

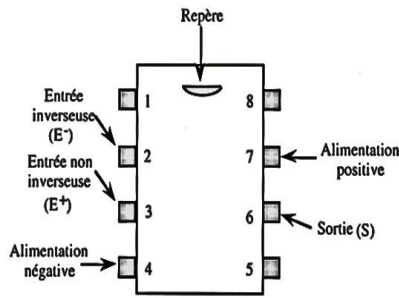
Chapitre 1(7h) : L'amplificateur opérationnel

INTRODUCTION

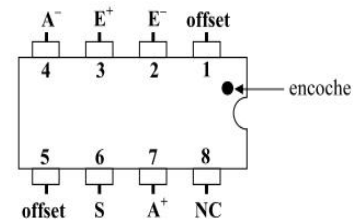
L'amplificateur opérationnel (O.A.) parfois appelé amplificateur à circuit intégré linéaire (A.C.I.L) est constitué d'un ensemble de composants électroniques connectés les uns aux autres dans un même boîtier. Aujourd'hui les applications de l'amplificateur opérationnel sont étendues dans tous les domaines de l'électronique. Nous verrons cette année quelques-unes des applications les plus simples.

1.1 Description de l'amplificateur

L'amplificateur opérationnel (AO) est un circuit intégré linéaire possédant huit bornes ou pattes. Cinq de ces bornes nous concernent cette année.



OU



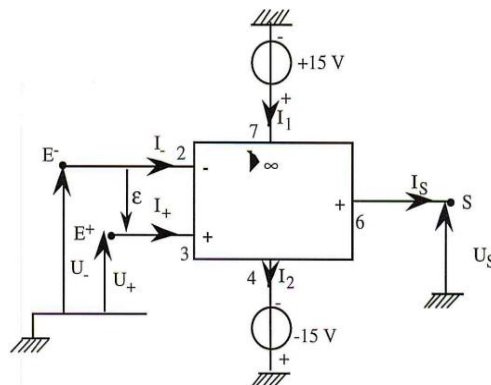
1.2 Montages et schématisation de l'AO

Dans les montages les broches 4 et 7 sont soumises à des tensions opposées (par exemple : -15V et +15V) par rapport à un point de référence appelé « masse ». Ce sont ces sources de tensions qui fournissent à l'A.O. l'énergie nécessaire à ses applications. Cependant elles n'interviennent pas directement dans les fonctions et généralement on ne les représente pas sur les schémas conventionnels.

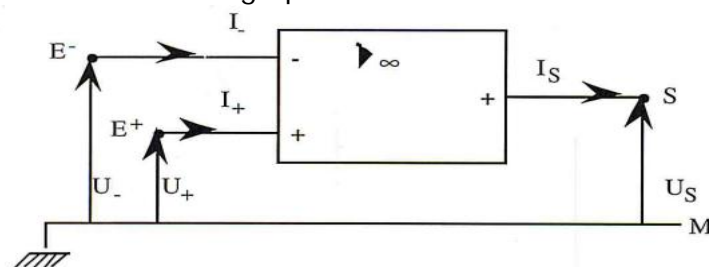
Les bornes d'entrée inverseuse, non inverseuse et de sortie sont respectivement notées E^- , E^+ et S .

Les tensions existantes aux broches 2, 3 et 6 sont notées respectivement U_- , U_+ et U_s .

MONTAGE



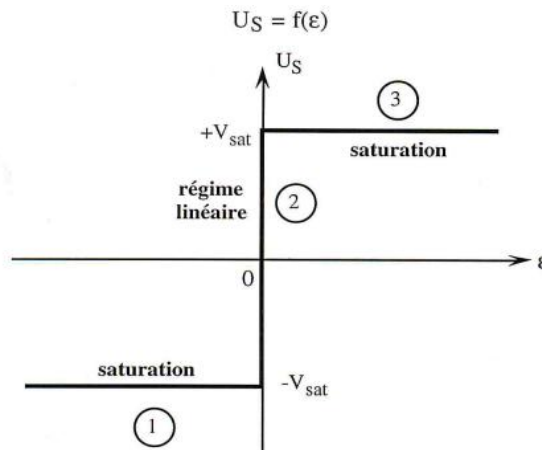
Dans un schéma conventionnel, on ne représente pas les circuits de polarisation. Le schéma conventionnel du montage précédent est :



1.3 Caractéristique et fonctionnement d'un AO

1.3.1 Caractéristique de l'AO idéal

La caractérisation d'un A.O. est la courbe donnant les variations de la tension de sortie en fonction de la tension existante entre les bornes d'entrée : $\epsilon = U_{E+} - U_{E-}$



Il apparait trois zones sur cette caractéristique :

- Si $\epsilon = 0$: l'A.O. fonctionne en **régime linéaire**
- Si $\epsilon > 0$: l'A.O. est saturé, la tension de sortie est constante. Elle a pour valeur : $U_S = +V_{sat}$.
- Si $\epsilon < 0$: l'A.O. est saturé, la tension de sortie est constante. Elle a pour valeur : $U_S = -V_{sat}$.

REMARQUE : La tension de saturation est un peu inférieure à la tension de polarisation de l'A.O.

1.3.2 Lois fondamentales de l'AO idéal

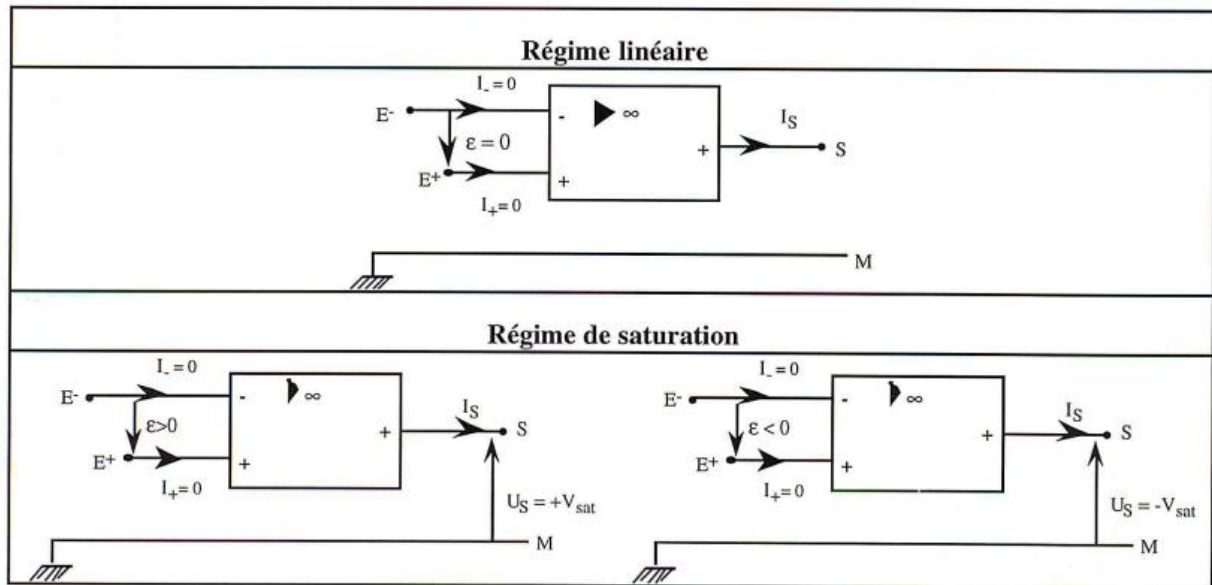
- Il n'entre ni ne sort aucun courant par les entrées $E+$, $E-$ quel que soit le mode de fonctionnement de l'A.O. $I_+ = I_- = 0$
- Lorsque l'A.O. fonctionne en régime linéaire (passe 2 de la caractéristique), les deux entrées sont soumises à la même tension (on dit aussi qu'elles sont au même potentiel)

$$\begin{array}{l} -V_{sat} \leq U_S \leq +V_{sat} \\ \epsilon = U_+ - U_- = 0 \text{ ou } V_{E+} = V_{E-} \end{array}$$

- Lorsque l'A.O. fonctionne en régime de **saturation** (partie 1 et 3 de la caractéristique) la tension U_S est constante :

$$U_S = +V_{sat} \text{ si } U_{E^+} > U_{E^-} \text{ ou } \varepsilon > 0$$

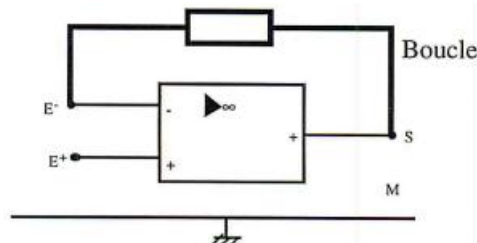
$$U_S = -V_{sat} \text{ si } U_{E^+} < U_{E^-} \text{ ou } \varepsilon < 0$$



Remarque : Les courants d'entrée étant nuls, la résistance d'entrée (ou plus précisément l'impédance d'entrée) sont quasi infini (de l'ordre du mégohm), la tension à la sortie est indépendante de la charge, la résistance de sortie (ou l'impédance de sortie) est quasi nulle.

1.3.3 Contre réaction d'un AO

Dans toutes les applications d'un A.O. on établit une contre-réaction en reliant la sortie S à une borne d'entrée ; soit par un court-circuit soit par un dipôle. Cette année l'entrée choisie sera toujours l'entrée non inverseuse E^+ et le dipôle une résistance. Le circuit ainsi constitué forme une boucle ; l'A.O. est dit **bouclé**.



1.4 Montages types de l'amplification linéaire

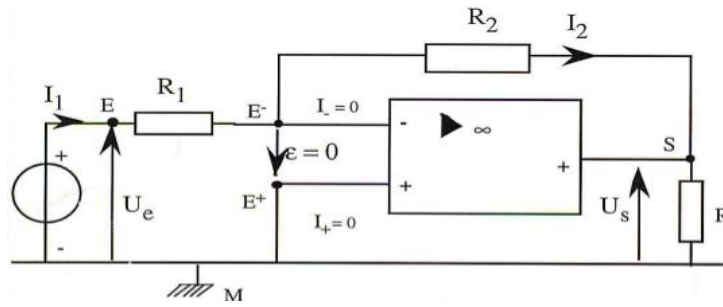
1.4.1 Rappel des lois de l'amplification linéaire

Les applications que nous étudierons cette année sont des applications où le régime de fonctionnement de l'A.O. est linéaire ; autrement dit : $|U_S| < V_{sat}$. Nous rappelons brièvement l'ensemble des conséquences de ce régime de fonctionnement de l'A.O. :

- Quel que soit le montage, les deux bornes d'entrée E^+ , E^- sont au même potentiel $\varepsilon = 0$
- Les intensités des courants d'entrée sont nulles : $I_+ = I_- = 0$

1.4.2 Amplification inverseuse

Expérience 1 : Montage amplificateur inverseur conventionnel



Le montage d'amplification inverseur a les caractéristiques suivantes :

La tension d'entrée U_e est appliquée sur l'entrée E^- à travers une résistance R_1 .
L'entrée E^+ est reliée à la masse.
L'A.O. est bouclé avec une résistance R_2 .

Calculons le coefficient d'amplification de ce type de montage :

Appliquons la loi d'additivité des tensions:

$$U_{SM} = U_{SE^-} + U_{E^-M} \quad U_{EM} = U_{EE^-} + U_{E^-M}$$

$$U_s = -R_2 I_2 + 0 \quad U_e = R_1 I_1 + 0$$

Appliquons la loi des noeuds en E^- :

$$I_1 = I_2 + I_-$$

$$I_1 = I_2 + 0$$

$$\frac{U_s}{U_e} = \frac{-R_2 I_2}{R_1 I_1} = -\frac{R_2}{R_1}$$

Ce dernier rapport est appelé gain en tension et noté G :

$$G = -\frac{R_2}{R_1}$$

Remarques

Le gain G est négatif ,c'est-à-dire que les tensions d'entrée et de sortie sont de signes opposés.

En choisissant convenablement les valeurs de R_2 et de R_1 la tension de sortie en valeur absolue peut être supérieure inférieure ou égale à la valeur absolue de la tension d'entrée U_e .

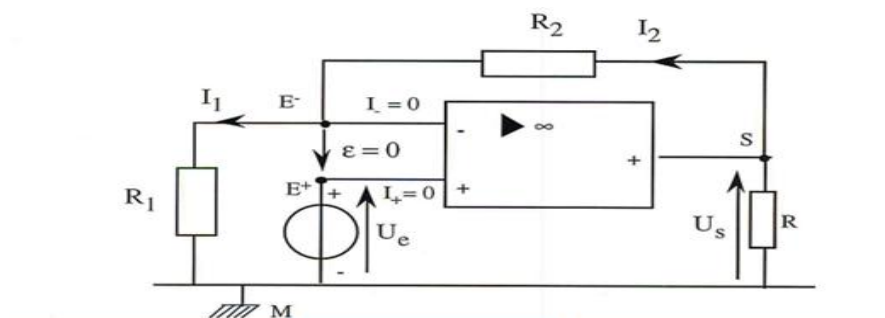
La valeur du gain est indépendante de la charge R ,elle ne dépend que des résistances d'attaque R_1 et de la boucle R_2 .

Le générateur de tension à l'entrée débite un courant ;la tension U_e n'est constante que si sa résistance interne est nulle .Dans le cas contraire la tension U_e varie avec le gain G .

Le montage inverseur n'est pas un montage idéal.

1.4.3 Amplification non inverseuse ou directe

Expérience 2 :Montage amplificateur non inverseur conventionnel



Le montage d'amplification non inverseur a les caractéristiques suivantes :

La tension d'entrée U_e est appliquée sur l'entrée E^+

L'entrée E^- est reliée à la masse par une résistance R_1 .

L'A.O. est bouclé avec une résistance R_2 .

Calculons le coefficient d'amplification de ce type de montage :

Appliquons la loi d'additivité des tensions:

$$\begin{aligned} U_{SM} &= U_{SE^-} + U_{E^-E^+} + U_{E^+M} & U_{E^+M} &= U_{E^+E^-} + U_{E^-M} \\ U_s &= R_2 I_2 + 0 + U_e & U_e &= 0 + R_1 I_1 \end{aligned}$$

Appliquons la loi des noeuds en E^- :

$$\begin{aligned} I_2 &= I_1 + I_- \\ I_2 &= I_1 + 0 \end{aligned}$$

$$\frac{U_s}{U_e} = \frac{R_2 I_2 + U_e}{U_e} = \frac{R_2 I_2}{U_e} + 1 = \frac{R_2 I_2}{R_1 I_1} + 1 = \frac{R_2}{R_1} + 1$$

Le gain en tension est donc:

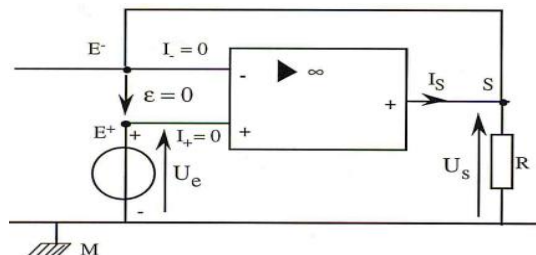
$$G = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

Remarque

- Le gain G est positif et toujours supérieur à 1. La tension de sortie U_s est supérieure à la tension d'entrée U_e .
- La valeur du gain est indépendante de la charge R , il ne dépend que des résistances de la boucle et de la résistance d'attaque de l'entrée inverseuse.
- Le générateur de tension appliquée à l'entrée ne débite aucun courant ($I_+ = 0$) ; c'est-à-dire que la tension d'entrée est égale à la f.é.m. E du générateur de tension celui-ci ait une résistance interne ou pas. Le montage direct est un montage amplificateur idéal.

1.4.4 Montage suiveur

Expérience 3 : Montage suiveur conventionnel



Le montage suiveur a les caractéristiques suivantes :

La tension d'entrée U_e est appliquée sur l'entrée E^+

L'A.O. est bouclé par un court-circuit.

Calculons le coefficient d'amplification de ce type de montage :

Appliquons la loi d'additivité des tensions :

$$\begin{aligned} U_{SM} &= U_{SE^-} + U_{E^-E^+} + U_{E^+M} \\ U_s &= 0 + 0 + U_e \end{aligned}$$

La tension de sortie U_s est égale à la tension d'entrée U_e , le gain en tension est égal à 1.

$G=1$

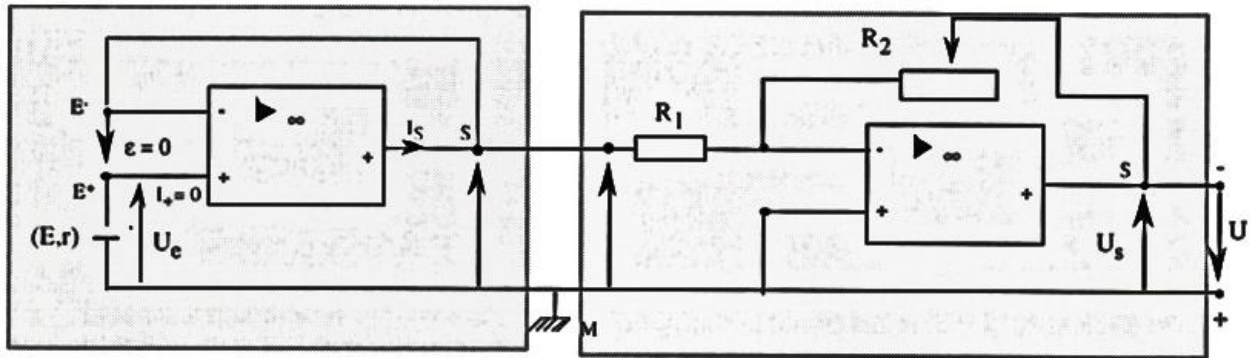
Remarque

- Le générateur de tension appliquée à l'entrée ne débite aucun courant ($I_+=0$), c'est-à-dire que la tension d'entrée est égale à la f.é.m E du générateur de tension que celui-ci ait une résistance interne ou pas.
- La tension de sortie est alors égale à la valeur de la f.é.m E du générateur d'entrée quelle que soit la valeur de la charge R .

1.5 Applications

1.5.1 Réalisation d'un générateur de tension réglable et de résistance interne nulle

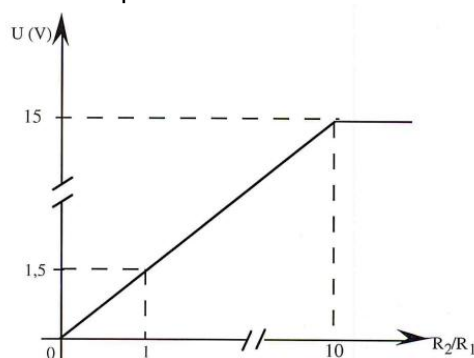
Montage proposé :



Analyse qualitative

Ce montage électronique présente deux étages électroniques :

- Le premier à gauche est un montage **suiवेur**, pour lequel la tension d'entrée est une pile ordinaire de f.é.m 1,5V et de résistance interne 0,5Ω. La tension de sortie de cet étage est égale à la valeur de la f.é.m de la pile soit 1,5V.
- Le second est un montage amplificateur inverseur, pour lequel la tension d'entrée est la tension de sortie de l'étage précédent. Le gain de cet étage $-R_2/R_1$ la tension de sortie est $-E \cdot R_2/R_1$.
- Le rhéostat permet de faire varier le gain linéairement et par conséquent la valeur de la tension de sortie. Cette tension est indépendante de la charge éventuelle, la résistance interne de cette alimentation continue réglable est nulle.
- Remarquons que la ligne de masse est reliée à la borne négative de la pile mais représente la borne positive de l'alimentation réglable.
- Pour un rapport R_2/R_1 supérieur à 10, on est en régime de saturation puisque la tension de sortie ne peut être supérieure à U_{sat}

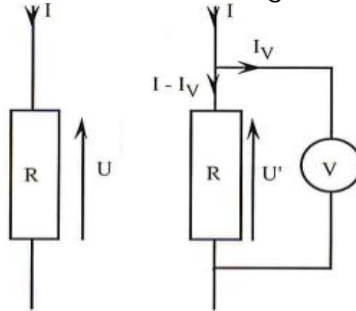


1.5.2 Réalisation d'un voltmètre électronique à partir d'un voltmètre ordinaire

5.2 Réalisation d'un voltmètre électronique à partir d'un voltmètre ordinaire

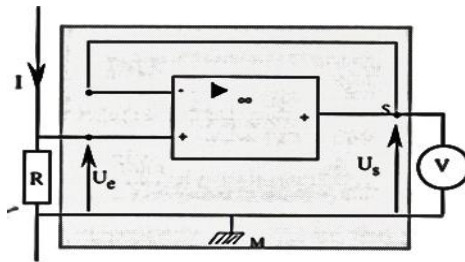
Nous savons que la justesse d'un voltmètre dépend de la valeur de sa résistance interne.

En effet le voltmètre branché aux bornes d'un dipôle ,détourne une partie du courant I et provoque une erreur systématique cette erreur est d'autant plus faible que le courant détourné est faible ;la résistance interne doit être grande devant la résistance du dipôle.



Les voltmètres ordinaires ont une résistance interne de l'ordre de 5000Ω , si la résistance du dipôle est de cet ordre de grandeur ;l'erreur systématique est de l'ordre de grandeur de la valeur mesurée.

Montage proposé



Analyse qualitative

- On intercale entre le dipôle , dont on veut mesurer la tension et le voltmètre un montage suiveur .Le courant d'entrée I_+ étant nul aucun n'est détourné du dipôle.
- Le montage suiveur a un gain égal à 1 , la tension d'entrée du montage qui est la tension aux bornes du dipôle ,est égale à la tension de sortie . Cette tension est celle qui est mesurée par le voltmètre.
- La tension mesurée par le voltmètre est égale à la tension aux bornes du dipôle traversé par un courant d'intensité I .