

## LP n° 22 : Rétroaction et oscillations.

**NIVEAU :** CPGE

---

Cette leçon est fondée sur le programme de PSI et a priori il n'y a pas lieu de s'en écarter plus que de raison.

**PRÉREQUIS :**

---

- Electrocinétique
- Amplificateurs opérationnels (maintenant appelés ALI)
- Filtrage électronique (fonction de transfert, diagramme de Bode, gain, bande passante)

**PLAN :**

---

1. Système asservi, rétroaction
2. Oscillateurs

**BIBLIOGRAPHIE :**

---

1. [69] Dunod Tout en un Physique PSI/Psi\* Ancien programme
2. [7] BFR 3 Electromag – édition avec les compléments d'électronique
3. Polycopié d'électronique de J. Neuveu
4. [22] Dunod Tout en un Physique PSI/PSI\* Nouveau programme
5. [46] Electronique expérimentale, Krob, ellipses

**IDÉES À FAIRE PASSER :**

---

Un système en boucle ouverte aussi simple soit-il n'est pas du tout satisfaisant pour une utilisation au quotidien. Pour atteindre un point de fonctionnement donné et y rester, il faut intégrer une rétroaction, on dit alors qu'on travaille en boucle fermée. Deux cas se présentent alors : soit le système est stable, le point de fonctionnement est atteint et maintenu (c'est le cas usuellement recherché dans la vie de tous les jours) ; soit le système est instable, la réponse est alternativement supérieure et inférieure à la consigne : des oscillations apparaissent. Si c'est généralement un défaut, on peut aussi le concevoir comme un but à atteindre pour certains systèmes.

---

**Introduction :** l'idée de base de la rétroaction est de réinjecter tout ou une partie du signal de sortie vers l'entrée d'un opérateur. La notion de rétroaction est très générale et s'applique dans de nombreux domaines. Elle intervient par exemple en physique dans la régulation de la vitesse d'un moteur, dans celle de la température d'une pièce, dans la direction assistée d'une voiture, etc. En biologie, on la rencontre dans la régulation de la température du corps par la sueur par exemple. On verra dans cette leçon comment décrire un système bouclé, quels phénomènes s'y produisent et comment les contrôler.

## 1 Systèmes asservis, rétroaction

### 1.1 Nécessité des systèmes bouclés

[1] p. 890, Ex de la commande de la vitesse d'un moteur à courant continu : schéma fonctionnel. PWP Si l'on veut obtenir une vitesse de rotation  $\Omega$  donnée, il faut imposer une tension d'entrée  $e$  qui dépend des caractéristiques du moteur. S'il apparaît une perturbation extérieure au niveau de l'arbre de sortie du moteur (frottements) : la vitesse de rotation change et l'entrée n'est pas informée. La tension de commande n'est pas modifiée et la vitesse de rotation  $\Omega$  n'a plus la valeur souhaitée. (Ou exemple de la Perceuse [3] p.74)

Le moteur ne remplit plus le rôle souhaité. Un tel système est en boucle ouverte. Pour avoir la vitesse de rotation voulue, il faut informer l'entrée de l'état de la sortie : liaison entre la sortie et l'entrée -> boucle de rétroaction -> système asservi -> système bouclé. Schéma fonctionnel général d'un système bouclé. PWP ou au tableau Chaîne directe de fonction de transfert  $A$  contenant un actionneur (système de commande muni de correcteurs) Chaîne de retour de fonction de transfert  $\beta$  qui contient un capteur Un comparateur (souvent soustracteur) qui fournit le signal de commande de la chaîne directe en comparant le signal d'entrée au signal de retour.

## 1.2 Comportement d'un système bouclé

Poly de JN, p. 73 - Définition de la fonction de transfert en boucle fermée  $H_{FTBF} = s/e = A/(1 + A\beta)$  et de la fonction de transfert en boucle ouverte  $H_{FTBO} = A\beta = r/e$  avec les schémas.

[7] p. 256 et Poly de JN, p. 69/70 - Cas où  $A$  est régi par une équation différentielle du 1er ordre. (Voir la définition de la fonction de transfert par rapport à l'équation différentielle du système dans le poly de JN). Il faut théoriquement résoudre l'équation trouvée pour chaque type de fonction d'entrée.

[22] p. 42 et Poly de JN, p. 74 - Ex de l'ALI non inverseur. Le montage amplificateur non inverseur est conçu afin d'amplifier la tension d'entrée. L'ALI est rétroactionné sur sa borne inverseuse. PWP schéma du système :

- $A$  est la fonction de transfert de l'ALI, pour un système du premier ordre :  $A = \mu_0/(1 + j\omega\tau)$ .
- $\beta$  est la fonction de transfert de la boucle de rétroaction  $\beta = 1/G = R_1/(R_1 + R_2)$

Poly de JN, p. 75 - Calcul de la fonction de transfert en boucle ouverte et en boucle fermée. (Si on a du temps, rajouter le diagramme de bode et la fonction amplificatrice du système -> un système électronique ne réalise la fonction pour laquelle il a été conçu que dans une zone limitée de fréquence)

Poly de JN, p. 70 - Conservation du produit gain-bande, quel que soit le choix du facteur d'amplification  $\beta$ . Plus le gain du montage augmente, plus sa bande passante diminue : le système est plus lent. Cette propriété est générique aux systèmes bouclés du premier ordre, avec une boucle de rétroaction négative de gain  $G = 1/\beta$ . Effet de la rétroaction sur la bande passante et la fréquence de coupure. PWP

## 1.3 Stabilité

[7], p.257 - On reste dans les mêmes conditions (système 1er ordre). Le système est dit stable si le signal de sortie  $s(t)$  reste fini pour un signal d'entrée fini. Pour obtenir un critère de stabilité : réponse du système à un échelon de tension. PWP. Intégration de l'équation différentielle pour arriver au critère :  $1 + \beta\mu_0 > 0$ .

[7], p. 260 - Forme générale de la réponse, critère de stabilité. On peut peut-être faire directement la forme générale?

[69], p. 900 et Poly de JN, p. 87 - Comparer la stabilité de l'ALI non inverseur avec celle de l'ALI comparateur à hystérésis : montage instable, pas un système linéaire. La rétroaction positive est déstabilisatrice. Généralisation : les pôles de la fonction de transfert en boucle fermée ont leur partie réelle négative.

---

**Transition :** Si la condition de stabilité n'est pas respectée dans le système bouclé, des oscillations peuvent apparaître : comment les rendre utiles? Comment les maintenir?

---

# 2 Oscillateurs

Les oscillateurs se rencontrent dans tous les domaines de la physique, notamment en optique ou en électronique. Ils sont utilisés pour cadencer le fonctionnement des systèmes.

## 2.1 Le dispositif d'oscillateur à pont de Wien

Poly de JN, p. 98 et [22], p. 83 - Représentation = ALI non inverseur (amplification en tension) et filtre passe-bande. PWP, dessiner le schéma bloc au tableau. Trouver les formules pour  $\beta$  et  $A$ , on considère ici l'ALI idéal, donc  $A = \mu_0 = 1/G$ . Fonction de transfert en boucle ouverte et en boucle fermée.

Expérience : Oscillateur à pont de Wien, présenter les composants.

## 2.2 Condition d'oscillation

[7], p. 265 - Condition générale d'auto-oscillation (ce n'est pas la même condition que la stabilité : ici on a un ALI idéal et un filtre d'ordre 2).  $1 + \mu\beta = 0$ . Le rapport  $s/e$  devient infini : un signal de sortie peut apparaître pour un signal d'entrée nul. En général, cette condition est satisfaite pour une pulsation  $\omega_0$  : oscillations spontanées du système à la pulsation  $\omega_0$ . C'est la condition de Barkhausen. Poly de JN, p. 98 : on obtient une condition sur les composants du système d'amplification. Un oscillateur quasi-sinusoïdal, constitué d'un passe bande bouclé avec un amplificateur, oscille à la pulsation caractéristique du passe bande, lorsque la condition d'oscillation est assurée.

Expérience : modifier  $R_1$  et  $R_2$  et observer l'effet sur les oscillations : retrouver la condition d'oscillation. Voir le TP Systèmes bouclés.

### 2.3 Caractérisation des oscillations

[22], p. 85 - Naissance des oscillations : le montage bouclé doit être instable. Amplitude des oscillations et pureté spectrale – saturation de l'AO. Enlever cette partie si on n'a pas de temps, faire les observations sur la manip.

**Conclusion :** Récap sur la leçon + on s'est intéressé ici à la stabilité des systèmes bouclés permettant de discuter des oscillateurs, mais il existe aussi d'autres propriétés, caractéristiques des systèmes asservis qu'il faut prendre en compte : la rapidité, la précision. Pour obtenir une bonne boucle de rétroaction, on utilise des éléments correcteurs. Il existe aussi d'autres types d'oscillateur : à relaxation (cf. JN, p. 101).

**BONUS :**

1. Deux façons de faire la leçon : Comme ici en PSI (s'appuyer bcp sur les ALI (voir le programme)) ou en L3 avec l'exemple de la rétroaction sur le MCC dans le formalisme de Laplace + utilité des éléments correcteurs.
2. Même si je n'en parle pas ici, il faut comprendre les critères d'oscillations dans le diagramme de Nyquist (voir le poly de Jeremy Neveu)
3. Rajouter des transitions!!

