

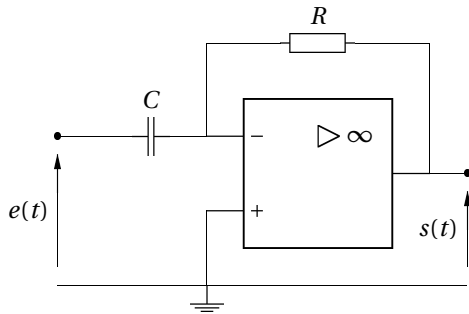
TD d'électronique n° 2

Rétroaction

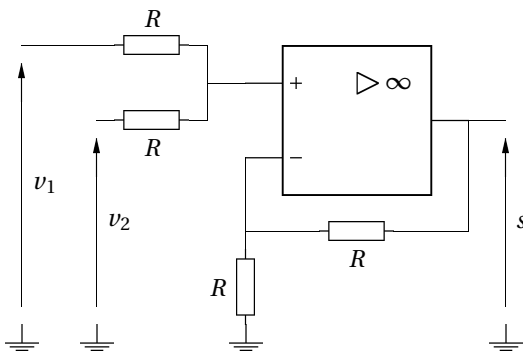
1 — Montages à ALI

L'ALI est supposé fonctionner en régime linéaire.

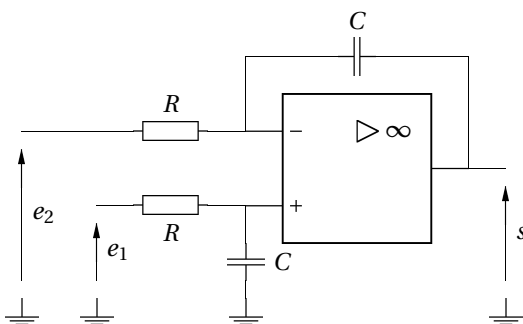
1. Établir la relation entrée-sortie du montage; quelle est sa fonction?



2. Exprimer v_s en fonction de v_1 et v_2 sachant que les quatre résistances sont identiques. Quelle est la fonction de ce montage?



3. Exprimer dans le domaine fréquentiel puis temporel la relation entre la tension de sortie et les deux tensions d'entrée du montage. Justifier le nom d'intégrateur différentiel donné à ce montage.

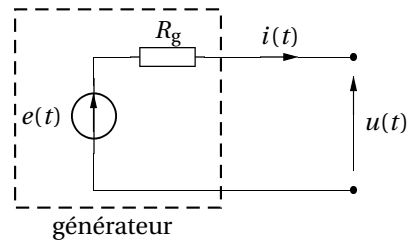


2 — Le montage suiveur

1. Rappeler le schéma du montage suiveur. En considérant l'ALI comme idéal, donner la relation entre l'entrée $e(t)$ et la sortie $s(t)$.

2. L'ALI peut-il fonctionner en régime linéaire? Sous quelle condition?

3. On considère un générateur de résistance interne R_g , modélisé par le schéma de Thévenin suivant :



3.a) Que vaut la tension $u(t)$ quand la sortie est ouverte?

3.b) Que vaut la tension $u(t)$ quand on branche une résistance R_u à la sortie du générateur?

3.c) Montrer qu'un suiveur permet de faire en sorte que la tension de sortie du générateur ne dépende pas de la résistance R_u .

Quelle(s) limitation(s) voyez-vous à ce montage dans le cas où $e(t) = E$ continue? Et dans le cas où $e(t) = E \cos(\omega t)$?

4. On prend en compte la fonction de transfert de l'ALI $A(j\omega) = \frac{A_0}{1 + j\omega\tau}$ avec $\tau = \frac{1}{\omega_0}$.

4.a) Donner l'ordre de grandeur de A_0 et de $f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi}$ pour un ALI usuel.

4.b) Faire apparaître le suiveur comme un montage avec boucle de rétroaction. Quelle est le gain de la chaîne de retour?

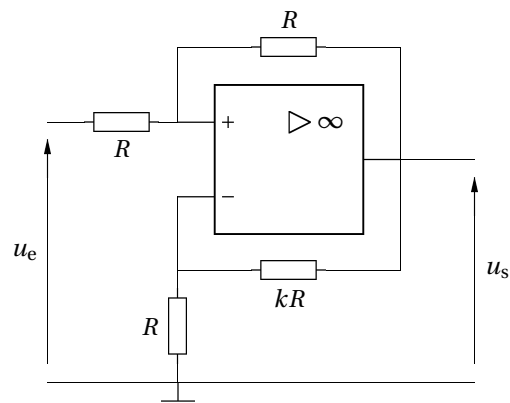
4.c) Déterminer la fonction de transfert du suiveur.

Quelle est la bande passante du suiveur?

La dispersion sur les valeurs de A_0 d'un ALI à un autre modifie-t-elle le comportement du suiveur dans sa bande passante?

3 — Compétition de rétroaction et stabilité

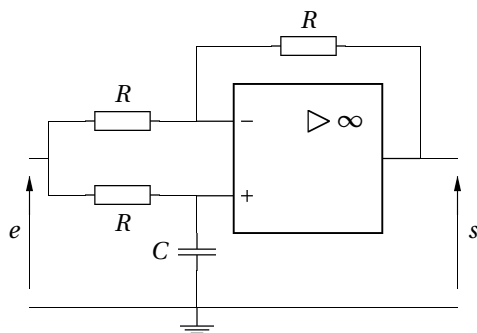
On considère le montage suivant, et on suppose jusqu'à nouvel ordre que l'on modélise l'ALI par un système passe-bas du premier ordre de gain statique μ_0 et de constante de temps τ .



1. Peut-on prévoir sans analyse approfondie la stabilité ou l'instabilité du montage?
2. Effectuer cette étude. À quelle condition sur le coefficient k le montage est-il stable? Interpréter.
3. Cette condition étant vérifiée, et dans le cas d'un ALI supposé idéal exprimer le gain $G = \frac{u_s}{u_e}$ du montage. Que devient celui-ci lorsque k tend vers la valeur limite de stabilité? Que se passe-t-il alors?
4. Dans le cadre du modèle de l'ALI réel passe-bas du premier ordre en régime linéaire, donner un schéma-bloc fonctionnel du montage, en précisant les trois opérateurs linéaires y intervenant. Retrouver la condition de stabilité. Exprimer la fonction de transfert en boucle fermée ou gain du système bouclé.
5. Que se passe-t-il si l'on permute les entrées inverseuse et non inverseuse de l'ALI? Interpréter.

4 — Filtre passe-tout déphaseur

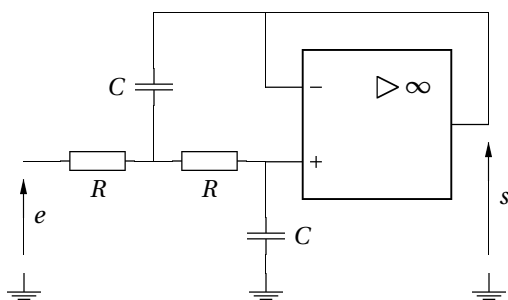
On donne le montage suivant, l'ALI étant supposé fonctionner en régime linéaire.



1. Établir la fonction de transfert du montage.
2. Construire son diagramme de Bode en gain et en phase.
3. Justifier le nom du montage.

5 — Filtre de Sallen-Key

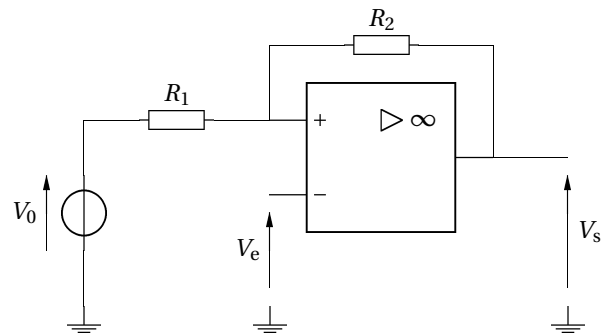
On suppose que l'ALI du montage fonctionne en régime linéaire.



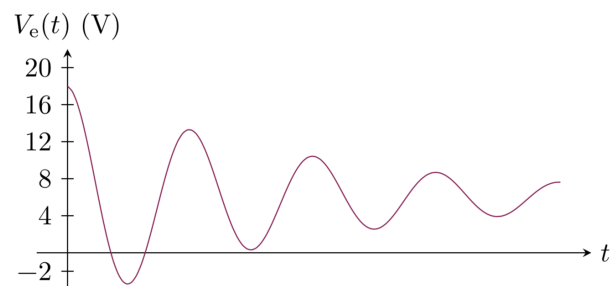
1. Identifier la nature du filtre.
2. Établir sa fonction de transfert. Identifier une pulsation caractéristique ω_0 .
3. Représenter son diagramme de Bode en gain.
4. Discuter de l'allure du signal de sortie pour un signal d'entrée en créneau.

6 — Comparateur à hystérésis inverseur décalé

On considère le montage suivant, avec $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 2 \text{ k}\Omega$ et $V_0 = 6 \text{ V}$.



1. Exprimer le potentiel V_+ de l'entrée non inverseuse en fonction de V_0 , V_s et $\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$.
2. Justifier que l'ALI fonctionne en saturation 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 représentée ci-après. Tracer celui de la tension de sortie.



7 — Étude d'un suiveur

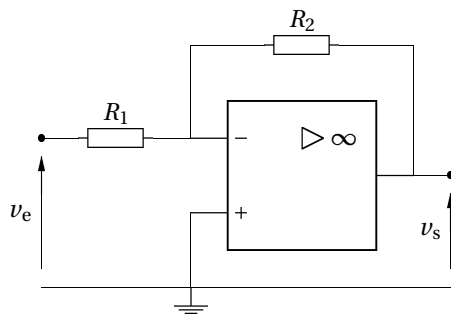
Un expérimentateur souhaite mettre en œuvre un circuit suiveur. L'ALI étant un composant actif, il branche correctement l'alimentation stabilisée 15 V / -15 V.

1. Dessiner le schéma d'un montage suiveur.
2. Il teste son montage à l'aide d'un signal d'entrée sinusoïdal alternatif d'amplitude 10 V et de fréquence 1,2 MHz. En sortie, il observe une tension continue de -14,6 V. Quelle erreur a-t-il probablement faite?
3. Il corrige son erreur et observe en sortie un signal triangulaire alternatif d'une amplitude crête à crête de 5 V. À quoi ce phénomène est-il dû? Proposer une valeur numérique du défaut en cause. Quelle fréquence ne faut-il pas dépasser si l'on veut garder la même amplitude du signal d'entrée?

4. La fréquence du signal d'entrée est maintenant de 1 kHz. La sortie du montage suiveur alimente une résistance de 100 Ω. L'expérimentateur observe en sortie un signal créneau alternatif d'amplitude 2,5 V. À quoi est due cette observation? Proposer une valeur numérique de ce défaut et une solution en gardant le même signal d'entrée.

8 — Amplificateur inverseur, modèle du premier ordre

On considère le montage suivant, en supposant l'ALI 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

$$\underline{\mu} = \frac{\underline{v_s}}{\underline{\varepsilon}} = \frac{\underline{v_s}}{\underline{v_+} - \underline{v_-}} = \frac{\mu_0}{1 + j \frac{\omega}{\omega_c}}$$

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

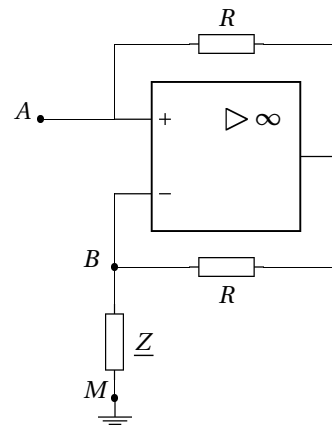
$$\underline{H}' = \frac{\underline{H}_0}{1 + j \frac{\omega}{\omega'_c}}$$

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.

9 — Gyrateur

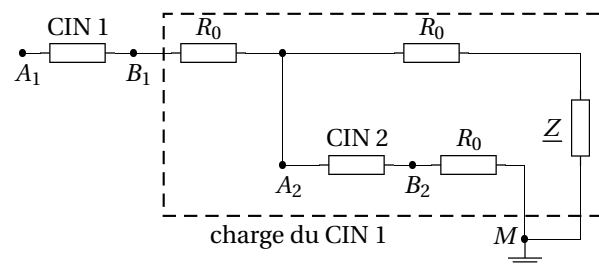
On donne le montage suivant, appelé convertisseur d'impédance négative (CIN), où l'ALI est supposé idéal.



1. Peut-on prévoir *a priori* si l'ALI va fonctionner en régime linéaire lorsque l'on appliquera une tension entre les bornes A et M?

2. On suppose que c'est bien le cas. Montrer que l'impédance d'entrée du montage (vue entre les bornes A et M) est affectée d'un signe négatif, et donner son expression en fonction de \underline{Z} , appelée impédance de charge.

On considère maintenant le montage suivant :



Chacun des deux CIN est exactement le même que celui étudié précédemment, le CIN 2 (entre A2 et B2) ayant comme impédance de charge la seule résistance R0, alors que le CIN 1 (entre A1 et B1) a comme charge toute la partie encadrée.

3. Montrer que l'impédance d'entrée globale (vue entre les bornes A et M) est égale à

$$\underline{Z}_e = \frac{K}{\underline{Z}},$$

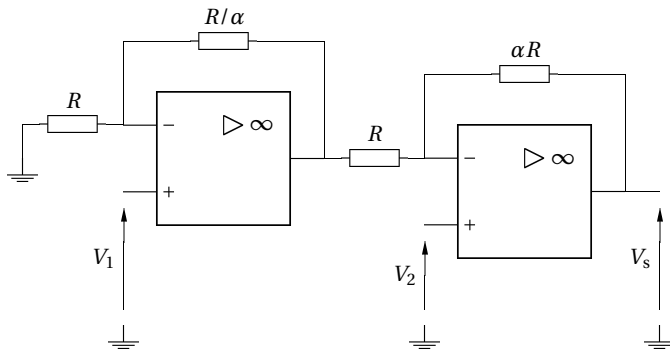
où K est une constante positive qui ne dépend que de R0.

4. Ce circuit, qui réalise mathématiquement une « inversion » d'impédance, est appelé gyrateur.

Calculer \underline{Z}_e en prenant R0 = 50 kΩ, dans le cas où \underline{Z} est un condensateur de capacité C = 1 μF. Quel est l'intérêt de ce montage?

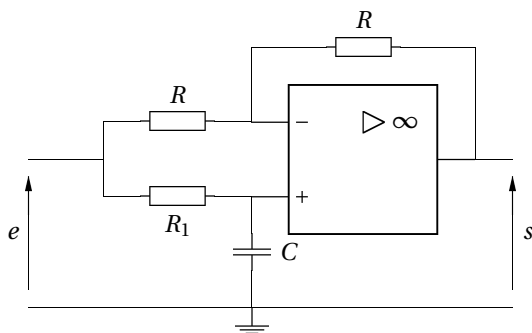
10 — Amplificateur différentiel

Montrer que le montage ci-dessous constitue un amplificateur différentiel, c'est-à-dire que l'on a $V_s = A(V_2 - V_1)$, avec A à déterminer.



11 — Étude d'un filtre

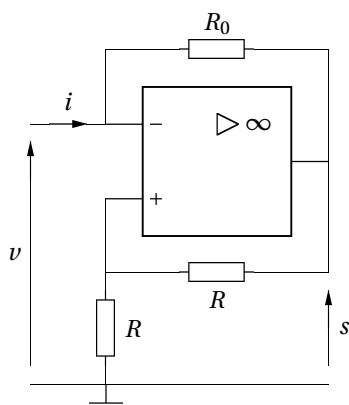
L'ALI est idéal et fonctionne en régime linéaire.



1. Faire une analyse qualitative du circuit en basse et haute fréquence.
2. Exprimer la fonction de transfert. De quel type de circuit s'agit-il?
3. On considère $v_e(t) = 0$ pour $t < 0$ et $v_e(t) = E$ pour $t \geq 0$. Exprimer $v_s(t)$.

12 — Un dipôle particulier

On considère le montage suivant :



On considère l'ALI comme idéal.

1. Exprimer v en fonction de R_0 , i et s , puis s en fonction de v_+ .
2. En supposant que l'ALI fonctionne en régime linéaire, exprimer v en fonction de R_0 et i . Quelle propriété intéressante possède alors le montage?

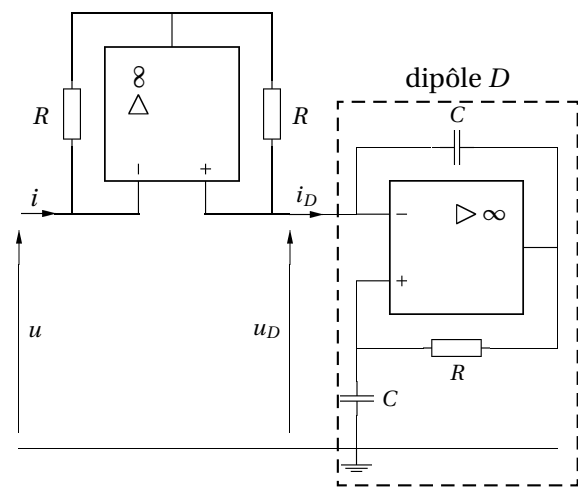
3. Quelles contraintes doivent vérifier v et i pour que le montage fonctionne en régime linéaire?

Dans le cas où l'ALI est en régime de saturation, exprimer v en fonction de i , R_0 et V_{sat} .

4. Tracer la caractéristique $v = f(i)$ de ce montage.

13 — Modélisation d'un système

Pour simuler des systèmes mécaniques, on cherche à réaliser des dipôles dont la caractéristique est de la forme $i = A \frac{d^2 u}{dt^2}$, où i est l'analogie d'une force, u d'une position et A d'une masse. Les ALI sont tous idéaux et fonctionnent en régime linéaire.



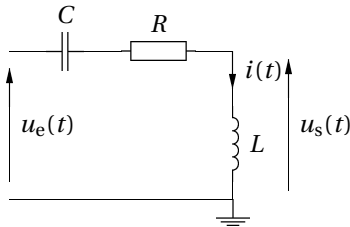
1. Exprimer l'impédance $\underline{Z}_D = \frac{u_D}{i_D}$ du dipôle D en notation complexe.
2. Déterminer la relation entre u et u_D ainsi que celle entre i et i_D .
3. En déduire la relation entre i et u et exprimer A en fonction de R et C .
4. On relie le circuit ainsi réalisé sur une résistance R . Quel système mécanique simule-t-on ainsi? Déterminer la forme de $u(t)$.

14 — Filtres passe-haut

On cherche à traiter un signal électrique proche de 300 Hz, comportant un bruit à 50 Hz que l'on veut filtrer. Plus précisément, on souhaite construire un filtre passe-haut présentant une atténuation importante à $f_1 = 50$ Hz ($G_{dB}(f_1) \leq -20$ dB), mais la plus faible possible à $f_2 = 300$ Hz ($G_{dB}(f_2) \geq -0,5$ dB).

1. Tracer le gabarit du filtre. Un filtre passe-haut du premier ordre peut-il convenir? Justifier.

On considère maintenant un filtre passe-haut RLC du second ordre, constitué d'une résistance R , d'un condensateur de capacité C et d'une bobine d'inductance L .



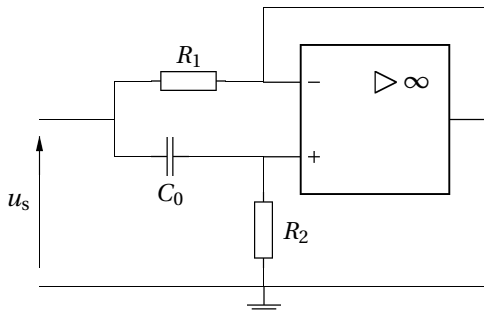
Sa fonction de transfert s'écrit

$$\underline{H} = \frac{-x^2}{1 - x^2 + j\frac{x}{Q}} \quad \text{avec} \quad x = \frac{\omega}{\omega_0}.$$

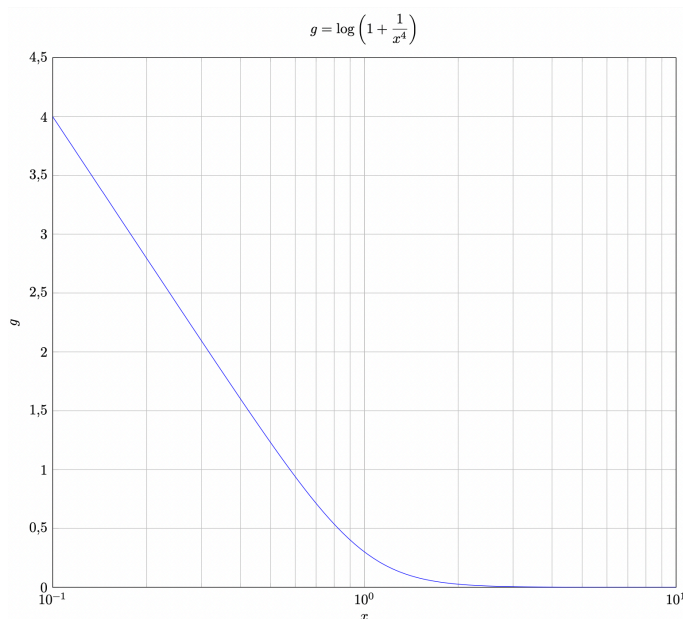
2. Déterminer l'expression de ω_0 et de Q en fonction de R , L et C .

3. Afin d'éviter les distorsions de signal, on souhaite $Q = 1/\sqrt{2}$. Déterminer ω_0 , puis la valeur minimale de L , sachant que $C \leq 10^{-6}$ F. Commenter le résultat obtenu. On exploitera la courbe donnée en annexe, représentant la fonction $g = \log(1 + 1/x^4)$ en fonction de x .

Plutôt que d'utiliser une bobine, on décide de simuler une inductance avec un montage à ALI, supposé idéal :

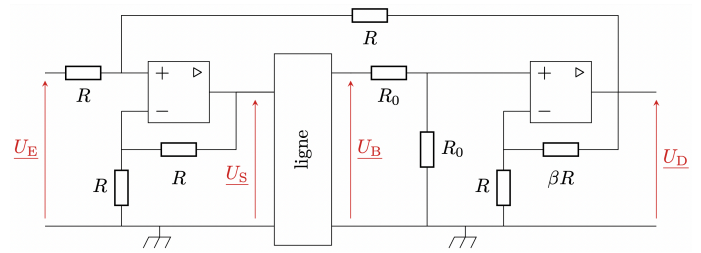


4. Déterminer C_0 , R_1 et R_2 pour que le montage ci-dessus convienne ($C_0 \leq 10^{-6}$ F).



15 — Filtre en peigne de fréquence

On s'intéresse au montage suivant. Les deux ALI fonctionnent en régime linéaire, et on suppose $0 < \beta < 1$.



1. La fonction de transfert de la ligne est de la forme

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

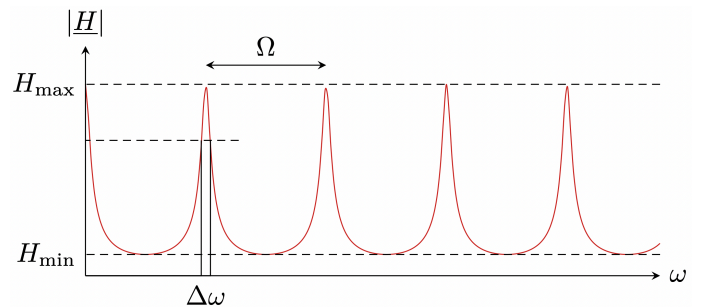
où τ est une constante caractéristique de la ligne. Quel est le phénomène physique qui justifie d'écrire cette fonction de transfert sous cette forme?

2. Exprimer $\underline{H}_B(j\omega) = U_D/U_B$ en fonction de

$$\alpha = (1 + \beta)/2.$$

3. Déterminer $\underline{H}(j\omega) = U_S/U_E$.

4. La figure suivant représente $|\underline{H}(j\omega)|$.



Déterminer les grandeurs définies sur la figure : H_{\max} , H_{\min} , Ω et la largeur $\Delta\omega$ de la bande passante à -3 dB.

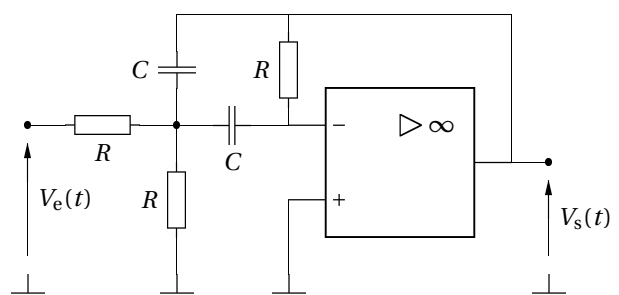
5. On envoie en entrée du filtre un signal s'écrivant comme la somme :

- d'un signal d'intérêt $u_0(t)$ tel que $u_0(t + T) = u_0(t)$, $\forall t$;
- 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?

16 — Étude d'un filtre

On considère le montage suivant, où l'ALI est idéal.



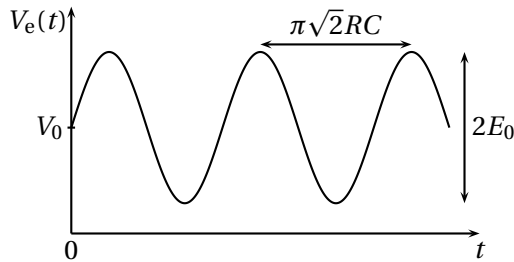
1. Après avoir justifié la linéarité du fonctionnement de l'ALI, déterminer sans calcul la nature du filtre.

2. Montrer que la fonction de transfert du montage

s'écrit sous la forme
$$H(j\omega) = \frac{2mH_0 \frac{j\omega}{\omega_0}}{1 + 2m \frac{j\omega}{\omega_0} - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}}$$
 où l'on

exprimera H_0 , m et ω_0 en fonction de R , C et ω .

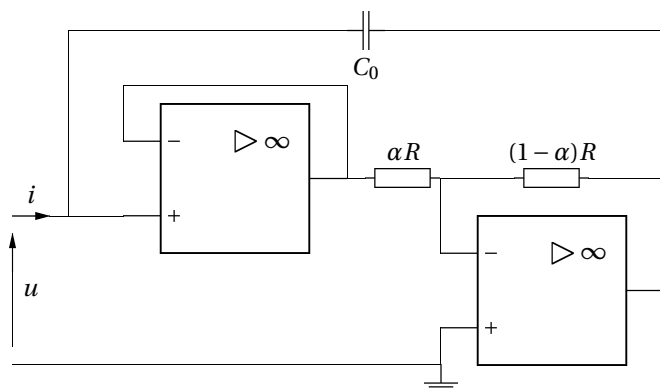
3. On envoie en entrée la tension $V_e(t)$ représentée ci-dessous.



Déterminer l'expression de la tension de sortie $V_s(t)$.

17 — Capacité réglable

Les deux ALI du montage suivant fonctionnent en régime linéaire.

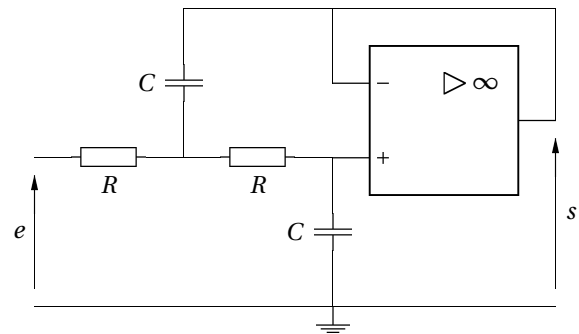


Montrer que ce montage équivaut à un condensateur de capacité C que l'on exprimera en fonction de C_0 et α .

Quel est son intérêt?

18 — Filtre de Sallen-Key

On considère le circuit suivant dans lequel l'ALI est supposé fonctionner en régime linéaire.

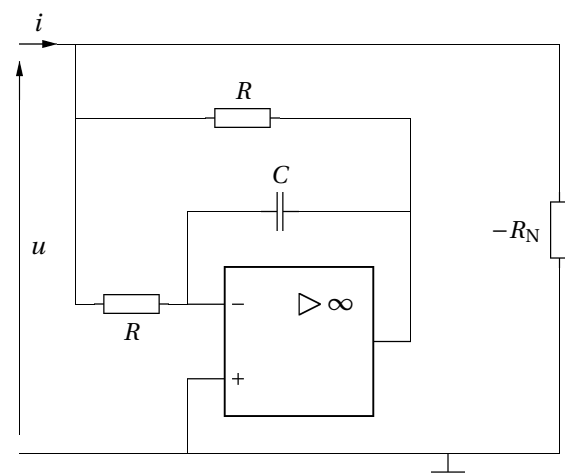


1. Identifier la nature du filtre.
2. Établir sa fonction de transfert. Identifier une pulsation caractéristique ω_0 .
3. Représenter son diagramme de Bode en gain.
4. Discuter l'allure du signal de sortie pour un signal d'entrée en créneau.

19 — Simulateur d'inductance

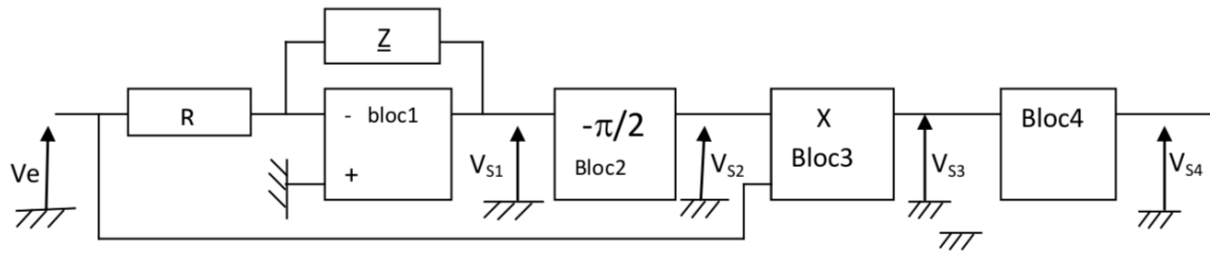
Les bobines sont des composants très utilisés en électronique de puissance, mais leur grande taille les rend peu pratiques à insérer dans des circuits intégrés. Ce n'est cependant pas un souci puisqu'elles peuvent être remplacées par des montages à ALI comme celui étudié ici, beaucoup plus compact.

Dans le montage suivant, l'ALI est supposé idéal, en gain infini, et fonctionnant en régime linéaire. Le dipôle « $-R_N$ » désigne l'impédance d'entrée d'un autre montage à ALI, dit à résistance négative (cf. exercice dédié), qui a exactement le même comportement qu'une résistance $-R_N < 0$.



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 son expression $L_{\text{éq}}$.

20 — Réactance-mètre



Un dipôle possède une impédance complexe

$$\underline{Z} = R + jX$$

de résistance R connue et de réactance X .

Le dispositif de mesure de X , représenté ci-dessus, est alimenté par la tension $v_e(t) = V_{em} \cos(\omega t)$.

1. Réactance X

1.a) On pose $\underline{Z} = Z e^{j\phi}$. Trouver une relation entre X , Z et ϕ .

1.b) Discuter le signe de X selon ϕ .

1.c) Citer un dipôle de réactance négative.

2. Recherche de $v_{s1}(t)$

L'ALI du bloc 1 est idéal et fonctionne dans le domaine linéaire. La tension $v_{s1}(t)$ s'écrit

$$v_{s1}(t) = V_{s1m} \cos(\omega t + \psi).$$

Déterminer V_{s1m} et ψ en fonction de Z , R , V_{em} et ϕ .

3. Mesure de X

Le bloc 2 est déphaseur : $v_{s2}(t)$ est déphasée de $-\pi/2$ par rapport à $v_{s1}(t)$.

Le bloc 3 est multiplicateur : $v_{s3}(t) = K v_{s2}(t) v_e(t)$, avec $K > 0$.

3.a) Montrer que $v_{s3}(t) = A [\sin(2\omega t + \psi) + \sin \psi]$ et expliciter A en fonction de K , Z , R et V_{em} .

3.b) Représenter le spectre fréquentiel de $v_{s3}(t)$.

3.c) Écrire la composante continue U_3 de $v_{s3}(t)$ et montrer qu'elle contient toute l'information sur X .

4. Bloc 4

Le filtre 4 permet de réaliser la fonction $v_{s4}(t) = U_3$.

4.a) Quelle est la nature de ce bloc?

4.b) Proposer un montage simple du bloc 4 à l'aide d'un condensateur de capacité $C = 1 \mu\text{F}$ et d'une boîte à décade ohmique.

4.c) Expliquer comment l'enregistrement de $v_s(t)$ permet de trouver la réactance X .