

I - AMPLIFICATEUR LINÉAIRE INTÉGRÉ (A.L.I.)

Amplificateur linéaire intégré

Un ALI est un amplificateur « différentiel » : la sortie est une amplification de la différence de potentiel entre deux entrées, l'entrée non-inverseuse \oplus et l'entrée inverseuse \ominus .

Il est alimenté en tension continue entre deux broches, -15 V et $+15\text{ V}$.

réglage offset 1

entrée \ominus entrée \oplus alim. (-15 V)

1

2

3

4

5

6

7

8

non-connectée

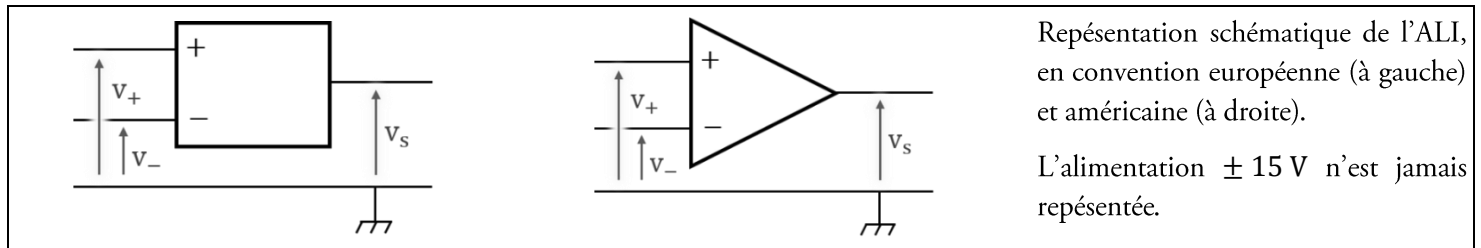
alim. ($+15\text{ V}$)

sortie

réglage offset 2

- **Amplificateur** : il amplifie une grandeur (une différence de potentiel entre 2 entrées) ;
- **Linéaire** : la grandeur de sortie varie proportionnellement à la grandeur d'entrée (dans certaines limites à préciser) ;
- **Intégré** : tout le montage nécessaire pour réaliser ces opérations est regroupé dans une puce, une boîte noire dont on doit seulement connaître les caractéristiques extérieures.

I.1.A - Montage équivalent et représentation de l'ALI



Attention : même si on ne représente pas l'ALI connecté à la masse, celle-ci est toujours présente, via l'alimentation continue du composant. La tension de sortie V_s est la différence de potentiel entre la masse de l'alimentation et la sortie de l'ALI.

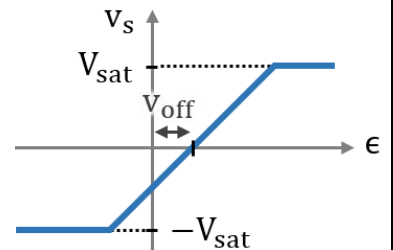
I.2 - Caractéristiques de fonctionnement

I.2.A - Caractéristique statique

Régime de fonctionnement de l'ALI : linéaire et saturé

- Si $|\epsilon|$ est suffisamment petit, régime linéaire : $V_s = \mu_0 \epsilon$ avec $\mu_0 \sim 10^5$ (et $-V_{\text{sat}} < V_s < V_{\text{sat}}$) ;
- Si $|\epsilon|$ est trop grand (V_s atteint $\pm V_{\text{sat}}$) on passe en régime saturé : l'ALI ne peut pas délivrer une tension plus grande/petite.

La valeur de V_{sat} est souvent un peu plus faible que la tension d'alimentation ($\sim 12\text{ V}$)



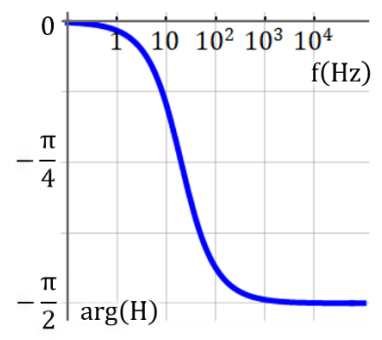
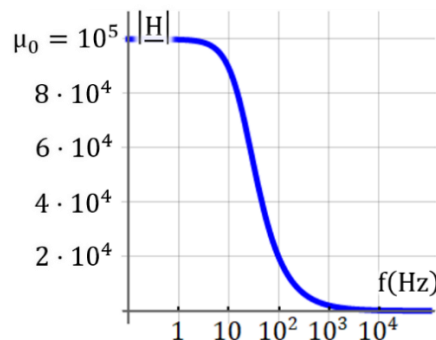
Remarque : on a représenté ci-dessus la caractéristique avec une **tension d'offset** non-nulle. Cette tension est réglable via deux pattes de l'ALI. Cette tension sera supposée nulle, sauf dans certaines questions de cours concernant les ALI.

I.2.B - Caractéristique harmonique (ALI en régime linéaire)

Fonction de transfert de l'ALI en régime linéaire

$$\underline{H} = \frac{V_s}{\epsilon} = \frac{\mu_0}{1 + jf/f_c} \quad (\mu_0 \sim 10^5, f_c \sim 10\text{ Hz})$$

Équivalent à un passe-bas d'ordre 1 avec une fréquence de coupure très faible.



I.2.C - Vitesse de balayage limite (ou « slew-rate »)

Vitesse de balayage limite (ou « slew rate ») de l'ALI

Le slew rate de l'ALI la valeur maximale de la dérivée de la tension que l'ALI peut donner en sortie.
Elle est usuellement de l'ordre de $10 \text{ V} \cdot \mu\text{s}^{-1}$, ou $10^7 \text{ V} \cdot \text{s}^{-1}$.

La particularité de cette limitation est qu'elle déforme le signal de sortie en un signal non-sinusoïdal. Si cette limitation est atteinte, le filtre n'est plus linéaire, et la réponse à un signal harmonique n'est plus harmonique.

I.2.D - Impédances d'entrée et de sortie

Impédance d'entrée et de sortie d'un ALI

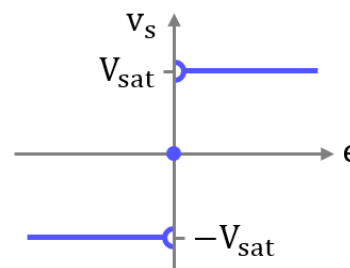
Impédance d'entrée : $R_e \sim 10^{12} \Omega$

Impédance de sortie : Quasi-nulle (mais il peut y avoir saturation en intensité ou en tension !)

I.3 - Modèle de l'A.L.I. idéal

Modèle de l'ALI idéal

- Une impédance d'entrée est infinie, et les courant de polarisation i_+ et i_- sont nuls ;
- Une impédance de sortie est nulle, et le courant de sortie ne dépend pas de la tension v_s ;
- Une vitesse de balayage (ou « slew-rate ») infinie ;
- Une caractéristique statique représentée ci-contre : dès que ϵ est non-nul, la sortie de l'ALI est saturée. La seule manière d'imposer $\epsilon = 0$ est d'utiliser des boucles de rétroaction qui seront abordées dans la suite du chapitre.



II - UTILISATION DE L'A.L.I. AVEC RÉTROACTION

Boucle de rétroaction

Une **boucle de rétroaction** est un dispositif par lequel on relie le signal de sortie d'un système à son signal d'entrée.
On dit que le système est **bouclé**.

III - RÉGIME DE FONCTIONNEMENT DE L'ALI

Rétroaction par entrée inverseuse ou non-inverseuse

En général, une rétroaction sur l'entrée inverseuse (−) à un effet stabilisant : l'ALI fonctionne *a priori* en régime linéaire ;

En général, une rétroaction sur l'entrée non-inverseuse (+) à un effet déstabilisant : l'ALI fonctionne *a priori* en régime saturé.

- en l'absence de rétroaction, le bruit électronique finit toujours par faire passer l'ALI en régime saturé ;
- en présence d'une rétroaction sur les deux entrées, il est impossible d'énoncer une règle générale : la stabilité du montage doit être étudié au cas par cas.

IV - MONTAGES DE L'A.L.I. EN RÉGIME LINÉAIRE

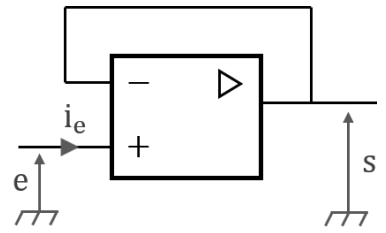
IV.1 - Montage suiveur

Bilan du montage suiveur

Relation entrée-sortie : $s = e$

Impédance d'entrée : $R_e = u_e / i_e \rightarrow \infty$

Intérêt : Placé entre deux systèmes, il permet de transmettre une tension sans que le 1^{er} système ne débite de courant. Fait comme si le second système avait une impédance d'entrée infinie.



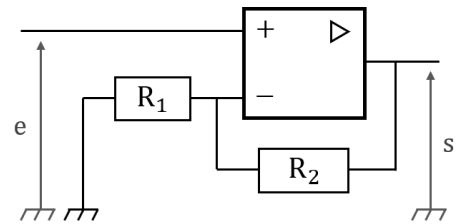
IV.2 - Montage amplificateur non-inverseur

Bilan du montage amplificateur non-inverseur

Relation entrée-sortie : $s = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \cdot e$

Impédance d'entrée : $R_e = u_e / i_e \rightarrow \infty$

Intérêt : Amplifie une tension d'entrée par un facteur constant (et réglable). La relation entrée-sortie est valable dans la limite de sortie inférieure à la tension de saturation.



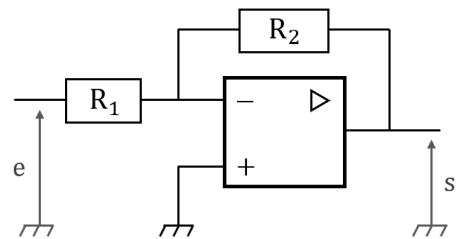
IV.3 - Montage amplificateur inverseur

Bilan du montage amplificateur inverseur

Relation entrée-sortie : $s = -\frac{R_2}{R_1} \cdot e$

Impédance d'entrée : $R_e = u_e / i_e = R_1$

Intérêt : Amplifie une tension d'entrée par un facteur constant négatif.



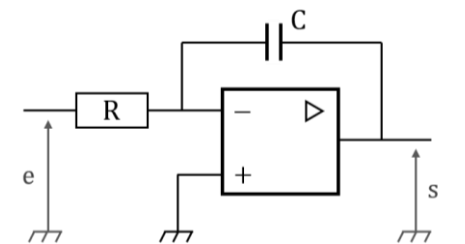
IV.4 - Montage intégrateur

Bilan du montage intégrateur

Relation entrée-sortie : $\underline{s} = -\frac{1}{jRC\omega} \cdot \underline{e}$ ou $RC \frac{ds}{dt} = e(t)$

Impédance d'entrée : $R_e = u_e / i_e = R$

Intérêt : Intégrer un signal, mais inutilisable en pratique. On utilise plutôt le pseudo-intégrateur décrit ci-après.

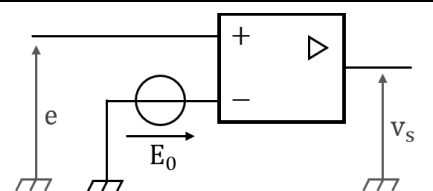


V - MONTAGES DE L'A.L.I. EN RÉGIME DE SATURATION

V.1 - Montage comparateur

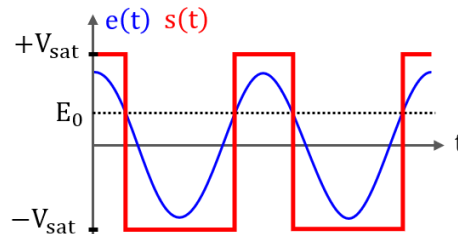
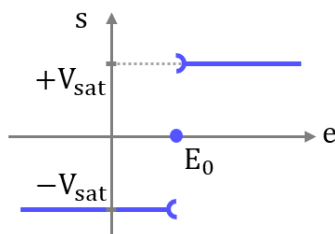
Bilan du montage comparateur

Relation entrée-sortie : $s(t) = \begin{cases} +V_{sat} & \text{si } e > E_0 \\ -V_{sat} & \text{si } e < E_0 \end{cases}$



À gauche, on représente la sortie en fonction de l'entrée du comparateur.

À droite, on représente l'effet du filtre sur un signal quelconque (ici, une sinusoïde).

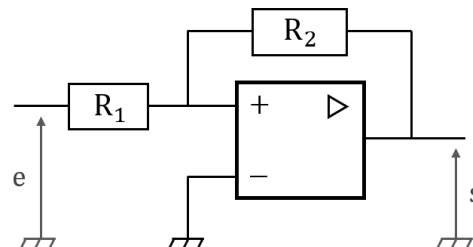


V.2 – Comparateur à hystérésis non-inverseur

Montage comparateur à hystérésis

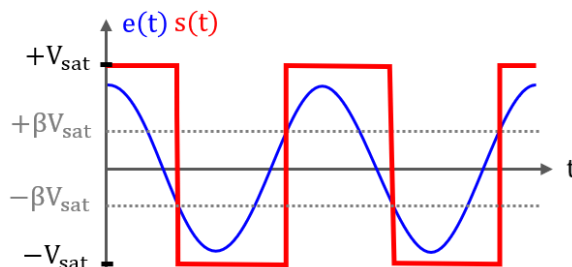
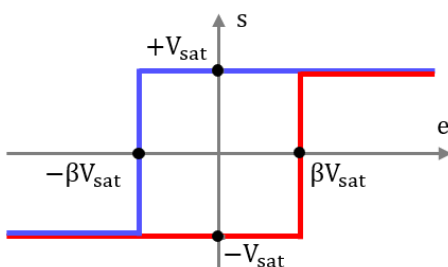
Relation entrée-sortie :

Nécessite une représentation graphique, car il y a présence d'hystérésis.



À gauche, on représente la sortie en fonction de l'entrée du comparateur.

À droite, on représente l'effet du filtre sur un signal quelconque.



VI – MÉTHODES DE CALCUL

VI.1 – Régime linéaire ou régime de saturation

Le traitement des exercices est très différent selon que l'ALI est en régime linéaire ou en régime saturé. On prendra garde à ne pas confondre les procédures à suivre dans les deux cas, qui sont valables dans la majorité des exercices (il est toujours possible de trouver des exercices atypiques dans lesquels il faudra improviser).

	Régime linéaire (partie III de ce chapitre)	Régime de saturation (partie IV de ce chapitre)
On peut supposer que	$\epsilon = 0$ (v_s inconnu)	$v_s = \pm V_{sat}$ (ϵ inconnu)
On cherche à calculer	v_s en fonction de v_e	La condition faisant passer la sortie de $-V_{sat}$ à $+V_{sat}$, puis la condition la faisant passer de $+V_{sat}$ à $-V_{sat}$
On obtient alors	Une relation entrée sortie sous forme d'une équation différentielle ou d'une fonction de transfert	Des conditions sur la tension d'entrée pour laquelle il y a basculement. Disjonction des cas : si l'ALI est en saturation ... , il y reste jusqu'à ...
Outils mathématique	Représentation temporelle ou complexe	Représentation temporelle, car les signaux ne sont pas sinusoïdaux → il est impossible d'utiliser la représentation complexe !