Chapitre V: Amplificateur opérationnel

V.1. Définition :

Un **amplificateur opérationnel** (aussi dénommé **AOP**) est un amplificateur différentiel : c'est un amplificateur électronique qui amplifie une différence de potentiel électrique présente à ses entrées. Initialement, les AOP ont été conçus pour effectuer des opérations mathématiques dans les calculateurs analogiques : ils permettaient d'implémenter facilement les opérations mathématiques de base comme l'addition, la soustraction, l'intégration, la dérivation et d'autres. Par la suite, l'amplificateur opérationnel est utilisé dans bien d'autres applications comme la commande de moteurs, la régulation de tension, les sources de courants ou encore les oscillateurs. On le trouve communément sous la forme de circuit intégré.

V.2. SYMBOLE D'UN AOP

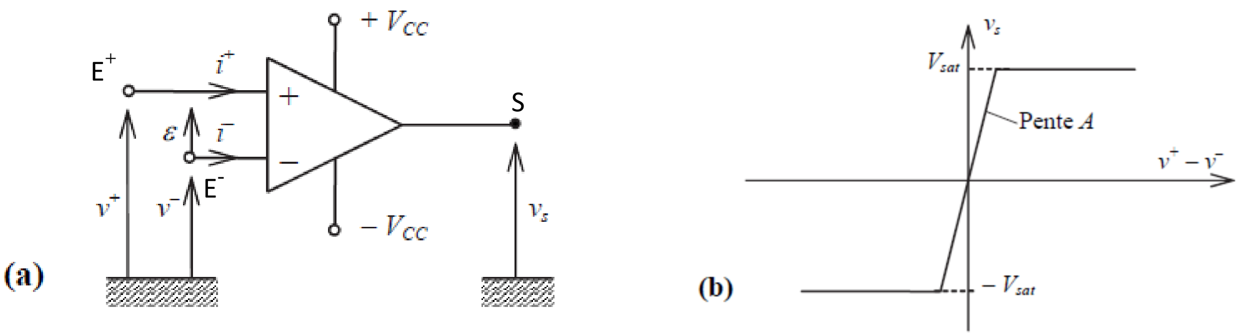


Figure V. 1 : Symbole de l'amplificateur opérationnel (a) et caractéristique de transfert

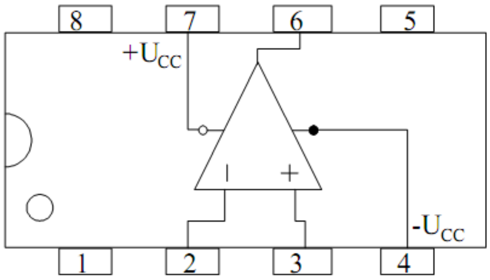
L'amplificateur opérationnel(ou amplificateur linéaire intégré: ALI) est un composant en technologie intégrée qui est prêt à être opérationnel, ce composant comporte:

- 2 broches d'alimentations +Vcc et -Vcc,
- 2 entrées dites différentielles: E^+ entrée non inverseuse et E^- entrée inverseuse,
- Une sortie S.

Le fonctionnement de l'amplificateur opérationnel impose une alimentation symétrique (deux sources de tension + Vcc et - Vcc, qu'on ne représente pas sur les schémas). On appelle tension différentielle (qu'on note ε), la ddp entre l'entrée v+ et v^- ($\varepsilon = v^+ - v^-$).

Un amplificateur opérationnel (A.O) est un circuit intégré (ou puce électronique) qui se présente sous la forme d'un petit boîtier noir comportant 8 "pattes" destinées aux branchements. On utilise seulement les "pattes" :

- 4 et 7 reliées à l'alimentation stabilisée
- 2 : entrée inverseuse E^-
- 3 : entrée non inverseuse E^+
- 6 : sortie S



V.3. Amplificateur opérationnel supposé parfait

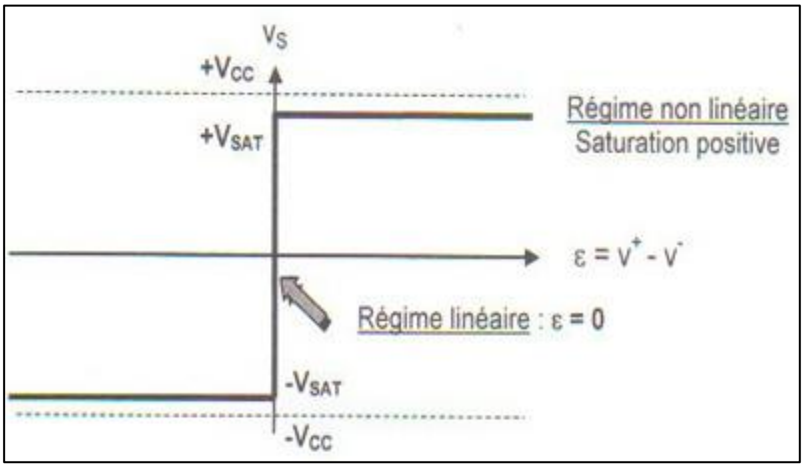


Figure V. 2 : Caractéristique de transfert idéale

V.3.1. Modèle équivalent en boucle ouverte (ou avec une réaction) : régime saturé

$$i+=i-=0$$

$$Vs = Vsat+ \quad \text{si } V^+ > V^-$$

$$Vs = Vsat- \quad \text{si } V^+ < V^-$$

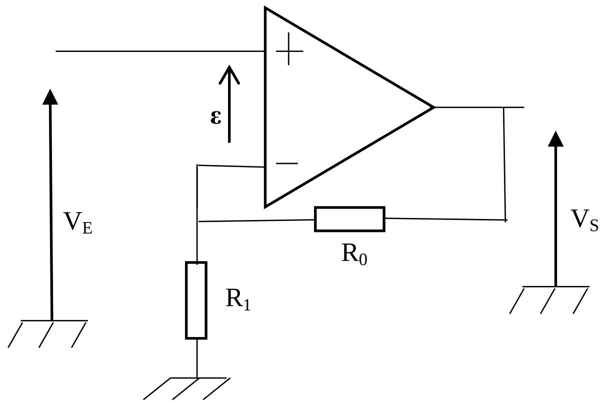
V.3.2. Modèle équivalent avec une contre réaction : régime linéaire

$$i+=i-=0$$

En régime linéaire : $\varepsilon = 0 \Longrightarrow V^+ = V^-$

V.4. Montages de base de l'amplificateur opérationnel en régime linéaire

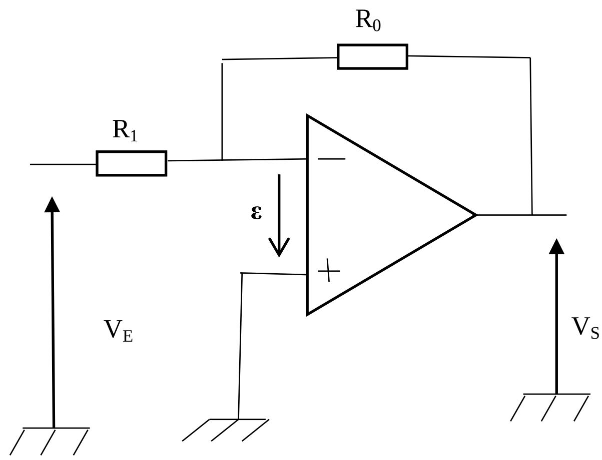
V.4.1. Montage non-inverseur



En régime linéaire ==> **ε** = 0 ==>V_E**=** $\mathbf{v^+} = \mathbf{v^-}$= V_{R1} en appliquant le principe de diviseur de tension on a : $V_E = V_S.R_1/(R_0+R_1)$ ce qui donne :

$$V_S = V_E \cdot \left(1 + \frac{R_0}{R_1}\right)$$

V.4.2. Montage inverseur



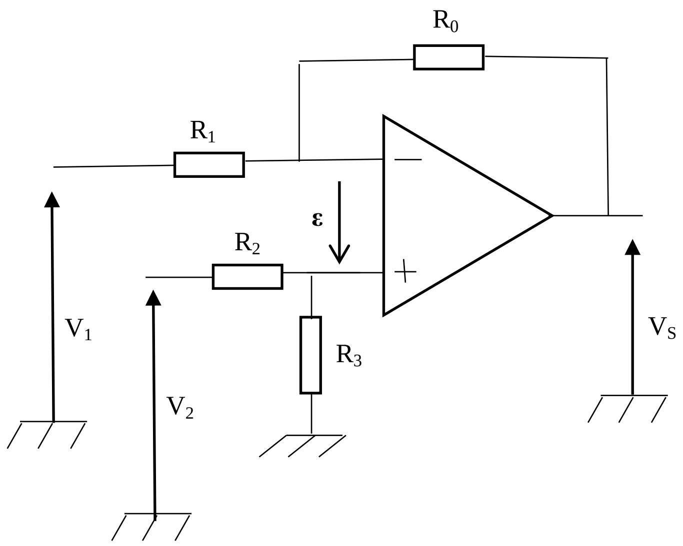
En régime linéaire ==> **ε** = 0. En appliquant le théorème de Millman on a :

$v^- = [V_E/R_1 + V_S/R_0]/(1/R_1+1/R_0)$ ce qui donne :

$$V_S = -V_E \cdot \left(\frac{R_0}{R1}\right)$$

Autre démonstration, On a : $V_E = R_1.I$, car le potentiel $v^- = 0$ V (car $v^+ = 0V$, et $\varepsilon = 0$ donc $v^+ = v^- = 0$ V) de même $V_s = -R_0.I$ ($i^- = 0$) ==> $V_S/V_E = -(R_0/R_1)$.

V.4.3. Amplificateur soustracteur

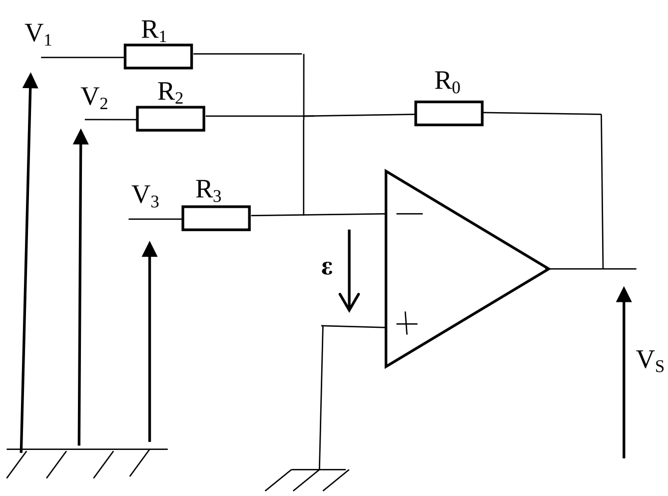


En régime linéaire **==>** $\boldsymbol{\varepsilon} = 0$ ==> $v^+ = v^-$ avec $v^+ = v^-$ et $V_{R3} = v^+ = v^-$. En appliquant le principe de diviseur de tension on a : $V_{R3} = V_2.R_3/(R_2 + R_3)$ et en appliquant le théorème de Millman on a : $v^- = [V_1/R_1 + V_S/R_0]/(1/R_1 + 1/R_0) = V_2.R_3/(R_2 + R_3)$ (car $V_{R3} = v^-$).

Si $R_1 = R_2$ et $R_0 = R_3$ on a :

$$V_S = \left(\frac{R_0}{R_1}\right)(V_2 - V_2)$$

V.4.4. Amplificateur sommateur inverseur



On a bien une contre réaction négative ==> ε = 0 et $v^+ = 0V$ ==> $v^- = 0V$

En appliquant le théorème de Millman on a :

$$v^- = [V_1/R_1+V_2/R_2+V_3/R_3+ Vs/R_0] / [1/R_0+1/R_1+1/R_2+ 1/R_3]= 0$$

Ce qui donne :

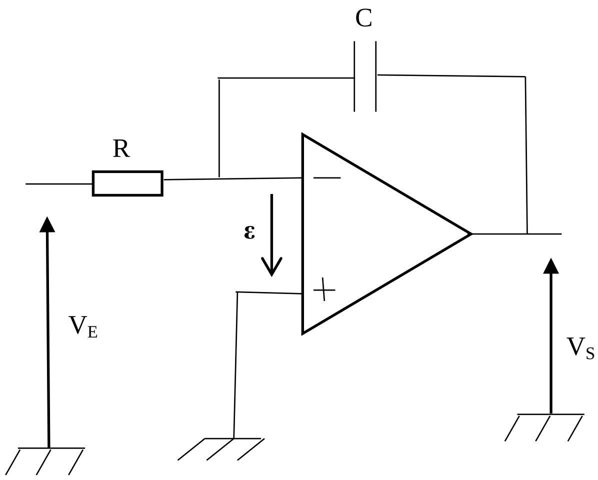
$$V_S = -R_0.\left(\frac{V_1}{R_1}+\frac{V_2}{R_2}\frac{V_3}{R_3}\right)$$

Et si on prend $R_0 = R_1=R_2=R_3$ on a :

$$V_S = - (V_1+V_2+ V_3)$$

On peut éliminer le signe - en ajoutant un étage inverseur à la sortie de l'amplificateur sommateur.

V.4.5. Montage intégrateur



On a bien une contre réaction négative ==> ε = 0 et $v^+ = 0V$ ==> $v^- = 0V$ et $i^+ = i^- = 0$.

Ce qui fait que la résistance et le condensateur C sont parcourus par le même courant i. En régime variable : on a $V_E(t)=R.i(t)$ et $i(t) = - C\ dVs /dt$ ==>$V_E(t)= -R.C\ dVs /dt$ ==> :

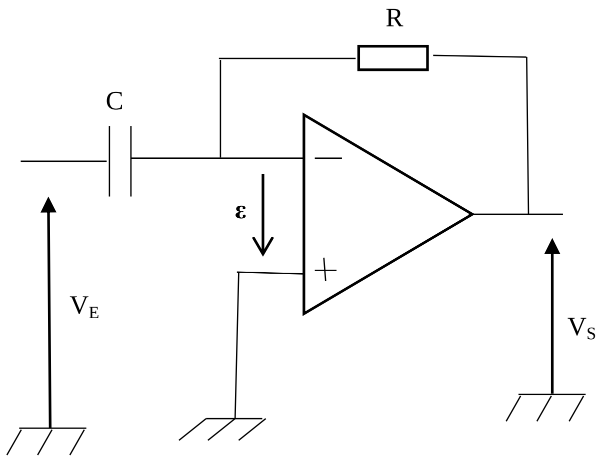
$$dVs / dt =-1/(R.C).\ V_E(t)$$

On constate que le condensateur est alimenté par le courant i^-, indépendant de C, le circuit réalise une intégration parfaite.

$$Vs(t) = -1/(R.C).\int VE(t).dt$$

V.4.6. Montage dérivateur

Le montage dérivateur est le même que celle du précédent sauf que l'emplacement de la résistance est inversé par celle du condensateur.



$$i = C\frac{dV_C}{dt} = C\frac{dV_E}{dt}$$

$$V_S = -Ri$$

$$V_S = -RC\frac{dV_E}{dt}$$

En haute fréquence la sortie du montage ne sera pas stable, il y aura des oscillations. Pour résoudre ce problème, on ajoute une résistance en série avec le condensateur, en pratique sa valeur doit être inférieure à R/10 qui limitera le gain aux fréquences élevées ainsi que les possibilités d'oscillation.