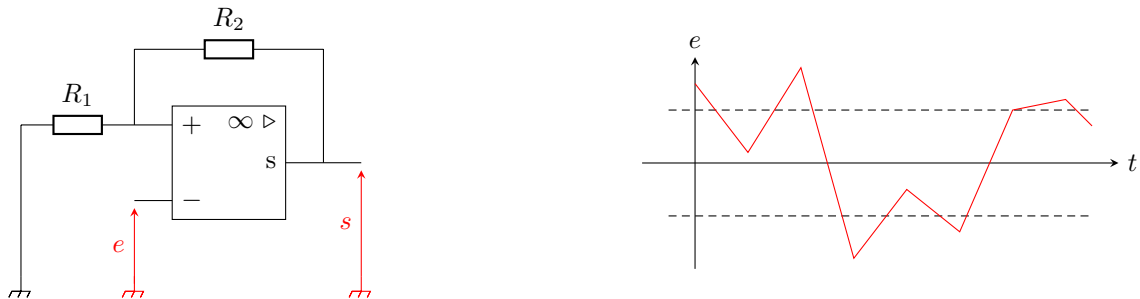


Amplificateur linéaire intégré

Question de cours

Établir le cycle du comparateur à hystérésis inverseur représenté et le tracer dans un diagramme $s-e$. Représenter le chronogramme $s(t)$ de la tension de sortie pour la tension d'entrée $e(t)$ représentée ci-dessous. Les pointillés indiquent les tensions de basculement.



Éléments de correction de l'exercice 0 :

▷ Calcul de ε :

$$\rightarrow \text{Diviseur de tension : } \frac{v_+}{s} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} ;$$

$$\rightarrow \varepsilon = \frac{R_1}{R_1 + R_2} s - e.$$

▷ Conditions de saturation :

$$\rightarrow \text{Pour avoir } s = +V_{\text{sat}} \text{ il faut } \varepsilon > 0 \text{ soit } e < \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{\text{sat}}.$$

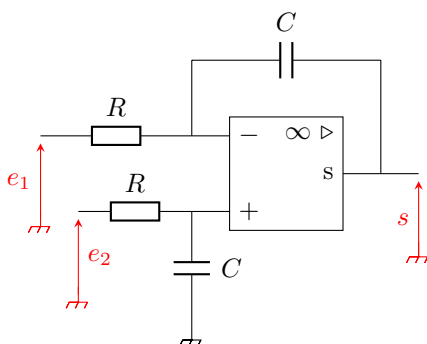
$$\rightarrow \text{Pour avoir } s = -V_{\text{sat}} \text{ il faut } \varepsilon < 0 \text{ soit } e > -\frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{\text{sat}}.$$

▷ On peut alors tracer les branches du cycle.

▷ Sens de parcours : on part de $s = +V_{\text{sat}}$, on voit jusqu'à quelle valeur de e cela est possible

→ parcours en sens horaire.

Exercice 1 : Montage à ALI



1 - En régime harmonique, exprimer la tension de sortie \underline{S} en fonction de \underline{E}_1 et \underline{E}_2 .

2 - Retranscrire cette relation dans le domaine temporel.

3 - À quoi ce montage sert-il ?

Éléments de correction de l'exercice 1 :

1 Pont diviseur dans la branche du haut : (R et C parcourus par le même courant car ALI idéal donc $i_- = 0$)

$$\frac{V_- - \underline{E}_1}{\underline{S} - \underline{E}_1} = \frac{R}{R + \frac{1}{jC\omega}} = \frac{jRC\omega}{1 + jRC\omega}$$

Idem dans la branche du bas :

$$\frac{\underline{V}_+}{\underline{E}_2} = \frac{1/jRC\omega}{R + 1/jC\omega} = \frac{1}{1 + jRC\omega}$$

Linéarité : $\underline{V}_+ = \underline{V}_-$ d'où

$$\begin{aligned}\underline{V}_- - \underline{E}_1 &= \frac{jRC\omega}{1 + jRC\omega} (\underline{S} - \underline{E}_1) \\ \frac{1}{1 + jRC\omega} \underline{E}_2 - \underline{E}_1 &= \frac{jRC\omega}{1 + jRC\omega} (\underline{S} - \underline{E}_1) \\ \underline{S} &= \underline{E}_1 + \frac{1}{jRC\omega} \underline{E}_2 - \frac{1 + jRC\omega}{jRC\omega} \underline{E}_1\end{aligned}$$

$$\underline{S} = \frac{1}{jRC\omega} (\underline{E}_2 - \underline{E}_1)$$

2

$$s(t) = \frac{1}{RC} \int (e_2 - e_1) dt$$

3 Intégrateur différentiel.

Amplificateur linéaire intégré

Question de cours

Rappeler la constitution du montage intégrateur à ALI et établir sa relation entrée-sortie.

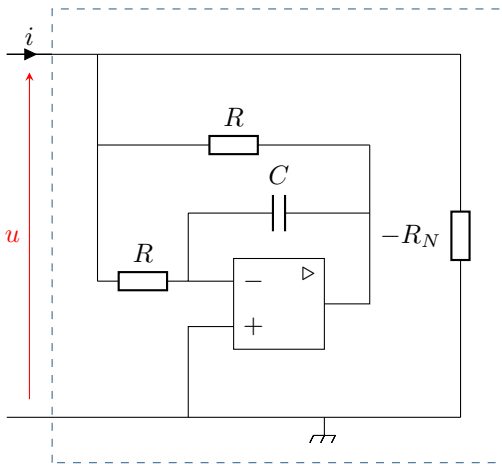
Éléments de correction de l'exercice 0 :

R entre l'entrée du montage et l'entrée $-$ de l'ALI, C entre l'entrée inverseuse et la sortie, entrée non-inverseuse à la masse.

$$\frac{s}{e} = -\frac{1}{jRC\omega}$$

C'est un intégrateur inverseur. Éventuellement questionner sur la dérive et le pseudo-intégrateur ?

Exercice 1 : Simulateur d'inductance



Les bobines sont des composants très utilisés en électronique de puissance, mais leur grande taille les rend peu pratiques à insérer dans des circuits intégrés. Ce n'est cependant pas un souci puisqu'elles peuvent être remplacées par des montages à ALI comme celui représenté ci-contre, beaucoup plus compact.

L'ALI est supposé idéal et fonctionnant en régime linéaire : on peut donc supposer le régime sinusoïdal forcé sans perte de généralité. Le dipôle « $-R_N$ » désigne l'impédance d'entrée d'un autre montage à ALI, dit à résistance négative, qui a exactement le même comportement qu'une résistance $-R_N < 0$.

Déterminer l'impédance d'entrée $Z = \underline{U}/\underline{I}$ du montage. En déduire la valeur à donner à R_N pour obtenir une inductance pure.

Éléments de correction de l'exercice 1 :

Loi des nœuds :

$$\underline{I} = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3$$

Lois de comportement :

$$\underline{I}_3 = -\frac{\underline{U}}{R_N} \quad \text{et} \quad \underline{I}_2 = \frac{\underline{U}}{R}$$

car $\underline{V}_+ = \underline{V}_- = 0$. Calculer \underline{I}_1 demande une loi des mailles en plus,

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{U} - \underline{V}_S}{R} \quad \text{avec} \quad \underline{V}_S = -\frac{1}{jC\omega} \underline{I}_2$$

la tension de sortie de l'ALI.

Au lieu d'introduire \underline{V}_S , on peut aussi passer par une loi des mailles dans les branches RC et R :

$$R\underline{I}_2 + \frac{1}{jC\omega} \underline{I}_2 = R\underline{I}_1$$

C'est même sans doute le plus malin car ça évite de faire intervenir une nouvelle inconnue.

Ainsi,

$$\underline{I} = \frac{2\underline{U}}{R} - \frac{\underline{U}}{R} - \frac{\underline{U}}{R_N} = \frac{2\underline{U}}{R} + \frac{1}{jRC\omega} \underline{I}_2 - \frac{\underline{U}}{R_N}$$

et donc

$$\underline{I} = \left(\frac{2}{R} + \frac{1}{jR^2C\omega} - \frac{1}{R_N} \right) \underline{U}$$

Pour une bobine idéale, on doit avoir

$$\underline{I} = \frac{1}{jL\omega} \underline{U}.$$

On a donc équivalence si $R_N = R/2$, sinon le montage est équivalent à une bobine idéale montée en parallèle d'une résistance telle que $1/r = 2/R - 1/R_N$.

Amplificateur linéaire intégré

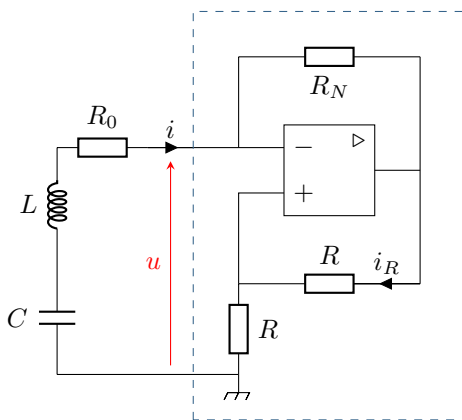
Question de cours

Rappeler la constitution du montage amplificateur non-inverseur à ALI et établir sa relation entrée-sortie.

Éléments de correction de l'exercice 0 :

R_1 entre masse et \ominus , R_2 entre \ominus et la sortie, e à \oplus . $\frac{s}{e} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$

Exercice 1 : Oscillateur à résistance négative



On s'intéresse dans un premier temps au montage à ALI encadré sur le schéma ci-contre, appelé montage à résistance négative. L'ALI est considéré comme idéal.

- 1 - Justifier que l'ALI peut fonctionner en régime linéaire. On admet ce fonctionnement par la suite.
- 2 - Déterminer l'impédance d'entrée $Z = u/i$ du montage. Justifier sa dénomination de « résistance négative ».
- 3 - Exprimer en fonction de i le courant i_R . D'où provient la différence et comment est-elle compensée ?

On considère maintenant le montage dans son ensemble.

- 4 - Établir l'équation différentielle vérifiée par i . Discuter les différentes solutions de cette équation et leur stabilité. Comment évolue l'amplitude des oscillations au cours du temps ?

Éléments de correction de l'exercice 1 :

- 1 Double bouclage sur + et - donc fonctionnement linéaire possible mais pas certain.
- 2 Potentiel de sortie de l'ALI exprimé à partir de la boucle de rétroaction négative :

$$v_s = u - R_N i$$

Potentiel de sortie de l'ALI avec la rétroaction positive : les deux résistances R forment un pont diviseur de tension, on peut donc introduire dans le calcul $v_+ = v_- = u$, soit

$$\frac{v_+}{v_s} = \frac{R}{R+R} \quad \text{soit} \quad v_s = 2v_+ = 2u$$

Et finalement

$$u - R_N i = 2u \quad \text{soit} \quad \boxed{u = -R_N i}$$

Comme l'impédance d'entrée est orientée en convention récepteur, on a bien équivalence avec une loi d'Ohm d'une résistance négative.

- 3 ALI idéal donc $i_- = i_+ = 0$. Loi d'Ohm sur la résistance R_N :

$$u - v_s = R_N i = R i_R \quad \text{d'où} \quad \boxed{i_R = \frac{R_N}{R} i.}$$

Différence provient du courant de sortie de l'ALI, qui est inconnu a priori (et qui n'a aucune raison d'être tout le temps nul, et ne peut même jamais l'être dans le montage). Comme le courant de sortie du montage à résistance négative est également i (évident vu le circuit complet), on en déduit qu'une partie du courant part dans le fil connecté à la masse. C'est une remarque très générale : le fait de placer la masse à un endroit du circuit a un effet sur

les tensions, mais aussi sur les intensités, la masse peut toujours « faire disparaître » ou « créer » un courant qu'on ne peut pas connaître a priori, et qui n'a aucune raison d'être nul.

4 Loi des mailles en convention récepteur pour tout le monde :

$$u + u_C + u_L + u_0 = 0$$

Tout le monde est parcouru par le même courant i , donc les lois de comportement donnent :

$$-R_N i + u_C + L \frac{di}{dt} + R_0 i = 0$$

Il faut dériver pour utiliser la loi de comportement du condensateur :

$$-R_N \frac{di}{dt} + \frac{i}{C} + L \frac{d^2 i}{dt^2} + R_0 \frac{di}{dt} = 0$$

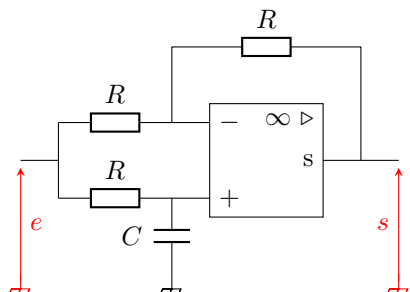
Soit en ordonnant les dérivées :

$$L \frac{d^2 i}{dt^2} + (R_0 - R_N) \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} i = 0$$

Discussion de stabilité des solutions en fonction du signe de $R_0 - R_N$. Dans le cas instable l'amplitude des oscillations finit par saturer lorsque $v_s = \pm V_{\text{sat}}$, et l'équation différentielle obtenue n'est plus valable car l'ALI passe en régime saturé. Le montage change donc de comportement.

Amplificateur linéaire intégré

Exercice 1 : Montage à ALI

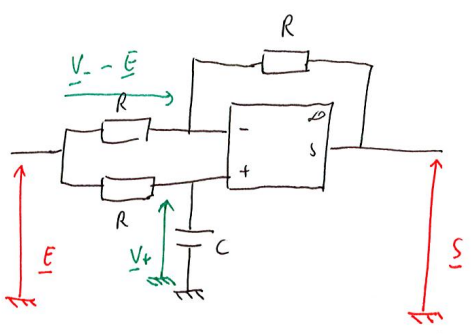


- 1 - Établir la fonction de transfert du montage ci-contre.
- 2 - Construire son diagramme de Bode en gain et en phase.
- 3 - À quoi sert ce montage ?

Éléments de correction de l'exercice 1 :

Non tapé

Acti en fct linéaire support.



Fct de transfert :

- Pont diviseur dans la branche "du haut" :

$$\frac{V_- - E}{S - E} = \frac{R}{R+R} = \frac{1}{2} \Rightarrow V_- - E = \frac{1}{2}(S - E)$$

$$V_- = \frac{1}{2}(S + E)$$

- Pont diviseur dans la branche "du bas" :

$$\frac{V_+}{E} = \frac{1/j\omega C}{R + 1/j\omega C} = \frac{1}{1 + j\omega RC}$$

- Linéarité : $V_+ = V_-$

$$\frac{1}{1 + j\omega RC} E = \frac{1}{2}(S + E)$$

$$\left(\frac{2}{1 + j\omega RC} - 1\right) E = S$$

$$S = \frac{1 - j\omega RC}{1 + j\omega RC} E$$

Diagramme de Bode :

$$H = \frac{S}{E} = \frac{1 - j\omega RC}{1 + j\omega RC}$$

$$|H| = \frac{|1 - j\omega RC|}{|1 + j\omega RC|} = 1 \quad (\text{plexes conjugués})$$

$$\Rightarrow \forall \omega, G_{dB}(\omega) = 0$$

$$\begin{aligned} \varphi = \text{Arg } H &= \text{Arg}(1 - j\omega RC) - \text{Arg}(1 + j\omega RC) \\ &= -\text{Arctan}(\omega RC) - \text{Arctan}(\omega RC) \\ &= -2 \text{Arctan}(\omega RC) \end{aligned}$$

$$\varphi \underset{\text{BPF}}{\sim} 0 \quad \text{et} \quad \varphi \underset{\text{HPF}}{\sim} -\pi$$

Utilisation : filtre "passif - pont déphaseur".

→ ne modifie pas l'amplitude mais déphase en fct de la fréq.

→ utilisé pour compenser un autre déphasage parasite, p.ex. celui induit par la propagation du signal sous forme d'onde (cf. PTSi chap. SP2).