

MP 27 : Systèmes bouclés

Costa Antonino et Moreton Arnaud

Jeudi 11 décembre 2014

« On est jamais si bien asservi que par soi-même. »

Gilbert Cesbon

Commentaires du jury :

Jusqu'en 2013, il y avait deux montages Systèmes bouclés (oscillateurs exclus). et Oscillateurs auto-entretenus. qui ont été rassemblés.

2014 :

Ce montage concerne la physique des asservissements et/ou celle des oscillateurs auto-entretenus. Une maîtrise minimale des montages élémentaires est requise. Un oscillateur à quartz serait le bienvenu, compte tenu de son fort facteur de qualité.

Références :

[Manneville] François Manneville « Electronique », *Dunod*

[Krob] Michel Krob « Electronique expérimentale », *ellipses*

[Duffait] R.Duffait « Expériences d'électronique », *Bréal*

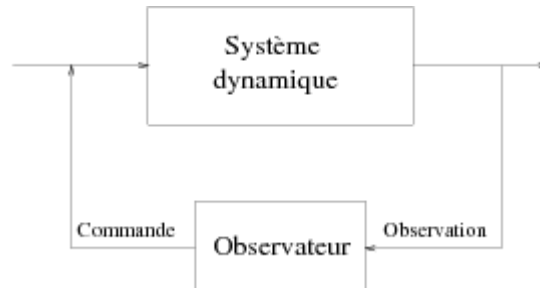
Table des matières

0 Amplificateur opérationnel : introduction.....	2
1) AO en boucle ouverte	2
2) Bouclage : suiveur.....	3
1 Amplificateur opérationnel : amplificateur non inverseur	3
2 Oscillateur à pont de Wien	3
1) Etude en Boucle Ouverte (BO).....	4
2) Etude du Boucle Fermée.....	5
3 Asservissement en position d'un moteur.....	7
1) Principe.....	7
2) Caractéristiques de l'asservissement.....	8
3) Correcteurs.....	8

Introduction

La notion de contrôle et donc de bouclage est très présente et ce même dans la vie quotidienne : par exemple le fait de conduire une voiture peut être perçu comme un bouclage entre les pieds (et les mains) qui appuient sur les pédales (ou tournent le volant) et les yeux qui permettent de un contrôle.

Pour un physicien ce contrôle est effectué par une boucle de rétroaction (systèmes bouclés).



Dans ce montage nous allons tout d'abord étudier un système bouclé simple afin de mettre en évidence les intérêts du bouclage puis nous appliqueront cela à un oscillateur à pont de Wien. Enfin nous verrons la stabilité et la précision de tels systèmes à travers les asservissements.

0 Amplificateur opérationnel : introduction [Duffait]

L'AO est un amplificateur différentiel à courant continu de très grande amplification différentielle μ (domaine linéaire de l'AO). La borne d'entrée "+" est appelée "non inverseuse" et la borne d'entrée "-" "inverseuse", S étant la sortie.

1) AO en boucle ouverte

Dans le domaine 0 - 1 MHz, l'AO se comporte comme un filtre passe bas du premier ordre, donc sa fonction de transfert en régime permanent sinusoïdal se met sous la forme :

$$\mu(\omega) = \frac{V_s}{V_+ - V_-} = \frac{V_s}{V_e} = \frac{\mu_0}{1 + j \frac{\omega}{\omega_0}}$$

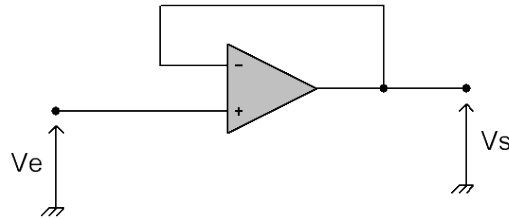
Le gain de l'AO étant très important ($\mu \sim 10^5$) on observe, pour de très faibles signaux d'entrée, une saturation du signal de sortie pour des basses fréquences.

De plus, en boucle ouverte, l'offset de l'AO a une grande influence sur la composante continue de la sortie.

Expérience qualitative introductrice :

Visualisation de l'influence de l'offset en boucle ouverte ainsi que de la saturation pour des signaux d'entrée d'amplitude de l'ordre de 10mV.

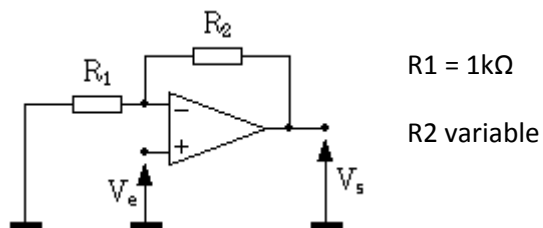
2) Suiveur



Expérience introductive :

Bouclage en suiveur => comportement de l'AO différent et plus de saturation.

1 Amplificateur opérationnel : amplificateur non inverseur



Le but est d'introduire la notion de rétroaction, de montrer son efficacité et de caractériser quantitativement les systèmes bouclés du premier ordre .

Expérience qualitative :

On montre que la tension maximale pour laquelle il y a saturation est plus élevée maintenant et que la variation de la résistance R_2 peut être vu comme un « quantificateur de rétroaction »

Expérience :

On montre quantitativement que le produit gain*Bande passante est une constante quels que soient les valeurs de R_1 et R_2 => On modifie R_2 et on mesure le gain et la BP.

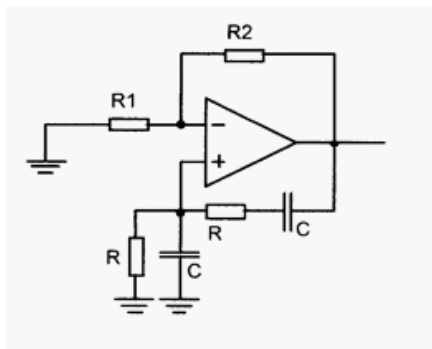
$GPB = f(R_2)$ est une droite.

Cette dernière expérience permet de caractériser les systèmes bouclés dits « du 1^{er} ordre » (la réponse $s(t)$ est liée à l'excitation $e(t)$ par une équation différentielle linéaire du 1^{er} ordre à coefficients constants).

Transition : on vient de voir que la rétroaction permet de mieux gérer les systèmes. Dans certains cas ces systèmes peuvent permettre la naissance et l'amplification d'oscillations. C'est le cas de l'oscillation à pont de Wien.

2 Oscillateur à pont de Wien [Krob]

L'oscillateur à pont de Wien présenté ci-dessous est un oscillateur présentant une partie amplificateur non-inverseur (vu précédemment) et une partie filtre de Wien qui est un filtre passe-bande. Un tel oscillateur va permettre d'amplifier le bruit de l'AO et ainsi obtenir un signal de fréquence connue.



$$R1 = R = 1k\Omega$$

$$R2 = 2k\Omega$$

$$C = 1\mu F$$

1) Etude en boucle ouverte

L'étude des systèmes bouclés commence toujours par une caractérisation des éléments en boucle ouverte.

$$H_2(j\omega) = \frac{K_0}{1 + j.Q(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega})}$$

avec $K_0 = \frac{-1}{3}$, $Q = \frac{1}{3}$ et $\omega_0 = \frac{1}{RC}$.
C'est un filtre passe bande.

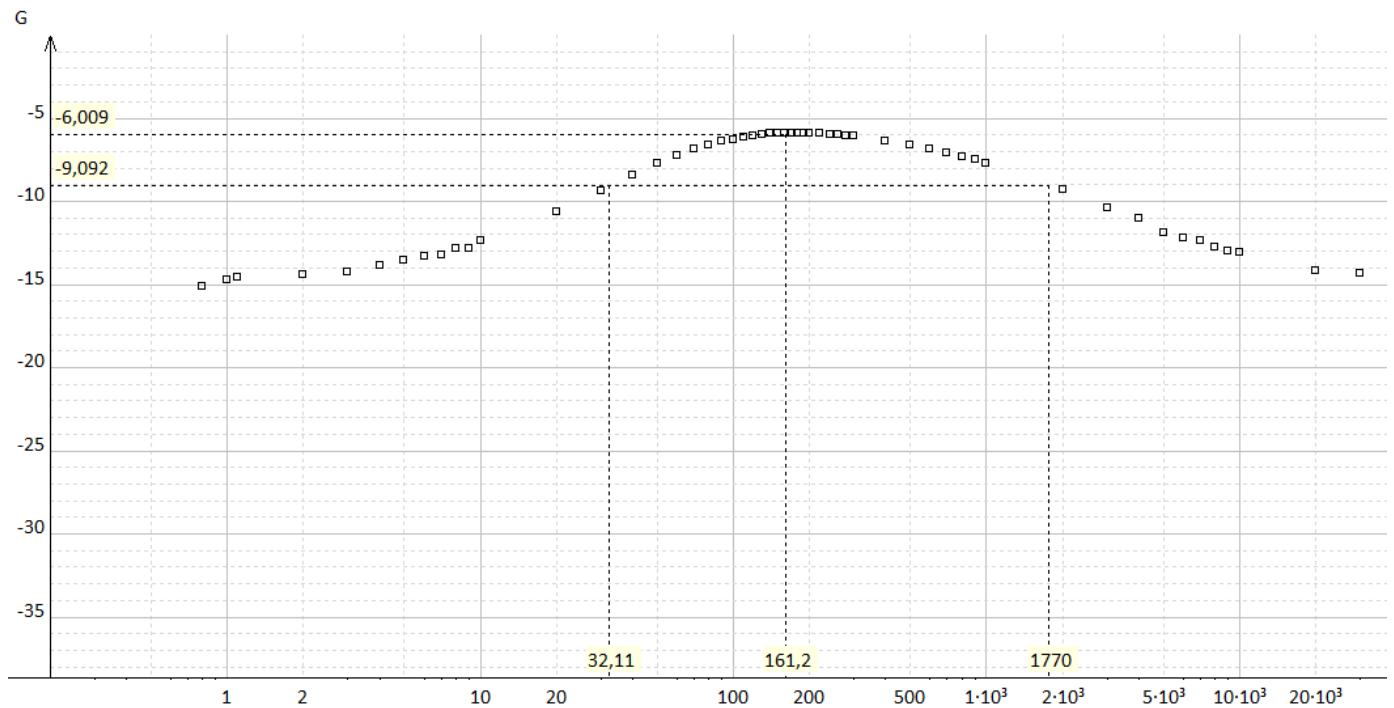
Expérience :

Montrer rapidement les caractéristiques du filtre à l'oscilloscope (PB, plage pour f_0 , BP, Q ?).

Pour plus de précision et afin de ressortir des valeurs précises, on trace le diagramme de Bode du filtre.

On obtient $f_0 = \dots \pm \dots \text{Hz}$

$\Delta f = \dots \pm \dots \text{Hz}$



Comparaison avec la théorie :

$$\omega_{0th} = \frac{1}{RC} \Rightarrow f_{0th} = \frac{1}{2\pi RC} = \dots \pm \dots Hz$$

$$G_{th} = 20 \log\left(\frac{1 + \frac{R_1}{R_2}}{3}\right) = \dots \pm \dots dB$$

$$Q_{th} = \frac{1}{3}$$

2) Etude en boucle fermée

On enlève le GBF et on boucle la sortie sur l'entrée. On obtient ainsi un système bouclé qui est instable à partir d'une certaine valeur de R_2 .

Expérience :

Oscillation du filtre de Wien

On prend une résistance R_2 réglable à l'ohm près. On commence avec une valeur faible de R_2 par exemple, 100Ω et on augmente sa valeur.

Au début les oscillations apparaissent puis disparaissent (amorties) (acquisition Latis Pro).

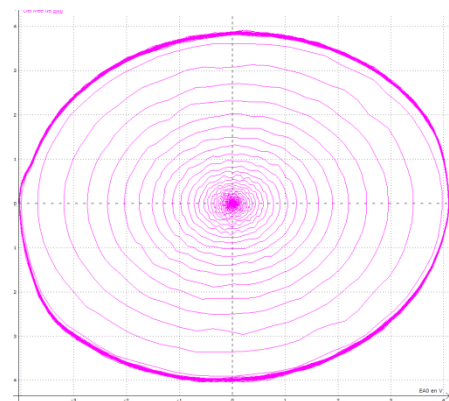
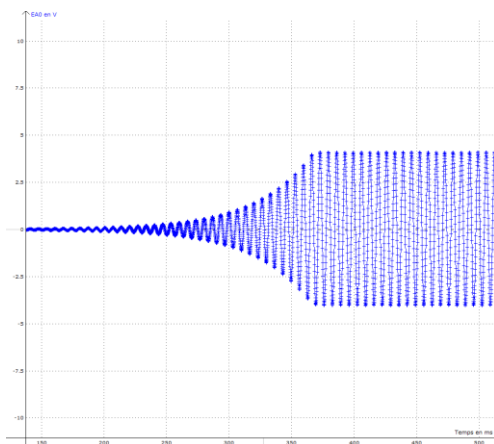
Puis on arrive à R_{min} où on obtient un signal oscillant, valeur limite de la résistance, et on mesure cette dernière à l'ohmmètre ; ce qui est plus précis que la valeur indiquée par la boîte.

$$R_{min} = \dots\dots\dots \pm \dots\dots$$

Si on augmente beaucoup, des phénomènes non-linéaires apparaissent.

La fréquence des oscillations obtenue est $f_0 = \dots\dots \pm \dots\dots \text{Hz}$ (entrée sortie en phase)

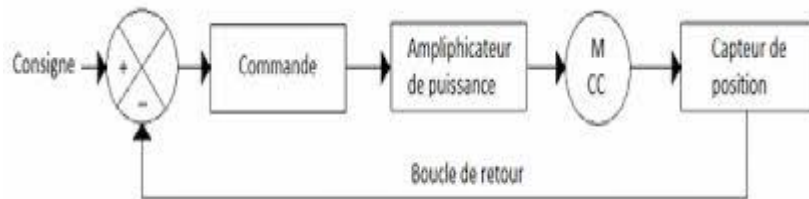
Possibilité de montrer le portrait de phase ($e(t)$; $\frac{de}{dt}(t)$) $\Rightarrow$ spirale caractéristique des oscillateurs.



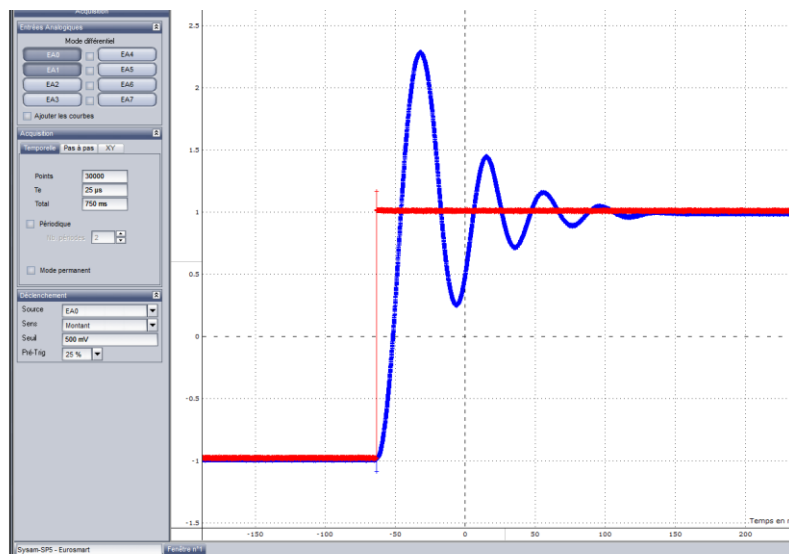
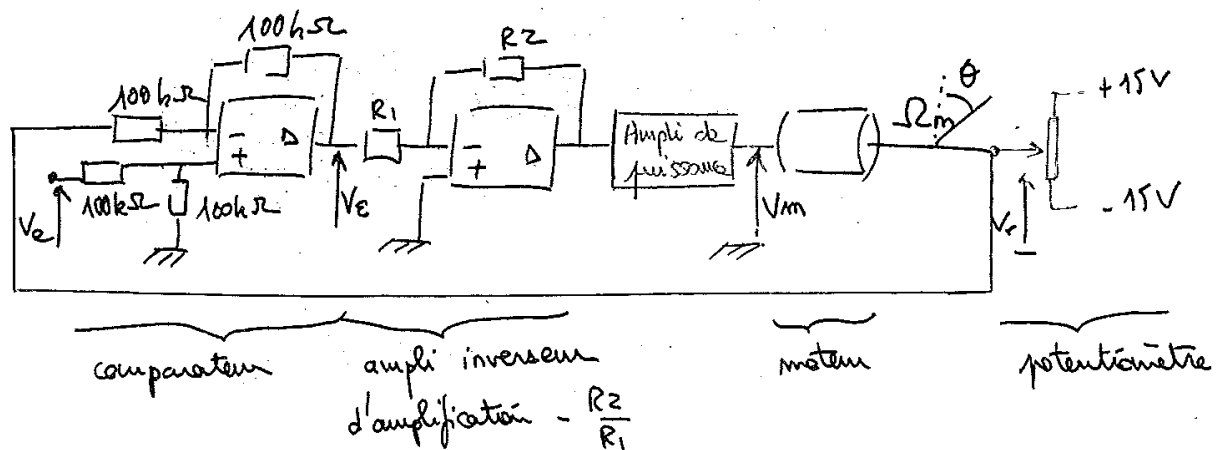
Transition : ce filtre de Wien étudié permet d'obtenir, si tel est le souhait, des oscillations à fréquence précise et connue. En revanche, dans les industries, on souhaite surtout que la consigne soit respectée dans le sens où il faut que le système soit rapide et précis. C'est donc vers l'asservissement qu'il faut se tourner.

3 Asservissement en position d'un moteur [Duffait]

1) Principe



On souhaite commander la position du clou par une consigne électrique. Pour réaliser la "commande" d'une grandeur de sortie par une grandeur d'entrée (consigne), on réalise un asservissement, qui est un système bouclé à contre réaction : la grandeur de sortie, X_s est comparée à la consigne X_e de manière à ce que $X_s \rightarrow X_e$. L'asservissement en position d'un moteur est un système suiveur (la grandeur de sortie doit suivre les variations de la grandeur d'entrée).



2) Caractéristiques de l'asservissement

On définit le dépassement D et le taux d'amortissement m (défini pour nous à partir de D mais qui est réellement défini par les caractéristiques du moteur : résistance interne, moment d'inertie...)

$$D = \frac{V_s(t) - V_e}{V_e} = e^{-\pi m / \sqrt{1-m^2}} \Leftrightarrow m = \frac{\ln D}{\sqrt{\pi^2 + \ln^2 D}}$$

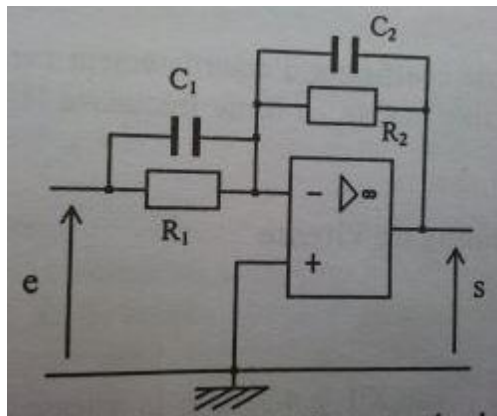
Expérience :

On choisit une valeur de résistance pour R_2 et on mesure les différentes valeurs de D , t_r , t_m et T .
Vérification de la dépendance en m de T (en $(1-m^2)^{(0.5)}$) et de t_r (en $1/m$).

On définit aussi t_r le temps de réponse à 5% (temps au bout duquel la réponse reste dans une bande [95% ; 105%] de la consigne), T la pseudo période des oscillations et enfin t_m , le temps de montée (temps pour passer de 10% à 90% de la consigne).

3) Correction de l'asservissement

Mise en place de condensateurs en parallèle des résistances dans l'amplificateur non inverseur.



Expérience :

Visualisation des effets des capacités (Diminution du dépassement, augmentation du temps de réponse). Si possible quantifier ces variations.

Conclusion

Nous avons donc vu que le bouclage modifiait le comportement des systèmes vis-à-vis de leur environnement. Puis nous avons vu que les systèmes bouclés peuvent provoquer de l'instabilité, des oscillations avec l'étude du pont de Wien. Pour finir l'étude l'asservissement en position d'un moteur nous a permis d'étudier une autre facette des systèmes bouclés peut être plus utilisée, pour obtenir des systèmes stables et précis. Les applications d'asservissement en position comme nous en avons étudié le principe sont nombreuses, on peut citer une fraiseuse ou encore un ascenseur.