AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL (AO)
EN REGIME LINEAIRE

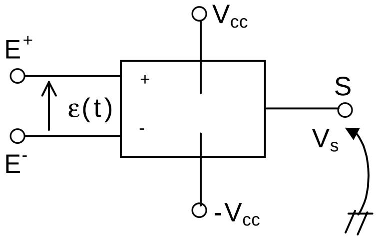
Plan *(Cliquer sur le titre pour accéder au paragraphe)*

****

****

I. Définitions : un AO est un tripôle, considéré comme une « boite noire », comportant deux entrées E^+ et E^-, et une sortie S.

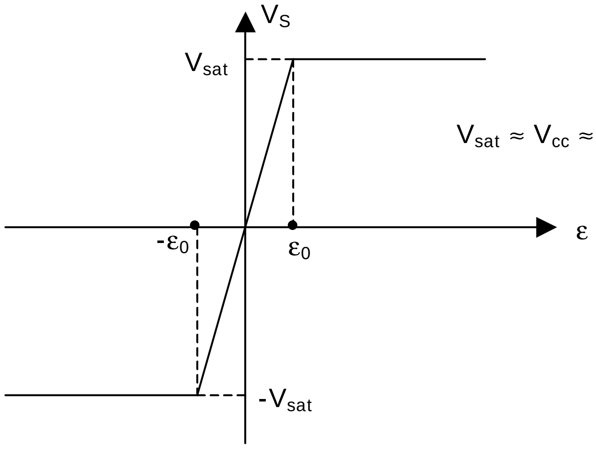
C'est un composant actif, nécessitant d'être alimenté par une alimentation continue, usuellement ± 15 V :



(V_{cc} = 15 V)

On pose usuellement : $\varepsilon(t) = e^+(t) - e^-(t)$, appelée tension différentielle d'entrée.

I.1. Caractéristique différentielle d'entrée.



 François MORAND

Cette caractéristique est valable en régime continu ou lentement variable.

Elle fait apparaître 2 modes de fonctionnement :

*Pour $|\varepsilon| < \varepsilon_0$: $\boxed{v_S(t) = \mu_0\, \varepsilon\, (t)}$

On dit que l'AO fonctionne alors en régime linéaire.

$\mu_0 \approx 10^5$ à 10^6 est le gain différentiel statique.

$$* \begin{cases} \text{Pour } \varepsilon > \varepsilon_0 \ : \ v_s(t) = V_{sat} \ , \ \forall\varepsilon \\ \text{Pour } \varepsilon < -\varepsilon_0 \ : \ v_s(t) = -V_{sat} \ , \ \forall\varepsilon \end{cases}$$

On dit que l'AO fonctionne alors en régime de saturation (haute ou basse).

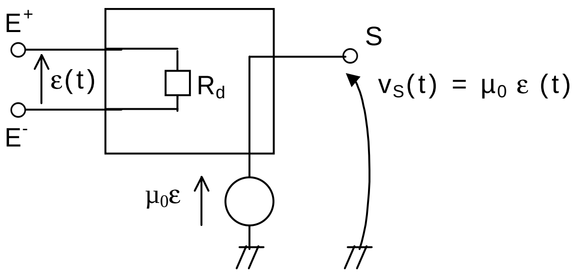
Nous n'étudierons dans ce chapitre que l'AO en régime linéaire.

Rem. : $e_0 = \dfrac{V_{sat}}{\mu_0} \approx 15$ mV est très faible. La moindre perturbation à l'entrée (bruit de fond ou rayonnement) fera saturer l'AO.

On en déduit qu'un AO « non bouclé » ne peut fonctionner en régime linéaire.

I.2. Schéma équivalent d'un AO en régime linéaire.

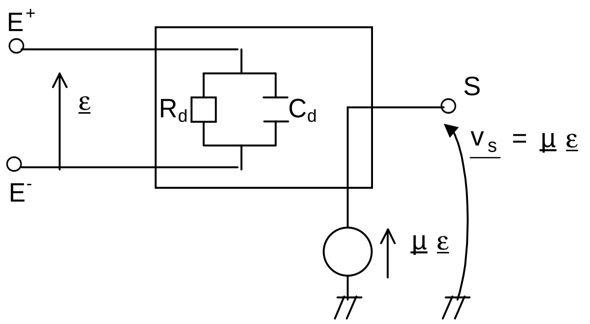
*Régime continu ou « basses fréquences » :



$R_d \approx 1$ à 10 M Ω.

On considérera presque toujours $R_d \to \infty$.

*Régime sinusoïdal « moyennes fréquences »



 François MORAND

On considère là aussi presque toujours $Z_d \to \infty$.

De plus $\underline{\mu}\,(j\omega) \approx \dfrac{\mu_0}{1 + j\dfrac{\omega}{\omega_0}}$ est le gain différentiel complexe (filtre passe-bas du 1^{er} ordre).

Usuellement : $\omega_0 \approx 10^{+2}s^{-1}$

Si $\omega << \omega_0$: $\underline{\mu} \approx \mu_0$ et on retrouve $V_S(t) = \mu_0\,\varepsilon(t)$.

Rem. : $\underline{v_s} = \dfrac{\mu_0}{1 + j\dfrac{\omega}{\omega_0}}\,\underline{\varepsilon}$

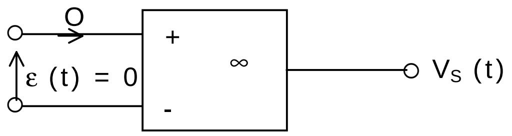
$$\Leftrightarrow \qquad \boxed{\tau \overset{o}{V}_s + v_s = \mu_0\,\varepsilon(t)} \qquad \left(\tau = \frac{1}{\omega_0}\right)$$

appelée équation différentielle caractéristique de l'AO.

I.3. Cas de l'AO idéal.

$Z_d \to \infty$

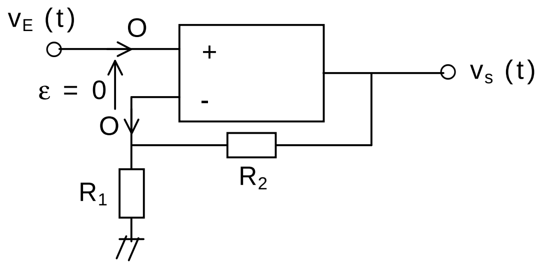
$|\underline{\mu}| \sim \mu_0 \to \infty$: $\underline{\varepsilon = 0\ (\varepsilon^+ = \varepsilon^-)}$



Rem. : il peut sembler a priori que l'on ne puisse considérer un AO idéal que si $\omega << \omega_0$, ce qui semble limiter l'intérêt de cette modélisation. En fait, le bouclage va « élargir la bande passante » (cf 6.2.i), et on peut usuellement considérer un AO comme idéal dans l'ensemble du spectre utilisé en TP (100 Hz → 100 kHz).

II. Les quatre montages de base.

II.1. Montage non-inverseur.



*AO idéal : $v_E(t) = e^+(t) = e^-(t) = \dfrac{R_1}{R_1+R_2}\, v_s(t)$

$$\Rightarrow \quad \boxed{v_s(t) = (1 + \underbrace{\frac{R_2}{R_1}}_{>0})\, v_E(t)}$$

(v_s et v_E sont en phase : montage « non inverseur »).

Validité : $|v_S| < V_{sat} \Rightarrow |V_E| < \dfrac{R_1}{R_1+R_2} V_{sat}$

*AO non idéal
$$\begin{cases} Z_d \to \infty \\ \underline{\mu}(j\omega) = \dfrac{\mu_0}{1 + j\dfrac{\omega}{\omega_0}} = \dfrac{\underline{V_s}}{\underline{\varepsilon}} \end{cases}$$

Ce modèle va nous permettre de montrer que l'AO, bouclé sur l'entrée E^-, fonctionne bien en régime linéaire, et que l'on peut alors le considérer comme idéal dans tout le domaine usuel de fréquences utilisées en TP. En effet :

$$\begin{cases} \underline{v_s} = \underline{\mu}\,\underline{\varepsilon} \\ \underline{\varepsilon} = \underline{v_E} - \dfrac{R_1}{R_1+R_2}\underline{V_s} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \quad \underline{v_s}\left(\frac{1}{\underline{\mu}} + \frac{R_1}{R_1+R_2}\right) = \underline{v_E}$$

$$\Rightarrow \quad \underline{H} = \frac{\underline{v_s}}{\underline{v_E}} = \frac{1}{\dfrac{1}{\underline{\mu}} + \dfrac{R_1}{R_1+R_2}} = \frac{\mu_0}{1 + j\dfrac{\omega}{\omega_0} + \mu_0\dfrac{R_1}{R_1+R_2}}$$

Soit $\boxed{\underline{H} = \dfrac{H_0}{1 + j\dfrac{\omega}{\omega_0}}}$, avec
$$\left| \begin{array}{l} H_0 = \dfrac{\mu_0}{1 + \mu_0\dfrac{R_1}{R_1+R_2}} \\ \omega_0' = \omega_0\left(1 + \mu_0\dfrac{R_1}{R_1+R_2}\right) \end{array}\right.$$

On en déduit :

*- ω_0' est le pôle négatif de H(p) : le régime libre est bien amorti, ce qui assure la stabilité d'un fonctionnement en régime linéaire (toute petite perturbation sur l'entrée est spontanément amortie).