

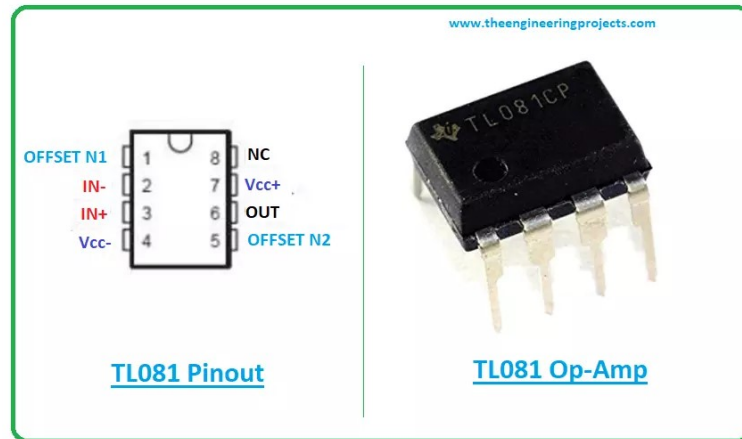
CH 1 ALI. Rétroaction

Plan de la séquence

1	Présentation de l'ALI	2
2	Montages à rétroaction négative	3
3	Filtrage actif	6
3.1	Exemple	6
3.2	Filtres passe-bande	7
3.3	Effet d'une fonction de transfert sur un signal périodique	8
4	Les saturations de l'ALI (avec expérience)	11
5	ALI sans rétroaction négative : comparateurs (avec expériences)	13
5.1	ALI en boucle ouverte	13
5.2	Comparateur simple	14
5.3	Comparateur à hystérésis	15
5.3.1	Etude expérimentale	15
5.3.2	Etude théorique	16
6	ALI non idéal en régime linéaire	17
6.1	Modèle d'ordre 1	17
6.2	Application au montage non inverseur	17
6.3	Mise en oeuvre expérimentale	19

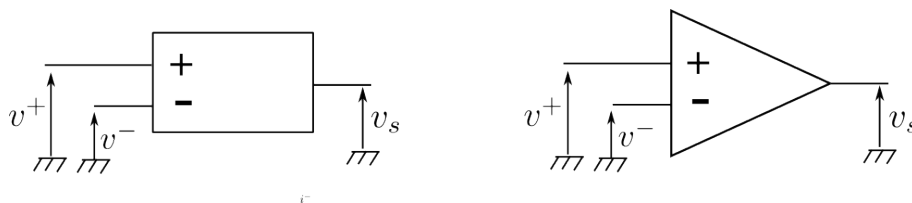
1 Présentation de l'ALI

L'ALI est un composant électronique mesurant environ 1 cm, contenant de nombreux transistors, et se présentant sous forme d'un circuit intégré à 8 pattes. Il est principalement utilisé pour l'amplification en tension de petits signaux électriques issus de capteurs (accéléromètre, microphone..), mais peut aussi servir à plein d'autres choses, comme nous le découvrirons. Il existe de nombreux modèles différents d'ALI, qui ont des performances différentes. Nous utiliserons en TP le modèle TL081.



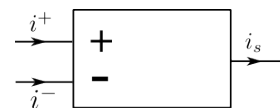
L'ALI est un composant actif : pour fonctionner il doit être alimenté par une alimentation stabilisée délivrant deux tensions opposées $V_{cc}^+ = +15\text{ V}$, et $V_{cc}^- = -15\text{ V}$, que l'on relie aux pattes 7 et 4.

Sur les schémas électriques, ces alimentations continues ne sont pas représentées. On place seulement les deux entrées et la sortie. L'entrée + est appelée entrée non inverseuse (patte 3), et l'entrée - est appelée entrée inverseuse (patte 2). Voici les deux schémas que l'on peut rencontrer :



v^+ est la tension d'entrée non inverseuse, v^- la tension d'entrée inverseuse, et v_s est la tension de sortie.

Les deux entrées et la sortie de l'ALI sont parcourus par des courants, notés i^+ , i^- et i_s .



Les ALIs sont conçus pour absorber très très peu de courant en entrée (quelques microampères.. cela dépend du modèle du composant). Ils délivrent un courant de sortie non nul, mais limité à quelques dizaines de milliampères. Ce n'est donc pas un composant utilisé pour transformer de la puissance électrique, mais plutôt pour traiter des signaux (de l'information).

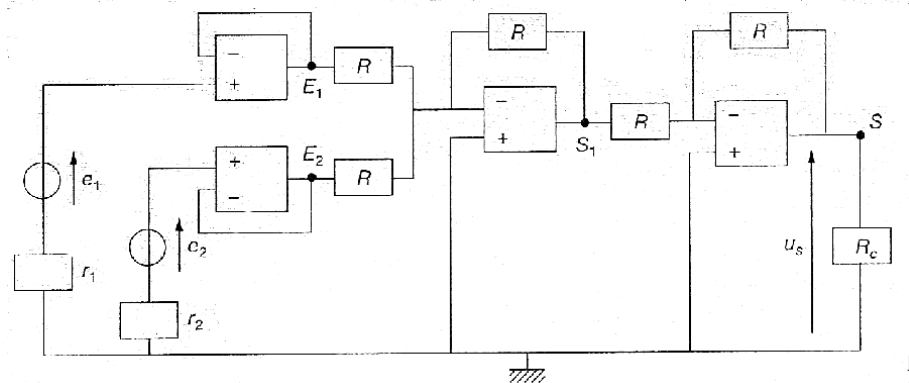
Le plus souvent, on se placera dans le modèle de l'ALI idéal fonctionnant en régime linéaire :

- les courants d'entrée sont nuls : $i^+ = 0$, $i^- = 0$
- la tension de sortie v_s est indépendante du courant de sortie i_s .
- le comportement de l'ALI est indépendant de la fréquence et de l'amplitude des signaux.

Nous mettrons en évidence en TP des comportements non linéaires et/ou non idéaux, en travaillant avec des signaux d'entrée de grande amplitude et/ou de haute fréquence : saturations en tension et en courant, comportement passe-bas et déformation du signal aux fréquences élevées..

2 Montages à rétroaction négative

Le plus souvent, les ALIs présents dans les circuits électriques comportent une **rétroaction négative**, c'est à dire que la sortie et l'entrée inverseuse sont reliées, directement ou par l'intermédiaire d'un ou plusieurs dipôles.



➤ Sur le circuit ci-dessous, surligner les rétroactions négatives sur les ALIs.

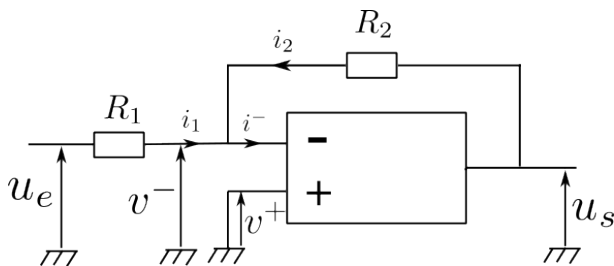
Nous admettons pour l'instant la propriété suivante :

Lorsqu'un ALI comporte une rétroaction négative, il peut fonctionner en régime linéaire. Si, de plus, il est idéal, ses deux tensions d'entrée sont égales : $v^+ = v^-$.

A présent, voyons certains montages classiques impliquant un ALI. Tous les ALIs de cette partie seront supposés idéaux et fonctionnant en régime linéaire.

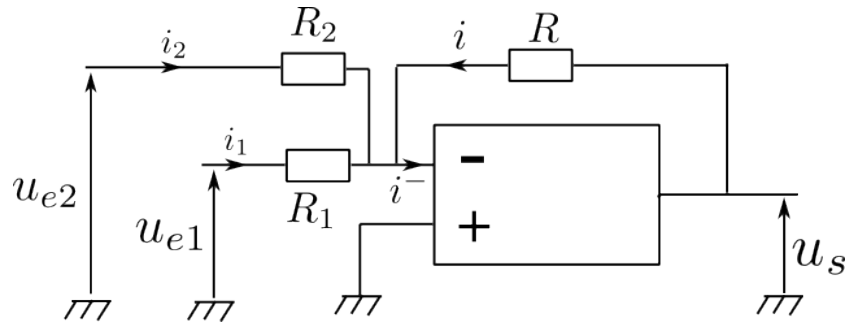
• Montage amplificateur-inverseur

L'objectif est de trouver la relation d'entrée-sortie : u_s en fonction de u_e , R_1 et R_2 .



1. Ecrire la loi des noeuds à l'entrée non inverseuse.
2. Exprimer i_1 et i_2 en fonction de u_e , v^- , u_s .
3. Que vaut v^+ ? En déduire la valeur de v^- .
4. Remplacer dans la loi des noeuds et obtenir la relation entre u_e , u_s , R_1 et R_2 .

- Montage sommateur inverseur

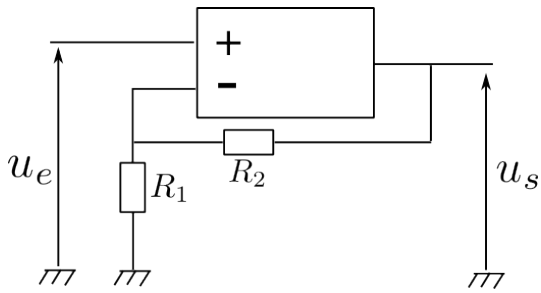


Cette fois il y a deux entrées.

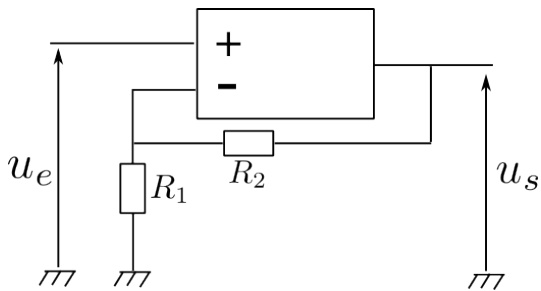
✎ En suivant la même méthode (loi des noeuds à l'entrée inverseuse), déterminer la relation entre u_s , u_{e1} et u_{e2} . Vérifier que pour $R_1 = R_2 = R$ on a $u_s = -(u_{e1} + u_{e2})$ (sommateur inverseur).

- **Montage amplificateur non-inverseur**

Souvent, le but est d'amplifier un signal, sans le perturber avec les problèmes d'impédance d'entrée. Le montage ci-dessous, appelé amplificateur non inverseur, permet de remplir cette fonction : la tension d'entrée est appliquée directement sur l'entrée non inverseuse, ce qui assure un courant d'entrée nul.



Première méthode : loi des noeuds à l'entrée inverseuse

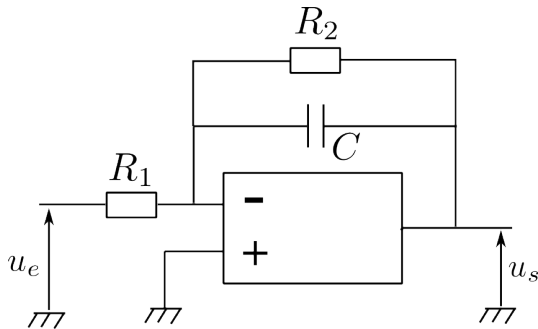


Deuxième méthode : diviseur de tension

3 Filtrage actif

Les ALIs permettent également de réaliser des filtres qui sélectionnent une gamme de fréquences, tout en amplifiant. Ce sont des filtres **actifs**.

3.1 Exemple



1. Déterminer l'impédance équivalente à $R_2 // C$. On la nomme $\underline{Z}_2$.
2. Dessiner le circuit équivalent ci-dessus à droite du circuit de départ.
3. En suivant les étapes utilisées pour l'étude du montage inverseur, montrer que $\underline{u}_s = -\frac{Z_2}{R_1} \underline{u}_e$.
4. Exprimer la fonction de transfert et la mettre sous la forme canonique d'un filtre passe-bas d'ordre 1.

$$\underline{H}(j\omega) = \frac{H_0}{1 + j\frac{\omega}{\omega_c}}$$

Identifier le gain statique H_0 et la pulsation de coupure ω_c en fonction des composants.

5. Comment peut-on contrôler le gain statique et la pulsation de coupure ?

3.2 Filtres passe-bande

Il est également possible de concevoir des filtres analogiques passe-bande dont les caractéristiques sont réglables, avec davantage de possibilités qu'en utilisant uniquement des composants passifs. Ces filtres ont une structure un peu compliquée. Ils n'utilisent pas de bobines, car ces dernières ont une résistance interne souvent gênante.

On rappelle la fonction de transfert canonique d'un filtre passe-bande :

$$\underline{H}(j\omega) = \frac{H_0 j \frac{\omega}{Q\omega_0}}{1 + j \frac{\omega}{Q\omega_0} - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}$$

ω_0 est la pulsation centrale, H_0 est le gain à la pulsation centrale, et Q est le facteur de qualité.

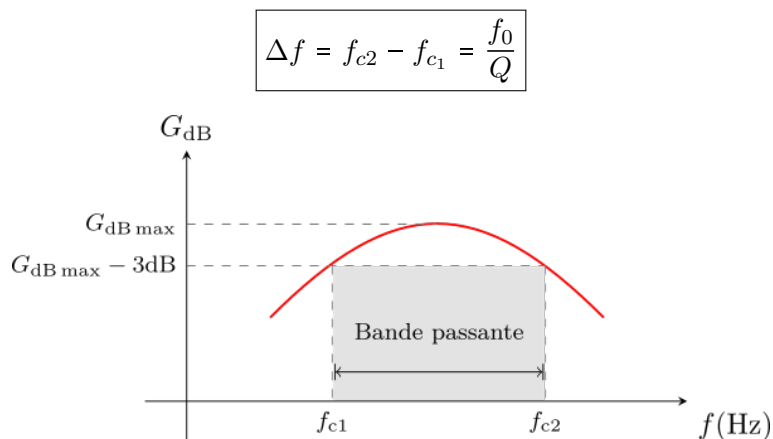
✎ Montrer que

$$\underline{H}(j\omega) = \frac{H_0}{1 + jQ \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)}$$

Les pulsations de coupures à -3 dB sont notées ω_{c1} et ω_{c2} . La bande passante $\Delta\omega = \omega_{c2} - \omega_{c1}$ vérifie la relation

$$\Delta\omega = \frac{\omega_0}{Q}$$

Expérimentalement, on travaille plutôt en fréquences : $f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi}$, $f_{c1} = \frac{\omega_{c1}}{2\pi}$, $f_{c2} = \frac{\omega_{c2}}{2\pi}$.
La bande passante en fréquence est

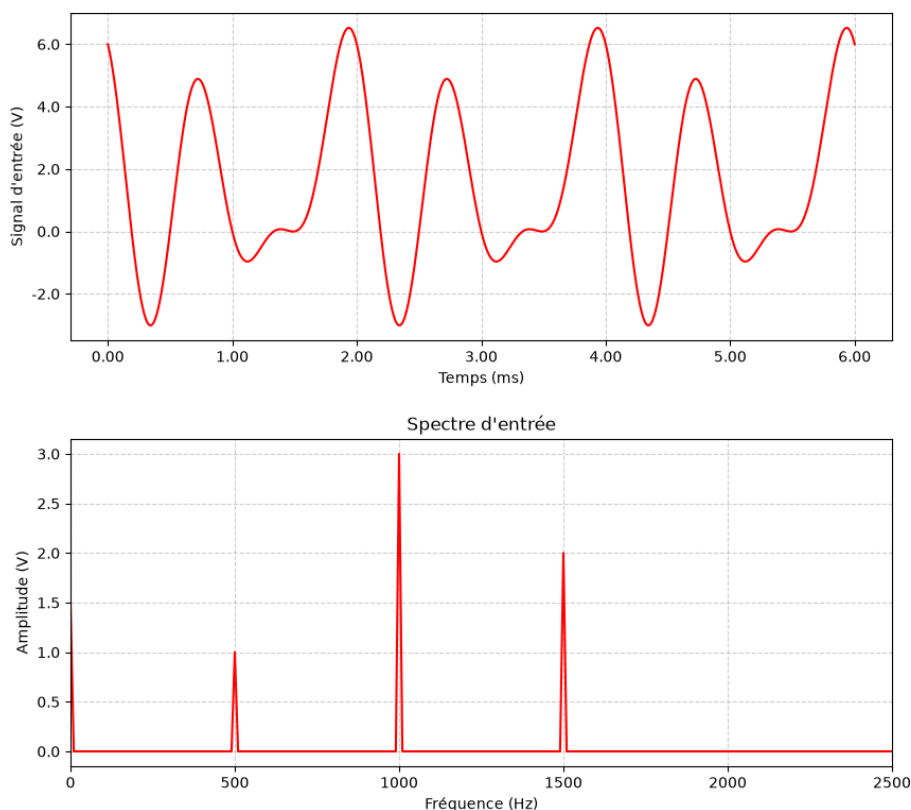


3.3 Effet d'une fonction de transfert sur un signal périodique

Un signal périodique de période T non sinusoïdal a plusieurs pics dans son spectre en amplitude :

- un éventuel pic de fréquence nulle qui correspond à
- le premier pic de fréquence non nulle est à la fréquence $f_1 = \dots\dots\dots$. Cette fréquence est appelée
- les pics suivants sont à des fréquences multiples de f_1 . Il s'agit des

Considérons le signal d'entrée suivant $e(t)$, ainsi que son spectre.



✎ Déterminer par lecture graphique les grandeurs suivantes :

- la valeur moyenne $\langle e(t) \rangle =$
- La période $T =$
- Les fréquences des 3 pics $f_1 = \dots\dots\dots$; $f_2 = \dots\dots\dots$; $f_3 = \dots\dots\dots$
- Les amplitudes associées $E_1 = \dots\dots\dots$; $E_2 = \dots\dots\dots$; $E_3 = \dots\dots\dots$

✎ On donne ci-dessous l'expression mathématique de ce signal d'entrée. Identifier dans cette expression mathématique la valeur moyenne du signal, les fréquences et amplitudes des 3 pics et les phases à l'origine associées que l'on notera ϕ_1 , ϕ_2 et ϕ_3 .

$$e(t) = 1.5 + 1 \cos(2\pi 500t) + 3 \cos(2\pi 1000t + \pi/3) + 2 \cos(2\pi 1500t)$$

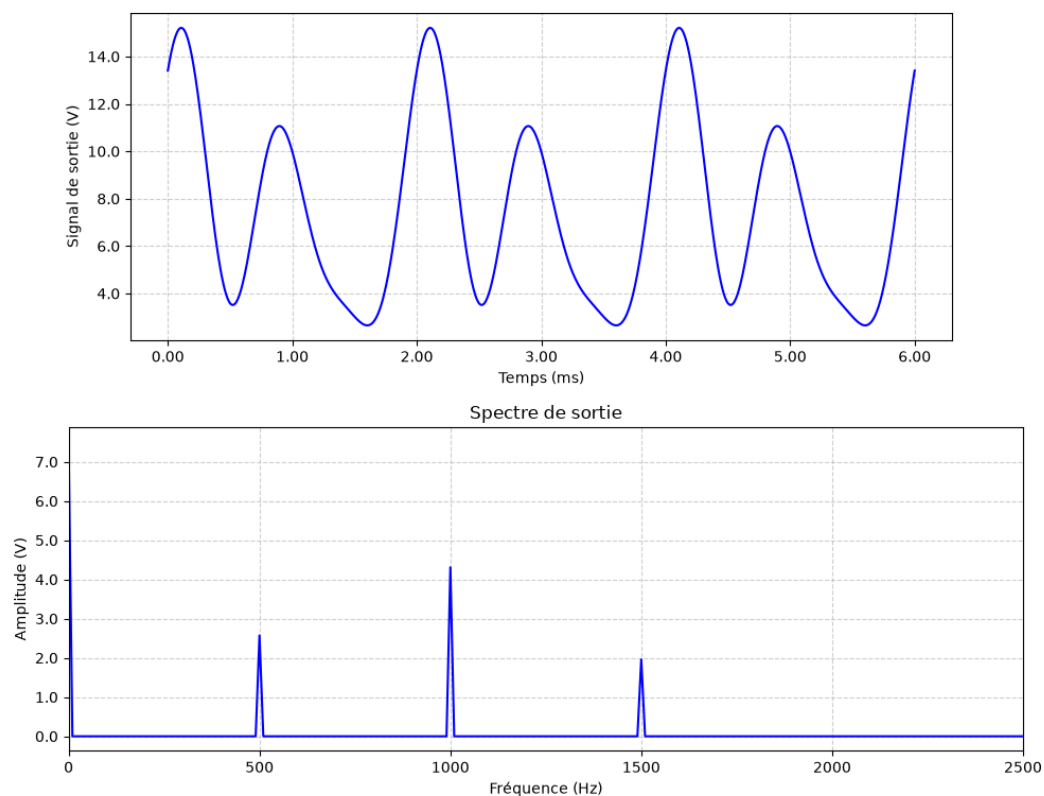
Considérons un filtre linéaire de fonction de transfert $\underline{H}(j\omega)$. On note $G = |\underline{H}|$ son gain, et $\Phi = \arg(\underline{H})$ sa phase. Le signal de sortie possède les propriétés suivantes :

- Les fréquences des pics présents dans son spectre sont les mêmes que celles des pics du signal d'entrée. C'est une conséquence de la linéarité du filtre.
- L'amplitude du pic de sortie de fréquence f_i est $S_i = G(f_i)E_i$.
- La phase à l'origine de la composante sinusoïdale de fréquence f_i est décalée de $\Phi(f_i)$.

Exemple : Le signal périodique précédent est le signal d'entrée d'un filtre passe-bas d'ordre 1 de gain statique 5 et de fréquence de coupure 300 Hz.

✎ Donner l'expression de la fonction de transfert $\underline{H}$ en régime sinusoïdal forcé à la fréquence f . En déduire le gain $G(f)$ et la phase $\phi(f)$. Calculez leurs valeurs numériques à la fréquence nulle, et aux fréquences des 3 pics.

Voici le signal de sortie obtenu et son spectre



✎ Donner l'expression mathématique littérale du signal de sortie $s(t)$.

✎ Calculer les valeurs numériques des amplitudes et déphasages intervenant dans cette expression signal de sortie. Vérifier l'accord par lecture graphique du spectre.