
SYSTÈMES BOUCLÉES

Niveau

Commentaires du jury

- 2014-2017 : 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.
- 2012 : Les notions de stabilité, puis de temps de réponse et de précision sont essentielles dans ce montage. Le monde moderne regorge de systèmes asservis évitant l'utilisation de « boîtes noires » présentant des défauts introduits exprès pour qu'on les corrige par asservissement. Le produit « gain $\times$ bande passante = constante » ne doit pas être attendu aveuglément, les conditions de validité de cette relation doivent être connues et respectées

Bibliographie

—

pré-requis

Expériences

—

Table des matières

1	Asservissement en tension d'un moteur à courant continu	2
1.1	Système en boucle fermé	3
1.2	Précision	3
1.3	Rapidité	4
2	Oscillateur de Wien	4
2.1	Présentation	4
2.2	Etude de la FTBO	5
2.3	Critère de Barkhausen	5
2.4	Oscillation	5
3	Bonus si on a le temps : oscillateur à quartz	6

Introduction

Les applications des systèmes bouclés sont omniprésentes dans la vie courante. On ne peut, par exemple en ingénierie, simplement donner une commande et ne pas l'adapter en fonction d'une mesure. Un exemple simple pour illustrer cela est l'étude d'une piscine. Si on considère une piscine dont 1L d'eau s'évapore par jour. Alors on peut raisonnablement donner une commande à une pompe pour qu'elle remplisse 1L par jour. Mais si un jour il

pleut, la piscine va déborder. Alors que si on capte le niveau d'eau et que l'on compare au niveau de commande, on peut mieux adapter à la situation. On va voir deux types de systèmes couplés, l'un stable (asservissement d'un moteur) et l'autre instable (oscillateur de Wien et à quartz)

1 Asservissement en tension d'un moteur à courant continu

tips : Quand le moteur tourne dans le sens de la flèche il faut que V capteur augmente. Ce n'est pas ce qu'on a observé pendant la préparation... être vigilant, cela peut être une source d'erreur. Ne pas hésiter à inverser les bornes +15 et -15 (cela change simplement le sens de variation de la tension en fonction de la position).

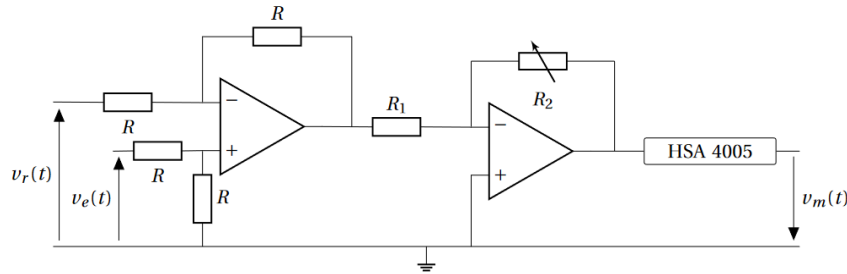


FIGURE 1 – Asservissement du moteur. on prendra garde au sens de la sortie

La première partie constitue un soustracteur, qui est suivie par un amplificateur inverseur et un amplificateur de puissance. Attention au sens de la sortie...

Pour comprendre ce qu'il se passe :

v_e correspond à la tension de commande et v_r à la tension issue du potentiomètre.

— Si $v_e = v_r$ alors la différence est nulle et aucune tension n'est envoyée dans le moteur...

— Si $v_e \neq v_r$ alors la différence est non nulle, elle est ensuite amplifiée et renvoyée dans le moteur. Le moteur bouge de sorte à faire diminuer cette différence de tension.

Observation de l'asservissement en ouvrant et fermant la boucle de rétroaction. Il faut prendre un peu de temps pour parler de la rétroaction.

Attention la masse de l'alimentation du potentiomètre doit être reliée à celle des AO et pas celle du moteur pour éviter les courts circuits.

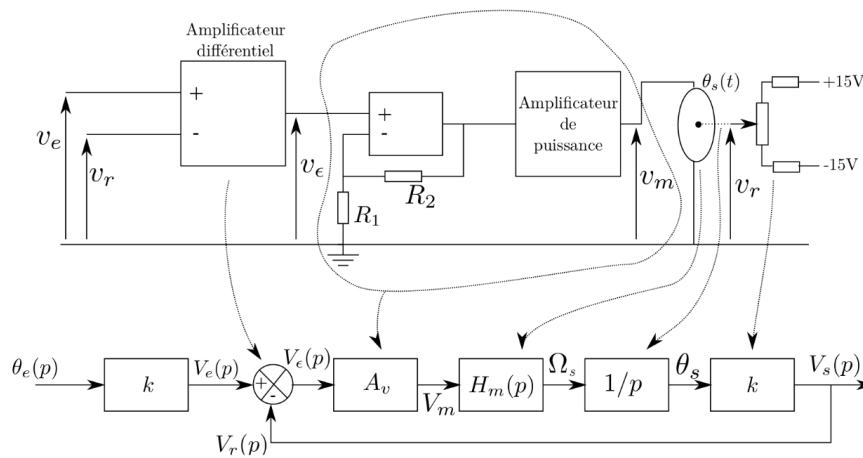


FIGURE 2 – Asservissement du moteur : schéma bloc : poly d'Albert Romain

— Ici on a pas le premier k car on envoie directement depuis le GBF (on met une commande en tension et pas en angle).

- Ici l'amplificateur de puissance est nécessaire car le moteur peut nécessiter 4A, ce que les AO ne peuvent délivrer.
 - Le moteur à courant continu est modélisé par deux équations :
 - $e = Ri + k\Omega$ avec e la tension appliquée au moteur et Ω la vitesse de rotation du moteur.
 - $J \frac{\partial \Omega}{\partial t} = C_{moteur} - C_{visqueux} = K_c i - f\Omega$
- On peut modéliser sa fonction de transfert par :

$$H_m = \frac{A_m}{1 + \frac{j\omega}{\omega_m}}$$

- Le $\frac{1}{p}$ traduit le fait que le moteur impose une vitesse et pas un angle mais que le potentiomètre, lui mesure un angle. La résistance est proportionnelle à l'angle.
- On peut mettre en schéma bloc uniquement car il n'y a pas de problèmes d'adaptation d'impédances.

1.1 Système en boucle fermée

On fait le diagramme de bode en boucle fermée pour $R_2 = 5 \text{ k}\Omega$ de sorte qu'il y ait un dépassement. Regressi permet de faire le fit. On observe une résonance :

$$H = \frac{K}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 + j \frac{\omega}{Q\omega_0}}$$

La fonction de transfert en boucle fermée traduit le comportement de tout le système. Par exemple ici, nous allons pouvoir lier les propriétés du facteur de qualité à un dépassement du système asservi.

1.2 Précision

Pour deux valeurs de résistance R_2 déplacer la tige. Une fois (pour R_2 petit : inférieur à 1 k Ω) elle ne revient pas exactement à cause des frottements solides, l'autre fois (pour R_2 grand : supérieur à 2 k Ω) l'asservissement est précis.

La présence d'un intégrateur $\frac{1}{p}$ assure que le montage est précis. **Attention :** Nous n'avons pas pris les frottements solides dans notre modèle. Ça n'est donc pas en contradiction avec la présence de l'intégrateur.

Remarque : "On évoque souvent le compromis précision-stabilité pour les systèmes asservis. Il se trouve en effet qu'un trop grand gain déstabilise le système linéaire qu'on étudie, dans le sens où il peut apparaître des oscillations spontanées. MAIS ATTENTION ! Ici, on peut observer que le système se met en rotation (et n'est donc plus asservi) à grand gain mais c'est à cause d'un mauvais signal de retour envoyé par le capteur potentiométrique. Cela n'a donc rien à voir avec l'instabilité linéaire qui fait les oscillateurs. Le problème du potentiomètre fait que celle-ci n'est pas observable sur notre expérience." Marc Lagoin

1.3 Rapidité

A l'oscilloscope, on relève la sortie et l'entrée pour un échelon de tension. On mesure le temps de réponse (le temps de montée peut être plus facile et peut permettre plus facilement d'introduire le temps de réponse ensuite comme un compromis) et le dépassement :

- Le temps de montée et le temps qu'il faut au système pour passer de 10% à 90% de sa valeur. On observe qu'à mesure que R_2 augmente, ce temps diminue.
- Le dépassement est défini comme :

$$D = \frac{v_{max} - v_{\infty}}{v_{\infty}}$$

Ici pour être sûr de pas avoir de problème sur la définition de v_{∞} qui a plus de sens pour moi comme l'amplitude du créneau plutôt que la valeur finale à proprement parler, on envoie un créneau entre 0 et 1V (ou plus). Ici comme notre système est précis (on l'a vu dans la partie d'avant), on peut lire de manière équivalente la valeur de consigne ou la valeur finale. Enfin, on observe une augmentation du dépassement avec la résistance R_2 .

On peut alors parler de compromis entre le dépassement et le temps de montée. Ce qui va se traduire par la prise en compte d'un temps de réponse (quand on est entre 95 et 105% de la valeur finale).

On peut comparer qualitativement les temps de réponses. On remonte cependant au facteur de qualité à partir du dépassement.

Le dépassement D est défini comme le rapport entre 2 tensions : $\Delta V_d = V_{max} - V_{\infty}$ la différence de tension entre le maximum atteint et la valeur finale ; $\Delta V = V_{max} - V_0$ l'amplitude de la variation de tension lors de la commande. On a $D = \frac{\Delta V_d}{\Delta V}$.

Il existe le lien suivant entre le coefficient d'amortissement m et le dépassement :

$$D = \exp\left(-\frac{m\pi}{\sqrt{1-m^2}}\right) \Rightarrow m = \frac{|\ln D|}{\sqrt{\pi^2 + \ln^2 D}}$$

Et enfin :

$$Q = \frac{1}{2m}$$

Incertitudes :

$$u(m) = m \times \sqrt{\left(\frac{u(D)}{D \ln D}\right)^2 + \left(\frac{\ln Du(D)}{D(\pi^2 + \ln^2 D)}\right)^2}$$

et

$$u(Q) = Q \times \frac{u(m)}{m}$$

Qualitativement, on a bien Q de l'ordre du nombre d'oscillations.

2 Oscillateur de Wien

2.1 Présentation

Le montage de l'oscillateur de Wien se décompose en deux parties, l'amplificateur que l'on peut modéliser par la fonction de transfert :

$$A(j\omega) = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

Et un filtre de fonction de transfert :

$$B(j\omega) = \frac{jRC\omega}{1 + 3j\omega RC + (jRC\omega)^2} = \frac{1}{\frac{1}{Q} + j\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)} \quad \text{Avec } \omega_0 = \frac{1}{RC} \quad \text{et } Q = \frac{1}{3}$$

Quand le système est bouclé. On considère un signal donné. Il est amplifié par A et il passe ensuite dans le filtre. Ensuite en fonction de sa fréquence il est plus ou moins atténué par le filtre. Si il est à une fréquence qui est trop

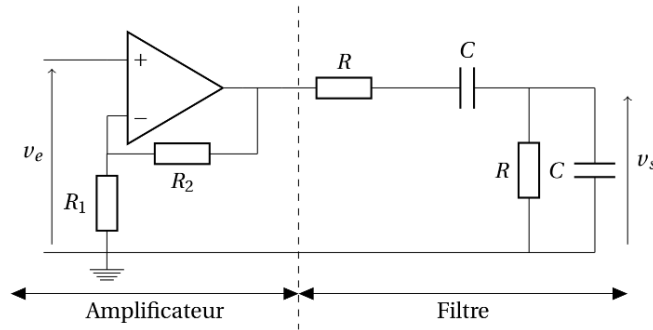


FIGURE 3 – Oscillateur de Wien

atténuée par le filtre alors en revenant dans l'amplificateur opérationnel il est plus petit et finit donc par disparaître. Cependant si le passage dans le filtre est à la fréquence de résonance du filtre alors le signal en sorti est plus grand que celui d'entrée, et le signal est amplifié.

On retrouvera cela en écrivant la FTBO.

Le choix de R et C fixe la fréquence de résonance.

— $R = 1 \text{ k}\Omega$

2.2 Etude de la FTBO

La FTBO (fonction de transfert en boucle ouverte) est :

$$FTBO = AB = \frac{1 + \frac{R_2}{R_1}}{\frac{1}{Q} + j\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)}$$

Faire le diagramme de Bode. Le caractériser : bande passante Le faire en préparation pour $R < R_{critique}$ et $R > R_{critique}$

2.3 Critère de Barkhausen

On trace le diagramme de Nyquist : $|G|\sin(\phi) = f(|G|\cos(\phi))$ On entoure ou non le point (1,0). (ici c'est (1,0) et pas (-1,0) parce que la rétroaction est positive)

On met en évidence la condition d'oscillation : Critère de Barkhausen : $AB = 1$ (attention c'est un critère à la fois en amplitude et en phase. Il faut à la fois que les amplitudes soient OK et à la fois que la rétroaction soit positive et en phase avec l'entrée)

Attention, c'est le gain linéaire et pas le gain en décibel.

Attention c'est quand même pas pareil Nyquist et Barkhausen. En effet le critère de Barkhausen donne une condition nécessaire pour qu'il puisse y avoir une contre réaction qui se mette à osciller. Le critère de Nyquist pose la question suivante : La partie réelle de p est elle positive ou négative dans la point telle que $AB(p) = 1$. L'idée est que $AB(p)$ est une fonction holéomorphe, donc si je trace (en orientant mon tracé) $AB(j\omega)$, alors comme les " p " tels que la partie réelle de p sont positive à droite de $j\omega$, ils seront également à droite de l'image de p par AB " (je met des guillemets par ce qu'on mélange un peu laplace et et fourier mais c'est pour l'idée). Ainsi si on entoure le point (-1, 0) (ou (1,0) en fonction du signe de la rétroaction) alors on sait que la partie réelle de p est positive et que le système est instable.

2.4 Oscillation

On observe des oscillations pour $R_2 > 2R_1$

Mesurer la résistance critique en monté et en descente. En déduire la résistance critique comme la moyenne des 2.

Analogie avec le Laser : Le laser est également un oscillateur. Le milieu amplificateur (avec pompage optique) est l'analogie de l'amplificateur, et la cavité Fabry-Pérot qui sélectionne les modes résonnants est l'analogie du filtre de Wien, avec un facteur de qualité bien supérieur.

3 Bonus si on a le temps : oscillateur à quartz

A l'aide du boîtier, on peut mesurer le facteur de qualité du filtre, très important.

Les oscillateurs à quartz peuvent atteindre des fréquences de résonnances de plusieurs centaines de mégahertz, avec une meilleure stabilité en température que les circuits LC classiques. Les facteurs de qualité atteignent plusieurs dizaines de milliers.

Conclusion

Les systèmes bouclés se divisent en 2 groupes : les systèmes stables, avec asservissement. Ceux-ci sont extrêmement utiles en ingénierie, dans l'industrie, puisqu'ils permettent de commander automatiquement une grandeur. On recherche alors précision, rapidité, non dépassement,... Les autres sont les systèmes instables, qui peuvent se mettre à osciller. La non divergence des oscillations est due aux limitations des appareils que l'on utilise, que l'on ne prend pas en compte dans les modélisations. On recherche alors la stabilité de la fréquence de résonance.