FILTRES ACTIFS

Les filtres actifs sont des quadripôles constitués d'éléments passifs (éléments résistifs, condensateurs …) mais aussi d'éléments actifs capables de fournir de l'énergie (AIL …).
Ce type de filtre permet d'amplifier les composantes que l'on souhaite conserver et d'éliminer les autres.

Lors de l'étude des filtres passifs (structures RC, CR, RLC …), on a pu voir que l'amplitude du signal de sortie était toujours inférieure à l'amplitude du signal d'entrée ($|\underline{T}| < 1$).
Dans certains cas, il est intéressant de pouvoir amplifier l'amplitude des signaux de fréquences que l'on désire conserver et atténuer les autres.

I. Différence entre filtre actif et filtre passif

Un filtre est dit actif lorsque celui-ci emploie des éléments actifs tel que l'AIL associé à des éléments passifs et permet ainsi d'obtenir éventuellement une amplification en tension supérieure à 1 dans la bande passante du filtre.
Un filtre est dit passif lorsque celui-ci emploie des éléments uniquement passifs et ne permet pas d'obtenir une amplification en tension supérieure à 1 dans la bande passante du filtre.

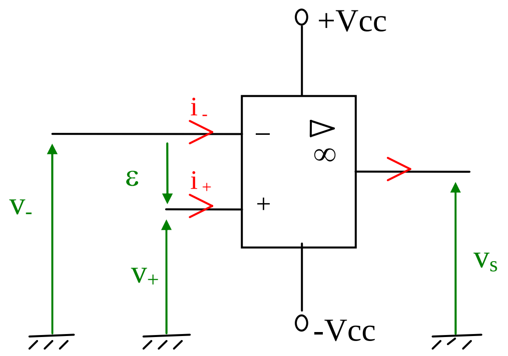
Cette amplification en tension est notée A ou T

Ainsi en notation complexe, on obtient :

$$\underline{A} = \frac{\underline{U}_{SM}}{\underline{U}_{EM}}$$

II. Rappels sur l'AIL. (Amplificateur Intégré Linéaire)

II.1. Symbole et notations



$i_+ = i_- = 0$ A
$\varepsilon = v_+ - v_-$
$v_s = k \cdot \varepsilon$

k est l'amplification de l'AIL en boucle ouverte.
Le coefficient k est très grand ($>10^5$).

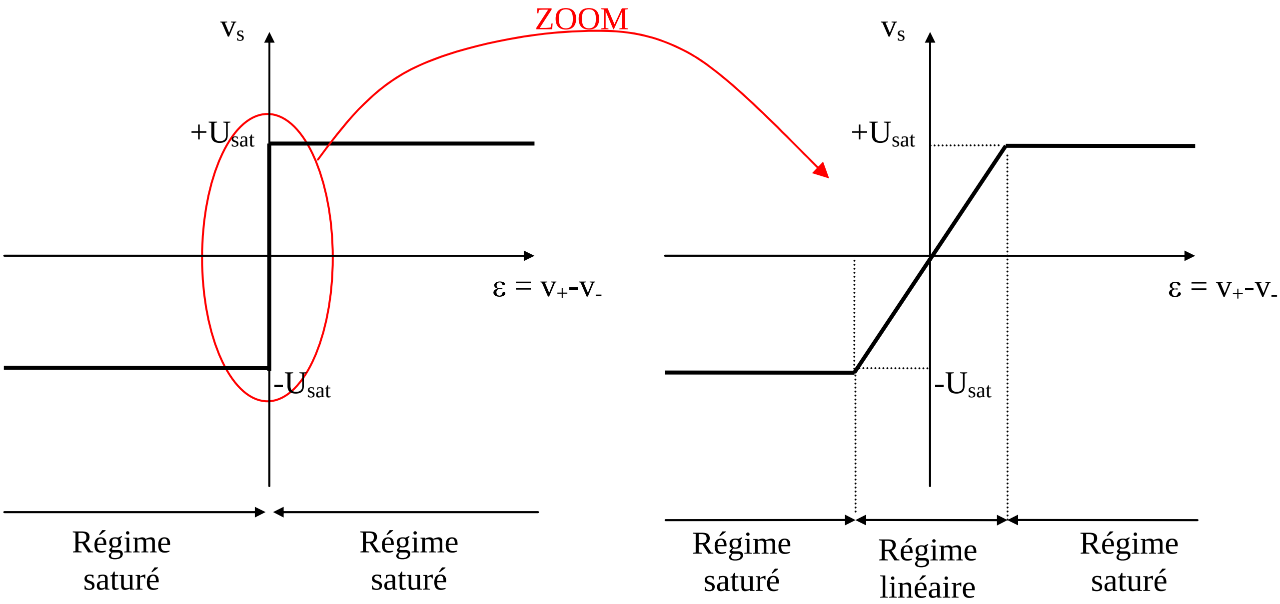
Le triangle est le symbole de l'amplification et rappelle qu'il s'agit d'un composant unidirectionnel :

- v_- et v_+ sont les entrées où v_- est l'entrée inverseuse et v_+ l'entrée non-inverseuse,
- v_S est la sortie.

Le symbole "∞" qui se trouve à l'intérieur du schéma du composant signifie que l'on peut idéaliser la caractéristique de transfert de l'AIL.

Le fonctionnement nécessite deux sources symétriques (en général) de polarisation continue +Vcc et -Vcc.

II.2. Caractéristique de transfert $v_S = f(v_+ - v_-)$



Caractéristique idéalisée **Caractéristique réelle**

En régime linéaire, $\varepsilon = 0 \Rightarrow v_+ = v_-$ et $-U_{sat} < v_S < +U_{sat}$

En régime saturé, si $v_+ > v_-$ alors $v_S = +U_{sat}$

si $v_+ < v_-$ alors $v_S = -U_{sat}$

II.3. Courants d'entrée

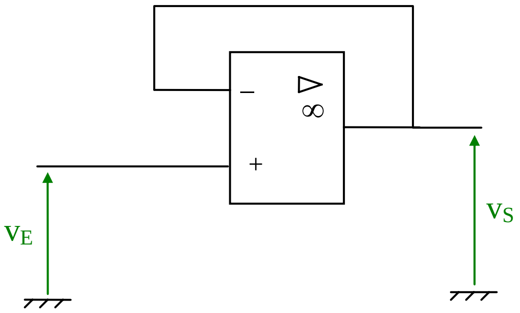
Les courants d'entrée d'un AIL idéal sont nuls. Ceci entraîne que la résistance d'entrée est infinie.

II.4. Résistance de sortie

La résistance de sortie d'un AIL idéalisé est nulle.

II.5. Les différentes structures de base à AIL

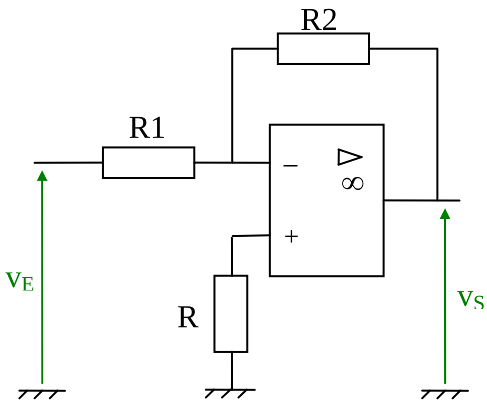
a) Le montage suiveur



……………………………………………………..
……………………………………………………..
……………………………………………………..
……………………………………………………..
……………………………………………………..
……………………………………………………..

Ce montage sert d'adaptateur d'impédance : sa résistance d'entrée est pratiquement infinie et sa résistance de sortie faible. Ce montage est appelé suiveur de tension puisque $\mathbf{v_S = v_E}$.

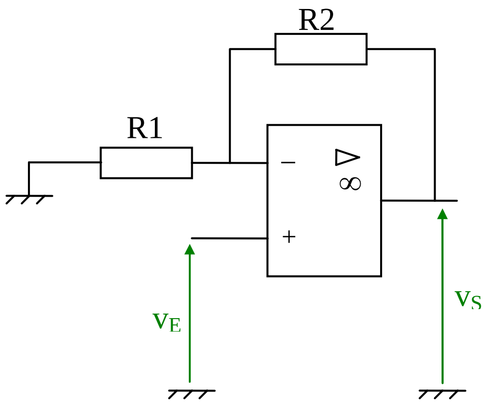
b) Le montage inverseur



……………………………………………………..
……………………………………………………..
……………………………………………………..
……………………………………………………..
……………………………………………………..
……………………………………………………..

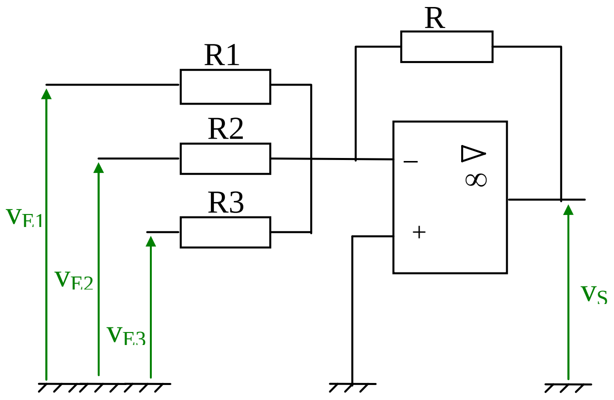
La résistance R permet de réduire l'influence des courants de polarisation I_+ et I_-. En théorie, nous ne tiendrons pas compte de cette résistance ($V_+ = 0V$).

c) Le montage non-inverseur



……………………………………………………..
……………………………………………………..
……………………………………………………..
……………………………………………………..
……………………………………………………..
……………………………………………………..

d) Le montage sommateur inverseur



……………………………………………………..

……………………………………………………..

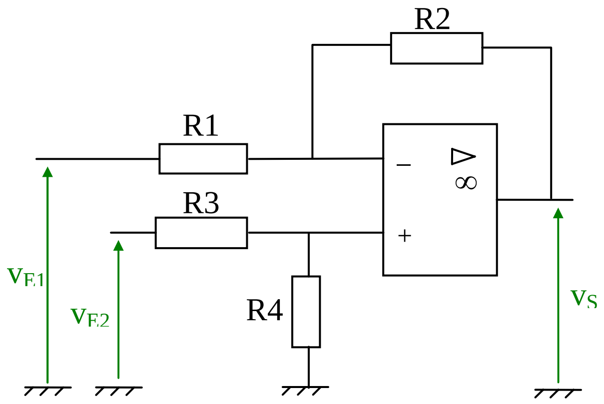
……………………………………………………..

……………………………………………………..

……………………………………………………..

……………………………………………………..

e) Le montage soustracteur



……………………………………………………..

……………………………………………………..

……………………………………………………..

……………………………………………………..

……………………………………………………..

……………………………………………………..

Démarche de calcul :

- Nommer les différents nœuds existants par des lettres significatives,
- Indiquer les différents courants en les nommant,
- Indiquer la relation qu'il pourrait y avoir entre les différents courants,
- Appliquer la loi de Chasles sur U_{SM} afin d'obtenir des tensions sur lesquelles nous pourrons appliquer la loi d'ohm, en n'oubliant pas de les flécher sur le schéma,
- Vous devez ainsi obtenir U_{SM} en fonction du (ou des) courant et des éléments résistifs,
- Réaliser la même démarche pour U_{EM} ou pour les différents signaux d'entrée.
- A partir de cette expression de U_{EM}, vous pouvez obtenir l'expression du courant circulant dans le premier élément,
- Maintenant, vous pouvez remplacer dans l'expression de U_{SM} le courant par son expression trouvée grâce à U_{EM},
- Vous obtenez alors U_{SM} en fonction de U_{EM} et des éléments résistifs du montage.

III. Les filtres actifs du 1^er^ ordre

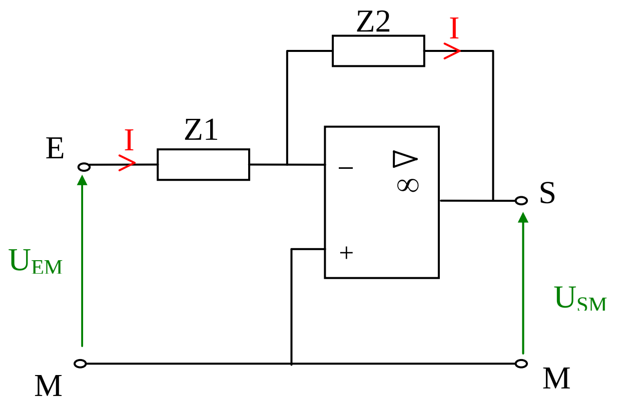
III.1. Structures de base des filtres actifs

Il existe deux structures qui sont souvent utilisées dans la conception des filtres actifs du 1er ordre. Ces structures sont :

- la structure inverseuse,
- la structure non-inverseuse.

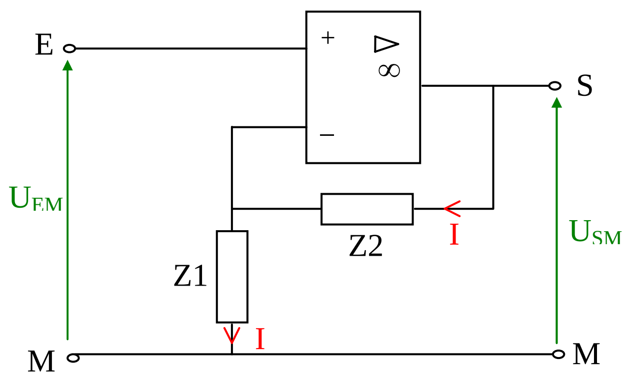
Dans ces deux structures, Z1 et Z2 sont des dipôles (éléments résistifs, capacitifs, inductifs ou association de ces éléments en série ou en parallèle).

a) La structure inverseuse :



$$\underline{A} = \frac{\underline{U_{SM}}}{\underline{U_{EM}}} = -\frac{\underline{Z2}}{\underline{Z1}}$$

b) La structure non-inverseuse



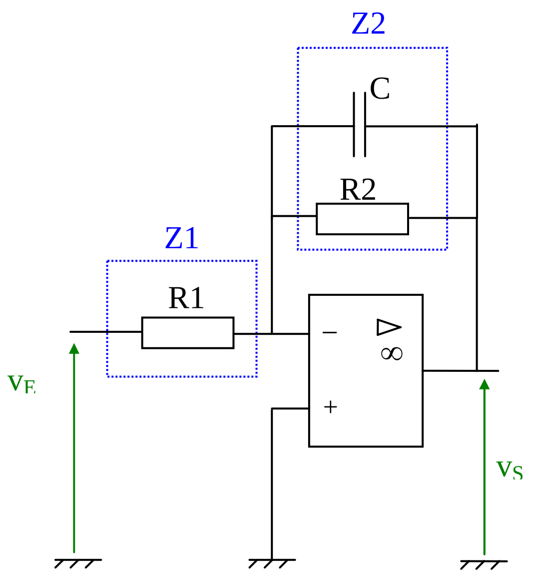
$$\underline{A} = \frac{\underline{U_{SM}}}{\underline{U_{EM}}} = 1 + \frac{\underline{Z2}}{\underline{Z1}}$$

Attention :

Dans cette structure l'entrée inverseuse de l'AIL a été placée en bas du symbole. La sortie est donc bien rebouclée sur l'entrée inverseuse.

III.2. Le filtre passe-bas actif

Soit le montage suivant :



III.2.1. Calculer l'amplification complexe A (ou transmittance complexe)

Pour simplifier les calculs, nous allons faire apparaître dans un premier temps les impédances Z1 et Z2.
Z1 n'est autre que l'élément résistif R1 et Z2 est la mise en parallèle de l'élément résistif R2 et du condensateur C. En faisant apparaître ces deux impédances, nous pouvons remarquer que ce montage est identique à la structure inverseuse.
Donc, vous allez d'abord faire le calcul de V_S en fonction de V_E, Z1 et Z2. Puis lorsque vous aurez trouvé la formule, vous remplacerez Z1 et Z2 par leurs composants respectifs.

……………………………………………………………………………………………………..

……………………………………………………………………………………………………...

……………………………………………………………………………………………………...

……………………………………………………………………………………………………..

……………………………………………………………………………………………………...

……………………………………………………………………………………………………...

……………………………………………………………………………………………………..

……………………………………………………………………………………………………...

……………………………………………………………………………………………………...

<u>Mettre</u> <u>A</u> <u>sous la forme suivante</u> :

$$\underline{A} = A_0 \times \frac{1}{1 + j\dfrac{\omega}{\omega_C}}$$

Vous indiquerez les expressions littérales de A_0 et de ω_C.

…………………………………………………………………………………………………..

…………………………………………………………………………………………………...

…………………………………………………………………………………………………...

…………………………………………………………………………………………………..

…………………………………………………………………………………………………...

…………………………………………………………………………………………………...

…………………………………………………………………………………………………..

…………………………………………………………………………………………………...

…………………………………………………………………………………………………...

III.2.2. <u>Calculer le module de</u> <u>A</u> <u>à partir de cette nouvelle expression</u>

D'après le cours sur les nombres complexes, on sait que si $\underline{Z} = \underline{Z}_1.\underline{Z}_2$ alors $|\underline{Z}| = |\underline{Z}_1|.|\underline{Z}_2|$

$|\underline{A}|$ = ……………………………………………………………………………………..

…………………………………………………………………………………………………...

…………………………………………………………………………………………………...

…………………………………………………………………………………………………...

…………………………………………………………………………………………………...

…………………………………………………………………………………………………...

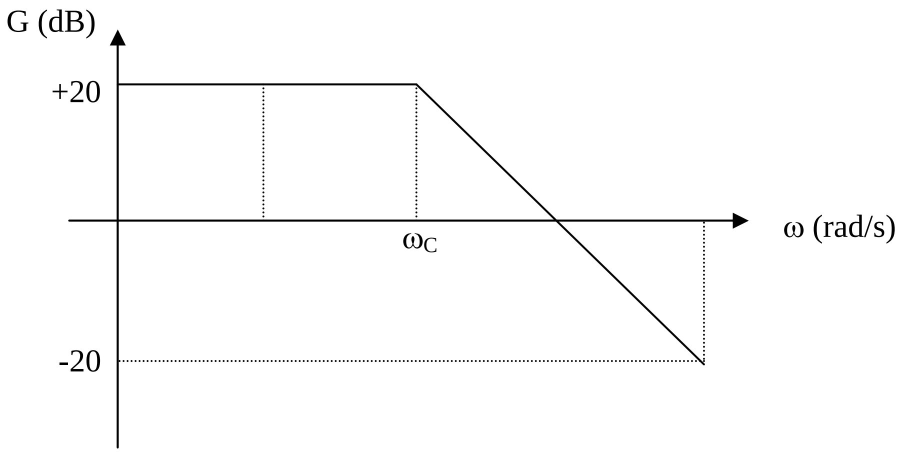
En étudiant les variations du module de <u>A</u>, nous pouvons démontrer quel est le type du filtre. Il suffit pour cela de trouver quelle pulsation est nécessaire pour obtenir $|\underline{A}|$ maximum.

III.2.3. Tracer le diagramme de BODE (courbe de gain)

Tableau de variation pour R2 = 10.R1

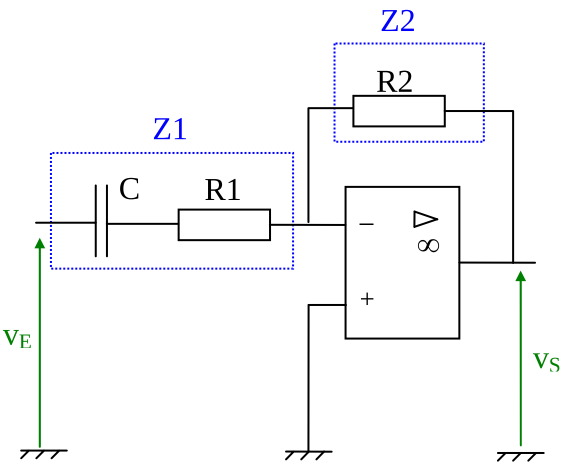
ω	$0{,}1.\omega_C$	$0{,}5.\omega_C$	ω_C	$2.\omega_C$	$10.\omega_C$
$\lvert\underline{A}\rvert$					
G (dB)					

Grâce à ce tableau de variation, nous pouvons tracer l'allure générale de la courbe de gain.
Nous pouvons constater qu'à la pulsation de coupure ω_C, le gain est de 17 dB soit 3 dB de moins que le gain maximal qui est de +20 dB.
Nous pouvons aussi constater que la pente est de –20 dB/décade.



III.3. Le filtre passe-haut actif

Soit le montage suivant :



III.3.1. Calculer l'amplification complexe A (ou transmittance complexe)

Pour simplifier les calculs, nous allons faire apparaître dans un premier temps les impédances Z1 et Z2.
Z1 est la mise en série de l'élément résistif R1 et du condensateur C et Z2 n'est autre que l'élément résistif R2. En faisant apparaître ces deux impédances, nous pouvons remarquer que ce montage est identique à la structure inverseuse.
Donc, vous allez d'abord faire le calcul de V_S en fonction de V_E, Z1 et Z2. Puis lorsque vous aurez trouvé la formule, vous remplacerez Z1 et Z2 par leurs composants respectifs.

…………………………………………………………………………………………………..

…………………………………………………………………………………………………...

…………………………………………………………………………………………………...

…………………………………………………………………………………………………..

…………………………………………………………………………………………………...

…………………………………………………………………………………………………...

…………………………………………………………………………………………………..

…………………………………………………………………………………………………...

…………………………………………………………………………………………………...

Mettre $\underline{A}$ sous la forme suivante :

$$\underline{A} = A_0 \times \frac{1}{1 - j\dfrac{\omega_C}{\omega}}$$

Vous indiquerez les expressions littérales de A_0 et de ω_C.

…………………………………………………………………………………………………..

…………………………………………………………………………………………………...

…………………………………………………………………………………………………...

…………………………………………………………………………………………………..

…………………………………………………………………………………………………...

…………………………………………………………………………………………………...

…………………………………………………………………………………………………..

…………………………………………………………………………………………………...

…………………………………………………………………………………………………...

III.2.2. Calculer le module de $\underline{A}$ à partir de cette nouvelle expression

D'après le cours sur les nombres complexes, on sait que si $\underline{Z} = \underline{Z}_1.\underline{Z}_2$ alors $|\underline{Z}| = |\underline{Z}_1|.|\underline{Z}_2|$

$|\underline{A}|$ = ……………………………………………………………………………………..

…………………………………………………………………………………………………...

…………………………………………………………………………………………………...

…………………………………………………………………………………………………...

…………………………………………………………………………………………………...

…………………………………………………………………………………………………...

En étudiant les variations du module de $\underline{A}$, nous pouvons démontrer quel est le type du filtre. Il suffit pour cela de trouver quelle pulsation est nécessaire pour obtenir $|\underline{A}|$ maximum.

III.3.3. Tracer le diagramme de BODE (courbe de gain)

Tableau de variation pour R2 = 10.R1

ω	$0{,}1.\omega_C$	$0{,}5.\omega_C$	ω_C	$2.\omega_C$	$10.\omega_C$
$\lvert\underline{A}\rvert$					
G (dB)					

Grâce à ce tableau de variation, nous pouvons tracer l'allure générale de la courbe de gain.
Nous pouvons constater qu'à la pulsation de coupure ω_C, le gain est de 17 dB soit 3 dB de moins que le gain maximal qui est de +20 dB.
Nous pouvons aussi constater que la pente est de +20 dB/décade.