

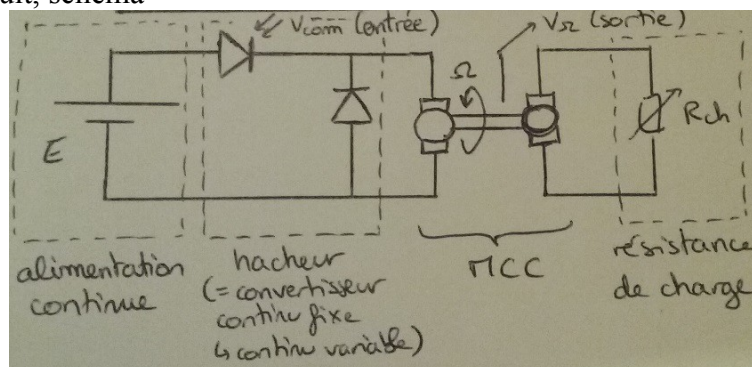
# Compte-rendu du montage M27 : Systèmes bouclés

Hélène Ollivier et Bruno Ventéjou

Introduction sur la possibilité d'un système d'être asservi ou non : un escalator ne change pas de vitesse quels que soient le nombre et la masse des personnes qui l'empruntent, une fraiseuse ne change pas sensiblement sa vitesse de rotation lorsqu'elle transperce du bois par rapport à sa vitesse à vide, et un élève qui a eu une mauvaise note à un problème de Mr Villain essaiera de travailler plus pour compenser.

## I. Machine à courant continu

Présentation du circuit, schéma



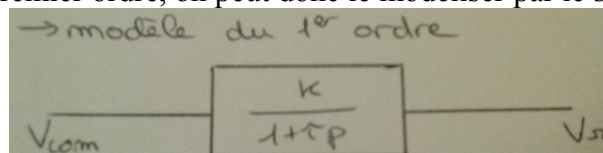
### 1. Caractérisation en boucle ouverte

On veut envoyer un signal créneau dans la machine à courant continu pour observer son comportement : temps de réaction, etc. Expliquer quel signal on envoie au hacheur pour commander le rapport cyclique  $\alpha$  : on se place dans la zone de linéarité du hacheur, c'est-à-dire pour un coefficient  $\alpha$  ni trop proche de 0 ni trop proche de 1 car ce sont des « bornes » pour  $\alpha$ . On choisit donc un signal d'amplitude 1V centré sur 5V (ce qui se traduit par un rapport cyclique d'amplitude 0,1 centré sur 0,5). En effet, si on avait choisi un signal d'amplitude 1V centré sur 9,5V, on aurait eu des périodes pendant lesquelles la tension qui commande le rapport cyclique dépasse 10V, or le rapport cyclique ne peut pas dépasser 1... Enfin, on choisit une fréquence de 1 Hz puisque le temps de réponse de la MCC est de l'ordre de la seconde. Ainsi, à chaque front montant du signal, on peut observer la réaction de la MCC.

On détermine à l'aide de l'oscilloscope le temps de réponse à 63% et le gain, c'est-à-dire :

$$K = \Delta V_{\Omega} / \Delta V_{com}$$

Il s'agit d'un système du premier ordre, on peut donc le modéliser par le schéma-bloc suivant



On peut alors observer l'effet d'une perturbation grâce à  $R_{ch}$  : la variation de la résistance entraîne une variation de la vitesse de rotation. C'est problématique, pour la fraiseuse de l'introduction, par exemple ! *Astuce : placer deux résistances déjà réglées sur des valeurs précises (l'une grande, l'une petite) avec un interrupteur permettant de switcher de l'une à l'autre. La transition s'observe nettement comme ça.*

Quand on augmente  $R_{ch}$ , on diminue  $I$ , or  $I$  est proportionnelle au couple résistant qui s'oppose au mouvement de rotation du moteur. On observe donc bien que quand  $R_{ch}$  augmente, la vitesse de rotation est plus grande.

On détermine ensuite les paramètres du correcteur proportionnel intégral qu'on va utiliser, on prend  $R_2=R_1$  pour simplifier les calculs (cf feuille de montage, sur la dernière page, ou poly de TP d'électrotech de JBD). On installe le correcteur afin d'asservir le système, qu'on va alors pouvoir étudier en boucle fermée.

## 2. Boucle fermée

Lorsqu'on perturbe le système, toujours à l'aide de la résistance  $R_{ch}$ , on observe que le système réagit et se « corrige tout seul » → erreur statique nulle. On peut alors montrer la « réaction » du système sur l'oscilloscope, d'abord en augmentant brutalement  $R_{ch}$ , puis en la diminuant brutalement. La valeur de la tension donnée par la dynamotachymétrie (et donc la vitesse de l'axe) va, dans le premier cas, augmenter avant de se raviser et de revenir à la valeur de consigne, et dans le second cas, diminuer avant de réaugmenter pour revenir à la valeur de consigne également.

On a ensuite regardé l'influence de la valeur de  $K$  sur le temps de réaction du correcteur : on remarque que quand  $K$  augmente, le temps de réaction diminue.

On peut alors discuter du premier aspect auquel il faut faire attention avec les systèmes bouclés ; c'est la plage d'asservissement (si un élève a 1/20 à un problème de Mr Villain, il est possible qu'il se décourage et cesse d'être « asservi »). Ainsi, on peut chercher pour différentes valeurs de  $E$  (et donc du rapport cyclique du hacheur  $\alpha$ ) la valeur maximale de la tension à laquelle on a encore asservissement (au-delà de cette tension, le système « décroche »). On trace la courbe obtenue et on observe une droite ; dont le coefficient directeur doit valoir environ  $k_1/k_2$  avec  $k_1$  le rapport de conversion [nombre de tours par minute → tension] de la dynamotachymétrie et  $k_2$  le rapport de conversion [tension → nombre de tours par minute] du moteur. En effet, on a

$$V_{\Omega} = \frac{k_1}{k_2} \alpha E = \frac{k_1}{k_2} \frac{V_{com}}{10} E \quad \text{or} \quad \alpha_{max} = 1 \quad \text{donc} \quad V_{\Omega max} = \frac{k_1}{k_2} E = 0,61 E \quad \text{pour la MCC utilisée ici.}$$

On a obtenu un coefficient directeur un peu moindre, mais on peut supposer que cela est dû au fait qu'on sort de la zone de linéarité du hacheur pour une valeur de  $\alpha$  inférieure à 1.

## II. Contrôle du flux lumineux émis par une LED

### 1. Méthode de Ziegler-Nichols

L'ordre étant élevé (il faut savoir justifier pourquoi ! (\*)), il est difficile d'identifier la fonction de transfert. On suit donc une méthode empirique, appelée méthode de Ziegler-Nichols. *Attention, ici il faut justifier un peu la méthode de Ziegler-Nichols, et expliquer comment elle a pu être intuitée.*

Contrairement au cas de la MCC où on se plaçait en système non asservi pour déterminer les valeurs des composants à utiliser, on se place ici en boucle déjà fermée, avec un correcteur proportionnel seulement (et non proportionnel intégral comme précédemment).

On suit alors l'énoncé du TP de JBD : on augmente la résistance  $R_2$  (à l'aide d'un potentiomètre), sur le circuit déjà bouclé, jusqu'à obtenir des oscillations. Alors, on mesure la période des oscillations et le gain, qui vaut  $R_2/R_1$ , et on en déduit :

$$\begin{cases} T_c = 0,83 T_{osc} \\ K_c = 0,45 K_{osc} \end{cases}$$

On insère les paramètres trouvés dans les grandeurs du correcteur proportionnel intégral cette fois.

### 2. Caractéristiques du système corrigé

De nouveau, l'erreur statique est nulle.

On peut alors mettre en évidence le compromis entre la rapidité et la stabilité qu'il y a à faire avec tout système bouclé. Pour cela, on augmente le gain (donc  $R_2$ ) et on observe que le système devient plus rapide (diminution du temps de montée  $\tau$ ) mais moins stable (divergence du signal de sortie).

(\*) pas de fréquence de coupure négligeable devant toutes les autres et donc qui serait l'unique à prendre en compte. Il faut avoir un ordre de grandeur des différentes fréquences de coupure des composants, AO, etc.

## Questions de l'examineur :

### Sur le I.

- Pourquoi choisit-on un tel signal (créneau d'amplitude 1V et centré sur 5V?) → déjà expliqué
- Pourquoi une fréquence de 1 Hz pour ce même moteur ? → pour éviter que le moteur ne fasse du filtrage
- Comment on traite le signal de réponse de la dynamotachymétrie ? → Il faut se placer en high resolution. On peut faire une moyenne glissante.
- Quels sont les éléments intervenant dans  $K_{BO}$  ? →  $V_{com}$  (donc  $\alpha$ ) et le coefficient de conversion.
- Comment on choisit  $\tau_c$  et  $K_c$  ? → on prend  $\tau = \tau_c$  pour avoir un simple passe-bas (on compense le pôle), et  $K_{BO}K_c=1$  permet d'avoir un bon compromis rapidité stabilité (on prend une dynamique proche de la boucle ouverte : « partir d'un point qui marche »).

### Passage au II.

- Pourquoi il y a une oscillation à observer quand on augmente  $R_2$  ? → On a vu en cours que des systèmes d'ordre 1 ou 2 sont toujours stables. Par contre, pour des systèmes d'ordre supérieur ou égal à 3, on a toujours instabilité. C'est pour ça qu'on a une oscillation. On sait qu'il s'agit d'un ordre élevé car on ne peut pas conclure sur la fréquence de coupure du système en omettant des fréquences qui seraient beaucoup plus grandes que les autres, puisque certaines sont du même ordre de grandeur. Il faut être capable de donner des ordres de grandeur de ces fréquences de coupure. Pour un ampli op, c'est de l'ordre de quelques mégas, pour le transistor de la source, de 10 à 100 mégas, la LED de l'ordre de 100 mégas, et pour la photodiode, de l'ordre de 100 kilos.

## Remarques de l'examineur :

### Sur le I.

- Si on fait une moyenne, il faut synchroniser en créneau.
- Lorsqu'on cherche la tension pour laquelle le système bouclé décroche (toujours avec la MCC), faire attention à bien placer les deux signaux sur le même offset à l'oscilloscope, pour pouvoir comparer la valeur de consigne avec la valeur obtenue.
- Préciser les valeurs de la tension  $E$  et de la résistance de charge  $R_{ch}$  qu'on utilise.
- Lors de ce genre de montage avec des oscilloscopes, ne pas hésiter à se concocter un petit post-it comportant la liste des choses à ne pas oublier, dans l'ordre : passer en mode automatique ou normal à tel ou tel moment, bien mettre le trigger à la bonne valeur, vérifier tel ou tel branchement. C'est un moyen pour ne pas paniquer si jamais la manip nous échappe.
- Sur l'oscillo, il y a une mesure qui permet d'obtenir le temps de montée à 90% (appelons le  $\tau_a$ ) et non à 63% (appelons le  $\tau_b$ ). Pour passer de l'un à l'autre, on a la relation suivante :

$$\tau_a = \tau_b \ln(9)$$

- ça peut éventuellement être bien de mesurer  $\tau$  pour différents  $K$  plutôt que de ne montrer que qualitativement comment évolue  $\tau$  en fonction de  $K$ , parce que ça permet de faire une mesure dans ce montage qui n'en comporte pas beaucoup. Mais il ne faut pas aller jusqu'à tracer  $\tau$  en fonction de  $K$ .
- Discuter le modèle de l'ordre 1 pour la MCC peut permettre de prolonger la discussion !

### Passage au II.

- Il aurait été plus judicieux de commencer par mesurer la plage d'asservissement, pour être sûr qu'on est bien dedans pour les différentes étapes ! Il faudrait revoir un peu l'ordre de la présentation.
- à la question « faut-il parler d'oscillateurs? », JBD répond que oui, puisque c'est compris dans les systèmes bouclés, mais qu'il est plus difficile de faire ressortir les aspects importants des systèmes bouclés en parlant d'oscillateurs. L'asservissement du flux lumineux émis par une LED illustre un peu le côté oscillateur du montage : on est d'abord en mode oscillateur avant de corriger pour stabiliser.
- Une autre manip possible sur ce montage est la boucle à verrouillage de phase, mais il faut faire attention à ne pas tomber dans le traitement du signal avec la démodulation.