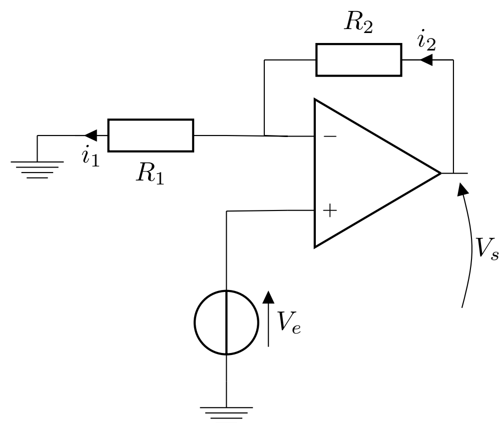
TD1 : L'amplificateur opérationnel

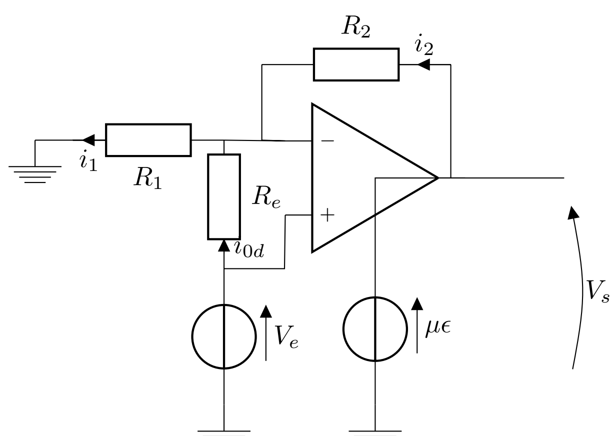
Exercice 1

Le but de ce TD est de valider les hypothèse $\mu \neq \infty$ et $R_e \neq \infty$ et $R_0 = 0$.
On considère le montage suivant :



On a un montage amplificateur non inverseur idéal. Donc $V_+ = V_- = V_e$. Et comme $i_1 = i_2$ on a $\frac{V_s}{V_e} = 1 + \frac{R_2}{R_1} = G_v$ gain du montage. Si $R_1 = R_2$ alors $G_v = 2$

Étude de l'AO non idéal tel que : $R_e \neq \infty$ et $\mu \neq \infty$.
Le montage devient alors :



La loi des noeuds en A donne : $i_1 = i_2 + i_{ed}$. Ceci nous donne donc :

$$\frac{V_e - \epsilon}{R_1} = \frac{V_s + \epsilon - V_e}{R_2} + \frac{\epsilon}{R_e} \tag{1}$$

$$V_e(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}) = \frac{V_s}{R_2} + \epsilon(\frac{1}{R_e} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}) \tag{2}$$

$$\text{or, } \epsilon = \frac{V_s}{\mu}, \text{ d'où :} \tag{3}$$

$$G'_v = \frac{V_s}{V_e} = \frac{\mu.R_e(R_1 + R_2)}{R_e(R_1\mu + R_1 + R_2) + R_1R_2} \tag{4}$$

Si on prend $R_1 = R_2 = 1K\Omega$, $R_e = 1M\Omega$ et $G'_v = 1.9999$.
En conclusion, l'influence de $\mu \neq \infty$ et $R_e \neq \infty$ est négligeable.

Influence de la dépendance du gain à la fréquence $R_e \to \infty$ et $u(p) = \frac{A_0}{1+\frac{p}{\omega_c}}$ avec $Z_0 = 10^6$ et $\frac{\omega_c}{2\pi}$.

On a d'après le calcul précédent et $R_e \to \infty$:

$$
\begin{aligned}
G''_v &= \frac{\mu(R_1+R_2)}{R_1\mu + R_1 + R_2} && (5)\\
&= \frac{1}{\frac{R_1}{R_1+R_2} + \frac{1}{\mu}} && (6)\\
&= \frac{1}{\beta + \frac{1}{\mu}} \qquad \text{avec } \beta = \frac{R_1}{R_1+R_2} = \frac{1}{G_v} && (7)\\
&= \frac{1}{\beta(1+\frac{1}{\mu\beta})} && (8)
\end{aligned}
$$

L'erreur relative est $\delta = \frac{v_s^{ideal} - v_s}{v_s}$.
Or, $\frac{v_e}{\beta} = G_v.v_e = v_s^{ideal}$
donc, $v_s(1+\frac{1}{\mu\beta}) = v_s^{ideal}$
d'où, $\delta = \frac{1}{\mu\beta}$

Mais que vaut G''_v en fonction de p ?

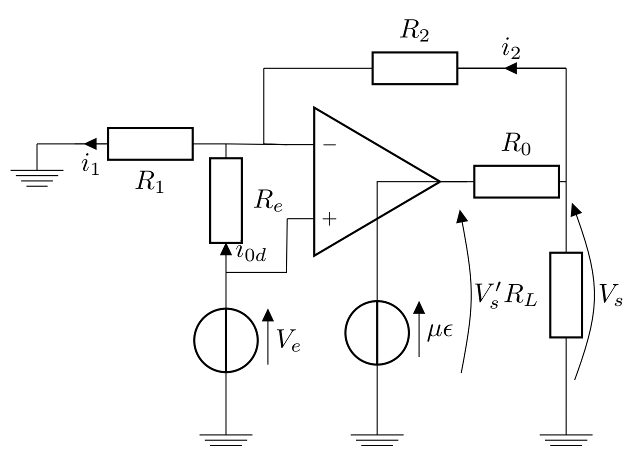
$$G''_v = \frac{1}{\beta\frac{\beta\mu}{\beta\mu+1}} = \frac{\frac{A_0}{1+\frac{p}{\omega_0}}}{\beta\frac{A_0}{1+\frac{p}{\omega_0}} + 1} = \frac{A_0}{\beta A_0 + 1 + \frac{p}{\omega_0}}$$

or, $\beta A_0 >> 1$ donc

$$G''_v \approx \frac{A_0}{A_0\beta + \frac{p}{\omega_0}} = \frac{1}{\beta}\frac{1}{1+\frac{p}{A_0\beta\omega_0}}$$

Le gain statique du montage quand $\omega \to 0$ est $\frac{1}{\beta} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$.
La fréquence de coupure a -3db du montage est $A_0\beta f_0$.
Le produit gain bande est $\frac{1}{\beta} * A_0\beta f_0$, donc plus le gain est élevé et plus la bande passante est faible.

Impédance de sortie non nulle On considère le montage suivant avec l'impédance de sortie R_0 non nulle :



Expressions de $G'''_v = \frac{V_s}{V_e}$
On applique la loi des nœuds en B

$$\begin{aligned}
\frac{v_A - v_S}{R_2} + \frac{v'_s - v_S}{R_0} &= \frac{v_S}{R_L} \\
\frac{v_A - v_S}{R_2} + \frac{v'_s - v_S}{R_0} &= v_P\left(\frac{1}{R_L} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_0}\right)
\end{aligned}$$

or, $v'_p = \mu\epsilon$, $v_A = v_e - \epsilon$, et $v_A = \frac{R_1}{R_1+R_2} v_S$

$$\begin{aligned}
& v'_p = \mu(v_e - \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_S) \\
& \frac{R_1}{R_2(R_1 + R_2)} V_S + \frac{\mu}{R_0}(v_e - \frac{R_1}{R_1 + R_2}) = v_S(\frac{1}{R_L} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_0}) \\
& \frac{\mu}{R_0} v_e = v_S(\frac{1}{R_L} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_0} + \frac{\mu R_1 R_2 - R_1 R_0}{R_0 R_2 (R_1 + R_2)}) \qquad \text{or } uR_2 >> R_0 \\
& G'''_v = \frac{V_s}{V_e} = \mu \frac{1}{\frac{R_0}{R_2} + \frac{R_0}{R_L} + \mu\beta}
\end{aligned}$$

Remarque : si $R_0 = 0$ on retrouve $G_v = \frac{1}{\beta}$.

Pour minimiser l'influence de R_0 sur le gain, il faut minimiser $\frac{R_0}{R_2} + \frac{R_0}{R_l}$ donc avoir $R_2 >> R_0$ et $R_L >> R_0$.