.

Ceci est caractéristique de tout système du premier ordre bouclé.

2.1.6 Modèle idéal d'ALI et régime saturé

Dans le cas d'un ALI idéal en régime linéaire :
$$H(j\omega) = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

On a alors la caractéristique suivante pour $R_1 = 1k\Omega$ et $R_2 = 100k\Omega$:

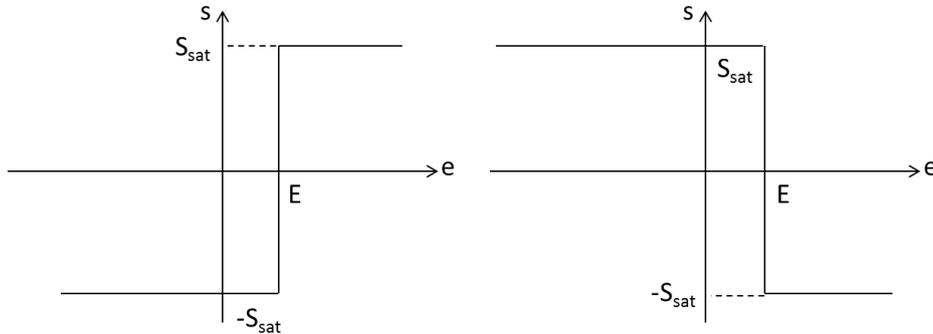


2.2 Montage comparateur à hystérésis

2.2.1 Fonction comparateur simple

Comparaison de la valeur instantanée d'un signal $e(t)$ à un niveau de référence.

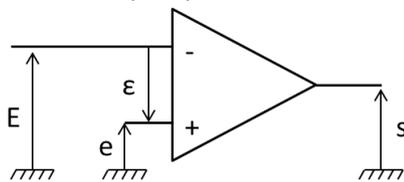
La caractéristique entrée-sortie d'un tel opérateur est donnée dans la figure suivante :



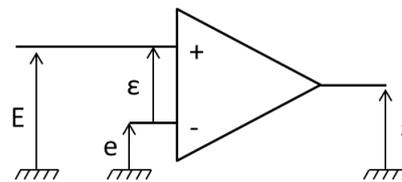
Comparateur non inverseur

Comparateur inverseur

Ces comparateurs simples peuvent être réalisés à l'aide des circuits suivants :



Comparateur non inverseur



Comparateur inverseur

En supposant les ALI idéaux, on a :

- pour le comparateur non inverseur :

$$\text{Donc si } \varepsilon = e - E \begin{cases} > 0 \Rightarrow s = V_{sat} \\ < 0 \Rightarrow s = -V_{sat} \end{cases}$$

- pour le comparateur inverseur :

$$\text{Donc si } \varepsilon = E - e \begin{cases} > 0 \Rightarrow s = -V_{sat} \\ < 0 \Rightarrow s = V_{sat} \end{cases}$$

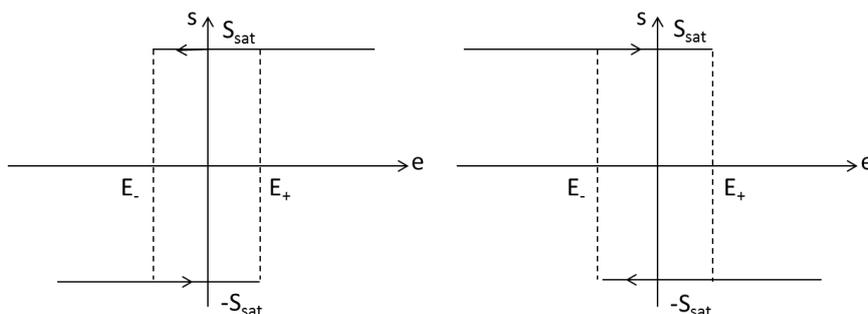
2.2.2 Génération d'harmoniques

On transforme un signal sinusoïdal en signal carré de spectre beaucoup plus riche en harmoniques que celui d'un signal sinusoïdal.

Le système non linéaire qu'est donc le comparateur enrichit le spectre du signal de sortie de fréquences absentes du signal d'entrée.

2.2.3 Fonction comparateur à hystérésis

La caractéristique entrée-sortie d'un tel opérateur est donnée dans la figure suivante.



Comparateur non inverseur

Comparateur inverseur

Deux seuils sont utilisés : E_- et E_+

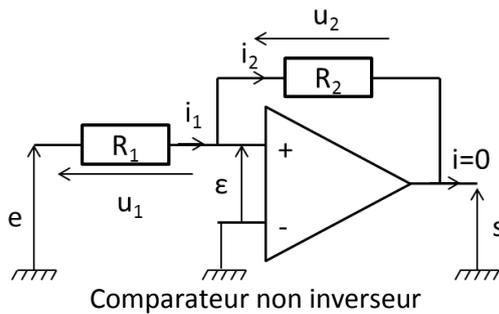
- si $e \leq E_-$, la sortie du comparateur non inverseur est $-S_{sat}$

- si $e \geq E_+$, la sortie du comparateur non inverseur est S_{sat}

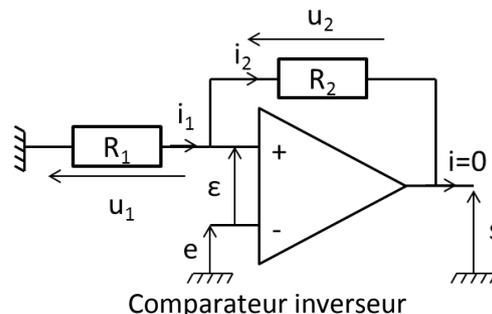
- si $E_- < e < E_+$, la sortie du comparateur non inverseur dépend de l'évolution antérieure du signal d'entrée, comme l'indique les flèches sur la caractéristique.

2.2.4 Réalisation

On raisonne sur le circuit suivant comparateur inverseur.



Comparateur non inverseur



Comparateur inverseur

Coefficients du dénominateur de la fonction de transfert pas tous de même signe = système instable.
On dira qu'une rétroaction positive est déstabilisatrice.

2.2.5 Modèle idéal d'ALI

Comparateur non inverseur en supposant l'ALI idéal en régime saturé :

$$\varepsilon = v_+ - v_- \begin{cases} > 0 \Rightarrow e > -\frac{R_1}{R_2} V_{sat} = E_- \\ < 0 \Rightarrow e < \frac{R_1}{R_2} V_{sat} = E_+ \end{cases}$$

Cycle d'hystérésis parcouru dans le sens trigonométrique (entrée e branchée sur la borne +).

Comparateur inverseur en supposant l'ALI idéal en régime saturé :

$$\varepsilon = v_+ - v_- \begin{cases} > 0 \Rightarrow E_+ = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{sat} > e \\ < 0 \Rightarrow E_- = -\frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{sat} < e \end{cases}$$

Cycle d'hystérésis parcouru dans le sens inverse trigonométrique (entrée e branchée sur la borne -).

3 Vitesse de balayage

La vitesse de balayage σ ou slew rate SR provient d'un condensateur au sein du circuit intégré. Il vient limiter la rapidité du circuit.

Elle représente la variation maximale de la tension de sortie de l'ALI en $1 \mu s$: $\sigma = \left| \frac{ds}{dt} \right|_{max}$

Limitation particulièrement visible lors des phases de commutations des montages comparateurs (apparition de portions rectilignes de pente $\pm \sigma$ sur l'oscillogramme de la tension de sortie).