



Table des matières

1	Modèle idéal de l'Amplificateur Linéaire Intégré (ALI)	1
1.1	Présentation de l'ALI	1
1.2	Modèle idéal de l'ALI	2
2	Filtrage actif à l'aide d'un ALI	3
2.1	Montage suiveur	3
2.2	Montage amplificateur non-inverseur	4
2.3	Montage amplificateur inverseur	5
2.4	Montage intégrateur	6
3	Impédance d'entrée et de sortie, montage en série de filtres	8

Savoirs ♥

- ▷ ♥ Notion de filtre actif
- ▷ ♥ **Réponse d'un ALI idéal en régime linéaire**
 - ▷ cas d'une rétroaction sur l'entrée inverseuse
 - ▷ cas d'une rétroaction sur l'entrée non-inverseuse
 - ▷ cas sans rétroaction
- ▷ ♥ Impédance d'entrée et impédance de sortie

Savoir Faire

-  *Trouver le lien tension d'entrée - tension de sortie pour les montages suiveur ; non-inverseur ; inverseur ; intégrateur*
-  *Estimer les impédances d'entrée et de sortie d'un filtre. Justifier qu'on choisit des fortes impédances d'entrée et de faibles impédances de sortie*

Nous avons étudié dans le chapitre précédent des dispositifs de filtrage linéaire passif, c'est-à-dire des dispositifs uniquement composés de dipôle linéaire passif (bobine, condensateur, résistance). Nous nous intéressons ici au fonctionnement d'un composant actif : l'Amplificateur Linéaire Intégré ou ALI.

1 Modèle idéal de l'Amplificateur Linéaire Intégré (ALI)

1.1 Présentation de l'ALI

L'Amplificateur Linéaire Intégré (ou ALI) est un composant actif :

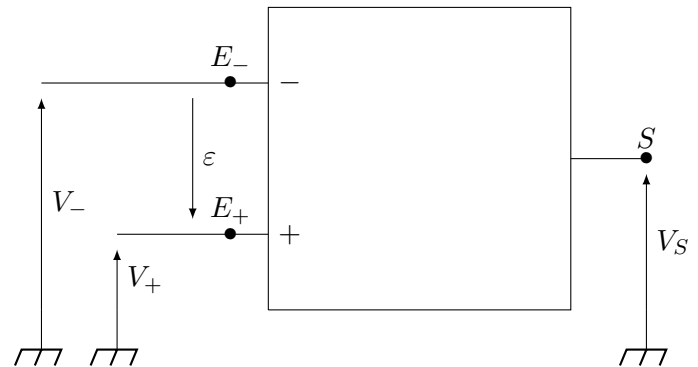
1. il doit être alimenté électriquement pour fonctionner (ce qui n'est pas le cas d'une résistance ou d'une bobine).
 2. il peut fournir de l'énergie au système \Rightarrow effet amplificateur
- ⚡⚡⚡ **Attention !** On ne précise jamais l'alimentation électrique sur un schéma de montage mais elle ne doit pas être oubliée pour autant. A

► **Schéma de branchement d'un ALI**

L'ALI est modélisé par un bloc à trois connexions (tripôle) :

- ▷ une entrée "+", point E_+ , au potentiel V_+ , dite "non-inverseuse"
- ▷ une entrée "-", point E_- , au potentiel V_- , dite "inverseuse"
- ▷ une sortie, au potentiel V_S

On représente parfois un ALI par un triangle. Les deux représentations sont équivalentes.

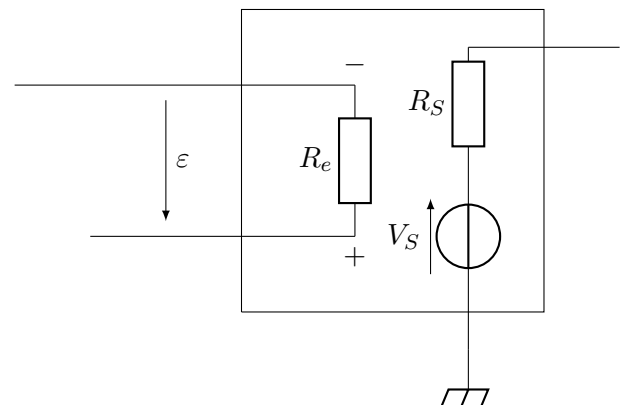


► **Circuit équivalent d'un ALI**

On appelle :

- ▷ i_+ et i_- les courants entrant dans les entrées + et -
- ▷ i_S l'intensité de sortie
- ▷ R_e la résistance d'entrée de l'ALI, représentant la résistance entre les bornes + et -
- ▷ R_S la résistance de sortie de l'ALI, représentant la résistance entre les bornes sortie et la masse

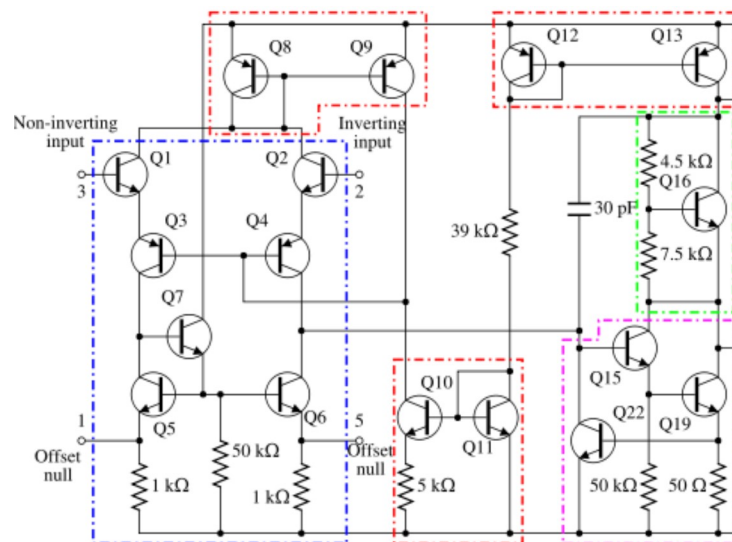
Schéma équivalent :



1.2 Modèle idéal de l'ALI

Une des utilités de l'ALI est de pouvoir mettre en place une boucle de rétroaction en réalisant un branchement électrique entre la sortie et une des entrées.

Suivant la boucle de rétroaction qu'on met en place, l'ALI possède deux comportements : linéaire ou saturé. La composition interne d'un ALI étant bien trop complexe (cf schéma ci-contre), on adoptera une représentation idéale de son fonctionnement.



Propriété. Modèle idéal de l'ALI

- ▷ La résistance d'entrée est infini, ainsi les courants d'entrées sont nuls : $i_+ = i_- = 0$
- ▷ La résistance de sortie est nulle
- ▷ **en cas de rétroaction de la sortie sur l'entrée négative de l'ALI**
le régime linéaire est atteint et dans ce cas :

$$\varepsilon = V_+ - V_- = 0$$

- ▷ **en cas de rétroaction de la sortie sur l'entrée positive de l'ALI ou s'il n'y a pas de rétroaction**
le régime saturé est atteint et dans ce cas :

$$V_S = +V_{sat} \text{ si } \varepsilon > 0 \text{ et } V_S = -V_{sat} \text{ si } \varepsilon < 0$$

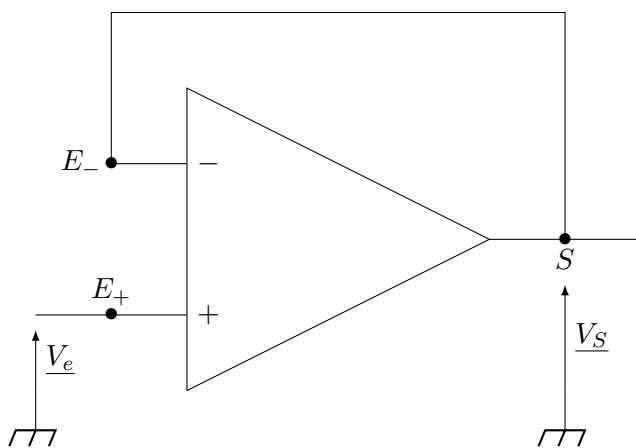
2 Filtrage actif à l'aide d'un ALI

Les montages suivants doivent être maîtrisés dans l'analyse, il n'est pas nécessaire de les apprendre par coeur.

L'objectif des montages est d'exprimer le lien entre la tension d'entrée $\underline{V_e}$ et de sortie $\underline{V_S}$.

2.1 Montage suiveur

On étudie toujours un ALI en RSF

**1) Analyser le mode de fonctionnement de l'ALI**

On parle de rétroaction si la sortie est relié par un fil ou des dipôles à une des deux entrées

- ▷ rétroaction sur l'entrée négative \Rightarrow Régime linéaire
- ▷ rétroaction sur la branche positive ou pas de rétroaction \Rightarrow Régime saturé

Ici : rétroaction sur la branche négative \Rightarrow Régime linéaire : $\varepsilon = V_+ - V_- = 0$.

2) Branchement des bornes + et - :

$$\underline{V_+} = \underline{V_e} \text{ donc } \underline{V_-} = \underline{V_e}.$$

3) Analyse de la boucle de rétro-action

La sortie et l'entrée négative sont reliées par un fil : elles ont la même tension.

$$\underline{V_-} = \underline{V_S}$$

4) Fonction de transfert et analyse

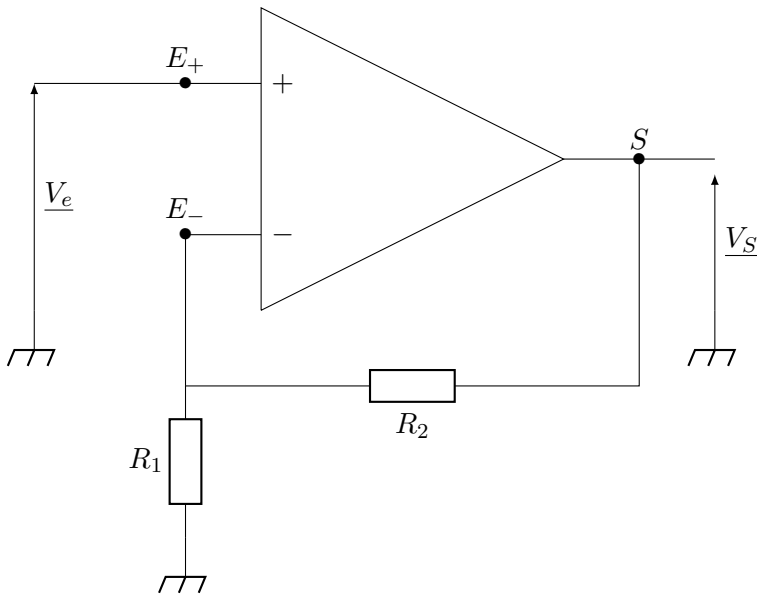
Par définition $\underline{H} = \frac{\underline{V_S}}{\underline{V_e}}$. Ici

$$\underline{V_S} = \underline{V_-} = \underline{V_+} = \underline{V_e} \Rightarrow \underline{V_S} = \underline{V_e} \Rightarrow \underline{H} = 1$$

La tension de sortie est strictement identique à la tension d'entrée : on parle de montage suiveur.

*** **Attention !** Ce montage, a priori inutile, possède une utilité pratique qu'on décrira dans la partie suivante.

2.2 Montage amplificateur non-inverseur



1) Analyser le mode de fonctionnement de l'ALI

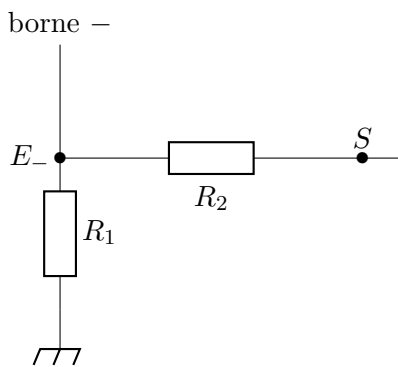
Rétroaction sur la branche négative
 ⇒ Régime linéaire : $\varepsilon = V_+ - V_- = 0$.

2) Branchement des bornes + et - :

$$\underline{V_+} = \underline{V_e} \text{ donc } \underline{V_-} = \underline{V_e}$$

3) Analyse de la boucle de rétro-action

Le branchement retour est *plus compliqué* que juste un fil : on fait un schéma de branchement de la boucle de rétroaction !!

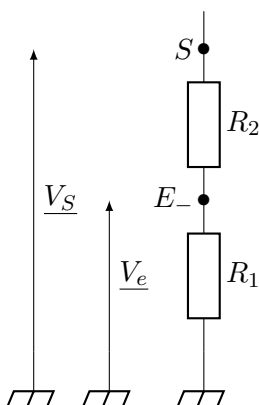


*** **Attention !** Pour le modèle idéal les courants d'entrées sont nuls : il n'y a pas de courant entrant dans la borne -.

On peut alors considéré que le fil allant à la borne - n'existe pas : il n'y pas de noeud véritable entre R_1 et R_2 .

Astuce pratique : On fera toujours TOUJOURS en sorte de représenter sur le schéma les tensions d'entrée $\underline{V_e}$ et de sortie $\underline{V_S}$

- ▷ $\underline{V_e}$ est la tension au point E_+ et donc au point E_-
- ▷ $\underline{V_S}$ est la tension au point S



Par un pont diviseur de tension :

$$\underline{V_e} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \underline{V_S} \Rightarrow \underline{V_S} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \underline{V_e}$$

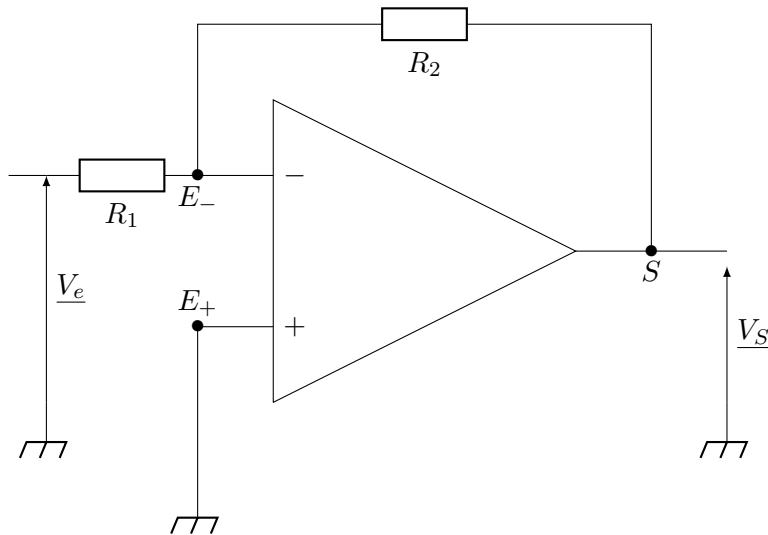
4) Fonction de transfert et analyse

$$\underline{H} = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

On remarque que $(R_1 + R_2)/R_1 > 1$: le signal de sortie est identique au signal d'entrée mais amplifié.

*** **Attention !** Il y a ici un apport d'énergie : ce n'est possible que parce que l'ALI est un dipôle actif.

2.3 Montage amplificateur inverseur



1) Analyser le mode de fonctionnement de l'ALI

Rétroaction sur la branche négative
 ⇒ Régime linéaire : $\varepsilon = V_+ - V_- = 0$.

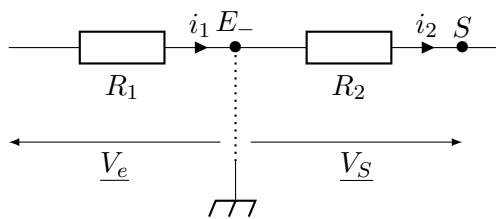
2) Branchement des bornes + et - :

Ici $V_+ = 0$ donc $V_- = 0$.

3) Analyse de la boucle de rétro-action

Dans le régime idéal, il n'y a pas de courant entrant dans la borne - : on ne la représente pas le fil allant à cette borne sur le schéma.

Le point E_+ est relié à la masse, et donc le point E_- également.



On a donc $i_1 = i_2$.

⚠️⚠️⚠️ **Attention !** On représente la masse sur le schéma mais ce n'est pas un fil!!

Loi d'Ohm en RSF :

$$i_1 = V_e/R_1 \text{ et } i_2 = -V_S/R_2$$

⚠️⚠️⚠️ **Attention !** R_2 est en convention générateur!!!

On a donc :

$$V_S = -\frac{R_1}{R_2}V_e$$

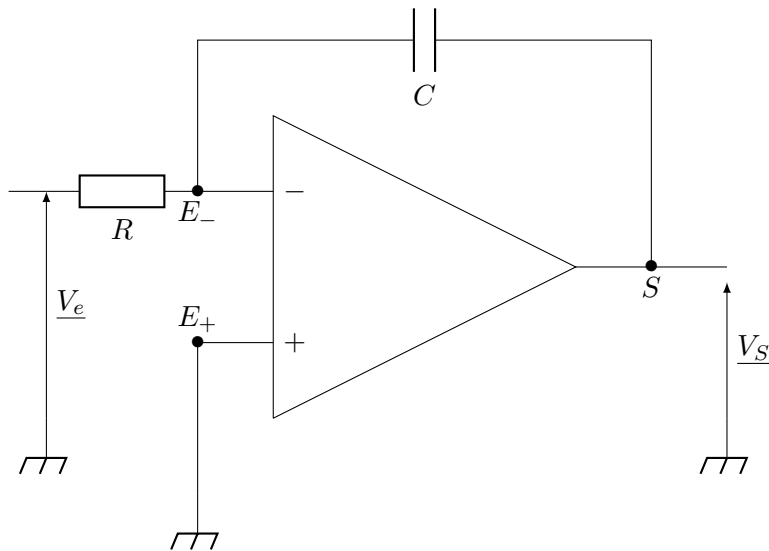
4) Fonction de transfert et analyse

$$H = -\frac{R_1}{R_2}$$

De nouveau, le signal est amplifié si $R_1 > R_2$. Mais contrairement au cas précédent, le signal de sortie est multiplié par -1 , soit un déphasage de π .

♡ *Instant math* ♡ : $-1 = e^{j\pi}$.

2.4 Montage intégrateur



1) Analyser le mode de fonctionnement de l'ALI

Rétroaction sur la branche négative
 ⇒ Régime linéaire : $\varepsilon = V_+ - V_- = 0$.

2) Branchement des bornes + et - :

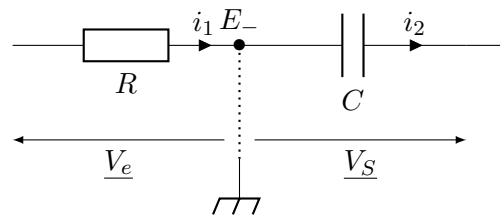
Ici $V_+ = 0$ donc $V_- = 0$.

3) Analyse de la boucle de rétro-action

On est dans un cas similaire à celui de l'amplificateur inverseur avec $R_2 \rightarrow C$.

S

Il n'y a pas de courant entrant dans la borne - : on ne la représente pas sur le schéma. On a donc $i_1 = i_2$.



Par la loi d'Ohm en RSF

$$i_1 = \frac{V_e}{R_1} \text{ et } i_2 = -\frac{C}{1/jC\omega}$$

⚠️⚠️⚠️ **Attention !** C est en convention générateur!!!

On a donc :

$$V_S = \frac{V_e}{jC\omega}$$

4) Fonction de transfert et analyse

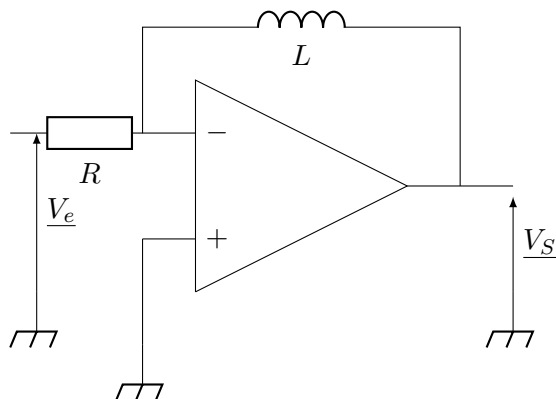
$$H = -\frac{1}{jRC\omega}$$

On reconnaît ici l'intégration en RSF :

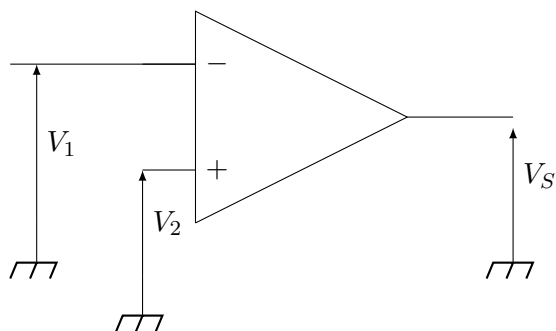
$$V_S = -\frac{V_e}{jC\omega} \Rightarrow V_S = -\frac{1}{RC} \int V_e dt$$

Application 1 : On suppose que le signal d'entrée est un signal créneau d'amplitude E_0 et de fréquence T . Représenter le signal V_S de sortie.
On précisera la valeur des pentes.

Application 2 : Quelle opération réalise le montage suivant ?



Application 3 : Donner la valeur de la tension de sortie V_S . On pourra distinguer deux cas suivant que $V_1 > V_2$ ou $V_1 < V_2$.



3 Impédance d'entrée et de sortie, montage en série de filtres

Notion de bloc en électronique

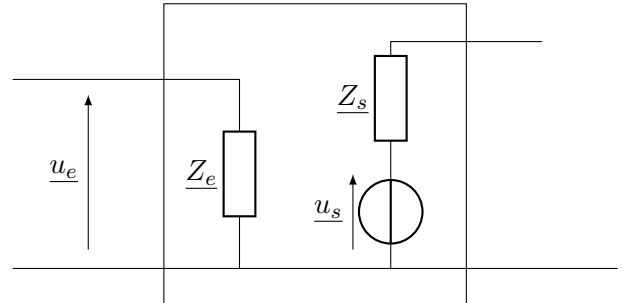
Pour simplifier la représentation des circuits et faciliter l'analyse, il est plus simple en électronique de représenter les éléments d'un circuit par des blocs qui réalisent des opérations bien spécifiques : filtrage, amplification de tension, intégration, ...

Un bloc est généralement un quadripôle qui se définit à l'aide

- ▷ une fonction de transfert qui relie la tension d'entrée et la tension de sortie.

$$\underline{H} = \frac{u_s}{u_e}$$

- ▷ une impédance d'entrée \underline{Z}_e
- ▷ une impédance de sortie \underline{Z}_s



Propriété. Lien $u_e - u_s$

La tension de sortie est déterminée par la tension d'entrée du bloc et la fonction de transfert :

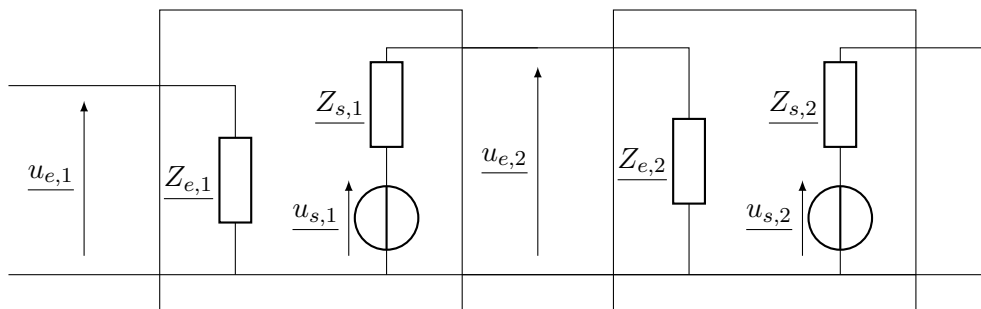
$$u_s = \underline{H}u_e$$

Influence des impédances :

- ▷ l'impédance d'entrée \underline{Z}_e représente comment le bloc influence le circuit en amont
- ▷ l'impédance de sortie \underline{Z}_s représente comment le bloc influence le circuit en aval

Chaînes de blocs

L'intérêt de la représentation en blocs est de faire des chaînes de blocs pour réaliser des montages à la fois complexe mais représenté simplement.



La tension d'entrée ressentie par le bloc 2 est $u_{e,2}$. Elle est générée par la tension de sortie du bloc 1. par un pont diviseur de tension on a :

$$u_{e,2} = \frac{Z_{e,2}}{Z_{e,2} + Z_{s,1}}$$

La tension reçue par le second bloc n'est pas la tension de sortie du premier bloc car :

- ▷ $Z_{s,1}$ modifie la tension que reçoit le bloc 2
- ▷ $Z_{e,2}$ modifie la tension que génère le bloc 1

Pour s'affranchir de ce problème il faut que :

$$|Z_{e,2}| \gg |Z_{s,1}|$$

Propriété. Blocs en cascade et impédances

Pour associer efficacement deux blocs d'électroniques il faut que l'impédance de sortie du bloc en amont soit négligeable devant l'impédance d'entrée du bloc en aval.

Propriété. Impédances idéale de sortie et d'entrée

Un bloc idéal possède :

- ▷ une impédance d'entrée infini : $Z_e = +\infty$
- ▷ une impédance de sortie nulle : $Z_s = 0$

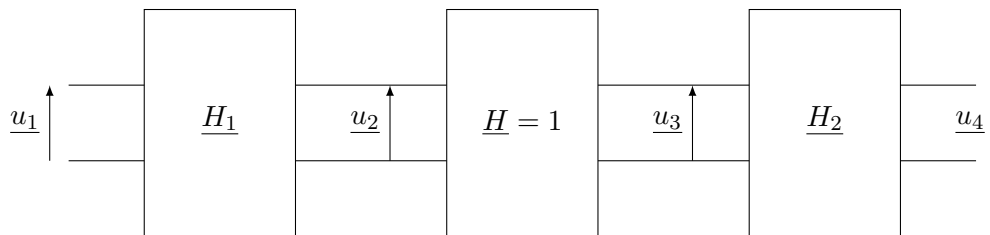
Autrement dit, dans l'idéal aucun courant ne rentre dans un bloc.

Application : filtres en cascade

Exemple 1 : On considère l'association de deux filtres telle que :

$$\underline{H}_1 = \underline{H}_2 = \frac{1}{1 + j \frac{\omega}{\omega_0}}$$

avec $\omega_0 = 1\text{kHz}$.



1. Quel est la nature du filtre 1 ? Quel est son ordre ?
2. Donner un montage électronique simple permettant de réaliser ce filtre. On précisera la valeur des composants.
3. Quel est l'intérêt du montage suiveur ?
4. Donner l'expression de la fonction de transfert globale $\underline{H} = \frac{u_4}{u_1}$.
5. On injecte en entrée du montage un signal u_1 de la forme :

$$u_1(r) = U + u_0 \cos \omega_0 t \cos 2\omega_0 t$$

avec $U = 5\text{V}$ et $u_0 = 6\text{V}$.

- ▷ Montrer que ce signal peut s'écrire comme la somme de deux sinusoïde
- ♡ Instant math ♡

$$\cos p \cos q = \frac{1}{2} (\cos(p + q) + \cos(p - q))$$

- ▷ Représenter l'allure du spectre de u_4
- ▷ Déterminer le spectre du signal de sortie (on déterminera notamment les amplitudes des différentes harmoniques)
- ▷ En déduire le signal de sortie.