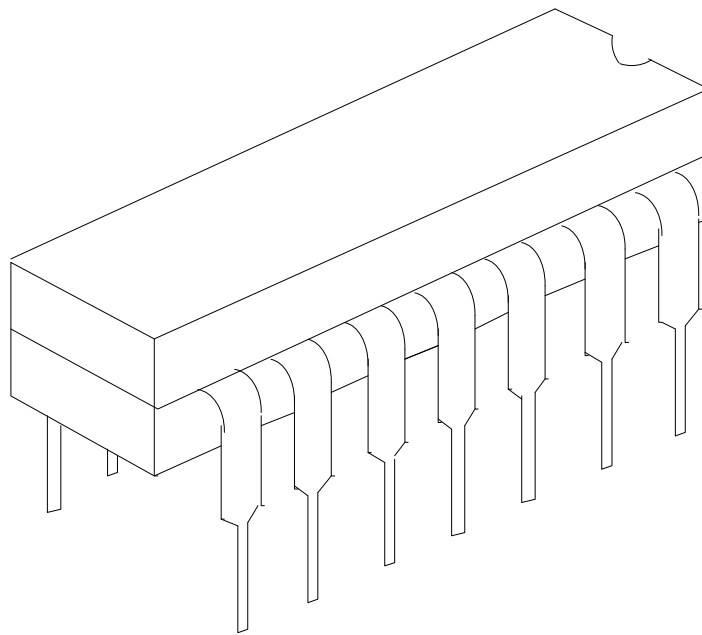


Cours d'électronique

LA THEORIE SUR L'ELECTRONIQUE

LES COMPOSANTS DE BASE



PARTIE N°8 :

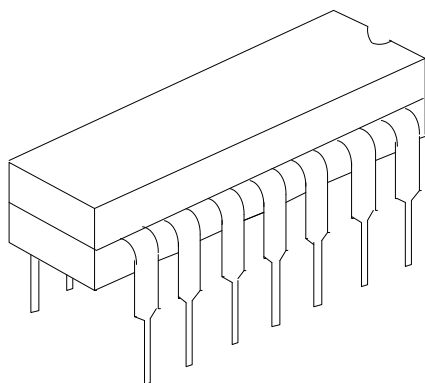
L'AMPLI OPERATIONNEL

TABLE DES MATIERES

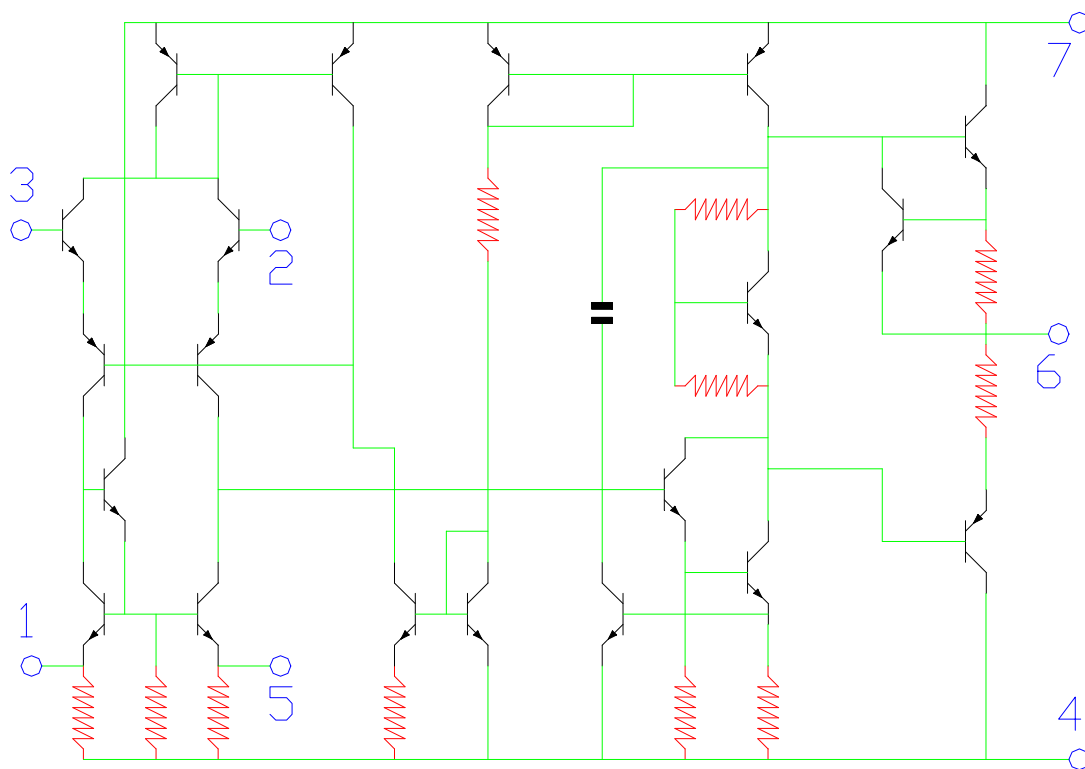
1. La description	2
2. Principe de fonctionnement.....	4
2.1. En régime statique	4
3. Fonctionnement avec boucle de réaction	6
4. Application en régime linéaire	7
4.1. Montage suiveur	7
4.2. Montage non inverseur	8
4.3. Montage inverseur	8
4.4. Montage inverseur	8
4.5. Montage soustracteur	9
4.6. Montage intégrateur	10
4.7. Montage dérivateur	11
4.8. Filtres actifs	13
4.8.1. Filtre idéal	13
4.8.2. Filtre réel	14
5. Convertisseur numérique analogique	14
6. Fonctionnement en régime saturé	15
6.1. Montage comparateur	15
7. Page technique.....	16

1. La description

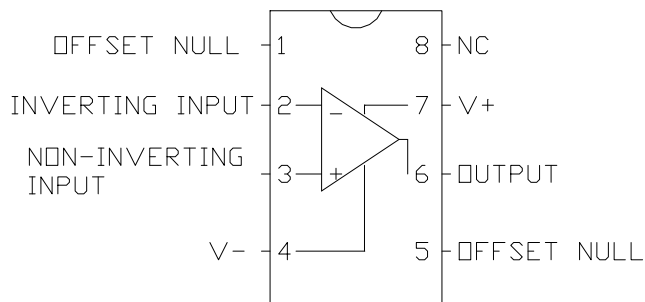
L'ampli opérationnel est un circuit intégré comportant plusieurs transistors. L'ensemble de ces composants sont enfermés dans un boîtier et liés à l'extérieur par l'intermédiaire de plusieurs broches.



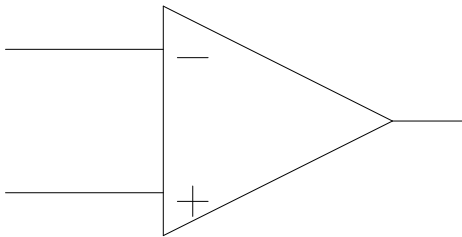
Voici le schéma bloc d'un ampli opérationnel :



Voici le schéma de brochage d'un ampli opérationnel.



Le symbole d'un ampli opérationnel est le suivant :



L'amplificateur opérationnel possède :

- deux bornes d'entrée (une positive notée e1 ou + et une négative notée e2 ou -)
- une borne de sortie notée S
- deux bornes d'alimentation recevant des tensions apposées symétriques (+5V, -5V) le point commun de ces deux sources de tension représentant la masse du montage.

Cette construction permet d'avoir

- un très grand gain
- une résistance d'entrée très grande
- une résistance de sortie très faible

2. Principe de fonctionnement

Le principe de base est d'obtenir en sortie un signal qui sera fonction de la différence entre les deux tensions d'entrée. Le but sera d'obtenir un gain le plus élevé possible sans pour autant que la valeur de la tension de sortie ne puisse dépasser la valeur de la tension d'alimentation de l'amplificateur opérationnel.

Je peux donc résumer ce fonctionnement par : $V_S = A_D \cdot (E^+ - E^-)$

- A_D : représente le gain différentiel de l'amplificateur opérationnel.
- $E^+ - E^-$: représente la tension différentielle d'entrée de l'amplificateur opérationnel.

Lorsque la tension de sortie est proportionnelle à la différence des tensions d'entrée, on dit que l'amplificateur opérationnel travaille en régime linéaire.

L'entrée E^+ est appelée entrée non inverse car toute variation de tension appliquée sur cette entrée produit en sortie, une variation de tension de même sens.

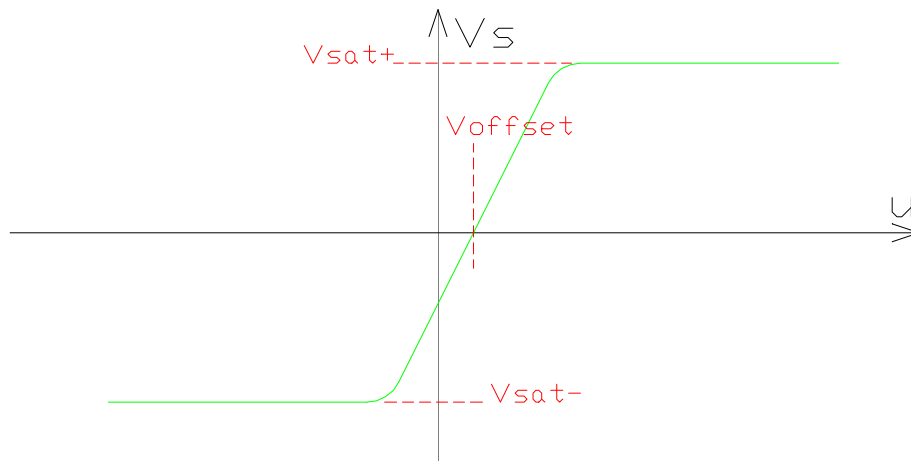
Etant donné la composition de l'A.O. par un grand nombre de transistor, nous pouvons dire que l'impédance d'entrée est infinie. Je déduis donc que les amplificateurs présentent un courant très faible et de ce fait, nous considérons que les courants absorbés par les entrées de l'amplificateur opérationnel sont nuls.

Au niveau impédance de sortie, l'amplificateur opérationnel présente une impédance de sortie relativement faible.

Il paraît bon de préciser encore que si le gain est trop important, la tension de sortie sera au plus égale à la tension de l'alimentation de l'A.O. nous pouvons donc dire que nous serons saturés. Il va de soit que dans cet état, la tension de sortie est indépendante de la tension différentielle d'entrée. Je noterai tension de saturation V_S et tension d'alimentation V_{alim} . La différence pratique entre les deux valeurs en saturation est due à la chute de tension dans les différents transistors de sortie.

2.1. En régime statique

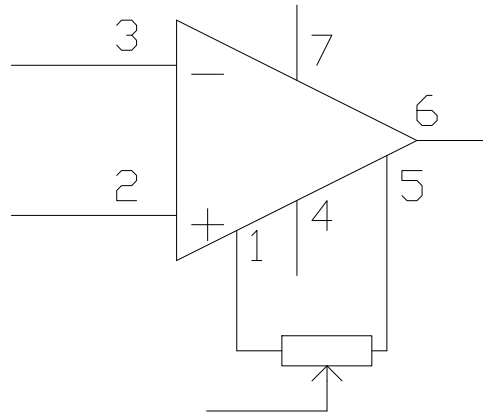
Soit la borne E^- placée à la masse et la borne non inverseuse E^+ portée à un potentiel « u » que l'on fait varier de 0 volt. Nous pouvons déduire la courbe suivante :



Nous pouvons remarquer les pallier de saturation pour une valeur V_{SAT} positive et négative. Cette valeur sera un rien inférieure à V_{alim} .

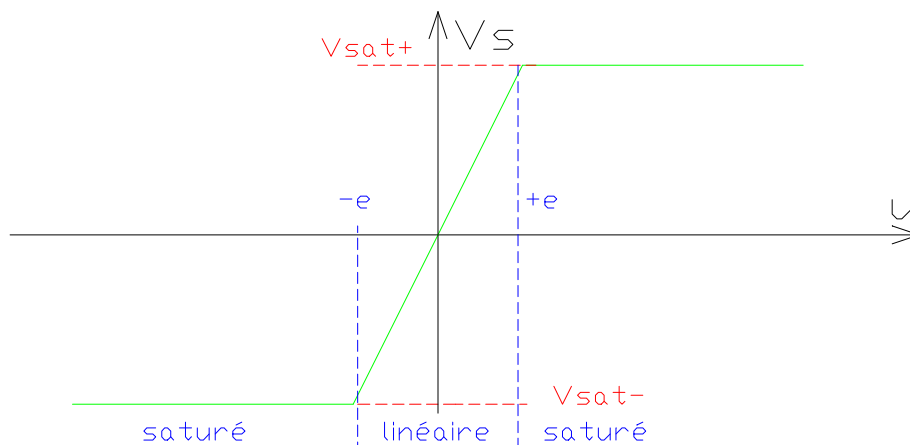
Une autre remarque est que la caractéristique de transfert ne passe pas exactement par l'origine. Nous trouvons une tension V_{offset} qui correspond à la tension qu'il faudrait appliquer à l'entrée pour obtenir $V_s=0$. Cette tension d'offset est due au fait que les éléments constitutifs de l'A.O. ne sont pas parfaits.

Je précise que les constructeurs prévoient des dispositifs de compensation permettant de faire passer la caractéristique de transfert par l'origine.



De nos jours, vu les moyens techniques mis en œuvre pour la réalisation de ces composants, la tension d'offset est rendue négligeable.

Nous pouvons idéaliser la caractéristiques de transfert et faire ainsi apparaître les deux zones de fonctionnement.



Je peux donc tirer comme conclusion que la tension d'entrée ne pourra varier que de « $-e$ » à « $+e$ » pour un fonctionnement linéaire, en dehors de cette plage, nous seront en fonctionnement saturé.

1.1. En régime sinusoïdale

Soit à appliquer une tension sinusoïdale de valeur fixe mais de fréquence variable.

Si la fréquence est faible, le modèle de l'A.O. est le même qu'en régime statique. La tension V_S est alors sinusoïdale et en phase avec la tension d'entrée.

Si la fréquence est élevée, nous constatons que la tension de sortie est déphasée de la tension d'entrée et la valeur de V_S a diminué. Ce phénomène est dû aux capacités parasites internes.

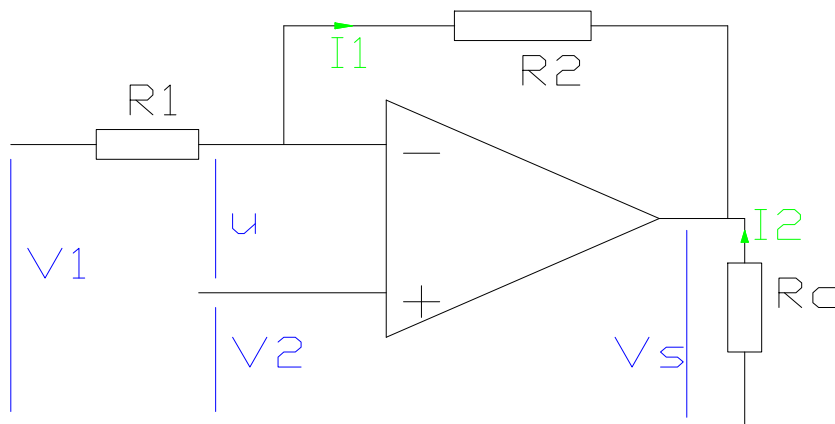
La formule suivante fait apparaître cette diminution : $V_S = \frac{A_o}{\sqrt{1+(\frac{f}{f_o})^2}} \cdot U$ avec

- A_o : le gain de l'amplificateur opérationnel
- U : la valeur efficace de la tension d'entrée
- f : la fréquence du signal d'entrée
- f_o : la fréquence qui dépend de l'A.O.

3. Fonctionnement avec boucle de réaction

Nous avons vu que le potentiel d'entrée devait être très faible sinon nous avons saturation de l'A.O.. Ainsi on utilise avec les A.O. un procédé très connu en électronique : la réaction.

Le schéma suivant illustre cette réaction.

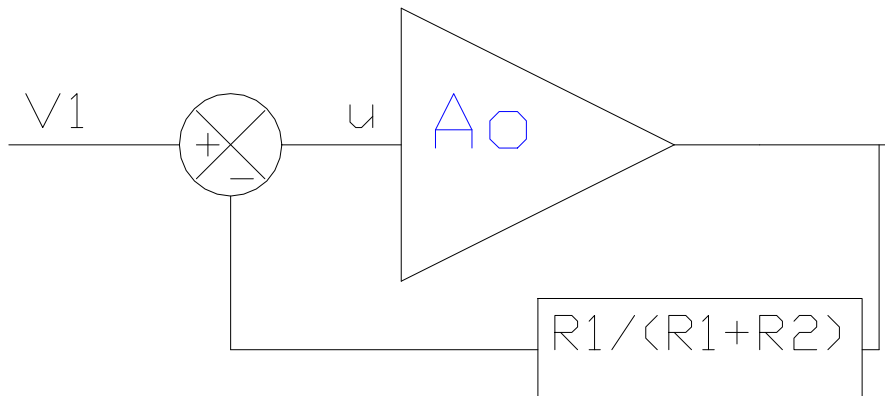


A la lecture de ce schéma, je peux dire que vu l'impédance très grande en entrée de l'A.O., le courant d'entrée est négligeable devant le courant I_1 . Je peux donc dire que tout

le courant provenant de R_1 se retrouve dans R_2 . $I_1 = \frac{0 - (-u + V_1)}{R_1} = \frac{(-u + V_1) - V_2}{R_2}$ d'où

$$u = V_1 - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot V_2$$

Le schéma fonctionnel devient le suivant :



Ce schéma nous montre que tout ce passe comme si la tension V_s était prélevée à la sortie, pour être ensuite multipliée par le facteur $\frac{R_1}{R_1 + R_2}$ et enfin retranché à l'entrée de la tension V_1 . Noter que V_2 dans ce cas est branché sur le commun du circuit et vaut donc $0V$. On dit qu'il s'agit d'une réaction négative car le retour se fait sur la borne inverseuse. Donner encore que ce système est stable car pour toute augmentation de V_s , u diminue ce qui annule l'augmentation de V_2 et ramène cette tension à sa valeur initiale.

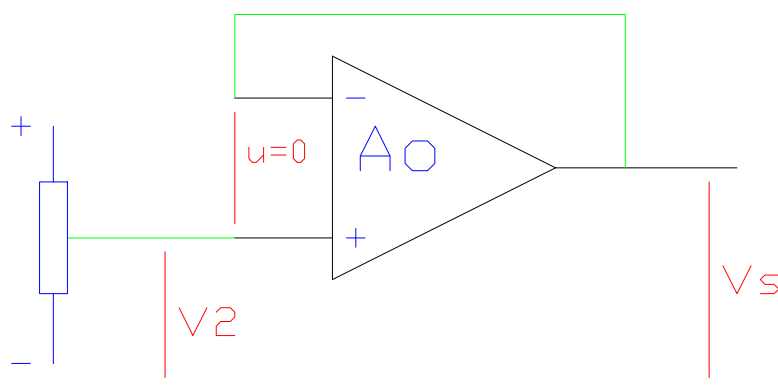
4. Application en régime linéaire

4.1. Montage suiveur

Un amplificateur est dit suiveur si la tension de sortie est identique à celle de l'entrée inverseuse.

Ce schéma nous montre que la tension différentielle est nulle puisque V_s est égale à V_2 .

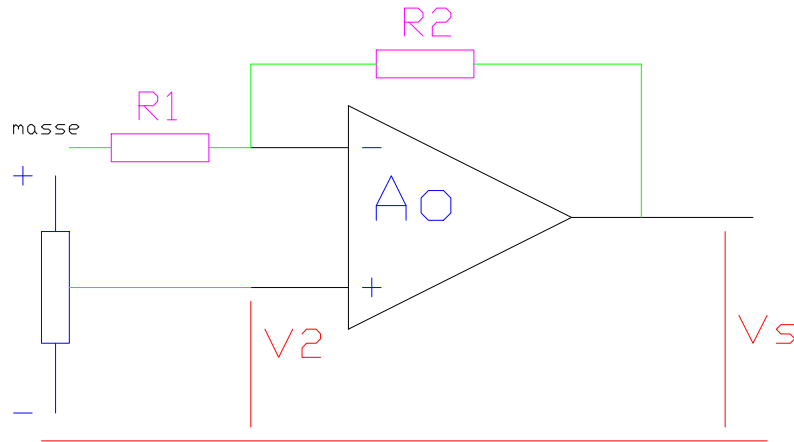
L'intérêt de ce montage réside dans son amplification en courant qui est importante.



4.2. Montage non inverseur

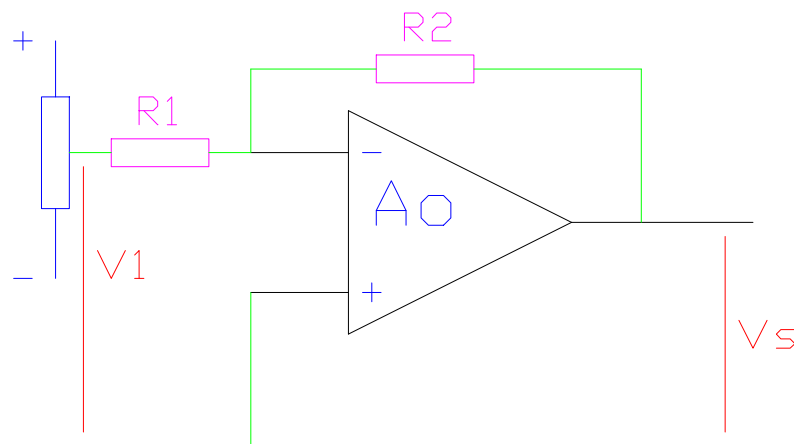
Un amplificateur est dit **non inverseur** si le potentiel V_s et V_1 sont de même signe. En régime sinusoïdale cela sous entend que V_s est en phase avec V_1 . Le potentiel E^- est égale à 0 volt.

4.3. Montage inverseur



4.4. Montage inverseur

Un amplificateur est dit **inverseur** si le potentiel V_s et V_1 sont de signe contraire. En régime sinusoïdale V_s est en opposition de phase avec V_1 . Noter que V_2 est à la masse.



1.2. Montage Additionneur inverseur

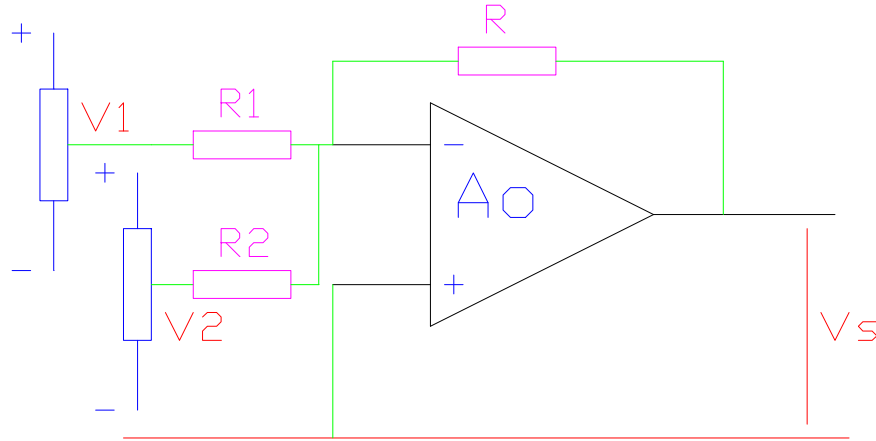
Un amplificateur est dit **additionneur inverseur** si la borne non inverse est à la masse et que la borne inverse est au potentiel 0 volt.

La tension de sortie est égale à l'opposé de la somme des tensions d'entrée.

On peut encore conclure que la somme de deux tensions négatives offre également le résultat équivalent à la somme algébrique des potentiels.

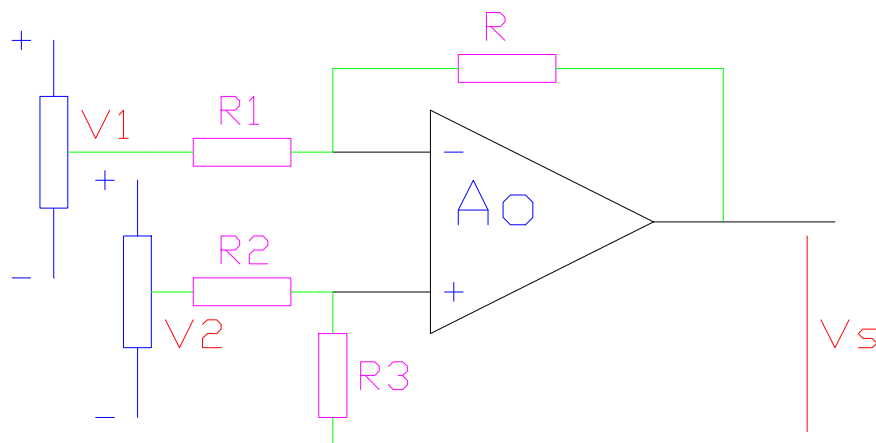
Si les tensions d'entrée V_1 et V_2 sont opposées, le montage réalise la soustraction.

Avec des tensions d'entrée alternative, l'addition est possible pour autant que les fréquences soit identique. Toutefois vu que le système réalise une addition vectorielle, un déphasage entre les deux tensions est acceptable.

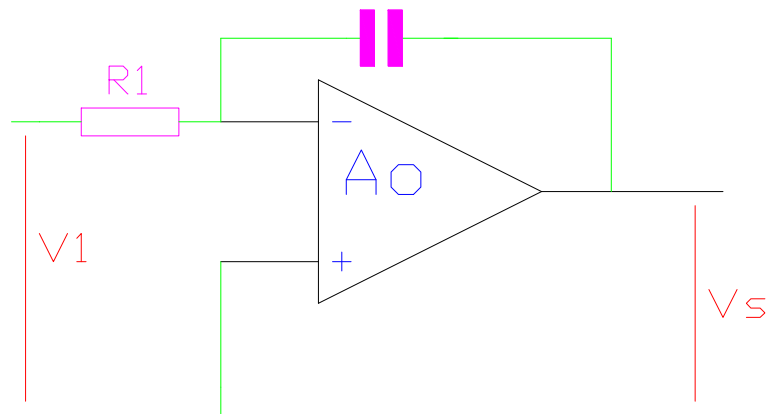


4.5. Montage soustracteur

Il suffit dans ce cas d'injecter les deux signaux à soustraire sur chacune des bornes de l'A.O.. Le résultat sera ensuite amplifié. Les ponts diviseurs formés par R-R1 et R2-R3 permettent de figer les potentiels aux bornes de l'A.O. Noter encore que le système doit être tel que $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_2}{R_3}$ ou encore que $R_1 = R_2$ et $R = R_3$.

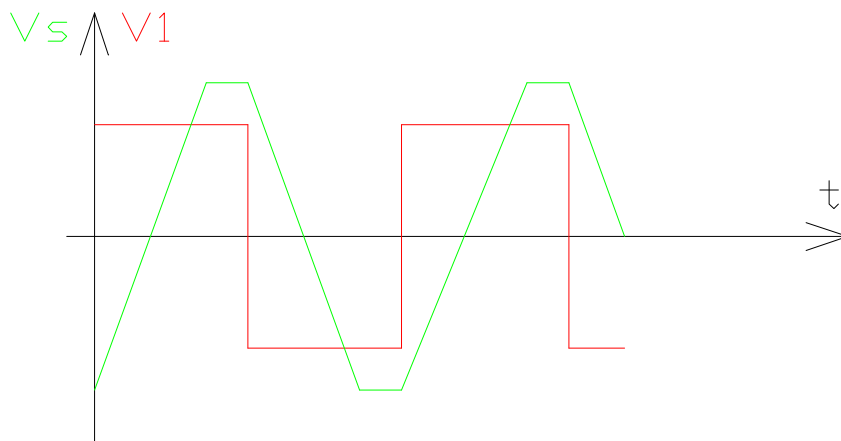


4.6. Montage intégrateur



Nous voyons que ici nous avons une rétroaction par l'intermédiaire d'un condensateur. Voyons comment est réalisé l'intégration.

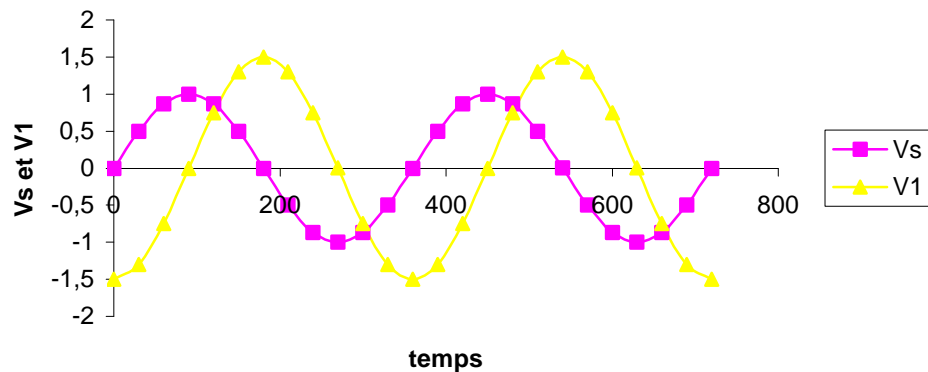
Le condensateur va se charger entre les potentiels V_s et V_- . Hors le potentiel V_- peut passer d'une valeur positive à une valeur négative. Supposons que nous réalisons une inversion du signal V_1 d'un potentiel $+9V$ à $-9V$. Analysons les allures des tensions V_s et V_1 .



Nous voyons que dans les mêmes conditions, en modifiant la période du signal d'entrée nous pourrions obtenir un signal parfait en dent de scie et que si nous diminuons encore la période, nous pourrions obtenir un signal en dent de scie purement positif ou purement négatif. Ce montage pourrait donc être utilisé comme générateur d'impulsion. Noter que la pente est fonction des composants du circuit (R et C).

Si nous passons maintenant à un signal d'entrée sinusoïdale de faible fréquence, nous allons obtenir un signal de sortie qui va évoluer selon une allure sinusoïdale mais avec un retard du à la constante de temps du circuit R-C. Les allures seraient les suivantes :

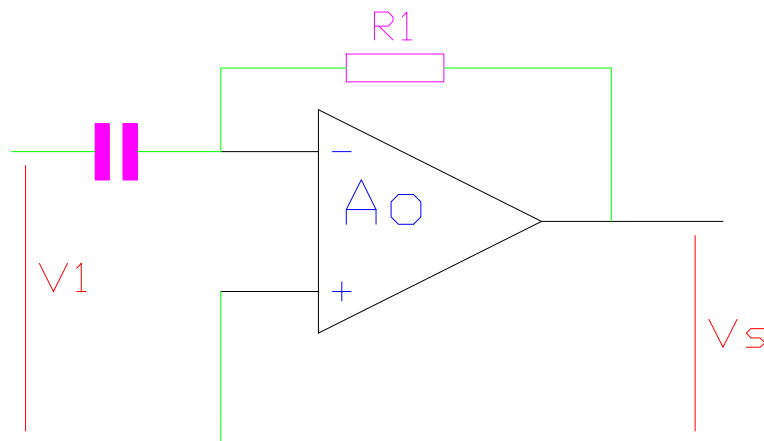
évolution de Vs sous faible fréquence



Si la fréquence devait augmenter, nous remarquerions que l'amplitude de Vs diminue avec l'augmentation de fréquence.

Ce montage permet de réaliser un filtre passe bas. Ce dernier aura comme conséquence sur un signal d'entrée sinusoïdale mélangé à des tensions parasites (souvent de haute fréquence) d'atténuer les parasites.

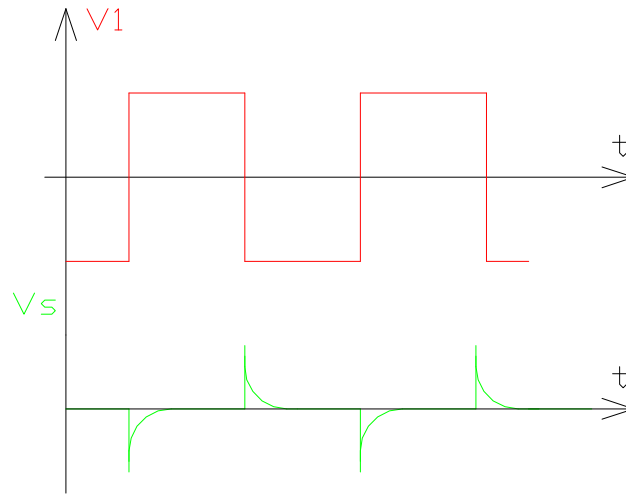
4.7. Montage dérivateur



Ce montage est identique au montage Intégrateur à la différence près que la résistance et le condensateur sont inversés.

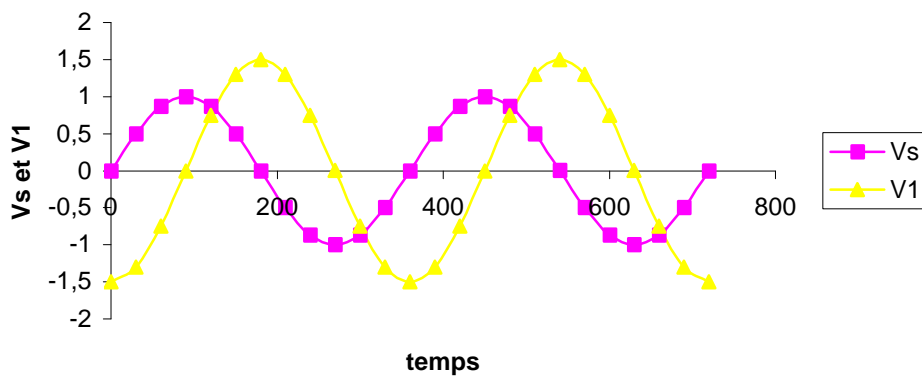
Supposons l'application d'un potentiel de 0V en V1, V2 étant aussi au 0V, je peux dire que la tension différentielle est nulle, le condensateur est non chargé et le courant de circulation dans la résistance est nul. Lorsque l'on applique une tension positive sur V1, je peux dire que je vais appliquer un potentiel aux bornes du condensateur et ce dernier va se charger. En même temps, le potentiel E- augmente et nous atteignons rapidement le seuil de saturation de l'A.O. Je peux donc dire que la tension de sortie sera égale à $V_{alim} -$. Dès ce moment, je peux dire que le potentiel V_{alim} est retrouvé par rétroaction en E- ce qui entraîne une diminution de la tension aux bornes du condensateur jusqu'à la décharge complète de ce dernier. Lorsque je retire le potentiel en V1, ce potentiel devient 0V. Le condensateur va donc se charger. En même temps, le potentiel E- diminue et nous atteignons rapidement le seuil de saturation de l'A.O. Je peux donc dire que la tension de sortie sera égale à $V_{alim} +$. Dès ce moment, je peux

dire que le potentiel V_{alim} est retrouvé par rétroaction en E- ce qui entraîne une diminution de la tension aux bornes du condensateur jusqu'à la décharge complète de ce dernier. Les allures seront les suivantes :



Si nous passons maintenant à un signal d'entrée sinusoïdale de faible fréquence, nous allons obtenir un signal de sortie qui va évoluer selon une allure sinusoïdale mais avec un retard du à la constante de temps du circuit R-C. Les allures seraient les suivantes :

évolution de Vs sous faible fréquence



4.8. Filtres actifs

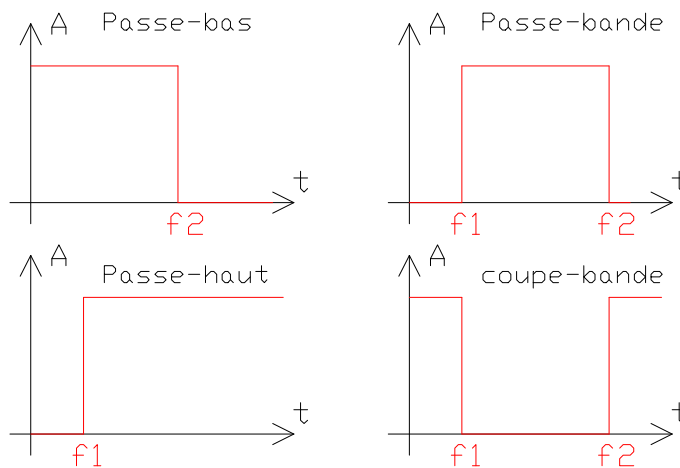
4.8.1. Filtre idéal

C'est un quadripôle qui, pour des signaux sinusoïdaux, assure

- Une transmission sans déformation dans un intervalle de fréquence appelé bande passante (B.P.)
- Une suppression totale en dehors de cette intervalle.
 - $A=V_2/V_1 = 1$ dans la bande passante
 - $A=V_2/V_1 = 0$ en dehors de la bande passante

Un filtre idéal appartient à l'une des catégories suivantes :

- Filtres passe bas : B.P. = $(0, f_2)$
- Filtres passe bande : B.P. = (f_1, f_2)
- Filtres passe haut : B.P. = (f_1, ∞)
- Filtres coupe bande : B.P. = $(0, f_1)$ ou (f_2, ∞)



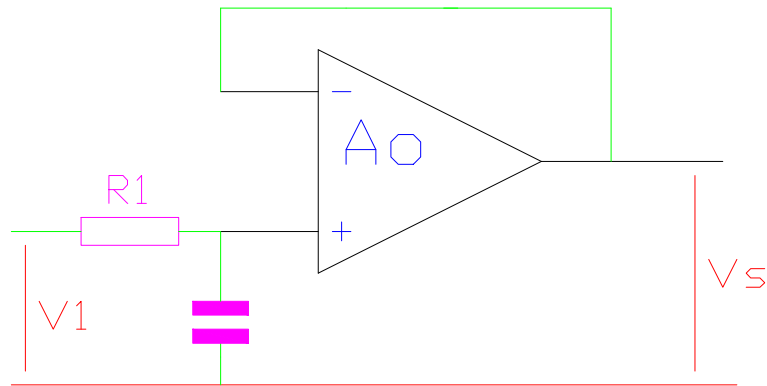
4.8.2. Filtre réel

Il existe deux grandes catégories :

Les filtres passifs constitués de condensateurs, de résistance et de bobines

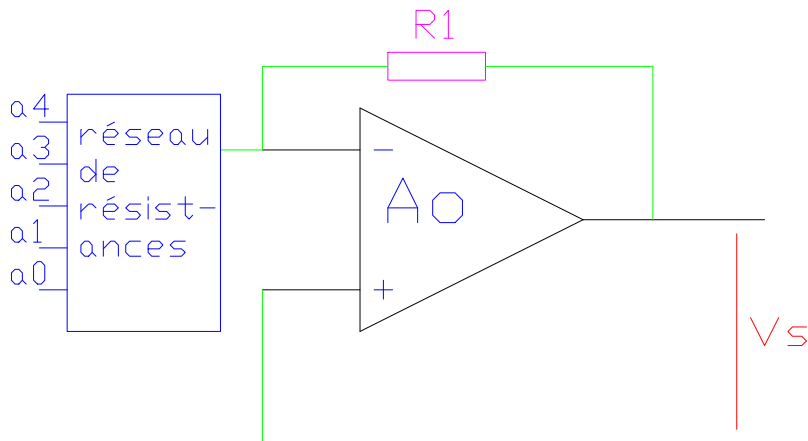
Les filtres actifs des A.O., des condensateurs et des résistances.

Voici un exemple de filtre actif passe-bas :



5. Convertisseur numérique analogique

Un convertisseur numérique analogique est un dispositif électronique transformant un signal numérique (c'est-à-dire un ensemble de bits valant 0 ou 1) en une tension V_s proportionnelle au signal converti en nombre décimal.



Cette appareil est surtout utilisé dans les appareils de mesure, dans les asservissements et dans les systèmes de commandes des convertisseurs d'énergie électrique.

6. Fonctionnement en régime saturé

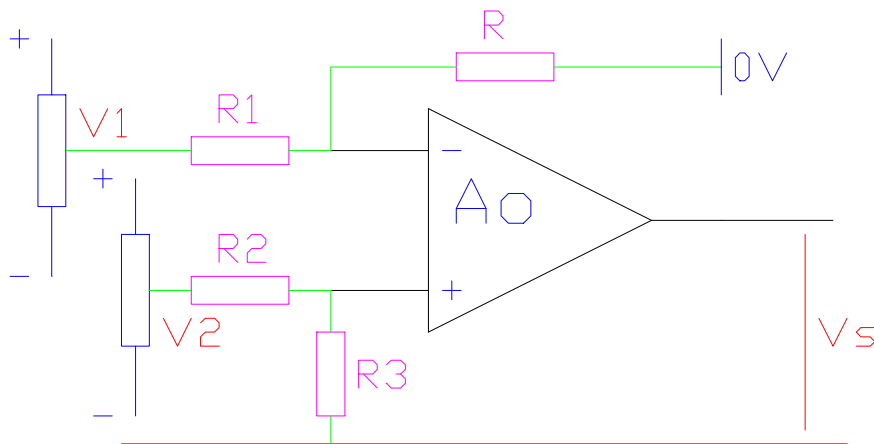
6.1. Montage comparateur

Ce montage n'offre pas de rétroaction du signal de sortie sur l'entrée. Ce montage permettra d'effectuer la comparaison entre deux tensions, une tension de référence et une tension à comparer.

Les tensions appliquées étant de l'ordre du volt, je peux dire que la zone de fonctionnement linéaire est négligeable ce qui me permet de dire que l'A.O. est toujours saturé.

Lorsque $E^- < E^+$ $V_s = V_{alim}$
Lorsque $E^- > E^+$ $V_s = -V_{alim}$

Je peux donc dire que le passage de l'un des pôles saturé à l'autre se fera lorsque $E^- = E^+$



7. Page technique

V_{CC}^+ : tension d'alimentation positive
 V_{CC}^- : tension d'alimentation négative
 V_{io} : tension de décalage en entrée
 I_{cc} : courant d'alimentation
 P_D : puissance dissipée
 P_t : puissance totale dissipée par le boîtier à 25°C
 A_O : amplification différentielle de tension
 R_i : résistance d'entrée
 R_o : résistance de sortie
 I_{os} : courant de court-circuit en sortie
 SR : vitesse de variation de la tension de sortie
 B_t : bande passante à amplification unité

Type	V_{CC}^+ Max (V)	V_{CC}^- Min (V)	V_{io} Max (mV)	I_{cc} Typ (mA)	P_D Typ (mW)	P_t Max (mW)	A_o Min	A_o Typ X1000	R_i Min M Ω	R_i Typ M Ω	R_o Typ (Ω)	I_{os} Typ (mA)	SR Typ (V/us)
741C	18	-18	7,5	1,7	50	500	50	200	0,3	2	75	25	0,5
TL 081	18	-18	15	1,4		680	25	200		10 ⁶			13