



BLAISE PASCAL  
PT 2020-2021

TD 5 – Électronique

# ALI et rétroaction

- 💡 Difficulté d'analyse et compréhension, initiative requise ;
- ✂ Difficulté technique et calculatoire ;
- ⊗ Exercice important.

Flasher ce code pour  
accéder aux corrigés



## Questions de cours

**5.1** - Rappeler les hypothèses du modèle d'ALI idéal de gain infini. Représenter sa caractéristique statique. Rappeler les ordres de grandeur de  $V_{\text{sat}}$  (tension de saturation) et  $I_{\text{sat}}$  (courant de saturation). Expérimentalement, comment distinguer une saturation en tension d'une saturation en courant ? Dans le cas d'un montage suiveur débitant dans une résistance  $R_0$ , comment procéder expérimentalement pour observer une saturation en tension ? une saturation en courant ?

Une partie de cette question se rapporte au TP « Premiers montages à ALI ».

**5.2** - Établir la relation entrée-sortie du montage amplificateur non-inverseur OU amplificateur inverseur OU intégrateur idéal (c'est-à-dire sans résistance en parallèle du condensateur).

La connaissance des montages n'est officiellement pas exigible : même s'il serait préférable que les étudiants les (re)connaissent, ils pourront être rappelés par l'interrogateur si besoin.

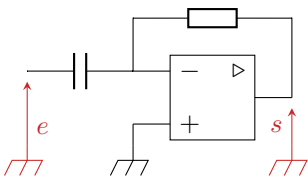
**5.3** - Établir et représenter le cycle du comparateur à hystérésis.

Idem sur la connaissance du montage. J'ai traité en cours le cas du non-inverseur (entrée du montage sur la résistance, entrée  $\ominus$  de l'ALI à la masse).

## Exercice 1 : Montage dérivateur

💡 1 | ✂ 1 | ⊗

- 📈 ▷ Montage simple à ALI ;
- 📈 ▷ Régime linéaire.

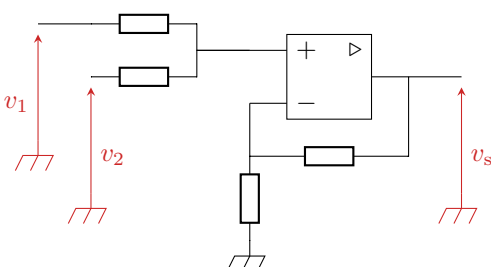


Établir la relation entrée-sortie du montage.

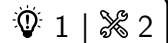
## Exercice 2 : Montage sommateur

💡 1 | ✂ 1 | ⊗

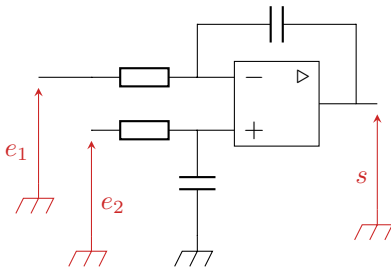
- 📈 ▷ Montage simple à ALI ;
- 📈 ▷ Régime linéaire.



Exprimer  $v_s$  en fonction de  $v_1$  et  $v_2$ . Les quatre résistances  $R$  sont identiques.

**Exercice 3 : Intégrateur différentiel**

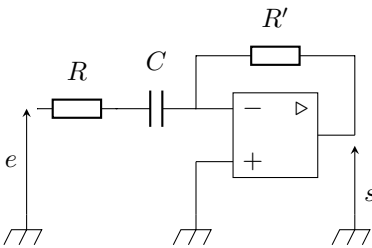
- ▷ Montage simple à ALI;
- ▷ Régime linéaire.



Exprimer dans le domaine fréquentiel puis temporel la relation entre la tension de sortie et les deux tensions d'entrée du montage. Les deux résistances  $R$  et les deux condensateurs  $C$  sont identiques.

**Exercice 4 : Filtre actif amplificateur**

- ▷ Montage simple à ALI;
- ▷ Régime linéaire et de saturation;
- ▷ Filtrage.



- 1 - Identifier sans calcul la nature du filtre ci-contre.
- 2 - Établir sa fonction de transfert sous forme canonique

$$H = \frac{H_0}{1 - j \frac{\omega_c}{\omega}}$$

- 3 - On souhaite une pulsation de coupure  $\omega_c = 1 \cdot 10^4 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$  et un gain de 20 dB en haute fréquence. Déterminer les valeurs à donner à  $R'$  et  $C$  pour  $R = 1 \text{ k}\Omega$ .

4 - Tracer le diagramme de Bode du filtre.

5 - On envoie en entrée du filtre une tension sinusoïdale  $e(t) = E_0 \cos(\omega t)$ . Donner l'allure de la tension de sortie et de son spectre dans les quatre cas suivants :

- ▷  $E_0 = 1 \text{ V}$  et  $\omega = 1 \cdot 10^2 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ ;
- ▷  $E_0 = 1 \text{ V}$  et  $\omega = 1 \cdot 10^5 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ ;
- ▷  $E_0 = 3 \text{ V}$  et  $\omega = 1 \cdot 10^2 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ ;
- ▷  $E_0 = 3 \text{ V}$  et  $\omega = 1 \cdot 10^5 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ .

**Exercice 5 : Comparateur à hystérésis inverseur décalé**

- ▷ Montage simple à ALI;
- ▷ Comparateur à hystérésis.

Étudions le montage de la figure 1 pour  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 2 \text{ k}\Omega$  et  $V_0 = 6 \text{ V}$ .

- 1 - Exprimer le potentiel  $V_+$  de l'entrée non inverseuse en fonction de  $V_0$ ,  $V_s$  et  $\beta = R_1/(R_1 + R_2)$ .
- 2 - Justifier que l'ALI fonctionne en régime saturé et déterminer les tensions de basculement entre les états de saturation haute et basse.
- 3 - Représenter graphiquement  $V_s$  en fonction de  $V_e$ . Expliquer le nom donné au montage.
- 4 - Le chronogramme de la tension d'entrée du montage est représenté figure 2. Tracer celui de la tension de sortie.

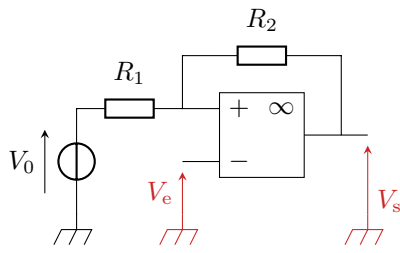


Figure 1 – Schéma du montage.

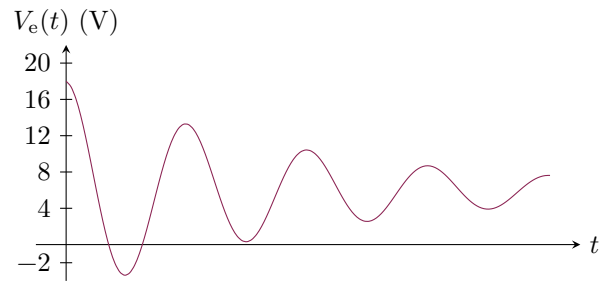
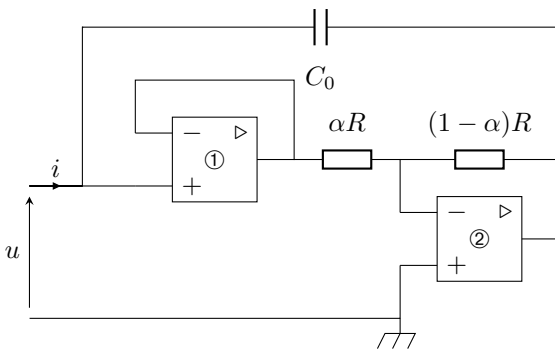


Figure 2 – Tension d'entrée du montage.

**Exercice 6 : Capacité réglable**

💡 2 | ✂ 1

- ▷ Montage à plusieurs blocs ;
- ▷ Impédance d'entrée ;
- ▷ Régime linéaire.

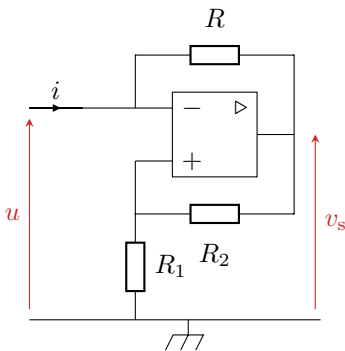


Les deux ALI du montage ci-contre fonctionnent en régime linéaire. Montrer que ce montage équivaut à un condensateur de capacité  $C$  que l'on exprimera en fonction de  $C_0$  et  $\alpha$ . Quel est son intérêt ?

**Exercice 7 : Résistance négative**

💡 2 | ✂ 2 | ⚙

- ▷ Montage simple à ALI ;
- ▷ Impédance d'entrée ;
- ▷ Régime linéaire et de saturation.



1 - Peut-on anticiper simplement le régime de fonctionnement de l'ALI? Sans faire d'hypothèse, exprimer les potentiels  $v^+$  et  $v^-$  en fonction de  $i$  et  $v_s$ .

2 - En régime linéaire, en déduire une relation entre  $u$  et  $i$ . Justifier de manière rigoureuse que ce montage se comporte alors comme un dipôle de résistance  $R_N < 0$  à exprimer en fonction de  $R_1$ ,  $R_2$  et/ou  $R$ .

3 - A quelle condition l'ALI bascule-t-il en régime de saturation à  $+V_{sat}$ ? Quelle est alors la relation entre  $u$  et  $i$ ? Déterminer le domaine de tension  $u$  puis de courant  $i$  pour lequel ce régime est atteint.

4 - Reprendre la question pour le régime de saturation à  $-V_{sat}$ .

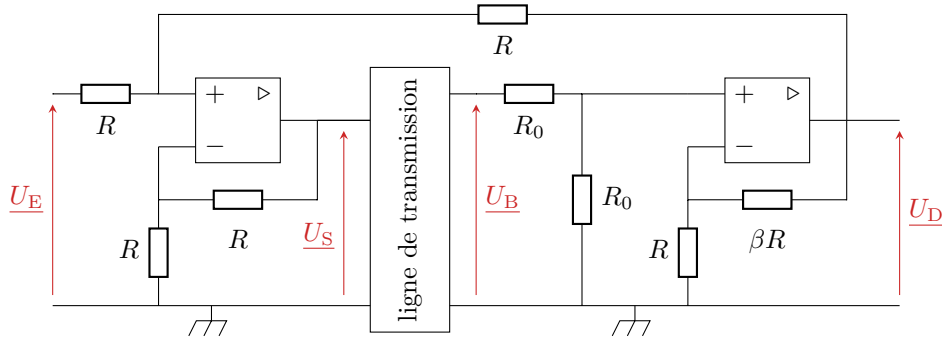
5 - Tracer la caractéristique statique  $u$  en fonction de  $i$  en précisant les zones correspondant au fonctionnement en régime linéaire, en saturation positive et négative.

**Exercice 8 : Filtre en peigne de fréquence**

oral banque PT | 💡 2 | ✂️ 2

- Montage à plusieurs blocs ;
- Régime linéaire ;
- Filtrage.

On s'intéresse au montage de la figure 3. Les deux ALI fonctionnent en régime linéaire et on suppose  $0 < \beta < 1$ .



**Figure 3 – Schéma du filtre en peigne de fréquence.**

1 - La fonction de transfert de la ligne de transmission est de la forme

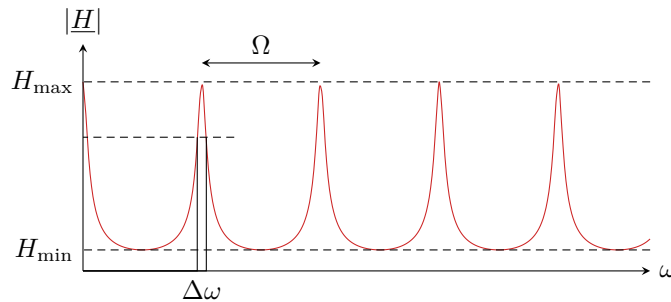
$$H_L(j\omega) = \frac{U_B}{U_S} = e^{-j\omega\tau},$$

où  $\tau$  est une constante caractéristique de la ligne. Quel est le phénomène physique qui justifie d'écrire cette fonction de transfert sous cette forme ?

2 - Exprimer  $H_B(j\omega) = U_D/U_B$  en fonction de  $\alpha = (1 + \beta)/2$ .

3 - Déterminer  $H(j\omega) = U_S/U_E$ .

4 - La figure 4 représente  $|H(j\omega)|$ . Déterminer les grandeurs définies sur la figure :  $H_{\max}$ ,  $H_{\min}$ ,  $\Omega$  et la largeur  $\Delta\omega$  de la bande passante à  $-3\text{ dB}$ .



**Figure 4 – Fonction de transfert du filtre en peigne de fréquence.**

5 - On envoie en entrée du filtre un signal s'écrivant comme la somme :

- d'un signal d'intérêt  $u_0$  tel que  $\forall t, u_0(t + T) = u_0(t)$  ;
- d'un bruit modélisé par un ensemble de signaux sinusoïdaux  $v_i$  de fréquence  $f_i \neq 1/T$ .

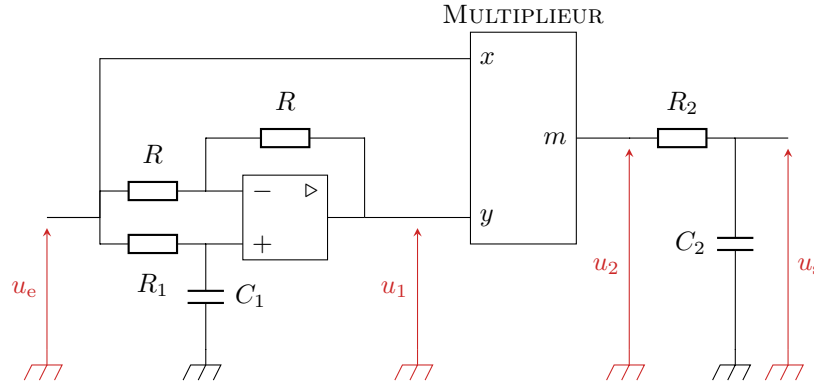
Comment choisir  $\tau$  pour éliminer le bruit ?

**Exercice 9 : Démodulateur à déphasage**

oral banque PT | 💡 3 | ✂️ 2

- ▷ Montage à plusieurs blocs ;
- ▷ Régime linéaire ;
- ▷ Filtrage.

Considérons le montage figure 5. Le potentiel de sortie du multiplieur est relié aux potentiels de ses entrées par  $v_m = K v_x v_y$ , où  $K$  est une constante positive s'exprimant en  $V^{-1}$ . L'impédance des entrées  $x$  et  $y$  est infinie.



**Figure 5 – Démodulateur à déphasage.**

- 1 - Rappeler les spécificités d'un ALI idéal. Quel est le mode de fonctionnement de l'ALI présent dans le système ?
- 2 - Déterminer  $H_1 = \underline{U}_1 / \underline{U}_e$ , exprimer son module et son argument.
- 3 - Déterminer la pulsation  $\omega_0$  telle que pour une entrée  $u_e(t) = A \cos(\omega_0 t)$  on ait

$$u_1(t) = A \cos\left(\omega_0 t - \frac{\pi}{2}\right).$$

- 4 - Calculer  $u_2(t)$  pour  $u_e(t) = A \cos(\omega t)$  avec  $\omega$  quelconque. Que dire si  $\omega = \omega_0$  ?

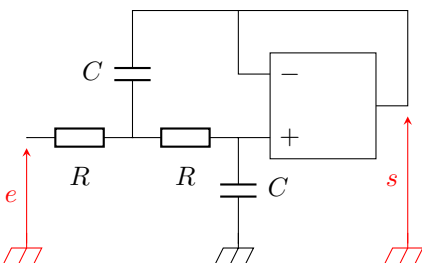
**Question posée oralement pour guider le candidat :** Quelle est la différence entre  $v_x(t) \times v_y(t)$  et  $\underline{V}_x \times \underline{V}_y$  ?

- 5 - Calculer  $u_s(t)$  pour  $\omega = \omega_0$ . Comment choisir  $C_2$  pour que  $u_s$  soit « constante » ?
- 6 - Calculer  $u_s$  pour  $u_e = A \cos((\omega_0 + \Delta\omega)t)$  avec  $\Delta\omega \ll \omega_0$ . Comment en déduire  $\Delta\omega$  ?

**Exercice 10 : Filtre de Sallen-Key**

oral banque PT | 💡 3 | ✂️ 3

- ▷ Régime linéaire ;
- ▷ Filtrage.



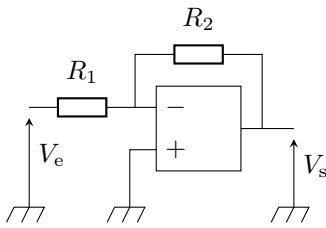
On suppose que l'ALI du montage ci-contre fonctionne en régime linéaire.

- 1 - Identifier la nature du filtre.
- 2 - Établir sa fonction de transfert. Identifier une pulsation caractéristique  $\omega_0$ .
- 3 - Représenter son diagramme de Bode en gain.
- 4 - Discuter l'allure du signal de sortie pour un créneau en entrée.

**Exercice 11 : Amplificateur inverseur, modèle du premier ordre** oral banque PT | 💡 3 | ✂️ 3


▷ Régime linéaire ;

▷ Modèle du premier ordre.



Considérons le montage ci-contre, en supposant l'ALI est idéal.

1 - Exprimer sa fonction de transfert  $\underline{H} = \underline{V_s}/\underline{V_e}$  et son impédance d'entrée.

On suppose maintenant que l'ALI se comporte comme un filtre passe-bas du premier ordre avec une pulsation de coupure  $\omega_c = 20 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ . Sa fonction de transfert s'écrit

$$\underline{\mu} = \frac{\underline{V_s}}{\underline{\varepsilon}} = \frac{\underline{V_s}}{\underline{V_{\oplus}} - \underline{V_{\ominus}}} = \frac{\mu_0}{1 + j \frac{\omega}{\omega_c}}.$$

2 - Rappeler l'ordre de grandeur de  $\mu_0$ . Commenter celui de  $\omega_c$  : est-il adapté à un usage en électronique ?

3 - Établir la fonction de transfert du montage en fonctionnement linéaire et l'écrire sous la forme

$$\underline{H}' = \frac{\underline{H}_0}{1 + j \frac{\omega}{\omega'_c}}.$$

Exprimer  $\underline{H}_0$  et  $\omega'_c$  en fonction des données.

4 - Quel est l'impact de la rétroaction sur le gain ? Sur la bande passante ? Commenter.