



BLAISE PASCAL
PT 2021-2022

TD 3 – Électronique

Amplificateur linéaire intégré

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

Flasher ce code pour
accéder aux corrigés



Questions de cours

Seuls les étudiants du groupe de TD PT* seront interrogés en colle sur les questions marquées d'une étoile, car elles sont plus techniques et/ou moins essentielles ... mais tous les étudiants sont bien sûr invités à les travailler !

(★) **3.1** - Rappeler les hypothèses du modèle d'ALI idéal de gain infini. Représenter sa caractéristique statique. Rappeler les ordres de grandeur de V_{sat} (tension de saturation) et I_{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 « Découverte des ALI ».

3.2 - 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 pas exigible : même s'il serait préférable que les étudiants les (re)connaissent, ils pourront être rappelés par l'interrogateur si besoin.

3.3 - Établir et représenter le cycle du comparateur à hystérésis.

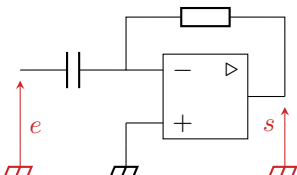
Idem sur la connaissance du montage. J'ai traité en cours le cas du non-inverseur (entrée du montage sur la résistance, entrée \ominus de l'ALI à la masse).

Montages simples

Exercice 1 : Montage dérivateur

💡 1 | ✂ 1 | ⊗

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

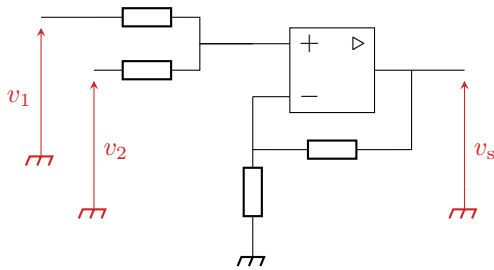


Établir la relation entrée-sortie du montage.

Exercice 2 : Montage sommateur

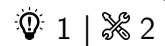


- ▷ Montage simple à ALI;
- ▷ Régime linéaire.

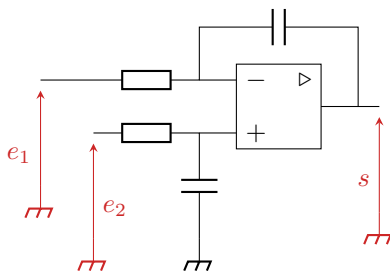


Exprimer v_s en fonction de v_1 et v_2 . Les quatre résistances R sont identiques.

Exercice 3 : Intégrateur différentiel



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

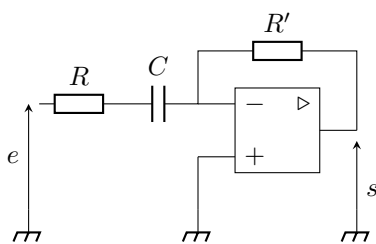


Exprimer dans le domaine fréquentiel puis temporel la relation entre la tension de sortie et les deux tensions d'entrée du montage. Les deux résistances R et les deux condensateurs C sont identiques.

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

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.

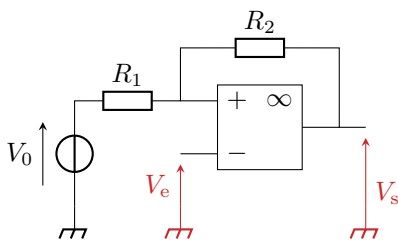


Figure 1 – Schéma du montage.

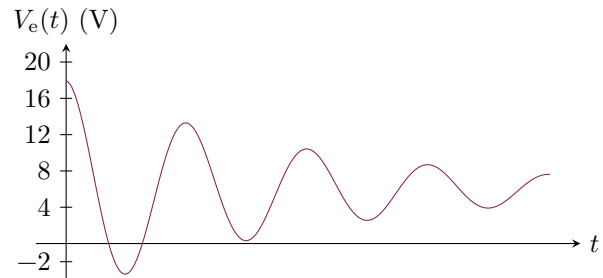


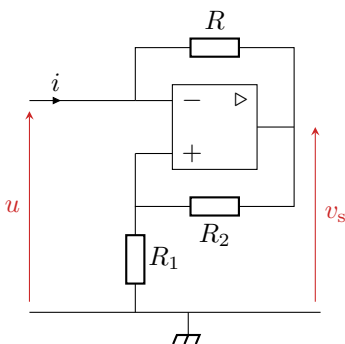
Figure 2 – Tension d'entrée du montage.

Impédance d'entrée, simulation de dipôles

Exercice 6 : Résistance négative



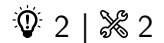
- ▷ Montage simple à ALI;
- ▷ Impédance d'entrée;
- ▷ Régime linéaire et de saturation.



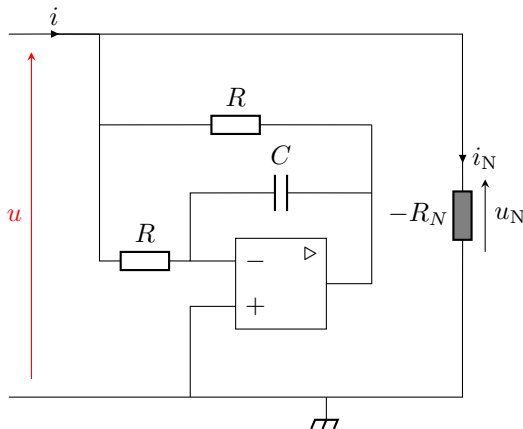
- 1 - Peut-on anticiper simplement le régime de fonctionnement de l'ALI? Sans faire d'hypothèse, exprimer les potentiels v^+ et v^- en fonction de i et v_s .
- 2 - En régime linéaire, en déduire une relation entre u et i . Justifier de manière rigoureuse que ce montage se comporte alors comme un dipôle de résistance $R_N < 0$ à exprimer en fonction de R_1 , R_2 et R .
- 3 - A quelle condition l'ALI quitte-t-il le régime linéaire pour basculer en saturation haute? Déterminer le domaine de courant i pour lequel ce régime est atteint. Le montage a-t-il un comportement d'hystérésis?
- 4 - Reprendre la question pour le régime de saturation basse.

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. Donner les équations de chaque portion de la caractéristique.

Exercice 7 : Simulateur d'inductance



- ▷ Impédance d'entrée;
- ▷ Régime linéaire.



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 fonctionne en régime linéaire. Le dipôle « $-R_N$ » désigne l'impédance d'entrée d'un autre montage à ALI, dit à résistance négative, dont la loi de comportement s'écrit $u_N = -R_N i_N$.

- 1 - Déterminer l'impédance d'entrée Z du montage. Il pourra être plus simple de déterminer d'abord l'admittance $Y = 1/Z$.
- 2 - En déduire la valeur à donner à R_N pour que le montage soit équivalent à une inductance pure, et en déduire $L_{\text{éq}}$.

D'autres montages plus élaborés

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 $0 < \beta < 1$.

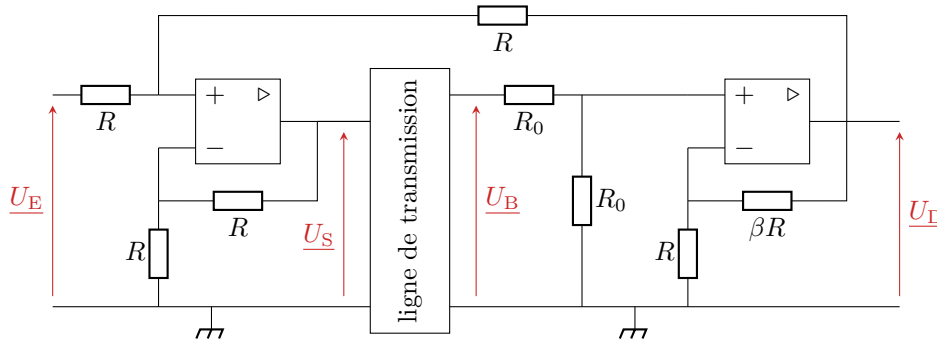


Figure 3 – Schéma du filtre en peigne de fréquence.

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 τ 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} , Ω et la largeur $\Delta\omega$ de la bande passante à -3dB .

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 τ pour éliminer le bruit ?

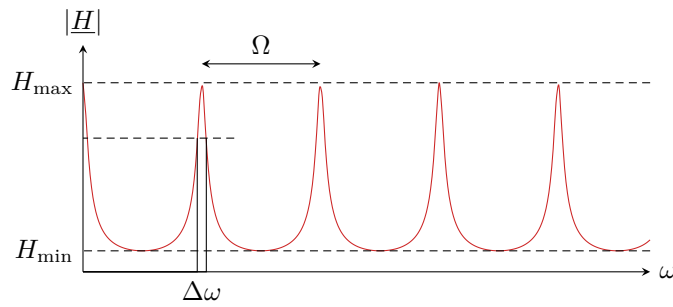


Figure 4 – Fonction de transfert du filtre en peigne de fréquence.

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.

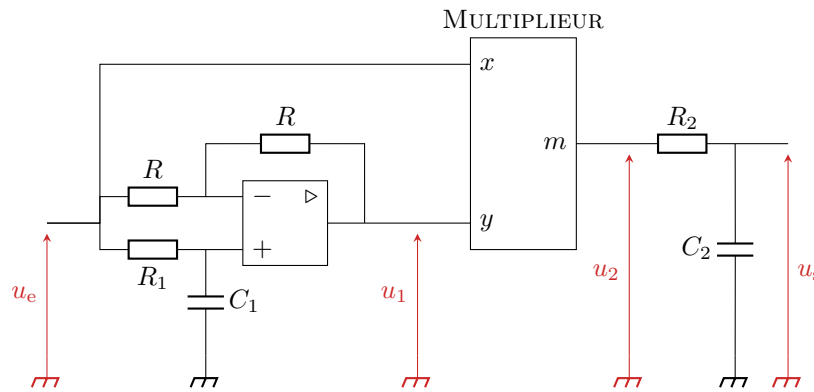


Figure 5 – Démodulateur à déphasage.

- 1 - Rappeler les spécificités d'un ALI idéal. Quel est le mode de fonctionnement de l'ALI présent dans le système ?
- 2 - Déterminer $H_1 = U_1/U_e$, exprimer son module et son argument.
- 3 - Déterminer la pulsation ω_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 ω quelconque. Que dire si $\omega = \omega_0$?

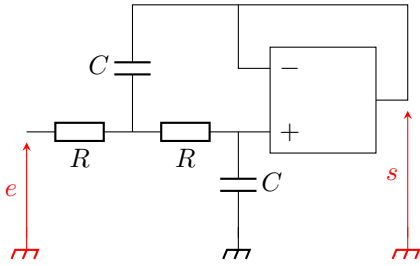
Question posée oralement pour guider le candidat : Quelle est la différence entre $v_x(t) \times v_y(t)$ et $\underline{V}_x \times \underline{V}_y$?

- 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.



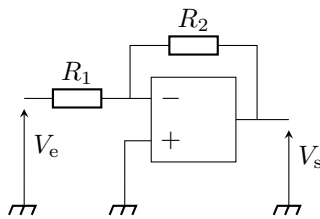
On suppose que l'ALI du montage ci-contre fonctionne en régime linéaire.

- 1 - Identifier la nature du filtre.
- 2 - Établir sa fonction de transfert. Identifier une pulsation caractéristique ω_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 μ_0 . Commenter celui de ω_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 ω'_c en fonction des données.

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