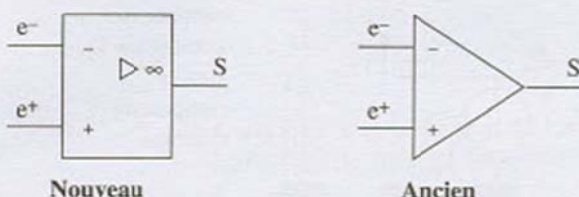


9.1 PRÉSENTATION

■ Symboles



■ Présentation

L'A.L.I. (ou anciennement appelé A.O.P. ou encore A.D.I.), est un composant constitué principalement de transistors et d'éléments électroniques de base (diodes, résistors...), comptant trois broches d'utilisation :

- une entrée notée $-$, appelée entrée inverseuse ;
- une entrée notée $+$, appelée entrée non – inverseuse ;
- une sortie S .

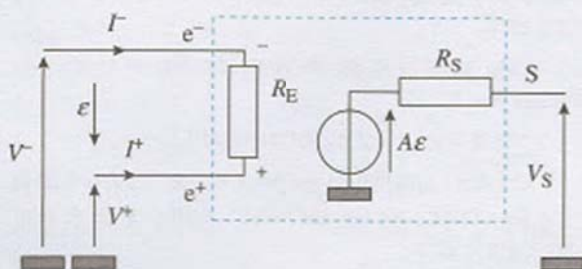
À ces trois broches, s'ajoutent les entrées d'alimentation de l'A.L.I. :

- une entrée d'alimentation positive ;
- une entrée d'alimentation négative.

(Pour certains A.L.I., la masse du montage doit aussi être connectée sur une des broches.)

On pourra aussi trouver des entrées de réglage sur certains A.L.I., comme le réglage de la tension de décalage, la compensation des courants de polarisation ou la compensation en fréquence.

■ Notations



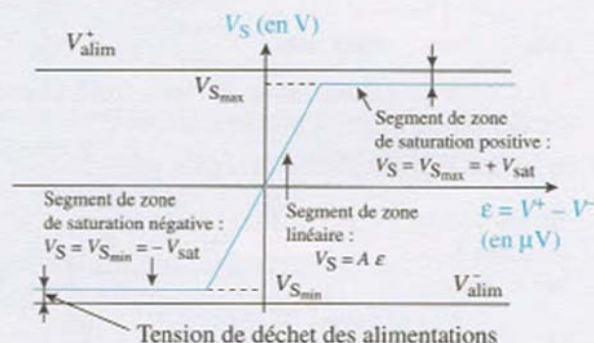
On a $\epsilon = V^+ - V^-$.

$V_S = A \cdot \epsilon$ (en considérant $R_S = 0$), avec A très grand.

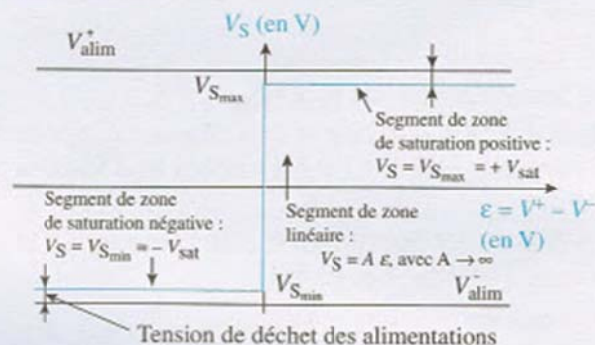
Dans le cas où l'A.L.I. est considéré comme idéal :

- $A \rightarrow \infty$
- $I^+ = I^- = 0$
- $R_E \rightarrow \infty$
- $R_S \rightarrow 0$

■ Fonction de transfert



A étant très grand, ($A > 1.10^5$), la représentation de la zone linéaire, dans un repère de même unité, est une droite verticale :



9.2 RÉGIMES DE FONCTIONNEMENT

■ Régime linéaire

Ce régime se reconnaît lorsque l'entrée $-$ (entrée non-inverseuse) est reliée à la sortie, soit par un composant (R , L , C , diode passante, jonction Base-Emetteur d'un transistor), soit par une liaison directe. On parlera de contre réaction négative.

En considérant l'A.L.I. parfait (ou idéal), les relations, dans ce cas, sont les suivantes :

- $I^+ = I^- = 0$
- $V^+ = V^-$ (donc $\epsilon = 0$)

$\rightarrow V_S = A \times \epsilon \neq 0$ volt bien que ϵ soit considéré comme nulle. En effet, même si ϵ tend vers 0, A tend vers ∞ .

\rightarrow Dans un montage à A.L.I. fonctionnant en linéaire, il est évident que la tension de sortie ne peut pas dépasser les tensions de saturation, $+V_{sat}$ et $-V_{sat}$. $+V_{sat}$ et $-V_{sat}$ sont respectivement les tensions de saturation positive et négative, dépendant des alimentations des A.L.I.

$$\text{On a : } +V_{\text{sat}} = (V_{\text{alim}}^+) - V_{\text{déchet}} \\ -V_{\text{sat}} = (V_{\text{alim}}^-) + V_{\text{déchet}}$$

$V_{\text{déchet}}$, la tension de déchet des A.L.I., est une donnée constructeur.

Afin de trouver la relation liant la tension de sortie du montage à la, ou aux tensions d'entrée, dans un montage à A.L.I. fonctionnant en régime linéaire, il faut écrire les relations liant V^+ et V^- aux tensions d'entrée et de sortie, en utilisant les lois fondamentales de l'électronique. Puis, on écrit $V^+ = V^-$ afin d'exprimer V_S en fonction des tensions d'entrée.

■ Régime non linéaire (ou comparateur)

Ce régime se reconnaît lorsque l'entrée + (non inverseuse) est reliée à la sortie soit par un composant, soit par une simple liaison directe, soit encore lorsqu'il n'y a pas de liaison entre la sortie et les entrées de l'A.L.I. En considérant l'A.L.I. parfait (ou idéal), les relations fondamentales, dans ce cas, sont les suivantes :

$$\bullet I^+ = I^- = 0$$

$$\bullet V_S = +V_{\text{sat}} \quad \text{si } V^+ > V^- \quad (\text{si } \varepsilon > 0)$$

$$\bullet V_S = -V_{\text{sat}} \quad \text{si } V^+ < V^- \quad (\text{si } \varepsilon < 0)$$

→ $+V_{\text{sat}}$ et $-V_{\text{sat}}$ sont respectivement les tensions de saturation positives et négatives (voir plus haut).

→ Voir aussi cours comparateur.

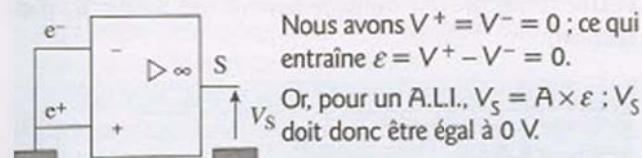
Afin de trouver la valeur de la tension de sortie dans un montage à A.L.I. fonctionnant en régime comparateur, il faut donc calculer la valeur des tensions V^+ et V^- et les comparer entre elles.

9.3 CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES ET DÉFAUTS DES A.L.I. RÉELS

■ Tension de décalage d'entrée (Input Offset Voltage)

Visualisation du problème

Soit le montage :



Or, les étages d'entrée e^+ et e^- n'étant pas parfaitement symétriques, on remarque que $V_S \neq 0$. La tension de décalage est la tension qu'il faudrait appliquer à l'une des entrées afin de retrouver $V_S = 0$ volt.

Compensation du problème

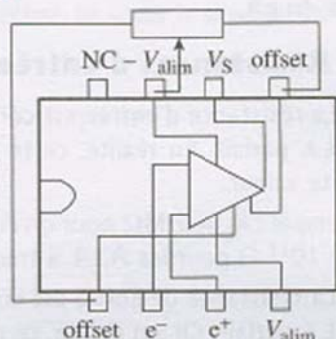
Cette tension de décalage excède rarement la dizaine de millivolts, et ne sera pas trop gênante dans les applications ne demandant pas une grande précision.

Pour les montages demandant une grande précision (amplification de tensions issues de capteurs, conver-

sion N/A), il est souhaitable, afin d'éliminer cette tension, de :

- compenser par ajout d'un montage à potentiomètre sur les entrées e^+ et e^- ;
- utiliser un A.L.I. possédant des entrées supplémentaires de compensation de cette tension d'offset.

Exemple pour un LM741



Ajout d'un potentiomètre (10 kΩ) entre les broches 1 et 15.

Réglage : afin de compenser la tension d'offset d'entrée sur cet A.L.I., il suffit de mettre e^+ et e^- à la masse, alimenter correctement l'A.L.I. (en V_{alim}^+ et V_{alim}^-), puis de régler le potentiomètre afin d'avoir $V_S = 0$. Par la suite, la tension d'offset sera toujours compensée.

Les constructeurs précisent

- La valeur de la tension de décalage (afin de savoir si une compensation est nécessaire).

- Le montage à ajouter afin de compenser la tension d'offset si une entrée est prévue à cet effet.

→ Tous les A.L.I. ne possèdent pas des entrées de compensation de la tension d'offset.

→ Certains A.L.I. sont compensés en interne. On est alors sûr d'avoir $V_S = 0$ quand $V^+ = V^- = 0$, si on respecte les conditions d'utilisation spécifiées par le constructeur.

■ Courants de décalage d'entrée (Input Offset Current)

Visualisation du problème

Soit le montage ci-contre.

Supposons l'A.L.I. sans tension de décalage.

Nous avons $\varepsilon = V^+ - V^- = -(R I^+) + (R I^-)$. Normalement $I^+ = I^- = 0$, ce qui entraîne $\varepsilon = 0$.

$V_S = A \times \varepsilon$. V_S doit donc être égal à 0.

Or, la résistance d'entrée de l'A.L.I. n'étant pas réellement infinie, les courants d'entrée I^+ et I^- ne sont pas strictement nuls, on remarque alors que $V_S \neq 0$.

Les étages d'entrée des A.L.I. se font sur la base de transistors bipolaires ou sur la grille de transistors FET.

Au repos, (quand $V_S = 0$), les courants de polarisation des transistors ne sont pas nuls, expliquant I^+ et $I^- \neq 0$.

I_{bias}

On définit $I_{\text{bias}} = (I^+ + I^-)/2$, le courant de polarisation des A.L.I. Les constructeurs précisent cette valeur. Ce

courant est généralement faible, mais, il faut néanmoins en tenir compte dans certaines applications où les courants dans le montage sont du même ordre de grandeur que I_{bias} .

Exemples : pour un A.L.I. LM741 (à base de transistors bipolaires), $I_{bias} = 80 \text{ nA}$.

Pour les A.L.I. à base de transistors FET, I_{bias} est de l'ordre du pA.

■ Résistances d'entrée et de sortie

- La résistance d'entrée est considérée infinie dans un A.L.I. parfait. En réalité, cette résistance est finie, de forte valeur.

Exemple : $R_E = 1 \text{ M}\Omega$ pour un A.L.I. 741 et peut dépasser $10^{11} \Omega$ pour les A.L.I. à transistor FET.

- La résistance de sortie est considérée nulle dans un A.L.I. parfait. Or, en réalité, ce résistor existe, de faible valeur.

Exemple : $R_S = 100 \Omega$ pour un A.L.I. 741.

On cherchera toujours à avoir de petites impédances de sortie, afin d'éviter que le courant de sortie occasionne une chute de tension trop importante.

■ Courant de sortie maximum ($I_{out,max}$)

C'est le courant maximal que l'A.L.I. peut débiter en sortie. Les constructeurs précisent cette valeur. Il limitera la charge que peut alimenter le montage.

■ Tensions d'alimentation

Pour fonctionner correctement, un A.L.I. doit être alimenté par des sources de tensions continues connectées sur les broches prévues à cet effet.

Exemple du 741 :

broche 7 pour l'alimentation positive*

broche 4 pour l'alimentation négative*

* Avec $V_{alim}^+ = V_{alim}^-$ pour le respect de la symétrie.

Les constructeurs précisent les plages d'alimentation à ne pas dépasser.

Exemples : LM311 ; $V_{alim,max}$ de 0 à 18 volts

LM741 ; $V_{alim,max}$ de 0 à 22 volts.

■ Tension de déchet des alimentations

La sortie V_S de l'A.L.I. peut en théorie varier entre les deux tensions d'alimentation : $V_{alim}^- < V_S < V_{alim}^+$.

Or, en réalité, il existe une tension de déchet ΔV_{alim} (due à la polarisation des transistors internes des A.L.I.) qui empêche V_S d'atteindre les limites. On a :

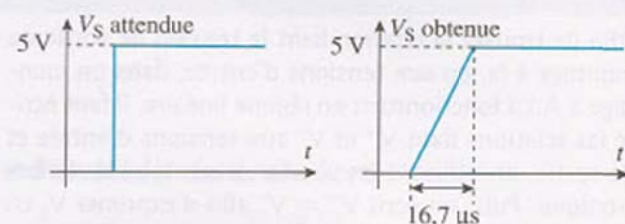
$$V_{alim}^- + \Delta V_{alim} < V_S < V_{alim}^+ - \Delta V_{alim}$$

Les constructeurs précisent la valeur de ΔV_{alim} pour plusieurs valeurs de V_{alim} . ΔV_{alim} est de l'ordre de 10 % de V_{alim} . ΔV_{alim} est appelée tension de déchet.

■ La vitesse de montée (slew rate)

Cette vitesse limite la montée et la descente rapide du signal de sortie (en V/S ou V/ μ s).

Exemple : Pour un A.L.I. LM741, dont le slew rate donné par le constructeur est de $0.3 \text{ V}/\mu\text{s}$; Si la tension de sortie doit passer de 0 à 5 volts instantanément, on aura la déformation suivante :



Le signal de sortie ne peut aller plus vite que $0.3 \text{ V}/\mu\text{s}$. Pour aller de 0 à 5 V, il lui faut donc $5/0.3 = 16.7 \mu\text{s}$.

Plus le slew rate sera élevée, plus l'A.L.I. sera rapide.

■ Bande passante (BW)

Définit la gamme (bande) de fréquence dans laquelle l'A.L.I. est supposé fonctionner correctement.

Les constructeurs définissent le produit Gain Bande de A.L.I., produit de A (amplification de l'A.L.I.) par la fréquence de coupure (fréquence maximale d'utilisation) de l'A.L.I.

Exemples : MC1773 : Produit Gain Bande = 40 MHz ;

LM311 : Produit Gain Bande = 0,3 MHz.

9.4 CHOIX D'UN A.L.I.

Afin de choisir correctement un A.L.I., il faut analyser :

- la fréquence de travail du montage (pour caractériser le slew rate minimum et la bande passante) ;
- la dynamique du signal de sortie (pour caractériser les alimentations de l'A.L.I.) ;
- la précision souhaitée (pour éventuellement choisir un A.L.I. à tension de décalage faible ou compensable) ;
- la valeur des courants mise en jeu dans le montage (en comparaison avec les courants de décalage d'entrée) ;
- la valeur maximale du courant en sortie (pour choisir un A.L.I. capable de le fournir) ;
- les valeurs maximales des tensions supportables en entrée (pour prévoir éventuellement des diodes de protection).

NOTIONS IMPORTANTES

- Savoir reconnaître le régime de fonctionnement d'un montage à A.L.I.
- Connaître les relations fondamentales d'un A.L.I. parfait dans les deux régimes de fonctionnement.
- Les courants d'entrée des A.L.I. sont quasi nuls.
- Pour fonctionner, un A.L.I. doit être alimenté par des tensions continues (une positive, une négative).
- La tension de sortie d'un A.L.I. est limitée par la saturation des A.L.I.
- La relation entre les tensions d'alimentation, les tensions de saturation et les tensions de déchets.
- La définition des paramètres slew rate, I_{bias} et de la tension de décalage.