

MP27 : Systèmes bouclés

Armel JOUAN, Géraud DUPUY

June 6, 2021

Introduction

Systèmes bouclés super utiles. On les divise en deux catégories, les stables et les instables. Les premiers servent à créer des oscillateurs, les seconds à faire des asservissements.

1 Oscillateur à pont de Wien

Matériel

- Plaquette double AOP avec résistances variables et carte à trous
- Résistances $R_1 = 10\text{ k}\Omega$ et $R_2 \geq 20\text{ k}\Omega$ réglable pour l'ampli non inverseur
- Deux résistances $R = 10\text{ k}\Omega$, deux résistances $R' = 100\ \Omega$ deux capa $C = 10\text{ nF}$ pour le pont de Wien
- Oscillo
- Alim +15/-15 Petits fils

Mise en place

- Réaliser l'ampli non inverseur (cf MP22) selon [4] p.41
- Caractériser son gain en fonction de la résistance R_2 , faire une droite, retrouver la relation $A_0 = 1 + \frac{R_2}{R_1}$
- Prendre son Bode pour obtenir le produit gain bande passante en pratique
- Réaliser le pont de Wien sur la carte à trous ; **bien penser à raccorder la ligne de masse au point à 0V**
- Mettre les deux circuits en boucle

- Constater l'apparition des oscillations en faisant varier R_2 ; déterminer la condition d'apparition (valeur de R_2 critique).
- Relever la fréquence d'oscillation à comparer avec celle attendue de $f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$

Exploitation

- Fonction de transfert de l'ampli non inverseur: $H_{ampli}(\omega) = 1 + \frac{R_2}{R_1}$
- Fonction de transfert du pont de Wien: $H_{Wien}(\omega) = \frac{1}{3+j(RC\omega - \frac{1}{RC\omega})}$
- On sait qu'on a des oscillations à ω , si on vérifie la relation de Barkhausen: $H_{ampli}(\omega)H_{Wien}(\omega) = 1$
- On a donc une condition à la fois en module et en phase, ce qui donne une condition sur la fréquence et une sur le gain
- $\omega = \omega_0 = \frac{1}{RC}$
- $1 + \frac{R_2}{R_1} = H_{ampli}(\omega_0) = \frac{1}{H_{Wien}(\omega_0)} = \frac{1}{\frac{1}{3}} = 3$
- On a donc des oscillations pour $R_2 = 2R_1$ et $\omega = \frac{1}{RC}$
- Dans la pratique, on a des oscillations pour $R_2 > 2R_1$, mais on a de la distorsion \Rightarrow non linéaire (visible au spectre)

2 Stabilité en fréquence de l'oscillateur

Matériel

- Oscilloscope
- Oscillateur à pont de Wien
- Oscillateur à quartz (boîtier oscillateur 32768 Hz, qui envoie un créneau)
- Alim stabilisée pouvant délivrer 0-5 V

Mise en place

- Remplacer les 2 résistances de $10\text{ k}\Omega$ par 2 résistances de $100\ \Omega$, la dérive en fréquence est ainsi plus rapide à montrer.
- Pour chacun des deux oscillateurs, on lui fait afficher des oscillations.
- On dezoome à fond l'oscillo, et on met un énorme délai

- On rezoome et on regarde si la trace bouge. Sinon, on continue d'augmenter le délai. Inversement, si la persistance occupe tout l'écran (pour le pont de Wien), diminuer le délai. Noter les paramètres pour le passage à l'oral (typiquement pour l'oscillateur à pont de Wien, prendre 5 ms de délai et afficher quelques périodes)
- Activer la persistance pour voir l'intervalle de temps δT que parcourt le signal. Mesurer cette intervalle avec la persistance des max d'une trace. Noter également le délai T .
- Pour l'oscillateur à quartz, on est limité par la stabilité de l'oscilloscope qui fonctionne aussi avec un oscillateur à quartz ... m'enfin on a quand même une stabilité bien meilleure, de l'ordre de $10^{-6} - 10^{-8}$

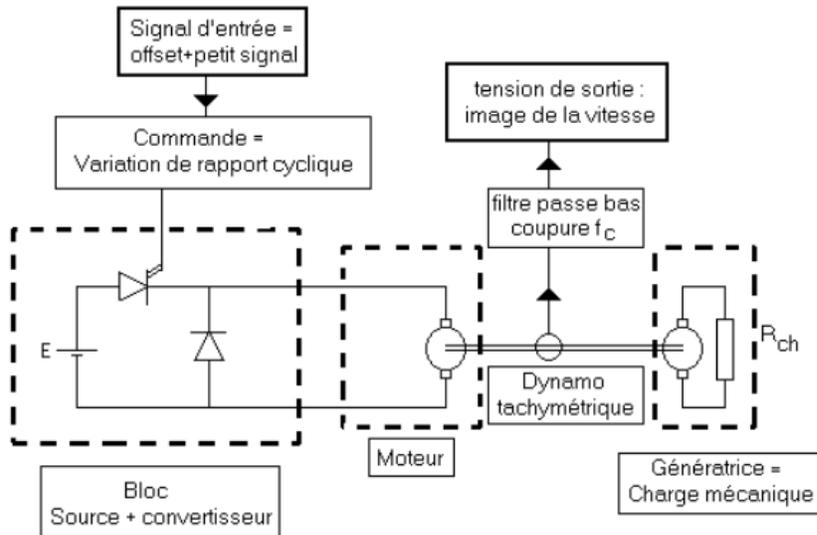
Exploitation

- On sait que la stabilité en fréquence est donnée par $\frac{\delta\nu}{\nu} = \frac{\delta T}{T}$
- Avec δT l'intervalle de temps et T le délai
- Conclure sur la comparaison en stabilité des deux oscillateurs.

3 Asservissement en vitesse de la MCC [1], [2]

Matériel

- Banc MCC
- Hacheur série non réversible
- Oscilloscope (tension de sortie image de la vitesse)
- GBF (commande du rapport cyclique)
- Filtre passe-bas de $f_c = 1 \text{ kHz}$ (ou moyennage au scope)
- Alimentation stabilisée 30V/3A (pour le hacheur)
- Potentiostat (résistance de charge R_{ch})
- Plaquette comparateur-correcteur + alim +15/-15
- Plaquette potentiomètre et condensateur variable



3.1 Etude en boucle ouverte : caractérisation du système

On cherche dans cette partie à déterminer le comportement de l'ensemble {hacheur + moteur + dynamo tachymétrique} modélisé par un système du premier ordre :

$$FT_{BO}(p) = \frac{G}{1 + \tau p}$$

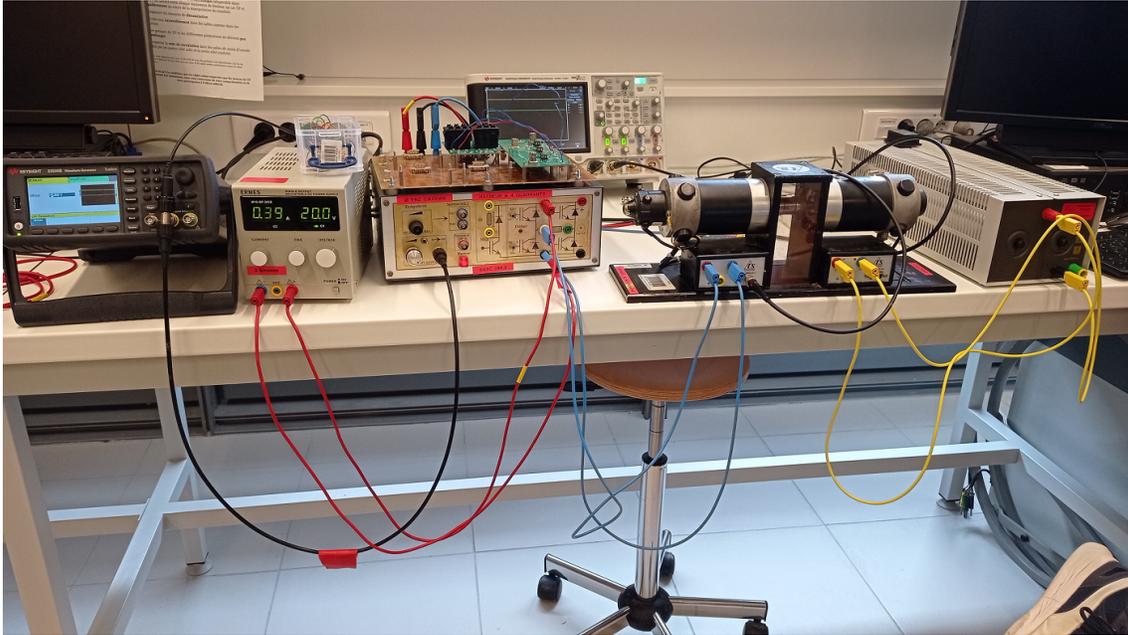
Mise en place

- Alimenter le hacheur en courant par une alimentation stabilisée de tension de sortie $E=20\text{ V}$ fixée. On pourra débiter jusqu'à 3 A.
- Envoyer avec le GBF un signal créneau à environ 2 Hz de 5 V d'offset et 1 V d'amplitude afin de rester dans la plage de réponse linéaire du système.
- Raccorder la sortie du hacheur au moteur et la génératrice à R_{ch}
- Observer à l'oscilloscope les tensions d'entrée (GBF) et de sortie (dynamo tachy)

Exploitation

- Dans un premier temps, mesurer le couple electromoteur K_m en envoyant une tension continue à l'alim entre 0 et 20 V et en relevant la tension E_m aux bornes du moteur (et donc en sortie du hacheur), et en relevant la tension sur la dynamo tachymétrique E_{tachy} .
- On transforme E_{tachy} en vitesse de rotation Ω avec les caractéristiques de la dynamo tachymétrique (typiquement 6V / 1000 tr/min)

- On trace une droite $E_m = K_m \Omega$. On ajuste et on tire K de la pente
- On raccorde ensuite l'alim et le GBF au hacheur, et on cable la sortie du hacheur sur le moteur (voir photo). Bien penser à mettre le switch du rapport cyclique sur la droite (commande par GBF). On se fixe une tension de travail à l'alim (typiquement 20 V) et on n'y touche plus ensuite.



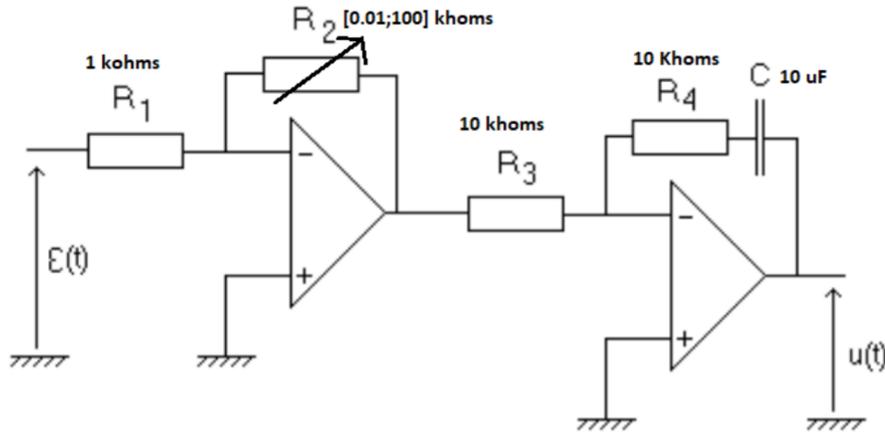
- Mesurer τ par le critère à 63 % en appliquant un signal créneau en entrée. (1 V d'amplitude, 2 Hz, 5V d'offset)
- (On peut également mesurer le gain en appliquant un signal continu $G = \frac{U_s}{U_e}$ avec U_s la tension en sortie de la tachy, et U_e la tension continue envoyée par le GBF)
- Transition : effet d'une perturbation en BO en faisant varier brusquement R_{ch} par court-circuit : la sortie ne suit plus l'entrée, nécessité d'un asservissement.

3.2 Présentation du correcteur

Mise en place

- On utilise un correcteur proportionnel intégral (PI) qui permet entre autres d'éliminer l'erreur statique (voir [1] pour le détail)
- Son gain vaut :

$$C(p) = \left(\frac{R_2 R_4}{R_1 R_3} \right) \left(1 + \frac{1}{R_4 C p} \right) = G_c \left(1 + \frac{1}{\tau_c p} \right)$$



- On prend $R_3 = R_4 = 10 \text{ k}\Omega$ pour dissocier le réglage de G_c du réglage de τ (résistances importantes pour limiter l'intensité du courant passant dans l'A.L.I)
- On prend $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ et R_2 variable (potentiostat de la plaquette).

Exploitation

- Pour régler le temps de réponse $\tau_c = R_4 C$ de telle sorte à ce que $\tau_c = \tau$, on prend C en fonction.
- Dans un premier temps, on prend un gain G_c de 1 en prenant $R_2 = R_1$ pour ne pas trop modifier le temps de réponse par rapport à la BO
- Faire le câblage pour passer en BF : mettre le GBF sur l'entrée + du comparateur, la tension de sortie de la dynamo sur la borne -, et la sortie de la plaquette sur l'entrée v_{com} du hacheur.

3.3 Etude en boucle fermée : asservissement

La fonction de transfert en BF est désormais :

$$FT_{BF}(p) = \frac{1}{1 + \frac{\tau_c}{GG_c}p}$$

Exploitation

- **Plage d'asservissement** (plage de tensions d'entrée pour laquelle la sortie est égale à l'entrée) [1] : appliquer en entrée une tension continue, la faire varier jusqu'au décrochement pour une valeur de la tension de sortie de la dynamo tachy $v_\Omega = v_{\Omega, max}$. La plage d'asservissement est donc $[0, v_{\Omega, max}]$. On peut vérifier que

$v_{\Omega,max} = \frac{K_g E}{K_m}$ (marche pas trop en pratique, sert plutôt d'ordre de grandeur) où K_g est la constante multiplicatrice de la dynamo tachy (6 V/1000 rpm) et K_m donné par la loi de Faraday à l'induit : $E_m = K_m \Omega$ avec $E_m = \alpha E$ donnée par le rapport cyclique.

- **Réponse à une perturbation** : Se placer au milieu de la plage d'asservissement. En alimentant par une tension continue, court-circuiter de nouveau, montrer le retour à la tension avant la perturbation : le système est bien asservi. Caractériser le régime transitoire (temps de réponse).
- **Régime dynamique - rapidité et non linéarité** : alimenter de nouveau par un créneau avec un offset, et faire varier K_c en jouant sur R_2 . En augmentant K_c , on rend le système plus rapide jusqu'à le rendre non linéaire : l'effet de la correction n'est plus pris en compte par le hacheur.

Conclusion

Eventuellement ouvrir vers d'autres applications, ou alors rappeler les notions phares (réalisation d'oscillations et plage d'asservissement).

Biblio

- [1] Cours systèmes bouclés JBD, p.26
- [2] TP "Compilation des TP d'électricité" p.62
- [3] Duffait d'électronique p.181 (pour le pont de Wien)
- [4] TP "Instrumentation L3 (partie 1) n°4 p.47 (pour la stabilité en fréquence), p.41 pour le branchement de l'A.O.