Systèmes bouclés

Matériel

-banc moteurs couplés (ENSC 287)

-alimentation stabilisée 36V/10A

-rhéostat

-hacheur (ENSC 288.2 ou 288.3)

-plaquette comparateur + potentiomètre + alimentation

-RLC-mètre

-2 résistances de 1 kΩ, 3 résistances de 10 kΩ, 1 résistance variable

-condensateurs dont deux de 200 nF

-GBF

-oscilloscope

-plaquette d'ALI simple + potentiomètre + alimentation

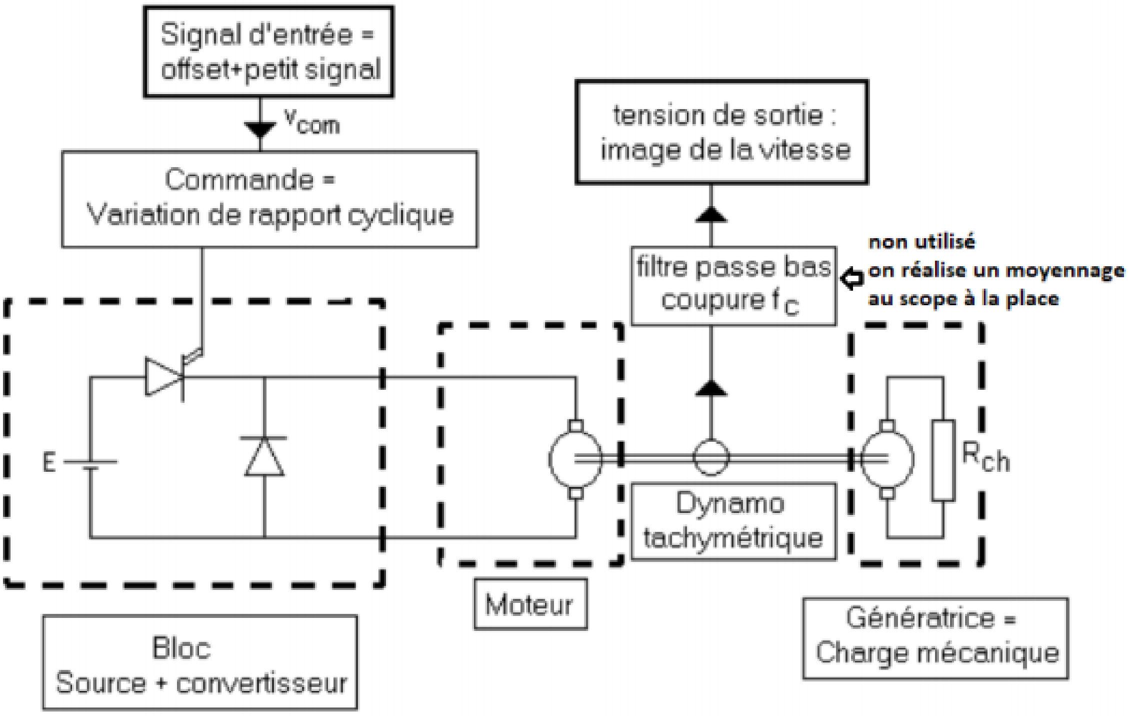
-inductance de 44 mH

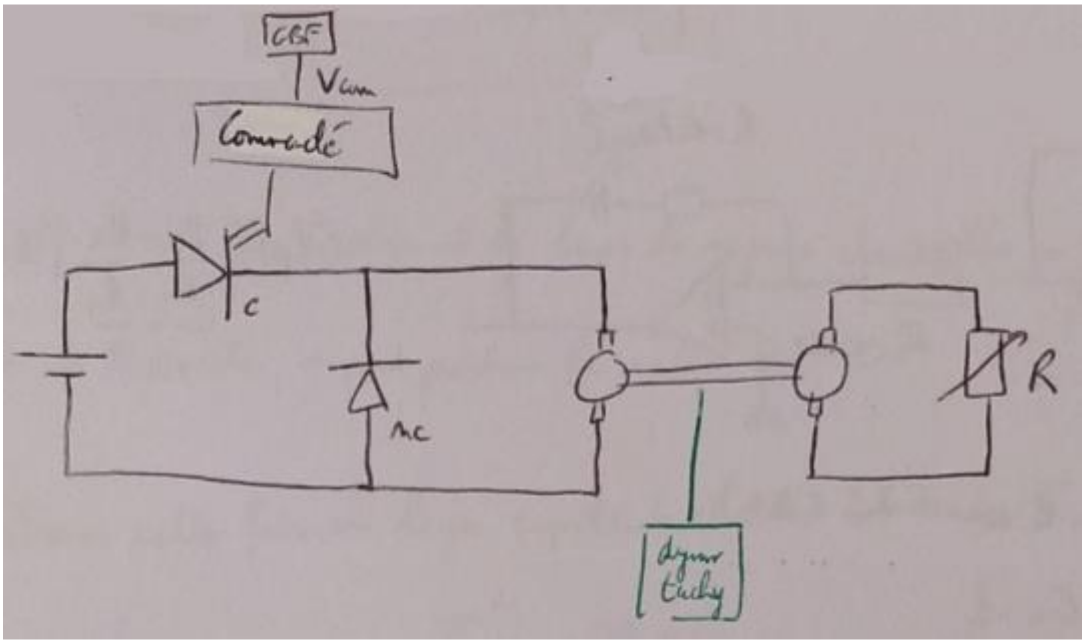
Introduction

Un système bouclé est un système physique présentant une rétroaction. On rencontre au quotidien de nombreux systèmes bouclés comme le corps humain dont la température est maintenue constante par différents processus biologiques. Le but de ce montage est de présenter des exemples de systèmes bouclés pour créer un oscillateur ou pour asservir une grandeur physique.

I Asservissement en vitesse d'un moteur à courant continu

1) Système en boucle ouverte





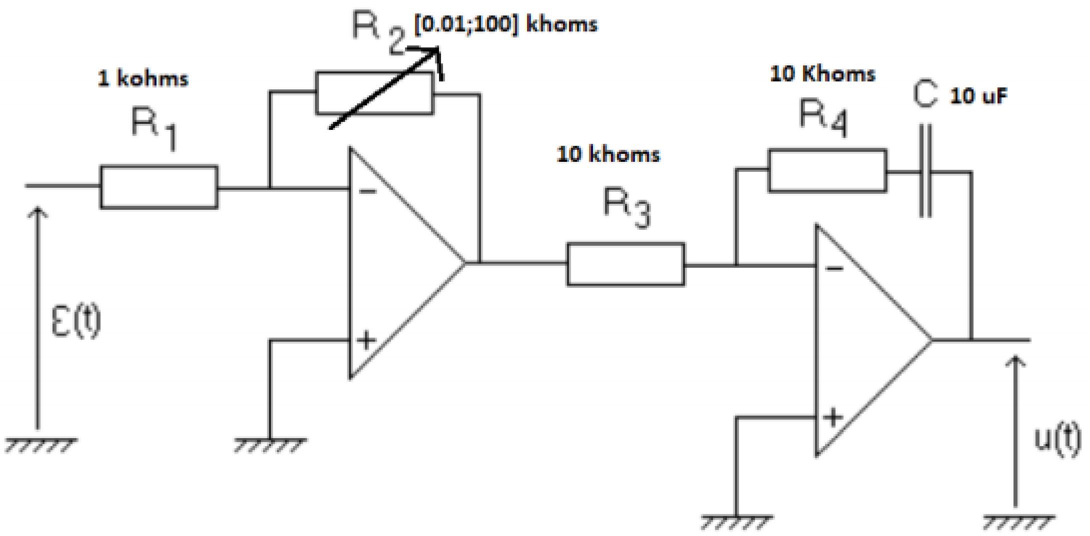
GBF : on envoie au hacheur un signal créneau de 5V d'offset, 1V en amplitude, f = 300mHz (amplitude et offset choisis de manière à rester dans la plage de réponse linéaire du système).

On envoie avec l'alimentation une tension suffisamment élevée pour que le moteur tourne, typiquement 20V. Pour mesurer la constante de temps et le gain du moteur, on observe à l'oscilloscope la tension à la sortie de la dynamo tachymétrique, ce qui nous donne une image de la vitesse de rotation du moteur. On synchronise sur la voie externe de l'oscilloscope (menu « Trigger »). On utilise le moyennage (menu « Acquire »). En boucle ouverte, on considère que hacheur + MCC = filtre passe-bas d'ordre 1 : $FTBO(p) = \frac{K}{1+\tau p}$, on mesure τ (temps de réponse à 63%) et $K = \frac{V_s}{V_e}$ à l'oscilloscope.

Remarque : Pour un signal de basse fréquence, en mode auto, l'oscilloscope risque de déclencher prématurément. On passe alors en mode normal et on place le niveau de déclenchement entre les deux valeurs extrêmes du signal. Attention : quand on a fini cette mesure, on rebascule en mode auto car on aura besoin de visualiser des tensions continues, ce qui ne marche pas en mode normal (car l'oscilloscope n'affiche rien en mode normal si le niveau de déclenchement ne se trouve pas entre deux valeurs extrêmes du signal à observer. Ainsi, pour une tension constante, si le niveau de déclenchement n'est pas pile sur la valeur du signal, l'oscilloscope ne déclenche pas et le signal n'apparaît pas à l'écran).

Avant de passer en boucle fermée, on teste l'effet d'une perturbation sur le système (déclencher en mode auto). Pour obtenir des tensions continues sur le GBF, on va dans le mode « Utility » et on se met en mode « DC On ». Ensuite, on fait brutalement varier la résistance du potentiomètre placé en sortie. Pour cela, on réalise un court-circuit en plaçant un fil entre la borne noire (potentiel fixe) et la borne rouge (potentiel variable) du potentiomètre. On voit alors la sortie augmenter ou décroître suivant si on a diminué ou augmenté la résistance de sortie (qui joue le rôle de charge mécanique) : le signal de sortie ne suit pas le signal d'entrée.

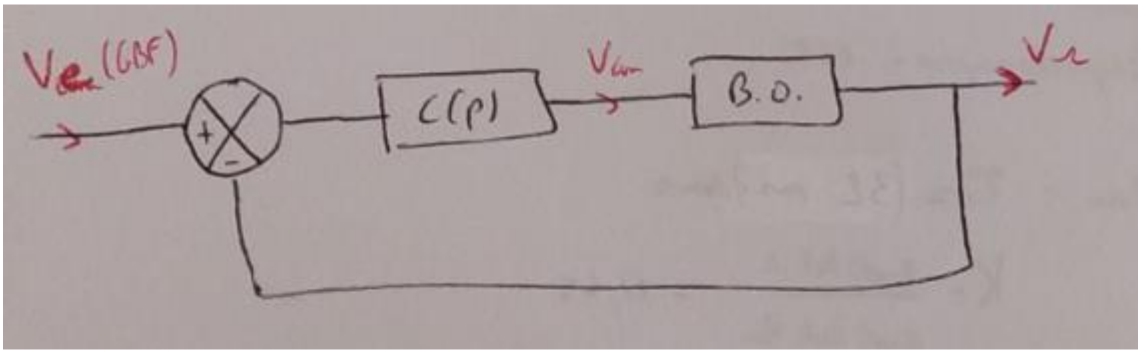
2) Réglage du correcteur



La fonction de transfert du correcteur s'écrit : $C(p) = \frac{R_2 R_3}{R_1 R_4}\left(1 + \frac{1}{R_4 C p}\right) = K_c(1 + \frac{1}{\tau_c p})$

On prend $R_3 = R_4$, ainsi on peut dissocier le réglage de K_c du réglage de τ_c. On prend par exemple 10 kΩ pour ces deux résistances (on prend des valeurs importantes pour limiter l'intensité du courant dans l'ALI). On prend par exemple R_1 = 1 kΩ et on utilise la résistance variable sur la plaquette pour R_2. Au départ, on prend $R_2 = R_1$ pour avoir G = 1 pour ne pas trop modifier le temps de réponse du système par rapport à celui en boucle ouverte. On prend $\tau_c = \tau$, pour τ = 100 ms on peut prendre C = 1 µF.

3) Système en boucle fermée



On observe à l'oscilloscope le signal d'entrée V_e et le signal de sortie V_Ω. On envoie avec le GBF un signal continu (« Utility »). On cherche la plage d'asservissement, c'est-à-dire la plage où la sortie suit l'entrée (attention à le faire à vide, sans rhéostat).

On peut relier la plage d'asservissement expérimentale à la plage d'asservissement théorique. En effet, la force électromotrice E_m à l'induit du moteur est reliée à la tension d'alimentation par $E_m = \alpha E$ (si on néglige la résistance d'induit). Or on a également $E_m = K_m\Omega$ et donc $\Omega = \frac{\alpha E}{K_m}$, α est le rapport cyclique.

On en déduit que la plage d'asservissement, limitée par α = 0 et α = 1, s'exprime comme $[0\,;\frac{E}{K_m}]$, soit en multipliant par la constante de la génératrice tachymétrique K_g : $V_\Omega \in [0\,;\frac{K_g E}{K_m}]$. K_g : 6V pour $1000 tr.min^{-1}$.

Une fois qu'on a déterminé la plage d'asservissement, on se place au milieu de celle-ci et on teste l'effet d'une perturbation sur le système. Pour cela on fait de nouveau varier la charge avec le rhéostat. Pour que cela se voit bien, on prend un gain faible au départ pour que le système soit lent et que la sortie mette du temps à raccrocher (sinon on ne voit rien à l'oscilloscope). Ensuite, on peut augmenter le gain pour montrer que le système est plus rapide et donc raccroche plus vite (penser à augmenter la base de temps).

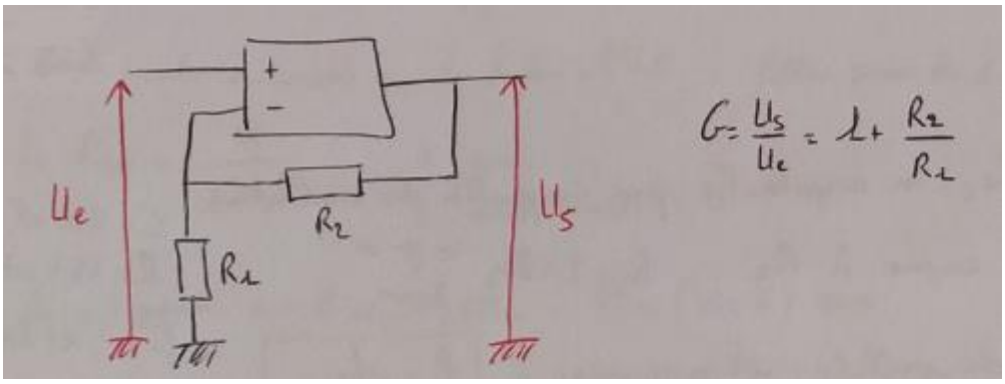
Enfin, on mesure la constante de temps du système, on regarde l'influence du gain sur celui-ci. On envoie un créneau dont l'amplitude est comprise dans la plage d'asservissement, on voit que le temps de réponse diminue si on augmente le gain.

$$FTBF(p) = \frac{1}{1+\frac{\tau_c}{KK_c}p} = \frac{1}{1+\tau' p}$$

Si R_2 augmente, le gain diminue et τ' augmente.

II Oscillateur de Colpitts

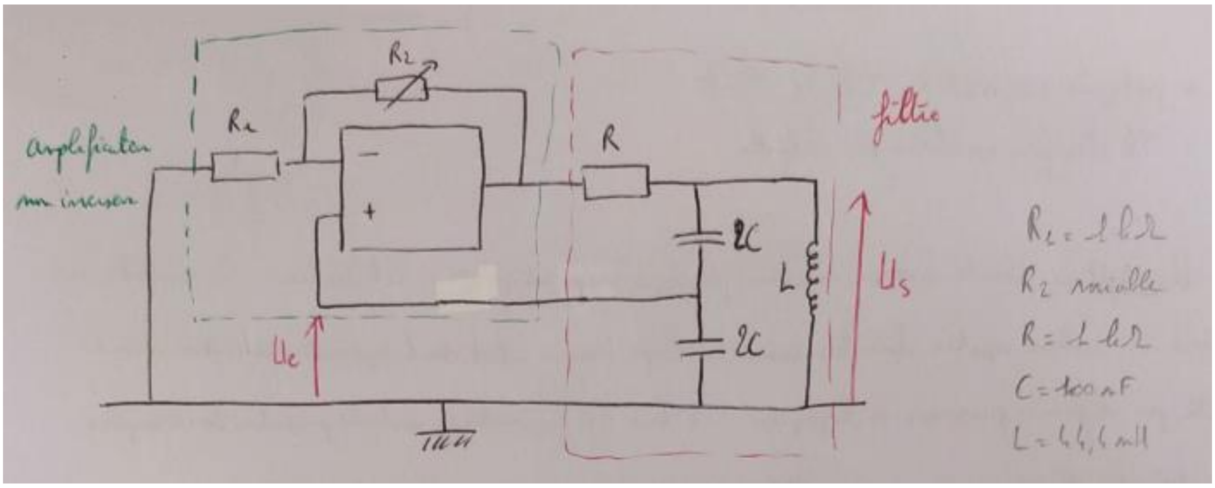
1) Amplificateur non inverseur



On réalise le montage avec une plaquette ALI simple et 2 résistances variables. On envoie un signal de fréquence environ 1 kHz, d'amplitude 5V (pic à pic) avec le GBF. On mesure le gain pour différentes valeurs de R_1 et R_2. On envoie une impulsion avec Igor et on trace le diagramme de Bode avec les paramètres suivants : A = 1V, T_d = T = 1 ms, T_p = 1 µs. On mesure la fréquence de coupure et on voit que l'amplificateur non inverseur est un filtre passe-bas. On trace G en fonction de $1/f_c$, on obtient une droite, la pente est le produit gain-bande passante.

Remarque : pour des tensions trop importantes, l'ALI sature.

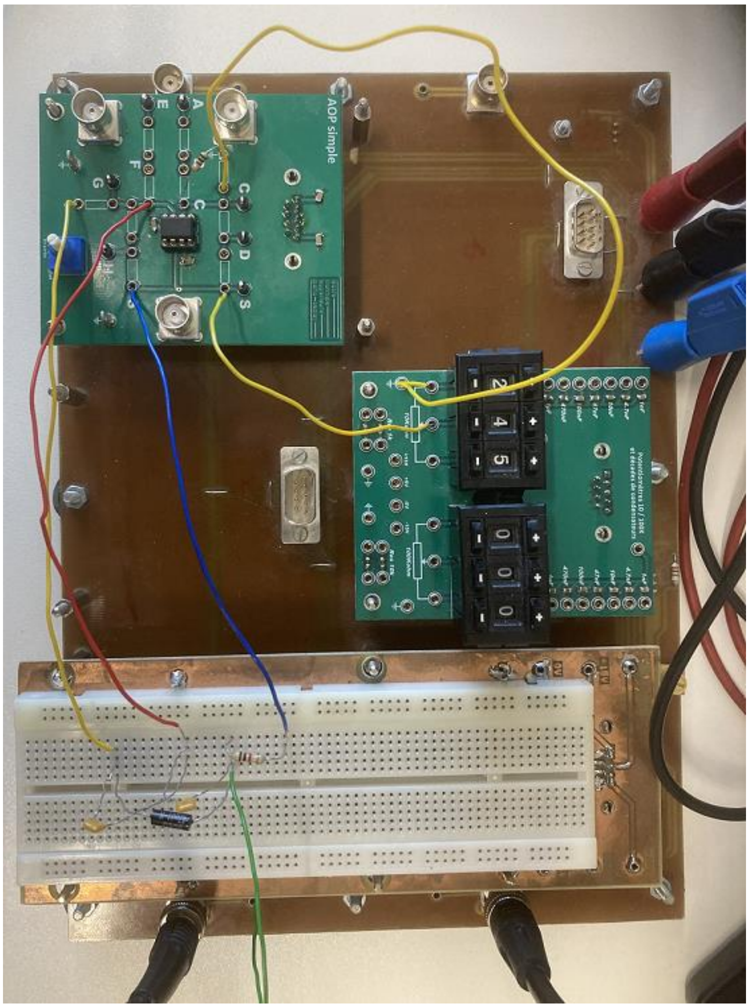
2) Caractérisation de l'oscillateur



Le système est alimenté par un GBF et est relié à un oscilloscope.

D'après le critère de Barkhausen : $\begin{cases} \frac{1}{2}(1+\frac{R_2}{R_1}) \\ \frac{R}{jL\omega_0} + jRC\omega_0 = 0 \end{cases}$ donc $\begin{cases} R_2 = R_1 \\ \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \end{cases}$ pour avoir des oscillations

On se place à $R_2 < R_1$, on augmente R_2 jusqu'à l'apparition des oscillations, on mesure R_2 et on compare à R_1. On mesure la fréquence des oscillations et on compare à $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$



On a réussi à générer un signal oscillant à une fréquence donnée grâce à un système bouclé.

Conclusion

Dans ce montage, nous avons vu l'intérêt des systèmes bouclés : par exemple l'asservissement d'une grandeur physique ou la création d'un oscillateur.

Questions

- Pourquoi le signal obtenu en sortie est asymétrique ?

➔ L'asymétrie du signal en sortie est le signe qu'un élément du système est non linéaire. Cet effet non-linéaire est dû à la non-réversibilité en courant. Lors des phases d'accélération, le moteur appelle davantage de courant et tant que le courant appelé reste inférieur au courant maximal que l'alimentation peut fournir, l'alimentation n'introduit aucune non-linéarité.

- Quel est le rôle du hacheur ?

➔ Le hacheur permet de réaliser une conversion tension continue (E de l'alimentation) en un courant continu (légèrement découpé) à l'entrée de la MCC sans perte d'énergie, ce qu'un simple montage potentiométrique (pont diviseur de tension) ne permet pas. Il permet par ailleurs de contrôler le système grâce au rapport cyclique α.

- Pourquoi peut-on considérer que le système en boucle ouverte est d'ordre 1 ?

➔ Si on prend les équations de la MCC :

$$U = RI + L\frac{dI}{dt} + E$$

$$J\frac{d\Omega}{dt} = C_m - C_r - f\Omega$$

avec

$$E = K\Omega$$

$$C_m = KI$$

Pour $C_r = 0$, on obtient une fonction de transfert d'ordre 2. On peut faire apparaître une constante de temps mécanique τ_m proportionnelle à J et une constante de temps électrique $\tau_e = L/R$. Dans la limite où $\tau_m >> \tau_e$, on peut mettre cette fonction de transfert sous la forme :

$$H(p) \simeq \frac{K_0}{(1+\tau_e p)(1+\tau_m p)}$$

Si on trace le diagramme de Bode, on aura une première coupure à $1/\tau_m$ et une seconde coupure à $1/\tau_e$. Si on se place à des fréquences de l'ordre du Hz, on ne verra pas l'influence de la constante de temps électrique, on pourra alors considérer que la fonction de transfert est du premier ordre. τ_e est de l'ordre de 1 ms, alors que τ_m est de l'ordre de la seconde donc les constantes de temps sont bien séparables. Néanmoins, on peut voir expérimentalement qu'on n'a pas un premier ordre en augmentant le gain, on aperçoit un dépassement, signe qu'on a plutôt un deuxième ordre.

- Comment fonctionne une MCC ?

➔ La partie fixe, le stator, est parcourue par un courant permanent et pro duit un champ magnétique radial dans l'entrefer, périodique par rapport à θ, la variable angulaire décrivant la position d'un point M de l'entrefer B(θ), dont la forme dépend de la structure magnétique des pôles (forme géométrique et type de matériau). La partie mobile, le rotor, possède des spires conductrices parcourues par des courants continus, qui vont tourner autour de l'axe du moteur et donc voir un champ variable au cours du temps. La rotation de la spire dans le champ magnétique inducteur engendre une force électromotrice dont l'expression est simplement donnée par la loi de Faraday.