LP 22 - Rétroaction et oscillations

Niveau : CPGE (PSI)

Prérequis :
- Electrocinétique
- ALI (ex-AO)
- Filtres linéaires (fonction de transfert, diagramme de Bode)
- Notation en transformée de Laplace

Plan :
Introduction
1. Rétroaction et systèmes bouclés
    a. Nécessité d'une rétroaction
    b. Comportement d'un système bouclé
    c. Stabilité d'un système bouclé
2. Oscillations dans un système bouclé instable
    a. Oscillateur à pont de Wien
    b. Condition d'auto-oscillation
    c. Caractérisation des oscillations

Conclusion

NOTES

Introduction

- Rétroaction : on réinjecte le signal de sortie vers l'entrée. On a alors un système bouclé.

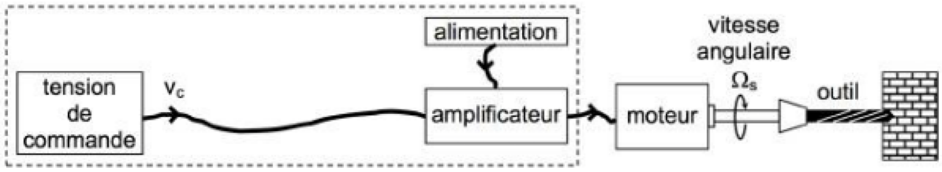
- Notion présente dans de nombreux domaines :
- ❖ En biologie : régulation de la température du corps
- ❖ En acoustique : effet Larsen
- ❖ En électronique : montage comportant des ALI

- Il faut distinguer deux grandes familles de systèmes bouclés :
- ❖ Les systèmes asservis : on réalise une boucle de rétroaction afin que la sortie suive la commande imposée
- ❖ Les systèmes oscillants : on met en place une boucle afin de rendre le système instable et le faire osciller.

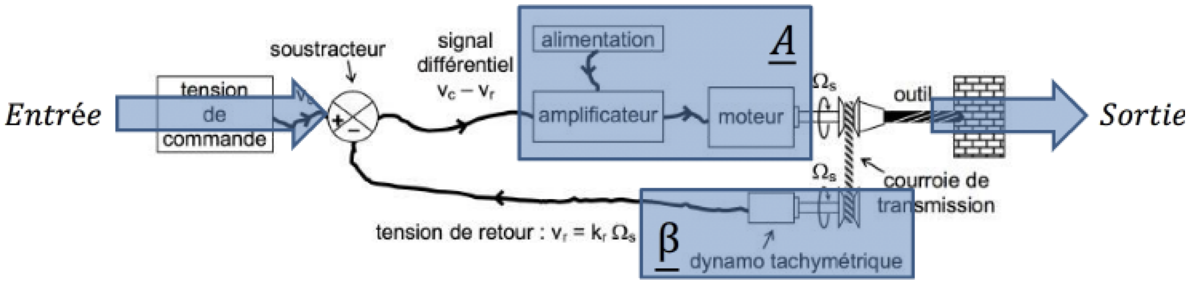
1. Rétroaction et systèmes bouclés

    1.1 Nécessité d'une rétroaction

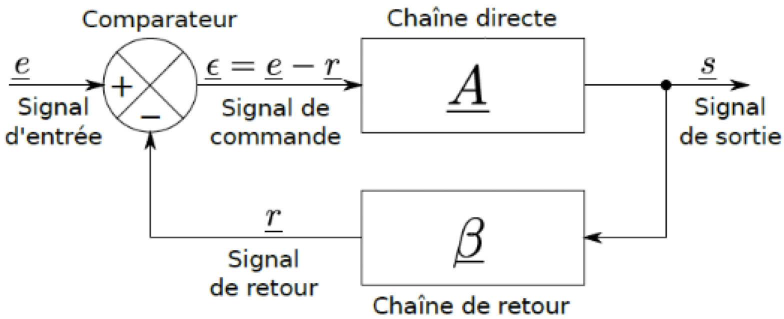
Exemple d'une perceuse :



moteur qui va permettre de faire tourner l'outil avec une certaine rotation.
Couple plus élevé quand la perceuse est contre le mur que dans le vide.
pour corriger le défaut on asservit le système → dynamo tachycardique
tension de retour pour augmenter la tension d'entrée



- Schéma fonctionnel d'un système bouclé



Il est composé de 3 organes :

- Une chaîne directe de fonction de transfert A(p) contenant un actionneur
- Une chaîne de retour de fonction de transfert bêta(p) pouvant contenir un capteur
- un comparateur

compare le signal d'entrée et le signal de retour
flèche : ne représente pas la principal source d'énergie du système (alim extérieure)

1.2 Comportement d'un système bouclé

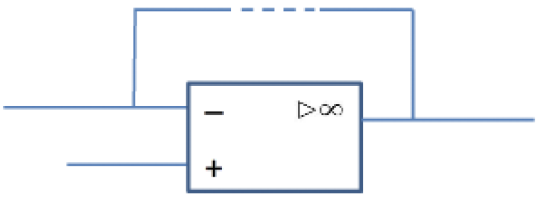
- Fonction de transfert en boucle fermée (FTBF)

$$\boxed{\underline{H}_{FTBF} = \frac{\underline{s}}{\underline{e}} = \frac{\underline{A}}{1 + \underline{A}\underline{\beta}}}$$

- Fonction de transfert en boucle ouverte (FTBO)

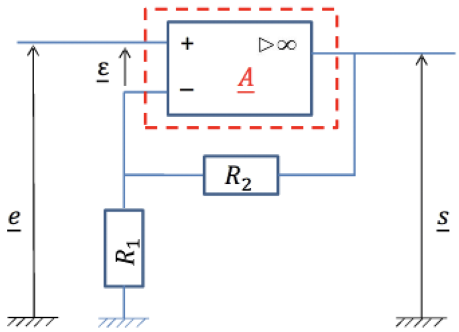
$$\boxed{\underline{H}_{FTBO} = \frac{\underline{r}}{\underline{e}} = \underline{A}\underline{\beta}}$$

L'amplificateur linéaire intégré (ALI) est un exemple de système bouclé en électronique ; en fonctionnement linéaire il faut une boucle entre la sortie et la borne inverseuse de l'ALI.



Attention → dans le comparateur si on a un soustracteur plus qu'un additionneur on aura un signe moins dans la formule au niveau du bêta.

- Exemple du montage amplificateur non inverseur

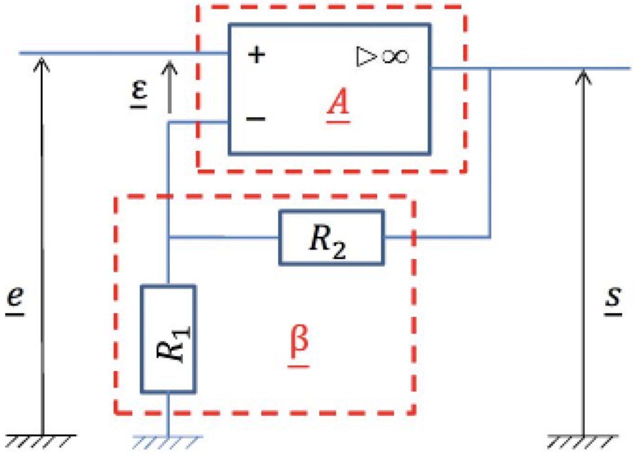


Chaîne directe modélisée par l'ALI, sa fonction de transfert au 1er ordre est :

$$\underline{A}(p) = \frac{A_0}{1 + \tau p} \qquad \text{avec } A_0 \gg 1 \text{ et } R_2 \ll A_0 R_1$$

Chaîne directe de premier ordre → Filtre passe bas
Même ordre de grandeur

$$\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$



On étudie le montage à partir des deux équations A et bêta

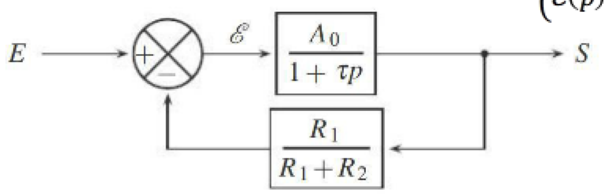
$$i_1 = i_2 + i^-$$

Avec la loi d'Ohm, $\quad i_1 = \frac{0-v^-}{R_1}$ et $i_2 = \frac{v^- - s}{R_2}$

La loi des nœuds devient : $\quad v^- = \frac{R_1}{R_1+R_2} s$

Par définition, $\quad \varepsilon = v^+ - v^- = e - \frac{R_1}{R_1+R_2} s$

En notation de Laplace, le montage est régit par le système : $\begin{cases} S(p) = \frac{A_0}{1+\tau p} \mathcal{E}(p) \\ \mathcal{E}(p) = E(p) - \frac{R_1}{R_1+R_2} S(p) \end{cases}$



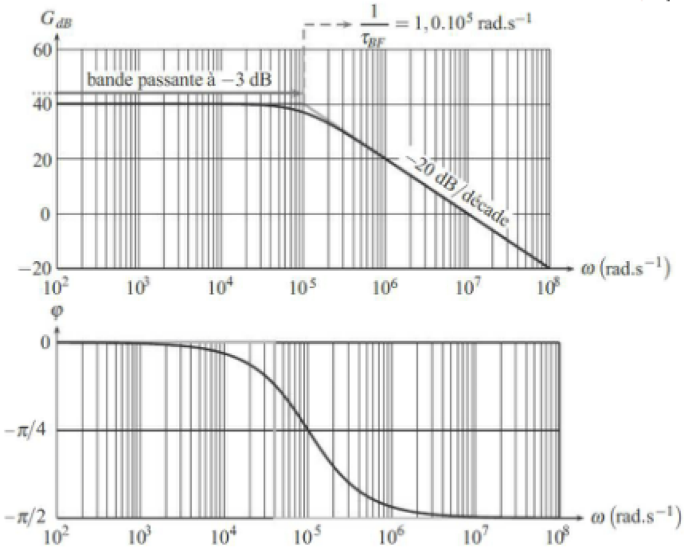
La fonction de transfert en boucle fermée est : $\quad \underline{H}_{FTBF} = \frac{A_0}{1+\tau p} \frac{1}{1 + \frac{A_0}{1+\tau p} \frac{R_1}{R_1+R_2}}$

Chaîne directe ALI
Boucle de retour modélisée par la rétroaction
Passe bas de premier ordre → fonction de transfert

Après simplifications, la FTBF s'exprime sous la forme suivante :

$$\underline{H}_{FTBF} = \frac{H_0}{1+\tau_{BF}p}$$

avec $H_0 = 1 + \frac{R_2}{R_1}$ et $\tau_{BF} = \frac{\tau}{A_0}\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)$



R_1	$10^3\Omega$
R_2	$10^5\Omega$
A_0	2.10^5
τ	$1,0.10^{-2}s$

2] Dunod – p.48

Temps caractéristique du montage = to$_{BF}$
En boucle fermée elle est à 10^{-5}
Diagramme de bode tracé ici.
Gain statique H_0 en fonction de 10^2
Il ne réalise ce pour quoi il a été fait que dans une certaine fréquence → bande passante.(10^2 à 10^5)

- Remarques :
  - Le gain H_0 et le temps caractéristique τ_{BF} dépendent de R_1 et R_2 : on peut jouer sur les caractéristiques du système
  - Plus τ_{BF} est grand, plus le système est lent (et la bande passante est faible) : un système est d'autant plus rapide que sa bande passante est large.
  - Conservation du produit gain-bande passante :

$$H_0 \times \frac{1}{\tau_{BF}} = \left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)\frac{1}{\tau_{BF}} = A_0 \times \frac{1}{\tau}$$

Compromis entre valeur de gain et largeur de bande passante / rapidité.

1.3 Stabilité d'un système bouclé

- Définition de la stabilité :

un système linéaire est stable si et seulement si, pour une entrée bornée la sortie reste bornée.

- Critère de stabilité pour les systèmes d'ordre 1 ou 2

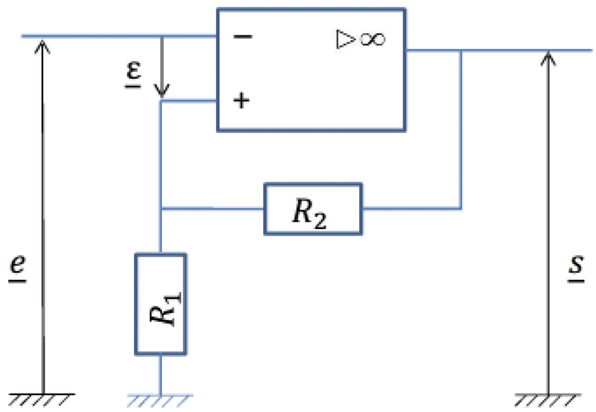
Un système d'ordre 1 ou 2 est stable, si et seulement si, tous les coefficients du dénominateur de la fonction de transfert sont de même signe.

- Exemple du montage amplificateur non inverseur ; système stable

$$\underline{H}_{FTBF} = \frac{H_0}{1 + \tau_{BF} p}$$

On a inversé les branchements de l'alimentation.

- Exemple du montage comparateur à hystérésis



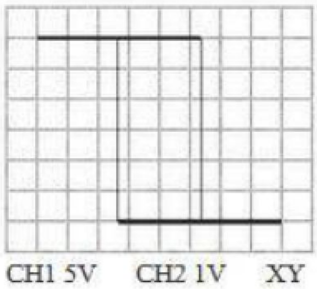
$$\underline{H}_{FTBF} = \frac{\underline{A}}{1 - \underline{A}\beta}$$

Après calculs : $$\underline{H}_{FTBF}(p) = \frac{1 + \frac{R_2}{R_1}}{1 - \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)\frac{\tau}{A_0} p}$$

Maintenant on observe une hystérésis → montage à hystérésis. Ce n'est plus linéaire.

- Exemple du montage comparateur à hystérésis

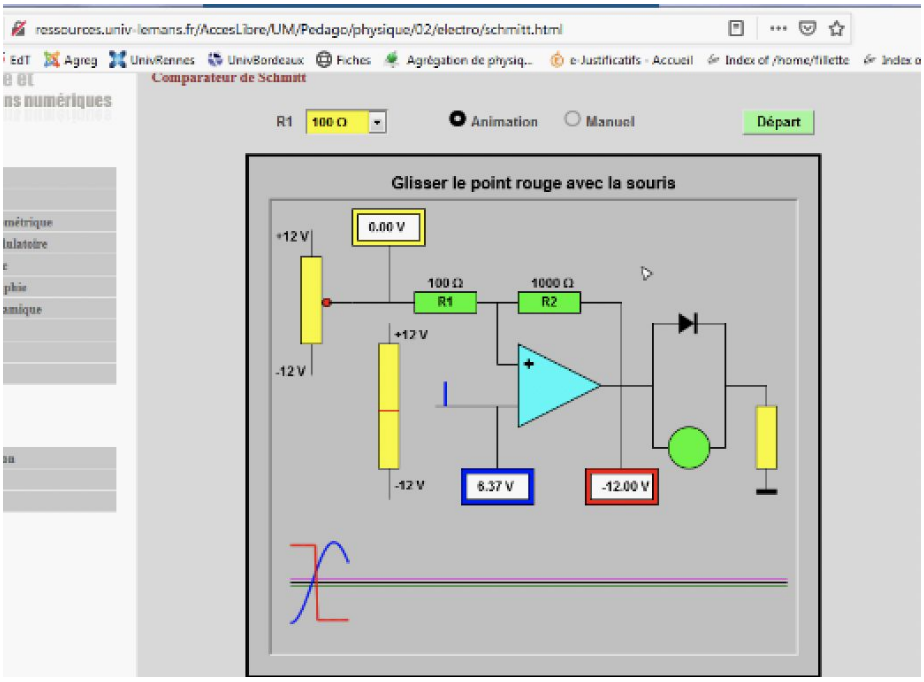
A l'oscilloscope, on observe la sortie $\underline{s}$ en fonction de l'entrée $\underline{e}$:



http://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/electro/schmitt.html

Le montage est instable et le système n'est plus linéaire.

Animation :
http://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/electro/schmitt.html



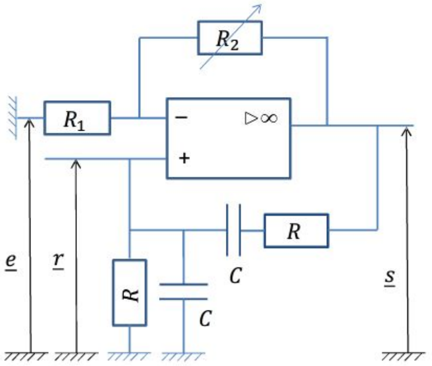
On observe que le signal va saturé au fur et à mesure → montage instable. Il n'est plus dans son domaine de linéarité

Instabilité ne sont pas toujours considérées comme néfaste.

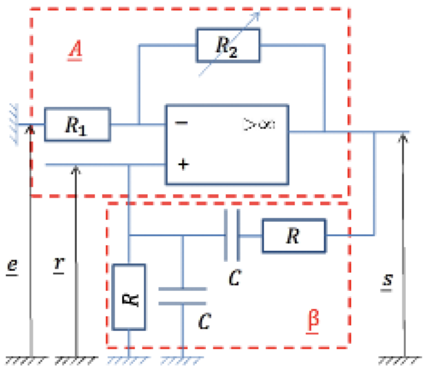
2. Oscillations dans un système bouclé instable

2.1 Oscillateur à pont de Wien

Montage à faire en présentation.



Association d'un passe haut et d'un passe bande ?

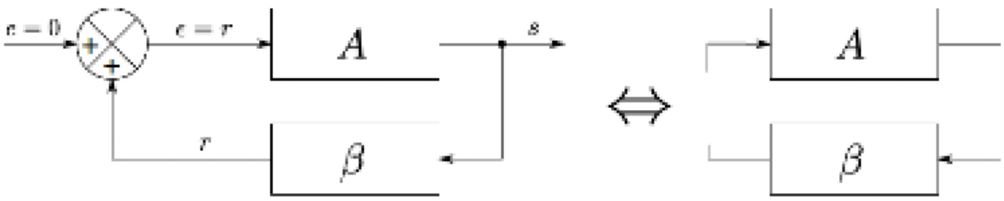


$$\underline{A} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

$$\underline{\beta} = \frac{1/3}{1 + jQ\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)}$$

avec $Q = \frac{1}{3}$ et $\omega_0 = \frac{1}{RC}$

Pas de source à l'entrée de la boucle dans un système auto oscillant ; le signal est engendré par le système lui même.
Oscillateur quasi-sinusoïdale :



$$\underline{H}_{FTBF} = \frac{\underline{s}}{\underline{e}} = \frac{\underline{A}}{1 - \underline{A}\underline{\beta}}$$

Schéma bloc pour un oscillateur quasi sinusoïdale.
Entrée nulle, donc simplement un bouclage entre la chaîne directe et la chaîne de retour
On a un additionneur → fonction de transfert sous la forme add.

2.2 Condition d'auto-oscillation

Auto-oscillation : on veut avoir un signal de sortie avec un signal d'entrée nul.

$$\underline{H}_{FTBF} = \frac{\underline{s}}{\underline{e}} = \frac{\underline{A}}{1 - \underline{A}\beta}$$

- **Condition de Barkhausen :**

  Pour qu'un système bouclé soit auto-oscillant, il doit exister une pulsation ω_0 telle que :

$$1 - \underline{A\beta} = 0$$

i.e. $\left\| \underline{A\beta} \right\| = 1$ et $\varphi_{A\beta} = \varphi_A + \varphi_\beta = 0$

Le module de la FTBO doit être égal à 1 et son déphasage nul à la pulsation ω_0

Condition que l'on va appliquer sur notre pont de Wien :

$$\underline{H}_{FTBO} = \underline{A\beta} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \frac{1/3}{1 + jQ\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)}$$

Condition de Barkhausen :

Le gain de la FTBO est $G = \frac{1}{3}\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$.

$G = 1 \quad \Leftrightarrow \quad \boxed{R_2 = 2R_1}$

Pour la phase, $\varphi_A = 0$ donc il faut $\varphi_\beta = 0$ donc on a des oscillations pour $\boxed{\omega = \omega_0}$

On observe des oscillations à la pulsation caractéristique du passe-bande lorsque la condition d'oscillation est assurée.

Code python qui permet de visualiser cette condition. (→ dessin)

2.3 Caractérisation des oscillations

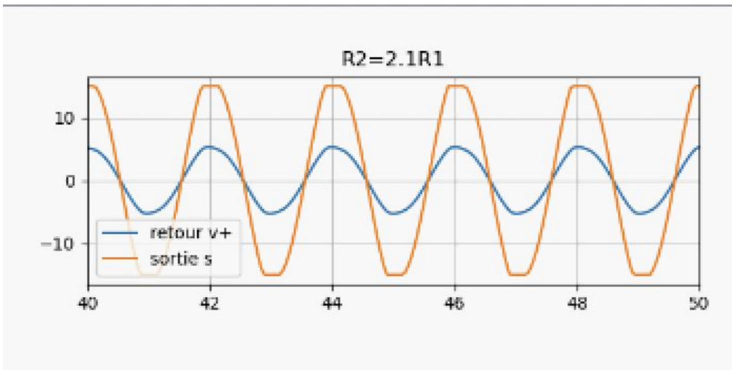
Si le montage était stable après la mise sous tension → pas d'oscillation.
Oscillation nécessite que le montage soit instable.
Condition de démarrage = conditions aux limites de l'instabilité

- Condition de démarrage des oscillations : le système bouclé doit être instable

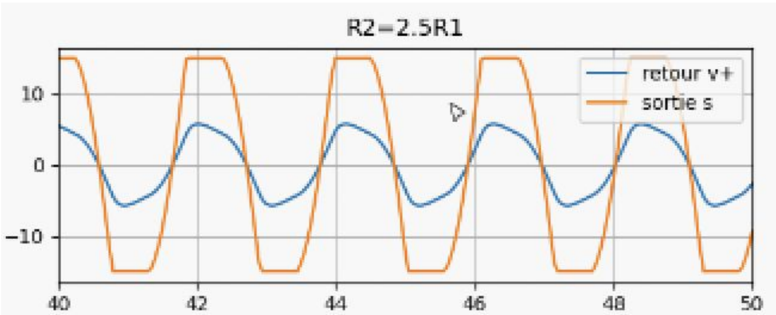
$$R_2 \geq 2R_1$$

- Plus on s'éloigne de la condition d'oscillations, moins les oscillations sont harmoniques

On reprend le code python → on prend cette fois supérieur à 2.

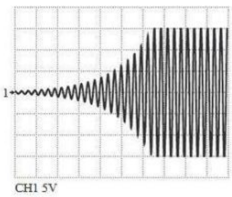


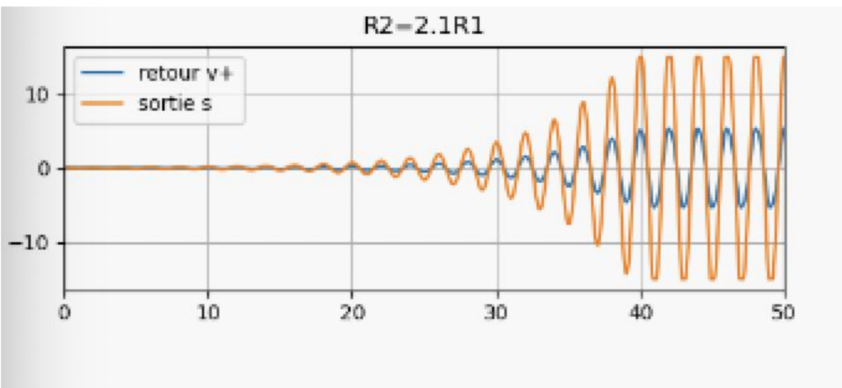
Retour complètement sinusoïdale mais la sortie est écrêté au dessus de 15V
Le signal est écrêté.
A 2,5 :
écrêtage de plus en plus important. le signal de retour est de plus en plus déformé. Formation d'harmonique. Le passe bande n'arrive pas à faire son travail.



Si on augmente encore plus le rapport R2/R1, signal encore plus déformé.

- Amplitude des oscillations : croissance exponentielle jusqu'à saturation de l'ALI





Signal de sortie qui va augmenter exponentiellement et saturer une fois qu'on arrive à 15V de la tension.

Conclusion

Dans cette leçon on a étudié
- les systèmes bouclés et leur stabilité
- comment celle-ci est exploitée pour faire des oscillateurs

A travers des exemples en électronique mais il en existe d'autres :
- oscillateur à quartz
- oscillateurs à relaxation pour des générations de signaux

Il existe aussi des oscillateurs non électroniques :
- le laser
- en chimie, l'extracteur de Soxhlet
- le vase de Tantale

Questions :
- Des exemples de système bouclé dans la vie de tous les jours ?

Exemple perceuse.

- Si elle ne tourne pas à la bonne vitesse ? est-ce que c'est grave ?

Si couple résistant trop fort alors on ne peut pas faire fonctionner la perceuse.

- Si elle se bloque ?

On peut endommager des composants.

- D'autre exemple ?

Régulation en température du corps/pièce → thermostat

- Exemple non bouclé ?

Chauffage en permanence → feu + chauffage ne sont pas nécessaire pour avoir une chaleur confortable.
Régulateur de vitesse en voiture. On fixe la vitesse et à la moindre pente, on veut conserver la vitesse.
Si on cale la pédale d'accélérateur avec une brique → système non bouclé et on espère que ça va bien se passer, au moindre changement d'environnement (ex pentes, coups de vents,...) ça pose problème.
la sortie se modifie avec très peu de paramètre qui change en entrée

- Pas une tension de commande, mais une gâchette sur la perceuse ? Comment fait on ? Qu'est ce qui permettrait de convertir la position de la perceuse pour convertir ça en tension de commande pour le moteur ?

Rhéostat → résistance variable

- Dynamo tachymétrique → on peut avoir zéro même quand le moteur n'est pas éteint si on fait une soustraction de la même vitesse.

En réalité il ne s'arrête pas il reste constant. Attention ce n'est pas directement la tension donné par le moteur il s'agit d'un signal. La fonction de transfert peut être nul le moteur aura une vitesse constante.
Le bloc moteur sera différent si on veut asservir la vitesse ou la position.
modélisation petit signaux. Asservissement de vitesse n'est pas pareil que asservissement de position.

tachymétrique

- Fonction de transfert en $A_0/1+to_p$, pourquoi c'est passe bas et passe bas du premier ordre ?

car montage à transistor sont passe bas.

- Qu'y a t-il dans un transistor ?

Jonction pn. On accole des parties de semi conducteurs dopées n et des parties de semi conducteurs dopées p. Zone de déplétion avec recombinaison de porteurs libres et ça crée des petits condensateurs.
Qui dit condensateur dit toute variation du signal d'entrée va entraîner une augmentation de la zone de déplétion. Pour les signaux trop rapide (variations trop rapides) ça ne va pas suivre.

C'est une approximation.

- Il y a une hypothèse pour obtenir $\varepsilon = v^+ - v^- = e - \frac{R_1}{R_1+R_2}s$?

Amplificateur idéal

- Pourquoi peut-on considérer que $i^-=0$?

impédance d'entrée est très élevée donc → i=0

Prérequis → boucle mais mieux de le refaire.
dégradation du gain mais meilleur bande passante.
La stabilité des asservissements ??

- Est-ce que c'est vraiment un oscillateur à hystérésis ? à relaxation ?(1.3)

Ce n'est pas un oscillateur. Car normalement il fixe lui même sa fréquence de relaxation.
A relaxation : un système qui évolue entre deux états.
ne pas mentionner oscillateur.

- Dans un oscillateur à relaxation qu'est ce qui fixe la période ?

Il évolue entre deux états de relaxation, on bascule dans un régime ou par exemple on diminue la tension puis on atteint une valeur de bascule passe. on a alors les paliers et le temps caractéristique.
Vase de tantale pareil → deux hauteur deux = bascule et débit = temps caractéristique
→ systèmes qui n'ont pas d'entré.

- Système instable → sortie non bornée, pour système mécanique quel est l'équivalent ?

On arrive en buté. Ou endommagement de l'appareil. Risque de rupture.

- Oscillateur à pont de Wien, pourquoi c'est redevenu A (ce n'est plus $A_0/1+to_p$) ?

Pont diviseur. Mais reste vrai dans la limite de la bande passante de l'AO.

- Condition de Barkhausen : est ce que la condition sur la phase est bien exprimer ?

Asservissement plus complexe. Oscillation parasite.
Ajouter modulo 2pi

La fonction de transfert du pont de Wien → application de la condition est fausse.
car le R1=R2 est vrai si ohméga = ohméga0

- est-ce qu'il va toujours oscillé à la fréquence max ?

Varie autour de la résonance. Oscille toujours là où c'est le plus simple.
Si AO n'est pas parfait et que l'on a un peu de déphasage dans la chaîne directe alors on oscillerait juste à côté de la résonance.

- Qu'est ce qui fixe le facteur de qualité ?
- Critère de qualité d'un asservissement ?

rapidité et précision

- Comment faire dans un système bouclé pour augmenter la précision et la rapidité ?

Ajouter un correcteur.

- Diminuer l'erreur statique et accéléré le système ?

Augmenter la bande passante pour accélérer le système.

- Pourquoi on peut avoir en très haute fréquence ….

éviter le déphasage, signaux les moins impacté possible.
On risque de rétroagir avec le moindre fil. Quand on fait des montages à haute fréquence : Compacte le tout pour limiter les délais.

Remarques :
prendre plus le temps de parler du quartz.
intérêt bouclé par rapport à pas bouclé → conçu en 2020 et en 2022 a réduit de 10%, qu'est ce qui se passe… conséquences,...

Hermine Tertrais

2019 - 2020

Leçon Physique n°22

Rétroaction et oscillations

<u>Niveau :</u> CPGE (PSI)

<u>Prérequis :</u>

- Electrocinétique
- ALI (ex-AO)
- Filtres linéaires (fonction de transfert, diagramme de Bode)
- Notation en transformée de Laplace

<u>Plan :</u>

Introduction

1. Rétroaction et systèmes bouclés
   - 1.1. Nécessité d'une rétroaction
   - 1.2. Comportement d'un système bouclé
   - 1.3. Stabilité d'un système bouclé
2. Oscillations dans un système bouclé instable
   - 2.1. Oscillateur à pont de Wien
   - 2.2. Condition d'auto-oscillation
   - 2.3. Caractérisation des oscillations

Conclusion

Introduction

- Rétroaction : on réinjecte le signal de sortie vers l'entrée. On a alors un système bouclé

- Notion présente dans de nombreux domaines :
  - en biologie : régulation de la température du corps
  - en acoustique : effet Larsen
  - en électronique : montage comportant des ALI

- Il faut distinguer deux grandes familles de systèmes bouclés :
  - les systèmes asservis : on réalise une boucle de rétroaction afin que la sortie suive la commande imposée

  - les systèmes oscillants : on met en place une boucle afin de rendre le système instable et le faire osciller

1 . Rétroaction et systèmes bouclés

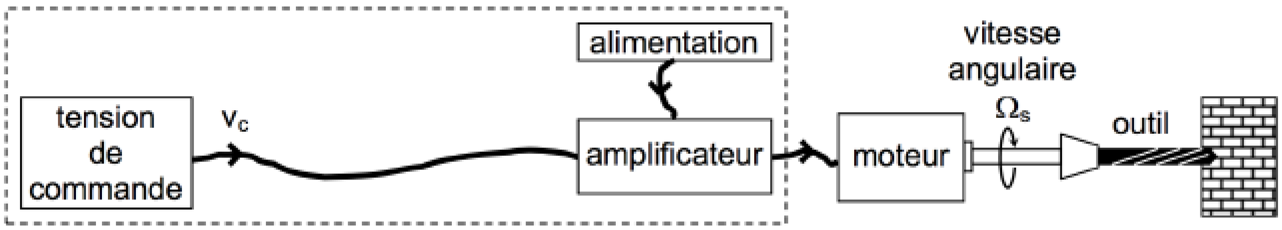
1 . Rétroaction et systèmes bouclés

1.1. Nécessité d'une rétroaction

1. Rétroaction et systèmes bouclés

1.1. Nécessité d'une rétroaction

- Exemple d'une perceuse

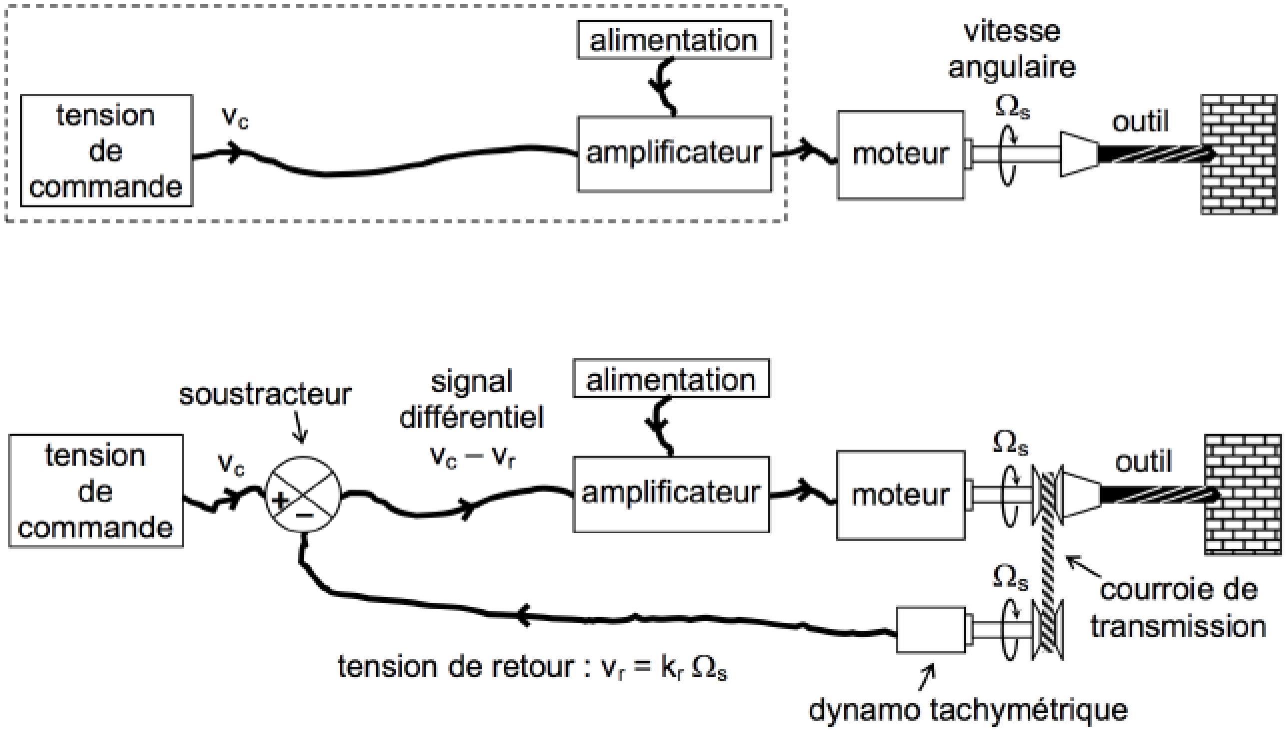


[1] Cours de JN – p.75

1. Rétroaction et systèmes bouclés

1.1. Nécessité d'une rétroaction

- Exemple d'une perceuse

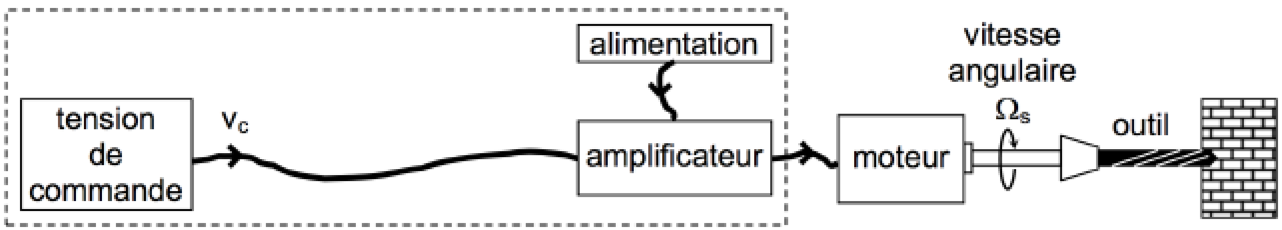


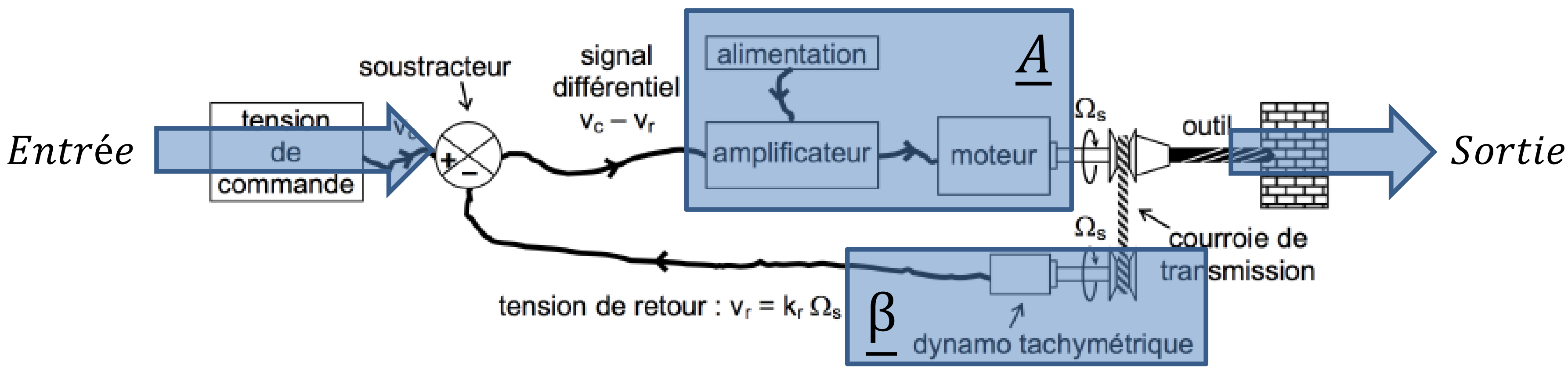
[1] Cours de JN – p.75

1. Rétroaction et systèmes bouclés

1.1. Nécessité d'une rétroaction

- Exemple d'une perceuse



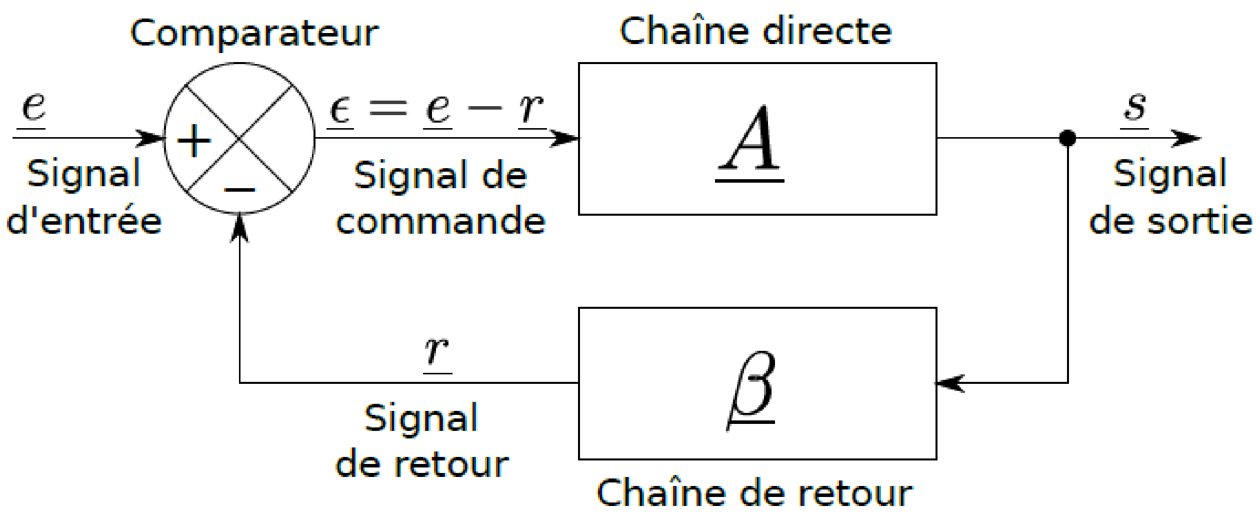


[1] Cours de JN – p.75

1. Rétroaction et systèmes bouclés

1.1. Nécessité d'une rétroaction

- Schéma fonctionnel d'un système bouclé



Il est composé de 3 organes :

- une **chaîne directe** de fonction de transfert $\underline{A}(p)$ contenant un actionneur
- une **chaîne de retour** de fonction de transfert $\underline{\beta}(p)$ pouvant contenir un capteur
- un **comparateur**

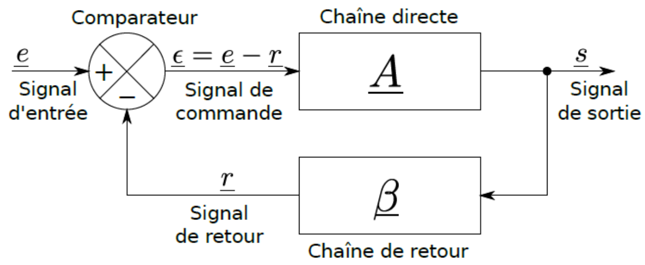
[1] Cours de JN – p.76

1 . Rétroaction et systèmes bouclés

1.1. Nécessité d'une rétroaction
1.2. Comportement d'un système bouclé

1. Rétroaction et systèmes bouclés

1.2. Comportement d’un système bouclé



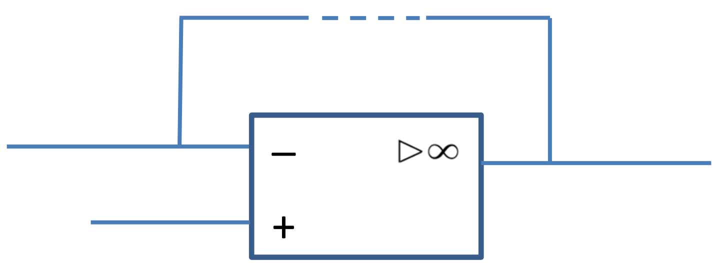
- Fonction de transfert en boucle fermée (FTBF)

$$\boxed{\underline{H}_{FTBF} = \frac{\underline{s}}{\underline{e}} = \frac{\underline{A}}{1 + \underline{A}\underline{\beta}}}$$

- Fonction de transfert en boucle ouverte (FTBO)

$$\boxed{\underline{H}_{FTBO} = \frac{\underline{r}}{\underline{e}} = \underline{A}\underline{\beta}}$$

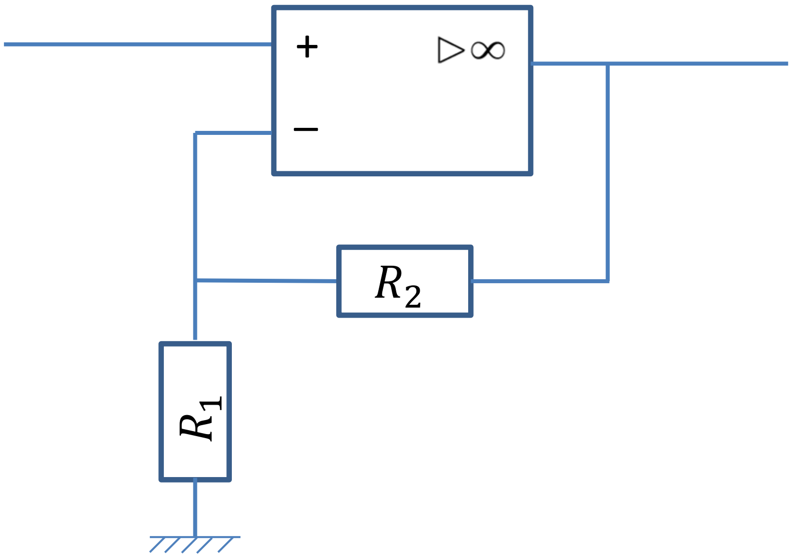
- L’ Amplificateur Linéaire Intégré (ALI) est un exemple de système bouclé en électronique : en fonctionnement linéaire, il faut une boucle entre la sortie et la borne inverseuse de l’ALI



1. Rétroaction et systèmes bouclés

1.2. Comportement d'un système bouclé

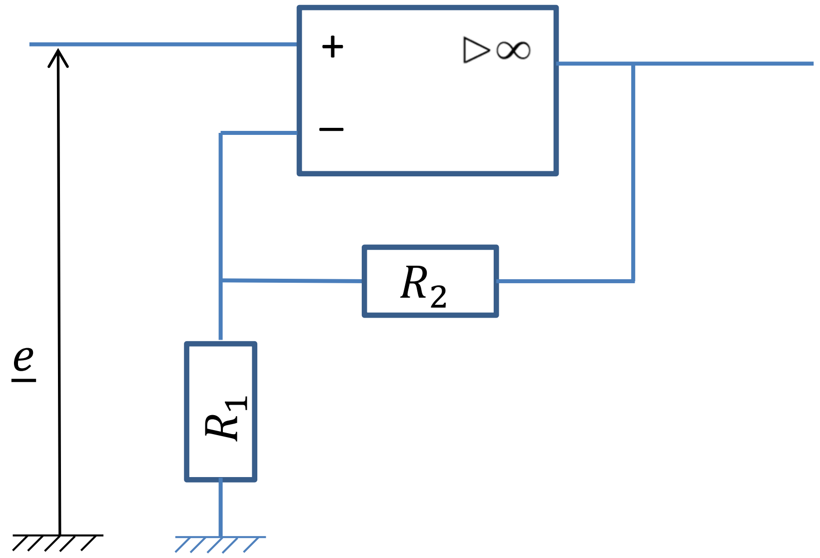
- Exemple du montage amplificateur non inverseur



1. Rétroaction et systèmes bouclés

1.2. Comportement d’un système bouclé

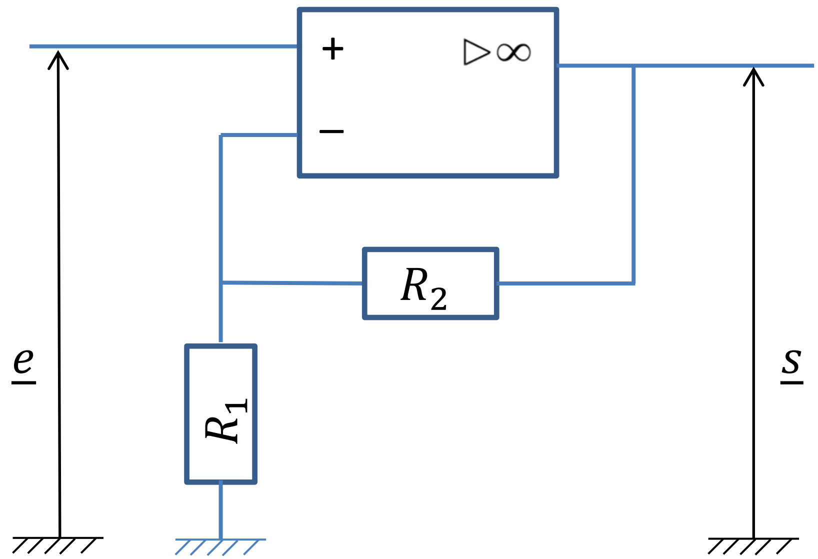
- Exemple du montage amplificateur non inverseur



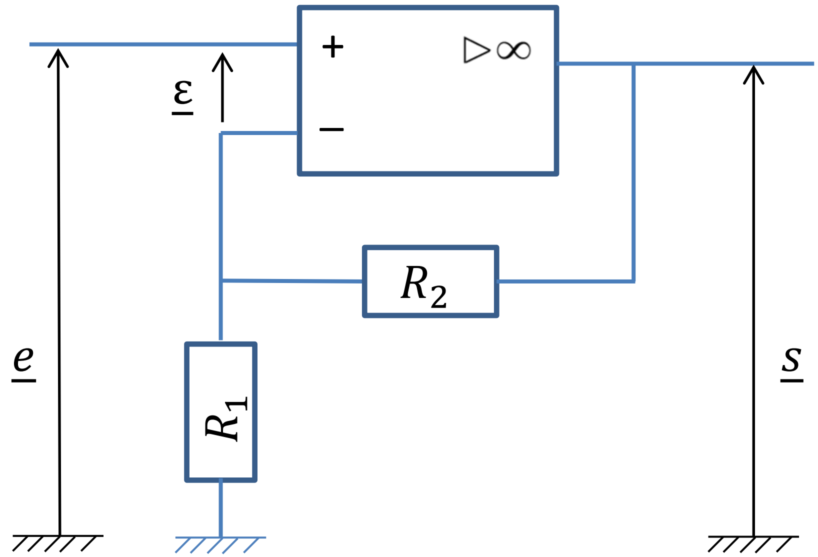
1. Rétroaction et systèmes bouclés

1.2. Comportement d'un système bouclé

- Exemple du montage amplificateur non inverseur



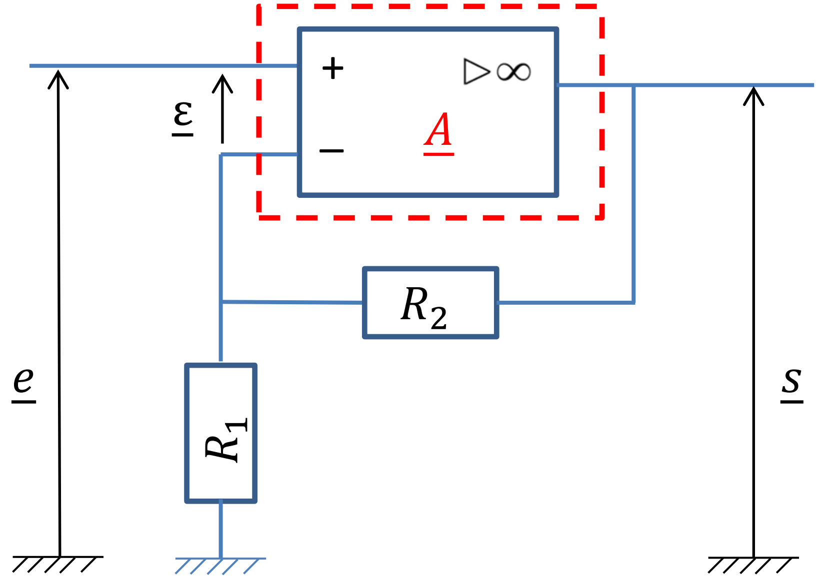
- Exemple du montage amplificateur non inverseur



1. Rétroaction et systèmes bouclés

1.2. Comportement d'un système bouclé

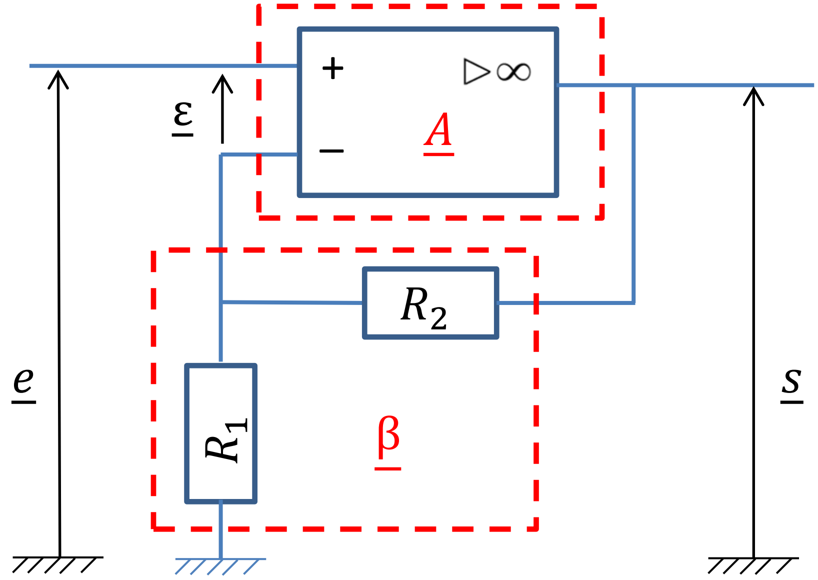
- Exemple du montage amplificateur non inverseur



Chaîne directe modélisée par l'ALI, sa fonction de transfert au 1er ordre est :

$$\underline{A}(p) = \frac{A_0}{1 + \tau p} \qquad \text{avec } A_0 \gg 1 \text{ et } R_2 \ll A_0 R_1$$

- Exemple du montage amplificateur non inverseur



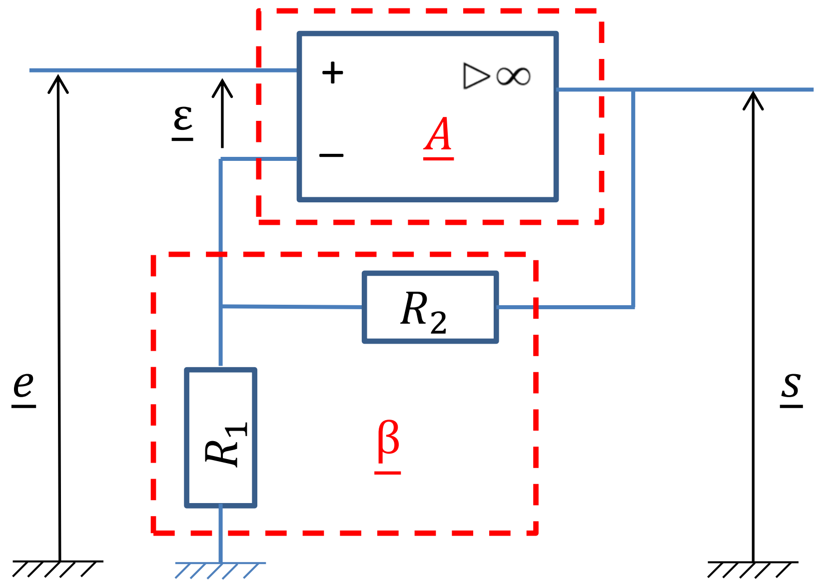
$$\underline{A}(p) = \frac{A_0}{1 + \tau p}$$

Chaîne de retour réalisée par la boucle de rétroaction de fonction de transfert :

$$\underline{\beta}(p) = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

1. Rétroaction et systèmes bouclés
1.2. Comportement d'un système bouclé

- Exemple du montage amplificateur non inverseur



$$\underline{A}(p) = \frac{A_0}{1 + \tau p}$$

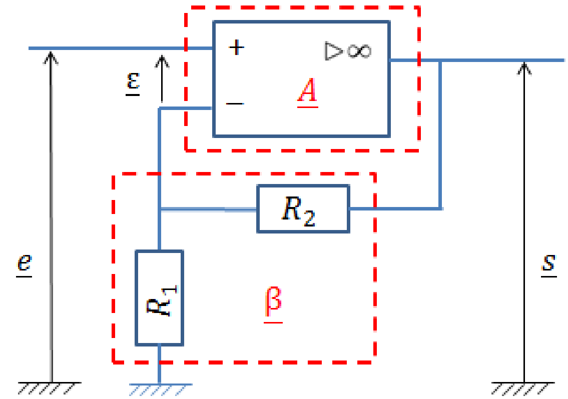
$$\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

On étudie ce montage à partir de deux équations :

- la fonction de transfert de l'ALI $\underline{A}(p) = \frac{S(p)}{\mathcal{E}(p)}$
- la relation entre $\mathcal{E}(p)$ et $E(p)$

1. Rétroaction et systèmes bouclés

1.2. Comportement d’un système bouclé



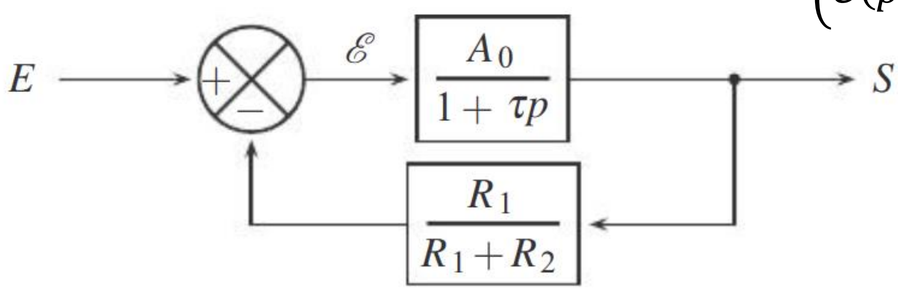
$$i_1 = i_2 + i^-$$

Avec la loi d’Ohm, $i_1 = \frac{0 - v^-}{R_1}$ et $i_2 = \frac{v^- - s}{R_2}$

La loi des nœuds devient : $v^- = \frac{R_1}{R_1 + R_2} s$

Par définition, $\varepsilon = v^+ - v^- = e - \frac{R_1}{R_1 + R_2} s$

En notation de Laplace, le montage est régit par le système : $\begin{cases} S(p) = \frac{A_0}{1 + \tau p} \mathcal{E}(p) \\ \mathcal{E}(p) = E(p) - \frac{R_1}{R_1 + R_2} S(p) \end{cases}$



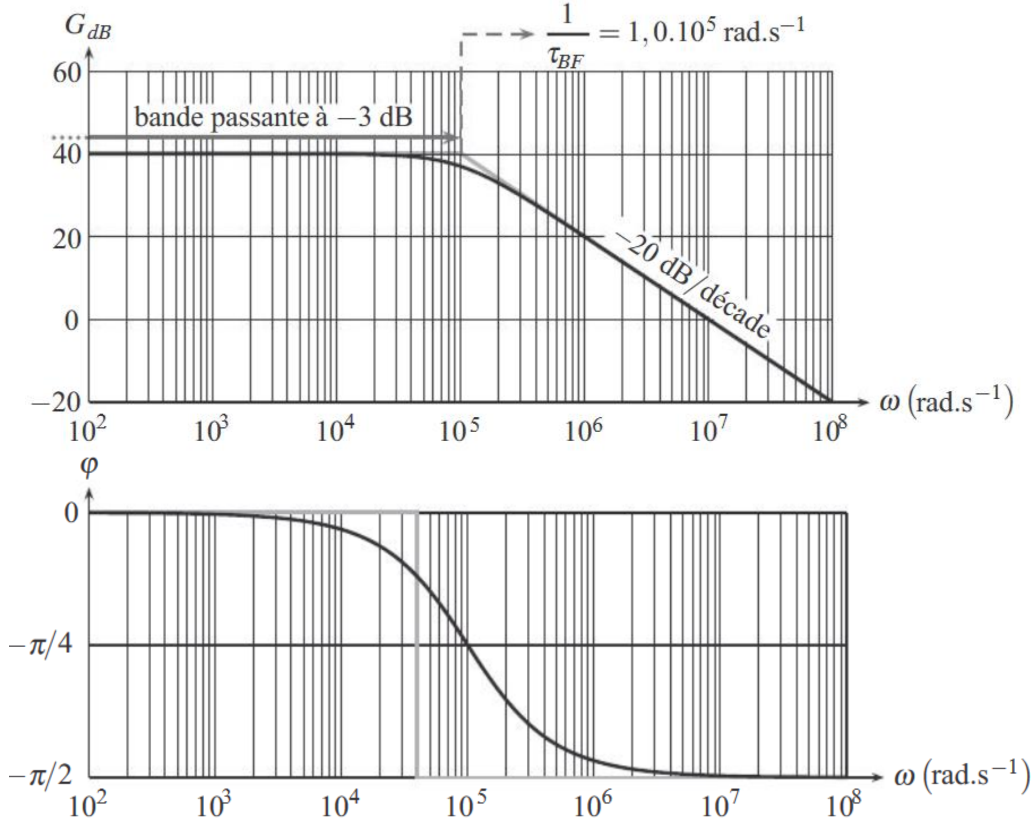
La fonction de transfert en boucle fermée est : $\underline{H}_{FTBF} = \frac{A_0}{1 + \tau p} \frac{1}{1 + \frac{A_0}{1 + \tau p} \frac{R_1}{R_1 + R_2}}$

[2] Dunod – p.47

Après simplifications, la FTBF s'exprime sous la forme suivante :

$$\underline{H}_{FTBF} = \frac{H_0}{1 + \tau_{BF} p}$$

avec $$H_0 = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$ et $$\tau_{BF} = \frac{\tau}{A_0}\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$



R_1	$10^3 \Omega$
R_2	$10^5 \Omega$
A_0	2.10^5
τ	$1{,}0.10^{-2} s$

[2] Dunod – p.48

1. Rétroaction et systèmes bouclés
1.2. Comportement d'un système bouclé

- Remarques :
  - Le gain H_0 et le temps caractéristique τ_{BF} dépendent de R_1 et R_2 : on peut jouer sur les caractéristiques du système
  - Plus τ_{BF} est grand, plus le système est lent (et la bande passante est faible) : un système est d'autant plus rapide que sa bande passante est large.
  - Conservation du produit gain-bande passante :

$$H_0 \times \frac{1}{\tau_{BF}} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)\frac{1}{\tau_{BF}} = A_0 \times \frac{1}{\tau}$$

Compromis entre valeur de gain et largeur de bande passante / rapidité.

1 . Rétroaction et systèmes bouclés

1.1. Nécessité d’une rétroaction
1.2. Comportement d’un système bouclé
1.3. Stabilité d’un système bouclé

1. Rétroaction et systèmes bouclés

1.3. Stabilité d'un système bouclé

- Définition de la stabilité

  Un système linéaire est stable, si et seulement si, **pour une entrée bornée, la sortie reste bornée**.

- Critère de stabilité pour les systèmes d'ordre 1 ou 2

  Un système d'ordre 1 ou 2 est stable, si et seulement si, tous les **coefficients du dénominateur de la fonction de transfert sont de même signe**.

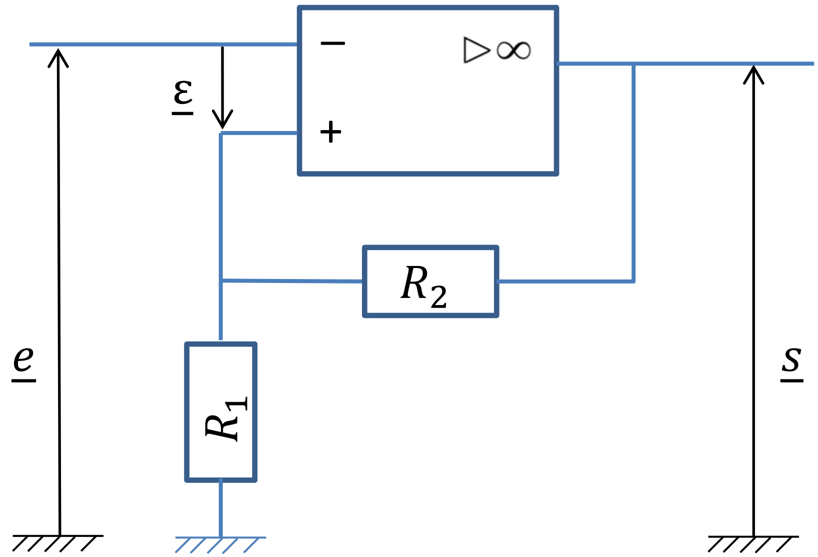
- Exemple du montage amplificateur non inverseur : système stable

$$\underline{H}_{FTBF} = \frac{H_0}{1 + \tau_{BF} p}$$

1. Rétroaction et systèmes bouclés

1.3. Stabilité d'un système bouclé

- Exemple du montage comparateur à hystérésis



$$\underline{H}_{FTBF} = \frac{\underline{A}}{1 - \underline{A}\underline{\beta}}$$

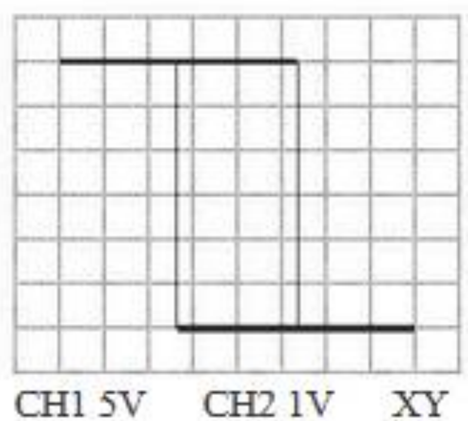
Après calculs :

$$\underline{H}_{FTBF}(p) = \frac{1 + \frac{R_2}{R_1}}{1 - \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)\frac{\tau}{A_0}p}$$

1. Rétroaction et systèmes bouclés
1.3. Stabilité d'un système bouclé

- Exemple du montage comparateur à hystérésis

A l'oscilloscope, on observe la sortie $\underline{s}$ en fonction de l'entrée $\underline{e}$:



http://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/electro/schmitt.html

Le montage est instable et le système n'est plus linéaire.

[2] Dunod – p.109

1 . Rétroaction et systèmes bouclés

1.1. Nécessité d'une rétroaction
1.2. Comportement d'un système bouclé
1.3. Stabilité d'un système bouclé

2 . Oscillations dans un système bouclé instable

1 . Rétroaction et systèmes bouclés

1.1. Nécessité d’une rétroaction
1.2. Comportement d’un système bouclé
1.3. Stabilité d’un système bouclé

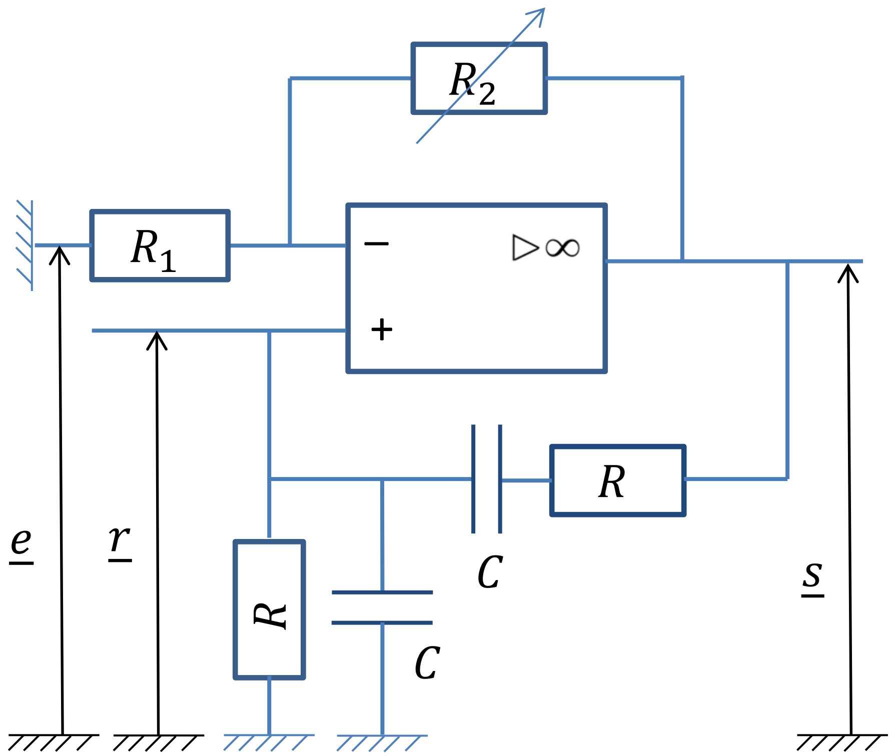
2 . Oscillations dans un système bouclé instable

2.1. Oscillateur à pont de Wien

2. Oscillations dans un système bouclé instable

2.1. Oscillateur à pont de Wien

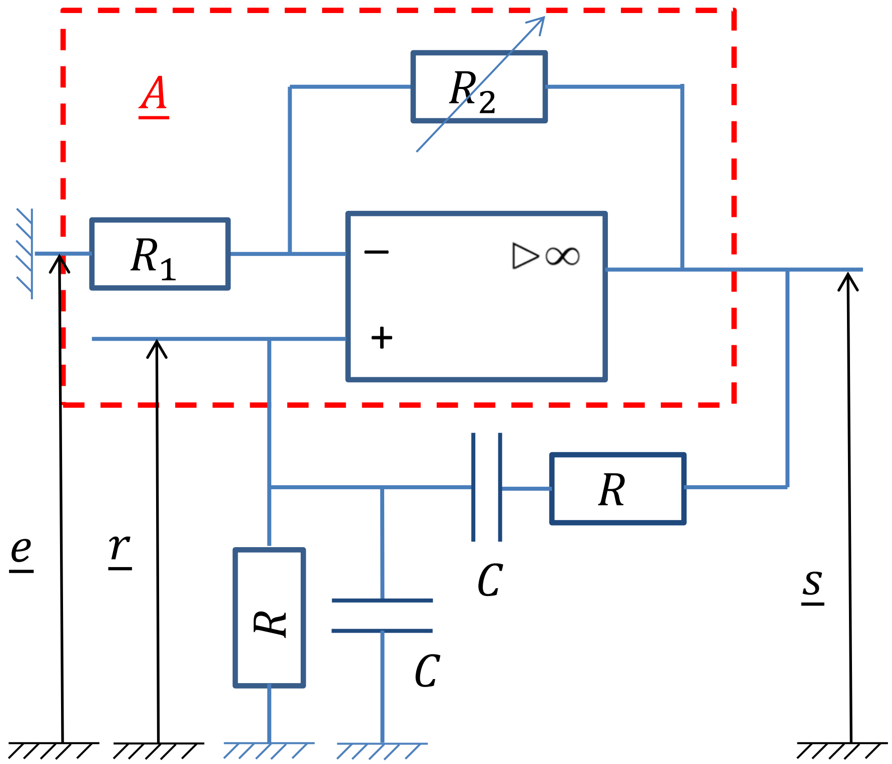
- Présentation du montage : association d'un amplificateur et d'un passe-bande



2. Oscillations dans un système bouclé instable

2.1. Oscillateur à pont de Wien

- Présentation du montage : association d'un amplificateur et d'un passe-bande

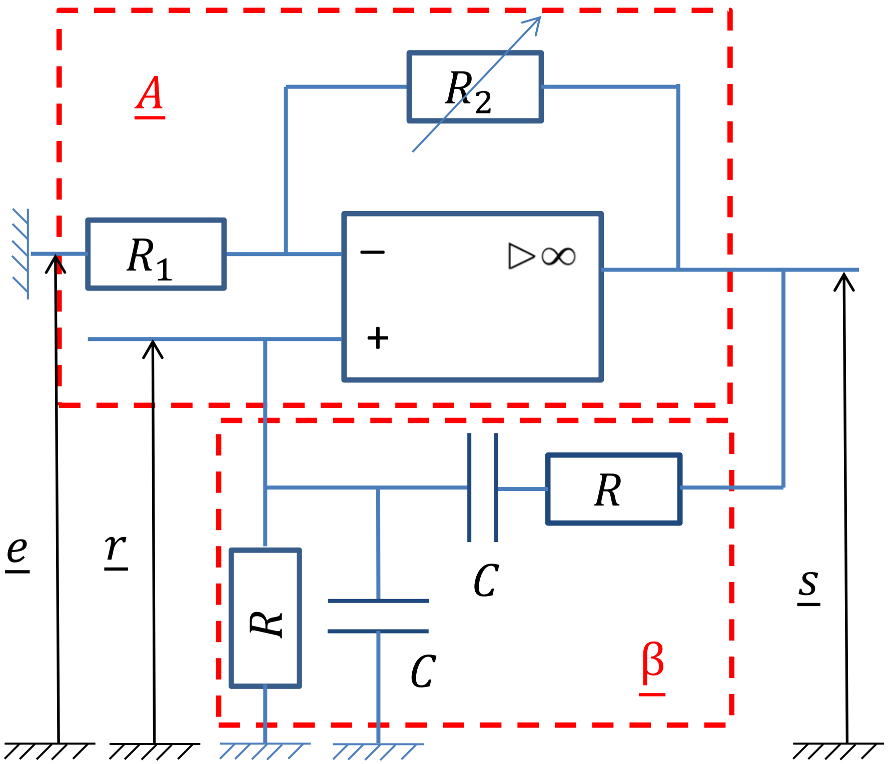


$$\underline{A} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

2. Oscillations dans un système bouclé instable

2.1. Oscillateur à pont de Wien

- Présentation du montage : association d'un amplificateur et d'un passe-bande



$$\underline{A} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

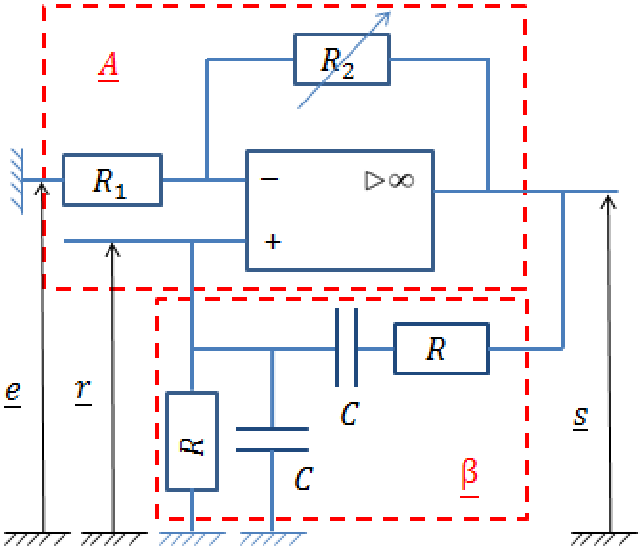
$$\underline{\beta} = \frac{1/3}{1 + jQ\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)}$$

avec $Q = \frac{1}{3}$ et $\omega_0 = \frac{1}{RC}$

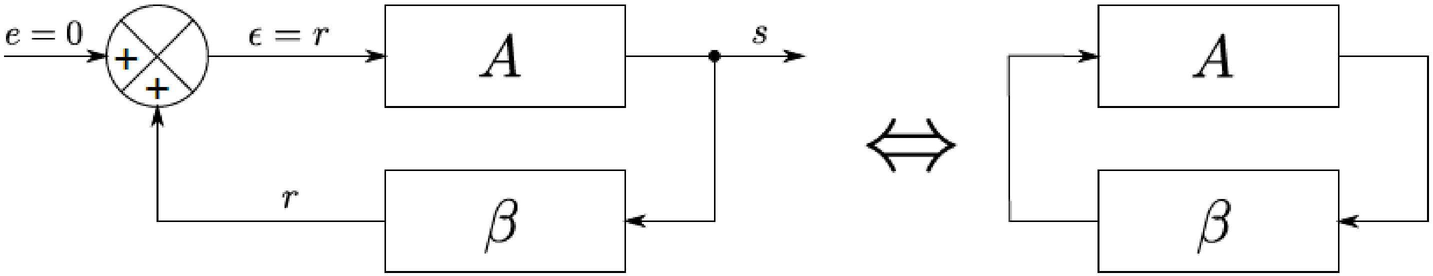
2. Oscillations dans un système bouclé instable

2.1. Oscillateur à pont de Wien

- Structure de l'oscillateur



Pas de source à l'entrée de la boucle
Le signal est engendré par le système lui-même



$$\underline{H}_{FTBF} = \frac{\underline{s}}{\underline{e}} = \frac{\underline{A}}{1 - \underline{A}\underline{\beta}}$$

[1] Cours de JN – p.99

1 . Rétroaction et systèmes bouclés

1.1. Nécessité d'une rétroaction
1.2. Comportement d'un système bouclé
1.3. Stabilité d'un système bouclé

2 . Oscillations dans un système bouclé instable

2.1. Oscillateur à pont de Wien
2.2. Condition d'auto-oscillation

2. Oscillations dans un système bouclé instable

2.2. Condition d'auto-oscillation

- Auto-oscillation : on veut avoir un signal de sortie avec un signal d'entrée nul.

$$\underline{H}_{FTBF} = \frac{\underline{s}}{\underline{e}} = \frac{\underline{A}}{1 - \underline{A}\underline{\beta}}$$

- **Condition de Barkhausen :**

  Pour qu'un système bouclé soit auto-oscillant, il doit exister une pulsation ω_0 telle que :

$$1 - \underline{A}\underline{\beta} = 0$$

i.e. $\left\| \underline{A}\underline{\beta} \right\| = 1$ et $\varphi_{A\beta} = \varphi_A + \varphi_\beta = 0\ [2\pi]$

Le module de la FTBO doit être égal à 1 et son déphasage nul à la pulsation ω_0

2. Oscillations dans un système bouclé instable
2.2. Condition d'auto-oscillation

- Oscillateur à pont de Wien

$$\underline{H}_{FTB0} = \underline{A}\underline{\beta} = \left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)\frac{1/3}{1+jQ\left(\frac{\omega}{\omega_0}-\frac{\omega_0}{\omega}\right)}$$

Condition de Barkhausen :

Pour la phase, $\varphi_A = 0$ donc il faut $\varphi_\beta = 0$ donc on a des oscillations pour $\boxed{\omega = \omega_0}$

A cette pulsation, le gain de la FTBO est $G = \frac{1}{3}\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)$.

$$G = 1 \quad \Leftrightarrow \quad \boxed{R_2 = 2R_1}$$

On observe des oscillations à la pulsation caractéristique du passe-bande lorsque la condition d'oscillation est assurée.

1 . Rétroaction et systèmes bouclés

1.1. Nécessité d’une rétroaction
1.2. Comportement d’un système bouclé
1.3. Stabilité d’un système bouclé

2 . Oscillations dans un système bouclé instable

2.1. Oscillateur à pont de Wien
2.2. Condition d’auto-oscillation
2.3. Caractérisation des oscillations

2. Oscillations dans un système bouclé instable

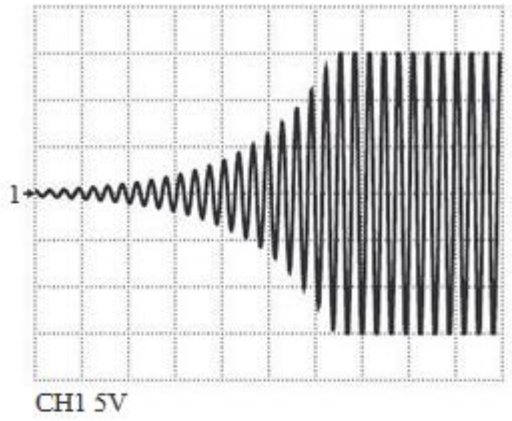
2.3. Caractérisation des oscillations

- Condition de démarrage des oscillations : le système bouclé doit être instable

$$R_2 \geq 2R_1$$

- Plus on s'éloigne de la condition d'oscillations, moins les oscillations sont harmoniques

- Amplitude des oscillations : croissance exponentielle jusqu'à saturation de l'ALI



[2] Dunod – p.93

Conclusion

- Dans cette leçon, on a étudié
  - les systèmes bouclés et leur stabilité
  - comment celle-ci est exploiter pour faire des oscillateurs

- A travers des exemples en électronique mais il en existe d'autres :
  - oscillateur à Quartz
  - oscillateurs à relaxation pour des générations de signaux

- Il existe aussi des oscillateurs non-électroniques :
  - le laser
  - en chimie, l'extracteur de Soxhlet
  - le vase de Tantale

Bibliographie

[1] Cours de Jérémy Neveu – Electronique (Montrouge)
https://gitlab.in2p3.fr/Jeremy/Electronique/-/blob/master/Cours/electronique.pdf

[2] Dunod, Physique tout-en-un, PSI-PSI*, Sanz et al.

[3] Poly MP27 – Systèmes bouclés

Extracteur de Soxhlet : https://fr.wikipedia.org/wiki/Extracteur_de_Soxhlet
Laser : Dunod, Physique tout-en-un, PC-PC*, Sanz et al.

Questions / Remarques

- Donner des exemples de systèmes qui ont besoin d'être bouclés dans la vie de tous les jours : régulateur de voiture (il faut asservir pour faire face à des perturbations : pente, vent), thermostat pour le chauffage d'une maison
- Exemple de la perceuse :
  - En entrée, il est marqué qu'il y a une tension de commande. En réalité, l'opérateur agit sur une gâchette. Qu'est-ce qui permet la transformation de l'un à l'autre ? Sans doute un système de rhéostat
  - Le bloc moteur représente une modélisation du moteur (une fonction de transfert) : c'est différent du moteur lui-même! (Si la tension de retour vaut la tension de commande, le signal différentiel est nul mais le moteur tourne toujours).
- Pourquoi l'ALI est modélisé par un passe-bas? Il est composé de transistors, qui eux-mêmes sont des passe-bas. Cf. cours sur les transistors. Le modèle passe-bas de l'ALI est lui-même qu'une approximation, il est notamment bien plus complexe à haute fréquence.
- Slide 18: loi des nœuds, $i^{-} = 0$ car l'impédance d'entrée de l'ALI est très importante (valable pour des petits signaux)

Questions / Remarques

- Pourquoi utiliser un montage amplificateur non inverseur? On perd en gain par rapport à l'ALI seul !
  - On a augmenté la bande passante
  - Il faut discuter de l'intérêt du bouclage, notamment la tenue à une perturbation
- Partie 1.3. : faire une discussion sur la phase en lien avec la stabilité des asservissements. A grande fréquence, l'entrée est sinusoïdale rapide, la fonction de transfert de la chaîne directe introduit un déphasage -> si je corrige au mauvais moment, je vais amplifier mon erreur! Pour le comparateur à hystérésis, le bouclage sur la borne non inverseuse de l'ALI introduit un déphasage de π.
- ATTENTION : le comparateur à hystérésis n'est pas un oscillateur (entrée non nulle)
- Comment interpréter le phénomène de saturation en mécanique ? Butée
- Pourquoi certains oscillateurs n'oscillent pas à la fréquence caractéristique du passe-bande ? Si l'ALI n'est pas parfait, il introduit du déphasage. La condition de Barkhausen est 'décalée' en fréquence pour corriger le déphasage.

Questions / Remarques

- De quoi dépend le temps d'établissement du régime saturé ? (slide 35) : du facteur de qualité
- Quels sont les autre critères pour un système bouclé ? Rapidité et précision (définitions données dans [1] p.81)
- Comment améliorer ces deux critères ? Avec un correcteur dans la chaîne directe pour amplifier le signal d'erreur et 'corriger plus vite et mieux'. MAIS si on amplifie trop, on de rapproche de l'instabilité… Compromis !
- En électronique haute fréquence, pourquoi utilise-t-on des petits circuits ? Pour minimiser les temps de propagation du signal (on n'est plus dans l'ARQS) et éviter d'introduire du déphasage.

- Code Python : il vient de [2], on joue sur les paramètres rr ($= \frac{R_2}{R_1}$) et [tmin;tmax] ([40,50] pour voir les oscillations plus ou moins sinusoïdales; [0,50] pour voir l'évolution de l'amplitude des oscillations).