LP22 Retroactions, oscillations

15 juin 2020

MONNET Benjamin &

Niveau : PSI

Rétroaction	quelques propriétés relatives à la rétroaction sur l'exemple de l'amplificateur linéaire intégré. L'identification de certains montages à des systèmes bouclés permet de faire le lien avec le cours d'automatique de Sciences Industrielles pour l'Ingénieur. L'étude des circuits est strictement limitée à des situations pouvant être facilement abordées avec les outils introduits en première année (loi des mailles, loi des nœuds, diviseur de tension). La vitesse limite de balayage de l'ALI est uniquement évoquée en TP afin d'identifier les distorsions harmoniques traduisant un comportement non linéaire. Les limitations associées aux courants de polarisation et la tension de décalage ne sont pas étudiées.
Modèle de l'ALI défini par une résistance d'entrée infinie, une résistance de sortie nulle, une fonction de transfert du premier ordre en régime linéaire, une saturation de la tension de sortie, une saturation de l'intensité de sortie.	Citer les hypothèses du modèle et les ordres de grandeur du gain différentiel statique et du temps de réponse.
Montages amplificateur non inverseur et comparateur à hystérésis.	Représenter les relations entre les tensions d'entrée et de sortie par un schéma fonctionnel associant un soustracteur, un passe-bas du premier ordre et un opérateur proportionnel. Analyser la stabilité du régime linéaire.
Compromis gain/bande passante d'un système bouclé du premier ordre.	Établir la conservation du produit gain-bande passante du montage non inverseur.
Limite en fréquence du fonctionnement linéaire.	Identifier la manifestation de la vitesse limite de balayage d'un ALI dans un montage.
Cas limite d'un ALI idéal de gain infini en régime linéaire.	Identifier la présence d'une rétroaction sur la borne inverseuse comme un indice de probable stabilité du régime linéaire. Établir la relation entrée-sortie des montages non inverseur, suiveur, inverseur, intégrateur. Exprimer les impédances d'entrée de ces montages. Expliquer l'intérêt d'une forte impédance d'entrée et d'une faible impédance de sortie pour une association en cascade.
Cas limite d'un ALI idéal de gain infini en régime saturé.	Identifier l'absence de rétroaction ou la présence d'une unique rétroaction sur la borne non inverseuse comme l'indice d'un probable comportement en saturation. Établir la relation entrée-sortie d'un comparateur simple. Pour une entrée sinusoïdale, faire le lien entre la non linéarité du système et la génération d'harmoniques en sortie. Établir le cycle d'un comparateur à hystérésis. Décrire le phénomène d'hystérésis en relation avec la notion de fonction mémoire.

Oscillateurs	étude non exhaustive des oscillateurs en électronique. Les exemples sont choisis à l'initiative du professeur et les fonctions de transfert des filtres utilisés sont fournies. En TP, on complète l'étude par une analyse spectrale des signaux.
Oscillateur quasi-sinusoïdal réalisé en bouclant un filtre passe-bande du deuxième ordre avec un amplificateur.	Exprimer les conditions théoriques (gain et fréquence) d'auto-oscillation sinusoïdale d'un système linéaire bouclé. Analyser sur l'équation différentielle l'inégalité que doit vérifier le gain de l'amplificateur afin d'assurer le démarrage des oscillations. Interpréter le rôle des non linéarités dans la stabilisation de l'amplitude des oscillations. Réaliser un oscillateur quasi-sinusoïdal et mettre en évidence la distorsion harmonique des signaux par une analyse spectrale. Approche documentaire : en relation avec le cours sur les ondes, décrire le fonctionnement d'un oscillateur optique (laser) en termes de système bouclé auto-oscillant. Relier les fréquences des modes possibles à la taille de la cavité.
Oscillateur de relaxation associant un intégrateur et un comparateur à hystérésis. Générateur de signaux non sinusoïdaux.	Décrire les différentes séquences de fonctionnement. Exprimer les conditions de basculement. Déterminer la période d'oscillation. Réaliser un oscillateur de relaxation et effectuer l'analyse spectrale des signaux générés.

Commentaires du jury

- **2015 :** Dans le cas des oscillateurs auto-entretenus, les conditions d'apparition des oscillations et la limitation de leur amplitude doivent être discutées. Le jury souhaiterait que le terme de résonance soit dûment justifié sans oublier une discussion du facteur de qualité. Il n'est pas indispensable de se restreindre à l'électronique.
- **2009-2013 :** Le jury n'attend pas une présentation générale et abstraite de la notion de système bouclé. Il estime indispensable de s'appuyer sur au moins un exemple concret et détaillé avec soin.
- **2007 :** La stabilité des systèmes bouclés est mal comprise. Le bouclage ne se limite pas uniquement à une fonction d'asservissement. Le lien entre les réponses temporelle et fréquentielle est un aspect important.

Bibliographie

✍ *Electronique*, **Le Bréal**[1] ⟶ Tout le cours y est
✍ *Elec*, **Duffait** ⟶ Asservissement en position et oscillateur de Wien
✍ **Krob** ⟶ Oscillateur de Wien

Prérequis

➢ Transformée de Laplace

➢ Transformée de Fourier

➢ Filtres linéaires

➢ AO

Expériences

☕

Table des matières

Introduction

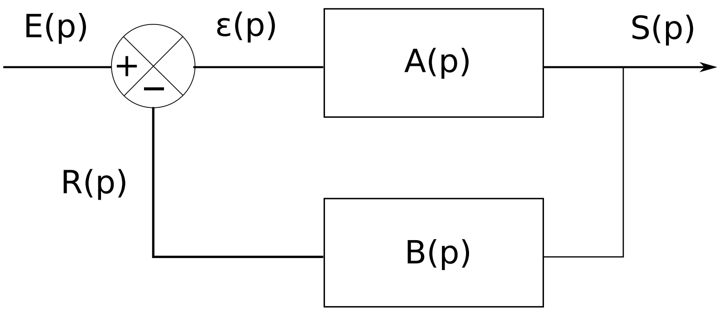
Exemple de rétroaction/système asservi : quelqu'un qui veut être à 130 sur l'autoroute ou bien quelqu'un qui prend sa douche

1 Système bouclé linéaire

1.1 Fonction de transfert

✍ Le Bréal, p195
On commence par expliquer la logique de ce schéma par rapport à un exemple donné en introduction :

- On a une entrée E : on veut aller à 130 km/h
- On compare à la vitesse actuelle pour avoir ϵ
- On appuie plus ou moins sur la pédale d'accélarateur, ce qui correspond au bloc A
- Le fait d'appuyer plus ou moins sur l'accélérateur modifie la vitesse, ce qui correspond au bloc B



Le but de de comprendre le comportement de la sortie en fonction de l'entrée. On définit donc la fonction de transfert :

$$H(p) = \frac{S(p)}{E(p)}$$

Avec le schéma, on a :

$$S(p) = A(p)\epsilon(p) \quad R(p) = B(p)S(p) \quad \text{et} \quad \epsilon(p) = E(p) - R(p)$$

Donc :

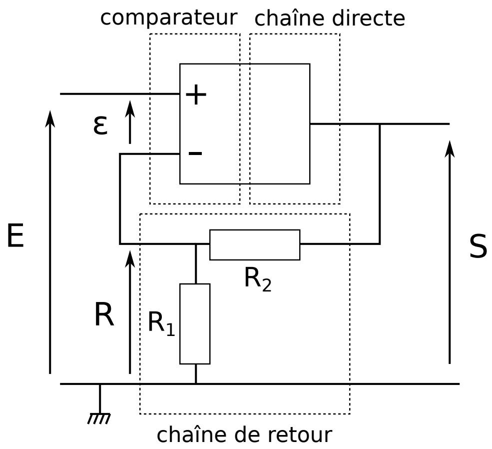
$$S(p) = A(p)[E(p) - B(p)S(p)]$$

Ce qui donne :

$$H(p) = \frac{A(p)}{1 + A(p)B(p)}$$

> *Prenons un exemple concret : l'ampli non inversur*

1.2 L'ampli non inverseur à AO



On identifie les différents éléments sur le montage :

- L'AO joue le rôle à la fois le rôle de comparateur et de chaine directe
- Le pont diviseur de tension formé par les résistances joue le rôle de chaîne retour

On a donc :

$$R(p) = \frac{R_1}{R_2 + R_1} S(p) \qquad S(p) = \frac{\mu_0}{1 + \frac{p}{\omega_{AO}}} \epsilon(p)$$

La fonction de transfert devient donc :

$$H(p) = \frac{\frac{\mu_0}{1+\frac{p}{\omega_{AO}}}}{1 + \frac{\mu_0}{1+\frac{p}{\omega_{AO}}} \times \frac{R_1}{R_1+R_2}} = \frac{H_0}{1 + j\frac{\omega}{\omega_0}} \quad \text{en notation complexe}$$

avec $H_0 = \frac{\mu_0}{1+\frac{\mu_0 R_1}{R_1+R_2}}$ et $\omega_0 = \omega_{AO}\left(1 + \frac{\mu_0 R_1}{R_1+R_2}\right)$. On retombe donc bien sur la forme souhaitée. Dans ce cas particulier, on trouve une fonction de transfert d'ordre 1 et on aimerait discuter de l'impact de cette fonction de transfert sur notre système.

2 Conséquences de la rétroaction

2.1 Gain et bande passante

✍ Bréal, p209 On voit que le gain a diminué... mais la bande passante a augmenté ! En fait, on remarque que le produit gain x bande passante reste constant.

ODG : $R_1 = 1k\Omega$, $R_2 = 100k\Omega$, $\omega_0 = 10^5 rad.s^{-1}$.

Essayons de comprendre un peu mieux maintenant ce que cette fonction de transfert signifie :

$$H(p)E(p) = S(p) \Leftrightarrow S(p) + \frac{p}{\omega_0} S(p) = H_0 E(p) \Leftrightarrow s(t) + \tau_0 \frac{ds}{dt} = H_0 e(t) \quad \tau_0 = \frac{1}{\omega_0}$$

Prenons le cas de la réponse à un échelon. La sortie vaut alors :

$$s(t) = H_0 E\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_0}}\right)$$

On remarque alors que le temps caractéristique τ_0 détermine le temps de réaction de la sortie à la réponse. Le produit gain bande est donc un compromis entre le temps de réponse et l'amplification. Le temps de réponse est amélioré de $\frac{1}{1+\frac{\mu_0 R_2}{R_1+R_2}}$ alors que le gain est diminué de cette même quantité.

2.2 Stabilité

✍ Duffait p338, Bréal p205
Nous n'avons présenté qu'un système d'ordre 1. Imaginons que l'on ait un système d'ordre 2 de la forme :

$$H(p) = \frac{1}{a_3 + a_2 p + a_1 p^2}$$

Dans ce cas là, l'équation différentielle devient :

$$a_1 \frac{d^2 s}{dt^2} + a_2 \frac{ds}{dt} + a_3 \omega_0^2 = e(t)$$

On peut alors montrer qu'un tel système n'est stable que si les a_i sont de même signe. Mais prenons un exemple concret : l'asservissement en position. La fonction de transfert du montage se met sous la forme :

$$H(p) = \frac{\omega_0^2}{p^2 + 2pm\omega_0 + \omega_0^2}$$

ce qui donne l'équation différentielle suivante :

$$\frac{d^2 s}{dt^2} + 2m\omega_0 \frac{ds}{dt} + \omega_0^2 s = \omega_0^2 e$$

A priori, le système est donc stable. Néanmoins, ce n'est pas la seule chose qui nous intéresse. En effet, nous avons vu que le temps de réponse pouvait être modifié mais en plus avec un système d'ordre 2, on peut avoir un *dépassement de la consigne*. Afin de mieux s'en rendre compte, on écrit la solution de l'équation différentielle lorque l'on met un échelon en entrée :

$$s(t) = \begin{cases} E(1 - e^{-m\omega_0 t} \cos(\omega t + \Phi)) \ \text{ avec } \ \omega = \omega_0\sqrt{1-m^2} \ \text{ si m<1} \\ E(1 - e^{-\alpha t}) \ \text{ si } \ m > 1 \end{cases}$$

On voit alors que selon la valeur du paramètre m, on a pas le même comportement.
Graphe

☕

Asservissement en position

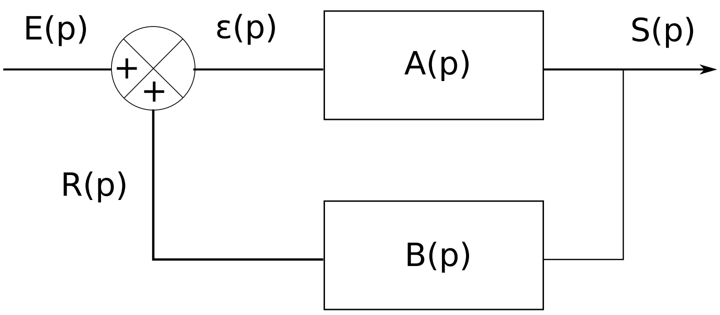
✍ Duffait p 338 ⏲

On peut montrer les différents comportements.

3 Oscillations auto-entretenues

3.1 Critère de Barkhausen

On reprend le problème de départ mais cette fois, on met un additionneur au lieu d'un comparateur.



Cela modifie la fonction de transfert de la manière suivante :

$$H(p) = \frac{A(p)}{1 - B(p)A(p)}$$

On voit donc que pour $A(p)B(p) = 1$, on a une divergence et donc on peut générer un signal à partir du bruit électronique. On appelle cela la condition de Barkhausen. La condition est à la fois sur le gain et sur la phase ! !

$$|A(j\omega)B(j\omega)| = 1$$
$$arg(A(j\omega)) + arg(B(j\omega))| = 0$$

Si on regarde ce que l'on a fait plus tôt, les solutions avec une entrée nulle sont de la forme :

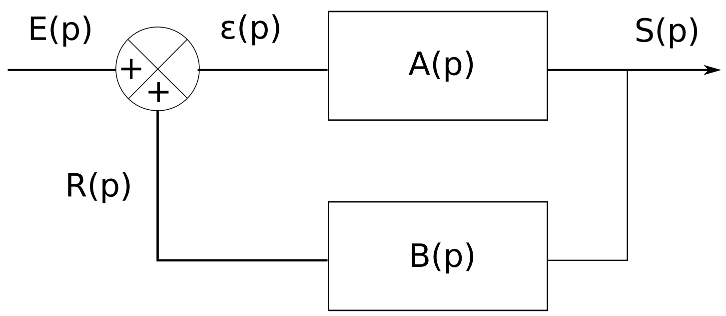
$$s(t) = Ae^{-m\omega_0 t}\cos(\omega t + \Phi)$$

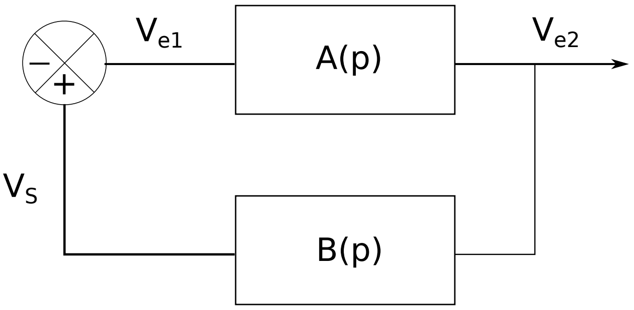
Autrement dit, selon le signe de m, on peut avoir une solution sinusoïdale. Bien sûr, il faut que l'on puisse avoir un peu de signal pour espérer avoir une sortie : on utilise donc le bruit électrique et on se place légèrement au dessu de m=1. De toute manière, on a jamais exactement m=1.

Il faut absolument regarder la théorie de Nyquist dans le Manneville

3.2 Oscillateur de Wien

✍ Krob p 131, Duffait p181 (mieux)





La condition $V_{e1} = V_S$ donne $AB = 1$ donc on retrouve le critère de Barkhausen.
Pour ce montage, on a :

$$A = \frac{R_1+R_2}{R_1}$$
$$B = \frac{1}{3+j\left(RC\omega - \frac{1}{RC\omega}\right)}$$

Pour avoir des aoscillations, on prend :

$$\omega = \omega_0 = \frac{1}{RC}$$
$$A = 3$$

Pont de Wien

✍ Krob, Duffait

On prend $R_1 = 1k\Omega$, R_2 variable, R=1 kΩ et C= 1 μF. On part de $R_2 \approx 1900\Omega$ puis on monte petit à petit pour montrer la naissance des oscillations. On peut comparer la période à la valeur attendue.

Questions

- Exemple où l'AO est saturé ? *Comparateur* Pas saturé ? *Suiveur*
- Exemple de système du troisième ordre ? *Capteur de température avec un filtre passe bande*
- Revoir le fonctionnement d'un push/pull
- Système aps électronique avec rétroactions ? *Vase de Tantale, Laser, "oiseaux buveurs" (assez bien expliqué sur Wikipédia)* **ça peut être cool pour la conclusion ça.**

Dans vos différents exemples, c'est des rétroactions positives ou négatives ? Systèmes asservis (ampli non inverseur, ascenseur, régulateur de vitesse...) = rétroaction négative pour avoir une stabilisation, oscillateur auto-entretenus = rétroaction positive car oscillations dues à une déstabilisation/instabilité

Dans l'oscillateur à pont de Wien, la condition de Barkhausen sur la phase c'est quoi ? Pourquoi vous ne l'avez pas dit alors ? parce que la condition sur le gain est toujours intuitive quand on abandonne Barkhausen pour regarder plutôt Nyquist, alors que la condition sur la phase n'est utile que dans le cadre très restreint de Barkhausen

Quand on boucle l'ampli non inverseur, on change le type de circuit ? Non juste le gain et la bande passante

Il n'y a pas un truc qui est conservé quand on passe de l'AO à l'ampli non inverseur ? Produit gain-bande passante

Là un élève demanderait, pourquoi vous dites Re $>$ 0 alors que sur le diagramme de Nyquist c'est Re $<$ -1 ?

Comment on pourrait modéliser les pertes par les miroirs dans votre schéma à rétroaction positive ? Vous pouvez réexpliquer ce qui se passe quand vous prenez une résistance R2 très grande ? Il se passerait quoi si on augmentait le R des miroirs ? La forme des pics s'appellerait comment ?

C'est quoi l'équivalent pour le pont de Wien ?

Exemple de système asservi pour éviter les fluctuations thermiques ?

Vous parlez de quel laser dans votre exemple ? Il est fait de quoi le milieu amplificateur dans un He-Ne ? Comment on fait le pompage ? C'est quoi la condition sur le nombre de niveaux pour qu'il y ait amplification ? Autres conditions à respecter ?

On cherche toujours à avoir des lasers monomodes ? En pratique c'est des lasers monomodes qu'on a ? C'est des modes transverses ou longitudinaux ?

Dans l'oscillateur de Wien, c'est quoi l'équivalent du pompage ? Alimentation de l'AO

Vous dites que si la croissance des oscillations s'arrête, c'est à cause de la saturation de l'AO, mais là c'est plutôt 4.5V que 15V, pourquoi ?

fonctionnement d'un AO ?

fonctionnement montre à quartz ?

autres types d'oscillateurs ?

questions sur d'autres critères de performance d'un asservissement, le but était de me faire parler des limites de sécurité d'un asservissement. Temps de réponse, dépassement

Système physique non électrique avec des oscillations due à la rétroaction ? comment le système pouvait être traité avec Barkausen et ensuite quelle était la source de démarrage du laser ? Laser.

comment est-ce que l'on peut stabiliser un oscillateur à pont de Wien avec une ampoule à incandescence ? Si stabiliser = avoir des oscillations qui durent, on peut mettre l'ampoule à la place de R2, et la résistance du filament augmente avec la température donc plus on va mettre de puissance dans l'ampoule plus on va augmenter la résistace jusqu'à respecter Barkhausen.

Quelle est la caractéristique principale des systèmes bouclés ? Produit gain-bande = constante (ex : ampli non inverseur)

Qu'est-ce qui limite l'amplitude des oscillations dans l'oscillateur à pont de Wien ? D'où viennent les non linéarités ? Effets non linéaires dus aux transistors de l'AO.

Que se passe-t-il si on modifie la valeur de la résistance variable dans l'oscillateur à pont de Wien ? Déformation du signal, on s'éloigne des oscillations quasi sinusoïdales.

Qu'est-ce qui caractérise un oscillateur ? Que vaut-il pour l'oscillateur à pont de Wien ? Son facteur de qualité, 1/3 pour le pont de Wien.

Quel est l'intérêt de Nyquist ? prévision du comportement en boucle fermée à partir de l'étude en boucle ouverte.

Un système instable est-il toujours un oscillateur ? Si non, sous quelle(s) condition(s) l'est-il ?

Pourquoi utiliser la transformée de Laplace et pas la transformée de Fourier ? La transformée de Laplace permet de traiter les régimes transitoires alors que la transformée de Fourier ne peut être employée que pour les régimes permanents.

Quelles hypothèses sont nécessaires sur l'amplificateur opérationnel ? Bien préciser que l'on se place en régime linéaire ou en saturation, et que l'AO est supposé idéal.

Qu'est-ce que la bande passante d'un amplificateur non-inverseur ? Il s'agit d'un passe-bas, toutes les fréquences inférieures à la fréquence de coupure ω_0 passent. La bande passante est donc simplement ω_0.

Pourquoi y a-t-il un dépassement de consigne avec le moteur asservi en position ? Les systèmes asservis du premier ordre n'ont, en théorie, pas de dépassement de consigne, mais ce n'est pas le cas des systèmes du second ordre comme le moteur asservi. Pour avoir l'ordre du système, il faut regarder la chaîne directe dans son intégralité. En l'occurrence, il s'agit d'une succession de modules d'ordre 1, la chaîne globale est au moins d'ordre 2.

Est-ce que pour le pont de Wien, on a obligatoirement les mêmes résistances et condensateurs ? Pas forcément mais au moins ici la FTBO a une forme plutôt simple

Donnez l'équation différentielle associée à une notation de Laplace. Est-ce que pour la notation de Laplace revient juste à remplacer j omega par p ? Même équa diff qu'en Fourier si on a la CI = 0

Qu'est-ce que le facteur de qualité ? Connaissez-vous des oscillateurs avec un meilleur facteur de qualité ? Q=f/ delta f
Oscillateur à quartz

Quand la fonction de transfert est plus grande que 1 pour toute une bande pourquoi on ne voit pas toutes les fréquences apparaître ? Comment sont créées les oscillations quand on boucle le système ?

Remarques

-