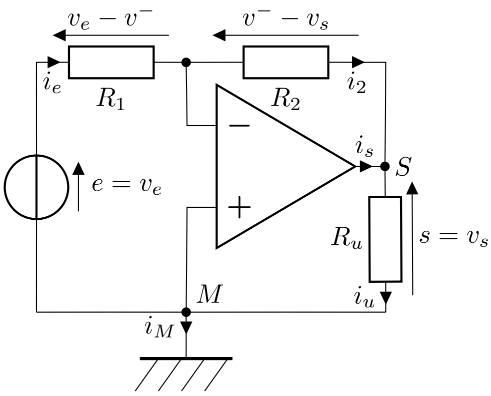
TD 8
Amplificateur linéaire intégré

Ex. 1 Courants dans un montage inverseur ✎

1) La présence d'une rétroaction sur la borne ⊖ suggère que l'ALI fonctionne en régime linéaire.

2) Ce montage est un montage inverseur.

3) On annote le schéma pour faire apparaître les tensions aux bornes des résistances en fonction des différences de potentielles et en utilisant : $e = v_e - 0 = v_e$ et $s = v_s - 0 = v_s$. Par ailleurs, la borne ⊕ est reliée à la masse donc $v^+ = 0$.



On exprime ensuite les courants en fonction des potentiels grâce à la loi d'ohm :

$$i_e = \frac{v_e - v^-}{R_1} \quad \text{et} \quad i_2 = \frac{v^- - v_s}{R_2} \tag{1}$$

On utilise les lois de l'AO idéal en régime linéaire : $i^+ = i^- = 0$ et $v^+ = v^-$. On en déduit que $v^- = 0$, ce qui permet de déterminer

$$i_e = \frac{v_e - 0}{R_1} = \frac{v_e}{R_1} = \frac{e}{R_1} \quad \text{et} \quad i_2 = \frac{0 - v_s}{R_2} = \frac{-v_s}{R_2} = -\frac{s}{R_2} \tag{2}$$

On applique alors la loi des nœuds sur l'entrée ⊖ :

$$i_e = i_2 \quad \Longrightarrow \quad \frac{e}{R_1} = \frac{-s}{R_2} \quad \Longrightarrow \quad s = -\frac{R_2}{R_1}e = -2{,}0\,\mathrm{V} \tag{3}$$

4) $i_e = \frac{e}{R_1} = 1{,}0\,\mathrm{mA}$; $i_2 = -\frac{s}{R_2} = 1{,}0\,\mathrm{mA}$ et $i_u = \frac{s}{R_u} = -5{,}0\,\mathrm{mA}$.

5) La différence entre i_2 et i_u s'explique par le courant i_s qui sort de l'ALI et provient de l'alimentation de l'ALI. On peut déterminer le courant qui sort de l'ALI à l'aide de la loi de nœuds au nœud S :

$$i_2 + i_s = i_u \quad \Longrightarrow \quad i_s = i_u - i_2 = -7{,}0\,\mathrm{mA}. \tag{4}$$

La différence entre i_e et i_u s'explique par le courant qui rejoint la masse (reliée à l'alimentation de l'ALI) et on peut déterminer ce courant à l'aide de la loi de nœuds au nœud M :

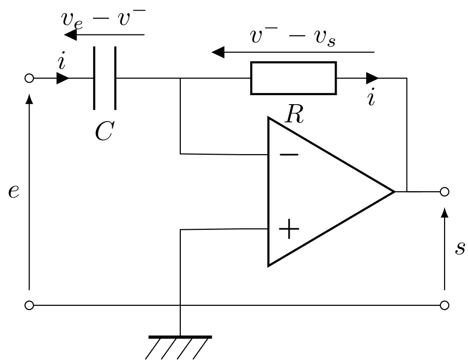
$$i_u = i_M + i_e \quad \Longrightarrow \quad i_M = i_u - i_e = -7{,}0\,\mathrm{mA}. \tag{5}$$

6) La puissance fournie par l'ALI vaut $\mathcal{P} = s \times i_s = 14\,\mathrm{mW}$ et provient de l'alimentation de l'ALI.

Ex. 2 Montage dérivateur ✎

1) La présence d'une rétroaction sur la borne ⊖ suggère que l'ALI fonctionne en régime linéaire.

2) On annote le schéma pour faire apparaître les tensions aux bornes des résistances en fonction des différences de potentiels et on exprime les courants en fonction des différences de potentiels à l'aide des relations caractéristiques des dipôles :



$$i = C\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}(v_e - v^-) \quad \text{et} \quad i = (v^- - v_s)/R\,, \tag{6}$$

De plus $v_e = e$, $v_s = s$ et $v^- = v^+ = 0$ car l'ALI est en fonctionnement linéaire et que la borne ⊕ est reliée à la masse. Finalement,

$$i = C\frac{\mathrm{d}e}{\mathrm{d}t} \quad \text{et} \quad i = -s/R\,, \tag{7}$$

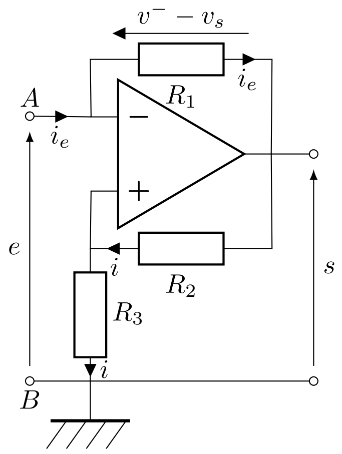
dont on déduit :

$$\boxed{s = -RC\frac{\mathrm{d}e}{\mathrm{d}t}}\,. \tag{8}$$

Ex. 3 Montage mystère ! ! ! ✪

1) La présence d'une rétroaction sur la borne ⊖ suggère que l'ALI fonctionne en régime linéaire. Cependant le montage présente aussi une rétroaction sur la borne ⊕, ce qui peut déstabiliser le montage. On supposera cependant que le fonctionnement est linéaire.

2) On annote le schéma en utilisant $i^+ = i^- = 0$ et les lois de nœuds aux entrée ⊕ et ⊖. On remarque d'une part que i_e se retrouve dans R_1 et, d'autre part que R_2 et R_3 sont parcourus par le même courant i. On remarque également que $v^- = v^+ = e$.



R_2 et R_3 sont parcourus par le même courant, ils sont donc en série et se partagent s. On peut utiliser le diviseur de tension et trouver :

$$v^+ = \frac{R_3}{R_2 + R_3} s \tag{9}$$

Par ailleurs, la loi d'ohm aux bornes de R_1 donne : $i_e = \dfrac{v^- - v_s}{R_1} = \dfrac{e - s}{R_1}$.

On utilise alors $v^+ = v^- = e$ pour obtenir le système :

$$\left\{ \begin{array}{rcrcll} (R_2 + R_3)\, e & - & R_3 s & = & 0 & (1) \\ e & - & s & = & R_1 i_e & (2) \end{array} \right. \tag{10}$$

On détermine la conductance d'entrée $R_e = \frac{e}{i_e}$ en éliminant s entre ces deux relations en calculant $(1) - R_3 \times (2)$ soit :

$$(R_2 + R_3)\, e - R_3 e = -R_1 R_3 i_e \quad \Longrightarrow \quad R_2 e = -R_1 R_3 i_e \quad \Longrightarrow \quad R_e = \frac{e}{i_e} = -\frac{R_1 R_3}{R_2}. \tag{11}$$

3) Le dipôle AB simule une « résistance négative », c'est-à-dire un générateur linéaire dont la caractéristique courant tension en convention récepteur est $i = e/R_e$ avec $R_e < 0$. La puissance électrique qu'il reçoit vaut $\mathcal{P} = e \times i = e^2/R_e$ est négative. Il fournit de l'énergie au reste du circuit. En pratique, cette énergie provient de l'alimentation de l'ALI.

Ce montage peut-être utiliser avec un circuit linéaire de second ordre amorti (RLC série par exemple) pour compenser exactement les pertes par effet joule dans la résistance et entretenir les oscillations propres du circuit. On obtient alors un générateur sinusoïdal.

Ex. 4 Montage sommateur ✪

1) La présence d'une rétroaction sur la borne ⊖ suggère que l'ALI fonctionne en régime linéaire.

2) L'ALI est supposé idéal et en fonctionnement linéaire. Il impose donc :

$$i^+ = i^- = 0 \quad \text{et} \quad v^+ = v^- . \tag{12}$$

On annote le schéma en introduisant le potentiel v^+ de l'entrée ⊕, le potentiel v^- de l'entrée ⊖ et le potentiel $v_s = s$ de la sortie S.

On écrit la loi des nœuds sur ⊖ en exploitant $i^- = 0$ pour déduire que le courant i est le même dans les résistances R_1 et R_2 et établir :

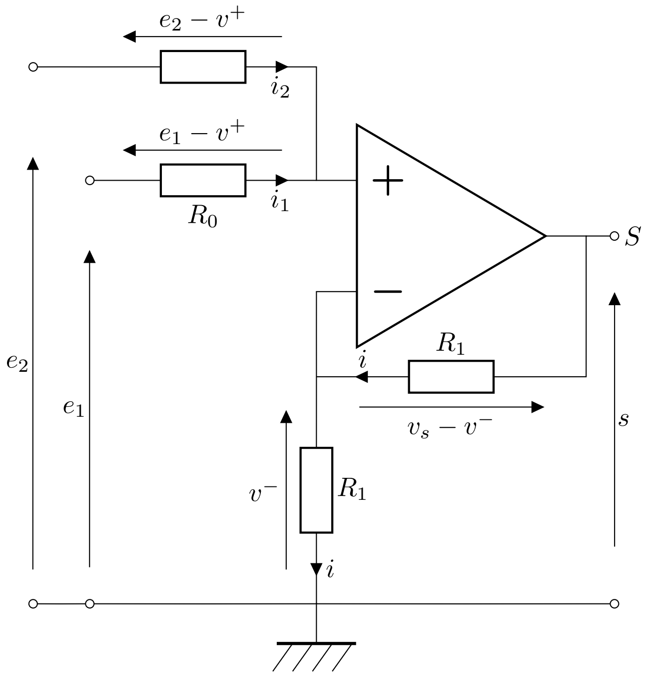
$$i = \frac{v^-}{R_1} = \frac{v_s - v^-}{R_2} \quad \Longrightarrow \quad 2v^- = v_s \quad \text{car } R_2 = R_1. \tag{13}$$

On écrit la loi des nœuds sur ⊕ en exploitant $i^+ = 0$ pour établir :

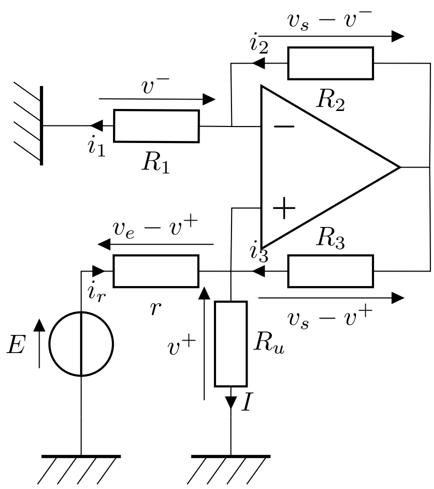
$$i_1 + i_2 = \frac{e_1 - v^+}{R_0} + \frac{e_2 - v^+}{R_0} = 0 \quad \Longrightarrow \quad 2v^+ = e_1 + e_2. \tag{14}$$

On exploite ensuite le fait que $v_s = s$ et que l'ALI en régime linéaire impose $v^+ = v^-$ pour obtenir :

$$\boxed{s = e_1 + e_2}. \tag{15}$$



Ex. 5 Source idéale de courant commandée en tension ✪



1) La présence d'une rétroaction sur la borne ⊖ suggère que l'ALI fonctionne en régime linéaire.

2) On annote le schéma pour faire apparaître les tensions aux bornes des résistances en fonction des différences de potentielles et on exprime les courants en fonction des différences de potentiel à l'aide de la loi d'ohm :

$$I = \frac{v^+}{R_u}\ ;\ i_r = \frac{v_e - v^+}{r}\ ;\ i_3 = \frac{v_s - v^+}{R_3}\ ;\ i_2 = \frac{v_s - v^-}{R_2}\ ;\ i_1 = \frac{v^-}{R_1} \tag{16}$$

On utilise les lois de l'AO idéal en régime linéaire : $i^+ = i^- = 0$ et on applique la loi des nœuds sur l'entrée ⊖ :

$$i_2 = i_1 \implies \frac{v_s - v^-}{R_2} = \frac{v^-}{R_1} \implies R_1 v_s - R_1 v^- = R_2 v^- \tag{17}$$

On retrouve $v^- = v_s \dfrac{R_1}{R_1 + R_2}$, que l'on aurait pu obtenir plus rapidement à l'aide du diviseur de tension.

On applique la loi des nœuds sur l'entrée ⊕ :

$$i_3 + i_r = I \implies \frac{v_s - v^+}{R_3} + \frac{v_e - v^+}{r} = \frac{v^+}{R_u} \implies rR_u v_s + R_3 R_u v_e = v^+ \left(rR_3 + rR_u + R_3 R_u\right) \tag{18}$$

Pour finir, on utilise $v^+ = v^-$ pour éliminer v^- et on aboutit au système suivant :

$$\left\{\begin{array}{rcrcrl} (R_1 + R_2)\, v^+ & - & R_1 v_s & = & 0 & (1) \\ (rR_3 + rR_u + R_3 R_u)\, v^+ & - & rR_u v_s & = & R_3 R_u v_e & (2) \end{array}\right. \tag{19}$$

Pour trouver $I = \frac{v^+}{R_u}$, on élimine v_s entre ces deux équations en calculant $R_1 \times (2) - rR_u \times (1)$:

$$\left(R_1 \left(rR_3 + rR_u + R_3 R_u\right) - rR_u \left(R_1 + R_2\right)\right) v^+ = R_1 R_3 R_u v_e \tag{20}$$

On simplifie alors et on introduit $I = \frac{v^+}{R_u}$ pour trouver : $I = \dfrac{R_1 R_3}{rR_1R_3 + R_1R_3R_u - rR_2R_u} v_e$.

3) Il suffit d'avoir $R_1R_3R_u - rR_2R_u = 0$ soit $R_1R_3 - rR_2$ pour obtenir $I = \dfrac{v_e}{r}$.

4) Le circuit permet alors d'obtenir un générateur idéal de courant de c.é.m $\eta = \frac{v_e}{r}$ entre l'entrée ⊕ et la masse.