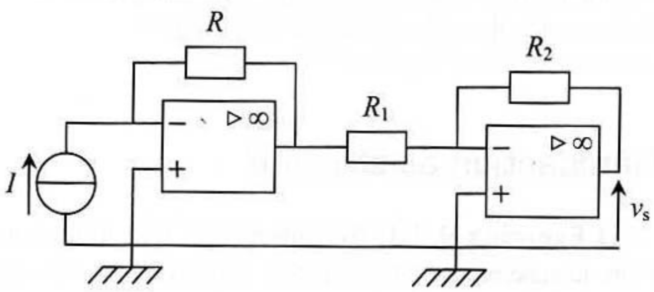
TD 9 – ALI : Amplificateur Linéaire Intégré

ou AO : « Amplificateur Opérationnel »

1. Convertisseur courant-tension

Déterminer v_s en fonction de I et des différentes résistances. Les AO sont supposés idéaux.



Les ALI sont en fonctionnement linéaire, car bouclés de S vers -.

<u>Premier étage</u> : On note u la tension en sortie de l'ALI.

Comme $i_{-}=0$, la tension aux bornes de R est RI (convention récepteur)

Une loi des mailles donne immédiatement $u=-RI$ car $\varepsilon=0$.

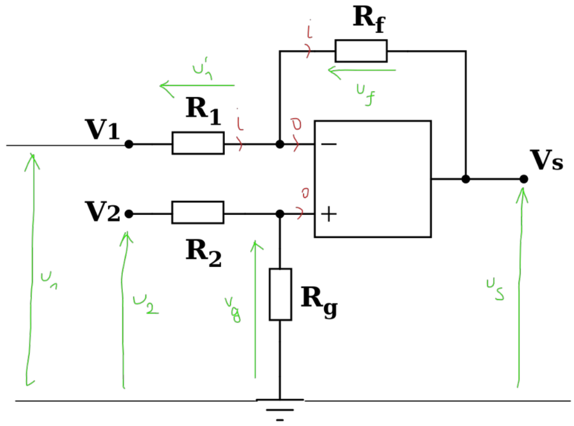
<u>Deuxième étage</u> : c'est un amplificateur inverseur, donc $v_S=-\dfrac{R_2}{R_1}u$

Finalement $v_S=+\dfrac{R R_2}{R_1}I$, d'où le nom du montage.

→ Raisonner par étages.

2. Que fait ce montage ?

On introduira les tensions $U_k = V_k - 0$ donc prises entre les points aux potentiels V_k et la Terre.



a) Trouver U_S en fonction des tensions d'entrée.

b) Répondre à la question du titre quand on choisit
$$\frac{R_f}{R_1} = \frac{R_g}{R_2}$$

c) Cas particulier quand ce rapport vaut l'unité.

a) + est un faux nœud : $U_g = \frac{R_g}{R_2 + R_g} U_2$ = maille avec U_2

Grande maille : $+U_S + U_f + U'_1 - U_1 = 0$

Maille avec U_S et U_g : $+U_S + U_f - U_g = 0$

Même courant dans R_1 et R_f : $i = \frac{U'_1}{R_1} = \frac{U_f}{R_f}$

On combine :

$$U_S = U_1 - (U_f + U'_1) = U_1 - U_f\left(1 + \frac{R_1}{R_f}\right) = U_1 - (U_g - U_S)\left(1 + \frac{R_1}{R_f}\right) = U_1 - \left(\frac{R_g}{R_2 + R_g} U_2 - U_S\right)\left(1 + \frac{R_1}{R_f}\right)$$

donc $U_S = U_1 - \frac{R_g}{R_2 + R_g}\left(1 + \frac{R_1}{R_f}\right) U_2 + U_S + U_S \frac{R_1}{R_f}$: $U_S \frac{R_1}{R_f} = -U_1 + \frac{R_g}{R_2 + R_g}\left(1 + \frac{R_1}{R_f}\right) U_2$ et finalement

$$U_S = -\frac{R_f}{R_1} U_1 + \frac{R_g}{R_2 + R_g}\left(\frac{R_f}{R_1} + 1\right) U_2$$

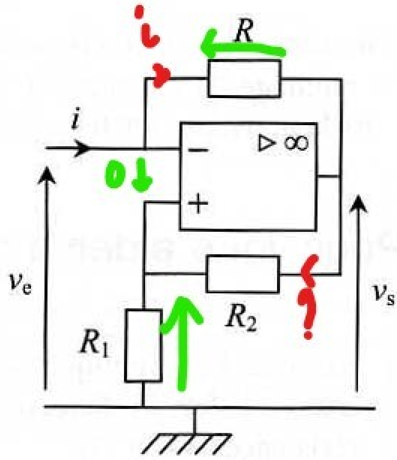
b) On pose $k = \frac{R_f}{R_1} = \frac{R_g}{R_2}$: $U_S = -k U_1 + \frac{\frac{R_g}{R_2}}{1 + \frac{R_g}{R_2}}(k+1) U_2 = -k U_1 + \frac{k}{1+k}(k+1) U_2$ donc

$$U_S = k(U_2 - U_1)$$

c) Montage soustracteur : la sortie est égale à la différence des tensions d'entrée : $U_S = U_2 - U_1$

3. Réalisation d'une résistance négative

On désire simuler une résistance négative de telle sorte que cette dernière puisse par exemple compenser les pertes joules d'une bobine réelle. On réalise donc à cet effet le montage ci-contre.



1. Dans le cas où l'amplificateur opérationnel fonctionne en régime linéaire, déterminer les relations donnant v_e en fonction de i, et v_s en fonction de i.
2. En déduire l'expression de la résistance négative $-R_n$ en fonction de R, R_1 et R_2, avec $R_n > 0$.
3. À quel intervalle doit appartenir le courant i pour que l'amplificateur fonctionne en régime linéaire ?
4. Refaire un schéma pour avoir un circuit LC série dont on pourrait, à l'aide de ce montage, compenser les pertes Joule de la bobine. La bobine sera représentée par une inductance parfaite en série avec une résistance r.

D'après Centrale-Supélec

1. $i_+=0$: le diviseur donne (éviter d'introduire les courants si ce n'est pas absolument nécessaire, et **surtout pas** i_S fourni par l'ALI, qui ne vérifie aucune loi) $u_1=\frac{R_1}{R_1+R_2}u_S$

La petite maille à gauche donne, en supposant l'ALI idéal linéaire, $\varepsilon=0$ soit $u_1=u_E$ $(u_E+\varepsilon-u_1=0)$

Maille sous l'ALI : à ne pas faire, car équivalente à l'utilisation du diviseur de tension

Grande maille : $+u_S+Ri-u_E=0$, on introduit i, étant donnée la question posée...

Combinaison des équations : $u_S=\frac{R_1+R_2}{R_1}u_E$: $\frac{R_1+R_2}{R_1}u_E+Ri-u_E=0$ $(\times R_1)$:

$R_2 u_E+R R_1 i=0$ donc $u_E=-\frac{R R_1}{R_2}i$

puis $u_S=\frac{R_1+R_2}{R_1}u_E=-\frac{R(R_1+R_2)}{R_2}i$

2. Montage équivalent vu de l'entrée à une résistance négative, puisqu'on trouve $u_E=-R_n i$ avec $R_n=\frac{R R_1}{R_2}>0$

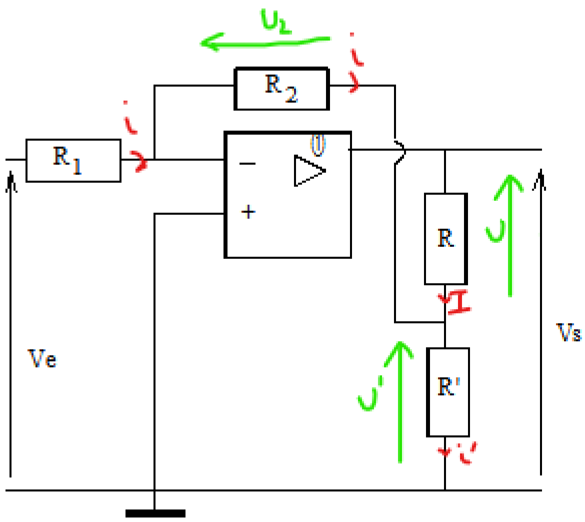
3. $V_{\text{sat,-}}<u_S<V_{\text{sat,+}}$ donc $-\frac{R_2}{R(R_1+R_2)}V_{\text{sat,+}}<i<-\frac{R_2}{R(R_1+R_2)}V_{\text{sat,-}}$

4. cf précédent TP (Transitoires : LC série), on choisit $R_n=r$ pour compenser la résistance interne de la bobine.

4. Amplificateur de fort gain

Calculer le gain $\frac{v_s}{v_e}$ du montage ci-contre où l'ALI est supposé idéal.

Application numérique pour : $R_1=4{,}7\,\mathrm{k}\Omega$; $R_2=47\,\mathrm{k}\Omega$; $R=10\,\mathrm{k}\Omega$; $R'=1\,\mathrm{k}\Omega$



1. On trouve facilement *i* : ALI idéal en régime linéaire donc ε nul, donc maille : $i=\frac{V_E}{R_1}$

2. On en déduit, puisque pas de courant entrant dans l'ALI : $u_2=R_2 i$

3. Maille : on en déduit $u'=-u_2=-R_2 i$ puisque ALI idéal en régime linéaire.

4. puis i' dans R' : $i'=\frac{u'}{R'}=-\frac{R_2}{R'}i=-\frac{R_2}{R_1 R'}V_E$

5. On en déduit *I* dans *R* : $I+i=i'$: $I=i'-i=-\left(\frac{R_2}{R_1 R'}+\frac{1}{R_1}\right)V_E$

6. puis la tension aux bornes de *R* : $u=RI=-\frac{R}{R_1}\left(\frac{R_2}{R'}+1\right)V_E$

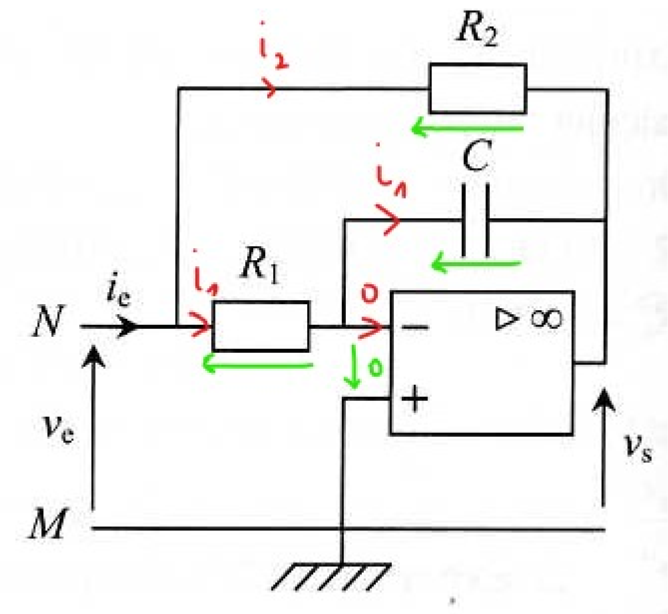
7. et finalement $V_S=u'+u$: $V_S=-\frac{R_2}{R_1}V_E-\frac{R}{R_1}\left(\frac{R_2}{R'}+1\right)V_E$ soit $V_S=-\frac{V_E}{R_1}\left[R_2+R\left(\frac{R_2}{R'}+1\right)\right]$

On ne peut pas appliquer de diviseur en sortie : l'ALI délivre i_S inconnu qu'il ne faut pas faire intervenir dans les équations (on peut le déterminer à la fin).

$\frac{R_2}{R'}+1=48$, donc $R_2+R\left(\frac{R_2}{R'}+1\right)=(480+47)\,\mathrm{k}\Omega=527\,\mathrm{k}\Omega$ et $V_S=-V_E\frac{527}{4{,}7}=-112\,V_E$

5. Simulation d'une bobine réelle

Le circuit suivant est équivalent, entre les bornes M et N, à une bobine idéale d'inductance L montée en parallèle avec une résistance r.



(a) Obtenir l'admittance $\underline{Y}$ d'une association $L // r$.

(b) En appliquant la loi des nœuds, déterminer l'admittance d'entrée (vue entre les points M et N) du montage $\underline{Y} = \dfrac{\underline{I_E}}{\underline{U_E}}$

(c) En déduire par identification L et r en fonction de R_1, R_2 et C .
AN pour $R_1 = 1\,\mathrm{k}\Omega$, $R_2 = 2\,\mathrm{k}\Omega$ et $C = 15\,\mu\mathrm{F}$.

(d) Les inductances usuelles (de TP) valent au plus quelques dixièmes de henry. Quel est l'intérêt d'un tel montage ?

(a) : $\underline{Y} = \dfrac{1}{r} + \dfrac{1}{j\omega L}$

(b) : L'énoncé demande donc d'exprimer $i_1 + i_2 = i_E$ en fonction de u_E seulement.

Maille à gauche, ALI idéal linéaire, loi d'Ohm : $i_1 = \dfrac{u_E}{R_1}$

Grande maille : $+u_S + R_2 i_2 - u_E = 0$

u_S est à éliminer ici :

Maille à droite (avec u_C et ε) : C impose de passer dans les complexes : $+\underline{u_S} + \underline{u_C} = 0$ et

$\underline{u_C} = \dfrac{1}{j\omega C}\underline{i_1}$: $\underline{u_S} = -\dfrac{1}{j\omega R_1 C}\underline{u_E}$ donc $\underline{i_2} = \dfrac{\underline{u_E} - \underline{u_S}}{R_2} = \dfrac{1}{R_2}\left(1 + \dfrac{1}{j\omega R_1 C}\right)\underline{u_E}$

On trouve $\underline{i_E} = \left(\dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2} + \dfrac{1}{j\omega R_1 R_2 C}\right)\underline{u_E}$

(c) : On identifie $\dfrac{1}{r} = \dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2}$: $r = 666\,\Omega$ et $L = R_1 R_2 C = 30\,\mathrm{H}$

(d) : à moins de contacter le CERN (accélérateur de particules), on ne peut pas obtenir une bobine d'inductance aussi élevée...

6. Que fait ce montage ?

a) Le courant est le même dans les 2 dipôles, car $i_- = 0$; et comme l'ALI fonctionne en mode linéaire puisqu'il y a bouclage de S sur -, on a $V_- = V_+$, nul ici.

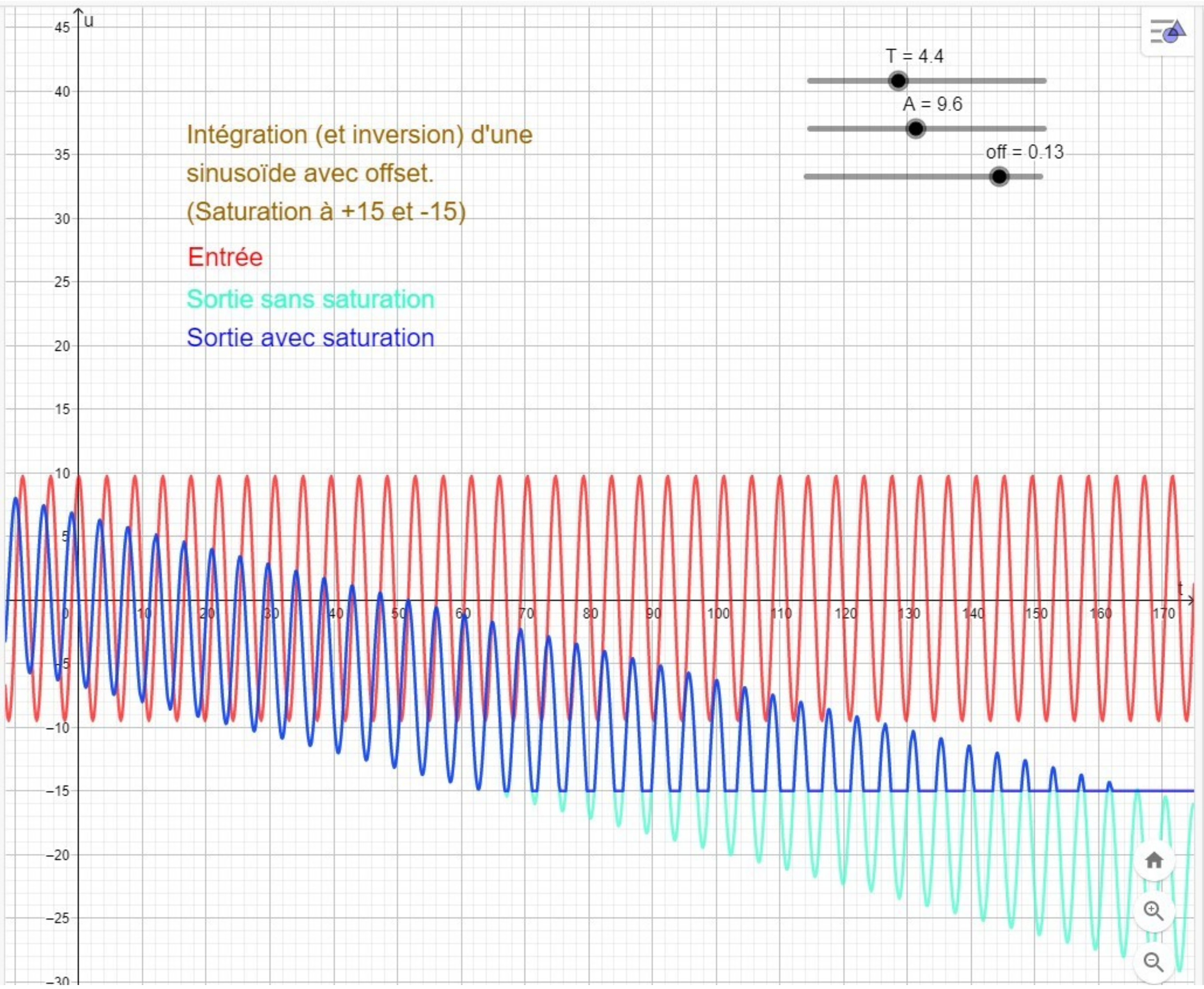
Donc $\frac{1}{R}(V_e - 0) = C\frac{d}{dt}(0 - V_S)$ donc $RC\frac{dV_S}{dt} = -V_e$

b) $\frac{1}{R}(V_e - 0) = j\omega C(0 - V_S)$: on utilise l'admittance de C et donc la loi d'Ohm généralisée. Donc $j\omega RC\,V_S = -V_e \Leftrightarrow RC\frac{dV_S}{dt} = -V_e$

c) On a donc $\tau\frac{dV_S}{dt} = -V_e$ donc $\tau[V_S(t)]_0^t = -\int_0^t V_e(t)dt$ soit

$V_S(t) = V_S(0) - \frac{1}{\tau}\int_0^t V_e(t)dt$: il s'agit donc d'un montage intégrateur inverseur.

d) Donc $V_e(t) = V_m\cos(\omega t + \varphi) + V_{\text{off}}$: l'intégrale de la sinusoïde donnera une sinusoïde, mais celle de l'offset est la valeur de la primitive de V_{off} donc de $V_{\text{off}}t$ qui tend vers $\pm\infty$ selon le signe de V_{off} .



Le montage n'est donc pas stable est saturera en sortie : la tension de sortie ne peut pas sortir de l'intervalle $[V_{\text{sat},-} ; V_{\text{sat},+}]$