

Électronique de puissance - Mécatronique

TD 2 : Asservissement en vitesse et position d'une Machine à Courant Continu

Valentin Gies

1 Présentation

Ce TP propose d'utiliser le modèle de la MCC étudiée au TP n°1 pour en l'asservir en vitesse et en position. La consigne de vitesse choisie sera trapézoïdale, son aire sera bien évidemment égale au déplacement à effectuer.

Un limiteur de courant sera également ajouté au montage afin de simuler la limitation de courant destinée à protéger l'électronique de puissance alimentant le moteur.

L'application ciblée est le pilotage d'une table de découpe 1-axe : Nous étudierons le comportement de cet ensemble moteur lorsque le couple demandé évolue (déplacement de positionnement dans l'air, déplacement durant la coupe dans le métal).

2 Pilotage en asservissement de position et de vitesse de la MCC

2.1 Boucle de vitesse

⇒ Copier dans un nouveau document appelé TD2.mdl le sous-modèle de la machine à courant continu (MCC) établi au premier TD. Créer un fichier de configuration nommé *TD2_config.m* avec les paramètres suivants :

- Moment d'inertie du rotor : $J = 0.28 \text{ kg.m}^2.s^{-2}$
- Facteur d'amortissement mécanique : $b = 8.5 \cdot 10^{-3} \text{ Nm.s}$
- Constante électromécanique $K = K_e = K_m = 0.5093 \text{ Nm.A}^{-1}$
- Résistance induit $R = 0.13 \Omega$
- Inductance induit $L = 1.6 \cdot 10^{-3} \text{ H}$

⇒ Paramétrer le modèle pour que le fichier de configuration soit chargé automatiquement à chaque simulation.

⇒ Modifier le sous-système en ajoutant un port de sortie correspondant à la vitesse. Pour cela double-cliquer sur le sous-système MCC pour l'éditer.

⇒ Déterminer la fonction de transfert en boucle ouverte de la MCC. Quelle est la valeur du gain statique ?

⇒ Observer la réponse en boucle ouverte à un échelon de tension de la vitesse.

⇒ Réaliser une boucle de vitesse sur la MCC en insérant un correcteur proportionnel de Gain $K_p = 100$ dans la boucle. La valeur de K_p doit être entrée dans le fichier de configuration. Le pilotage du système se fait à présent en consigne de vitesse (et non plus en tension).

Remarque : Lorsque l'on modifie le fichier de configuration, il est nécessaire parfois de supprimer les variables du cache de MATLAB pour qu'il les réactualise ensuite. Pour cela entrer la commande *clear*

dans la fenêtre de commande MATLAB.

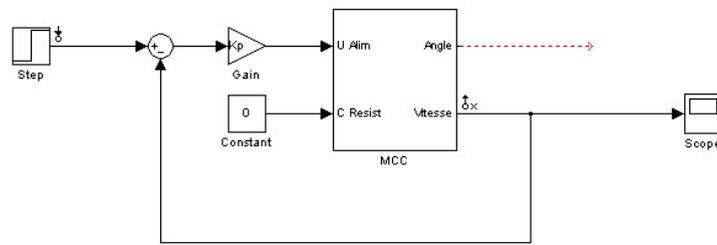


FIGURE 1 – Boucle de vitesse

⇒ Simuler la réponse unitaire du système. Que peut-on dire de l'erreur statique ? Justifier sa valeur.

⇒ Tracer le diagramme de Bode en boucle fermée et en boucle ouverte de l'asservissement de position.

Remarque : Il est possible de tracer le diagramme de Bode en Boucle ouverte sans déboucler le diagramme. Il suffit de cocher la case *Open Loop* correspondant à la sortie de la fonction de transfert dans *control and estimation manager*.

On souhaite à présent obtenir une erreur statique nulle sur la vitesse :

⇒ Quel correcteur peut-on utiliser ? Proposer une implantation de ce correcteur par une méthode de Ziegler-Nichols.

⇒ Tracer le diagramme de Bode et le comparer au cas du correcteur P

On souhaite à présent obtenir une correction de type PID :

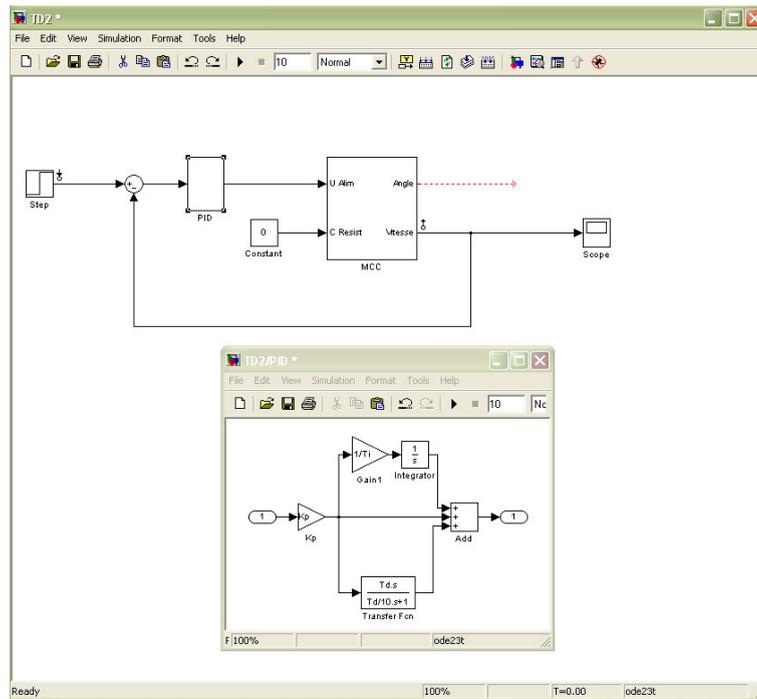


FIGURE 2 – Correcteur PID

⇒ Implanter un tel correcteur (créer un sous système PID) et le régler (via des variables définies dans le fichier de configuration) à l'aide d'une méthode de Ziegler-Nichols.

Le réglage de Ziegler-Nichols, conduit à une sur-oscillation, il est possible de la réduire en multipliant T_i par 2.

⇒ Simuler dans ces nouvelles conditions la réponse indicielle.

2.2 Boucle de position

⇒ Boucler une seconde fois le modèle obtenu à la section précédente de manière à pouvoir piloter le système en position. Insérer un correcteur proportionnel de Gain $K_{pos} = 1$ dans la boucle. La valeur de K_{pos} doit être entrée dans le fichier de configuration.

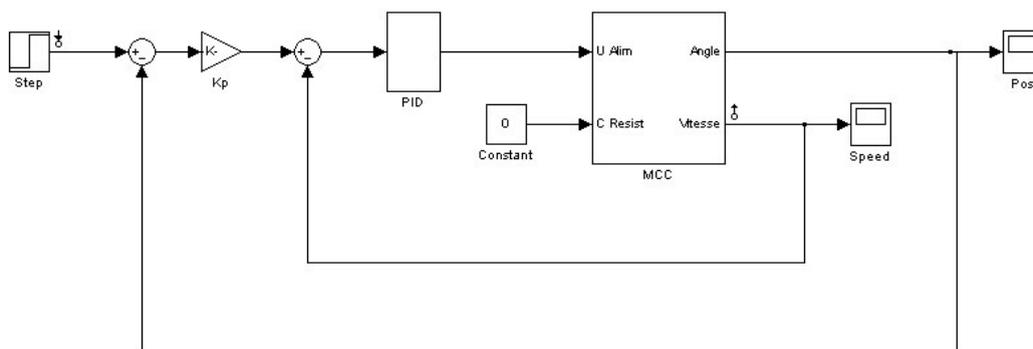


FIGURE 3 – Boucle de position

⇒ Simuler la réponse unitaire du système.

— Que peut-on dire de l'erreur statique? Expliquer pourquoi.

- La réponse unitaire est-elle satisfaisante pour notre application ? Le cas échéant, proposer une autre valeur de K_{pos} permettant d'obtenir un fonctionnement satisfaisant.

⇒ Observer l'allure de la vitesse à l'aide d'un second oscilloscope.

⇒ Observer l'allure et les valeurs du courant I en A à l'intérieur de la MCC pour diverses valeurs de K_{pos} . Que pouvez-vous dire ?

2.3 Pilotage par une consigne trapézoïdale de vitesse

Pour éviter d'abîmer le système, on le pilote de manière à ce que le profil de vitesse suive une forme trapézoïdale. Afin de parcourir un angle de $10rad$, on suivra un profil trapézoïdal de manière à ce que l'aire de ce profil ($\int_0^\infty v(t)dt$) soit égale à la distance à parcourir.

⇒ Proposer un profil permettant de parcourir 10 radians dans une durée de 0.3s. L'implanter à l'aide d'une composant source *Repeating Sequence*. Pour connaître le fonctionnement de ce composant, double-cliquer dessus puis appeler l'aide contextuelle (en cliquant sur Help).

⇒ Faire varier les profils trapézoïdaux (en temps de montée/descente et en amplitude) et observer la variation du courant en fonction du temps.

⇒ Conclure sur l'intérêt d'une commande trapézoïdale.

Les composants industriels de contrôle de moteurs à courant continu sont souvent de type trapézoïdaux à correction PID : par exemple le LM629 (utilisé dans le robot ENSTAR) ou le HCTL 1100 intègre ces fonctionnalités.

3 Aspects énergétiques

L'asservissement permet d'améliorer la précision, la stabilité, la dynamique (...) d'un système. Cette amélioration doit nécessairement se faire à un certain prix : on n'a rien sans rien ! Cette partie du TP propose d'observer l'effet de l'asservissement sur la consommation d'énergie. Nous verrons également l'effet du choix de la commande sur la consommation.

⇒ Proposer un dispositif permettant de mesurer la puissance instantanée consommée (ou fournie) par la MCC. Éventuellement, vous pouvez avoir à modifier le sous-système MCC.

⇒ Proposer également un dispositif permettant de mesurer l'énergie consommée par la MCC pour avancer de 10 radians avec un profil trapézoïdal.

⇒ Modifier la valeur du Gain K_{pos} et déterminer à nouveau l'énergie consommée pour avancer de 10 radians. Faire plusieurs essais pour différentes valeurs allant de $K_{pos} = 5$ à $K_{pos} = 60$. Conclure sur le compromis rapidité-consommation d'un l'asservissement.

⇒ Dans chacun des cas précédents, visualiser la puissance instantanée consommée. A partir de quelle valeur de K_{pos} la MCC ne renvoie plus d'énergie au freinage ?

Remarque : Il est à noter que nous n'avons joué que sur le coefficient K_{pos} , même lorsque l'asservissement est mou ($K_{pos} = 6$), le courant augmente rapidement à l'accélération à cause du PID. Il faudrait donc jouer sur le coefficient K_p du PID pour réduire encore la consommation. Toutefois, la réponse du système ne sera sans doute plus assez rapide.

4 Limitation de courant

La machine à courant continu utilisée est alimentée par le biais d'un hacheur (non représenté ici). Afin d'éviter la destruction du hacheur et de la MCC, son courant de sortie est limité à $I_{max} = 20A$.

- ⇒ Choisir un bloc permettant de modéliser cette fonction (dans la bibliothèque *Discontinuities*).
- ⇒ Implanter ce bloc dans le modèle de la MCC (on ne peut pas placer le bloc ailleurs dans la mesure où le hacheur alimentant la MCC n'est pas représenté) de manière à pouvoir le retirer simplement (utiliser un switch manuel de la bibliothèque *Signal Routing*).
- ⇒ Augmenter la valeur du gain K_{pos} en partant de 6 jusqu'à ce que le système devienne instable. Conclure sur l'effet du limiteur sur la stabilité du système.
- ⇒ Observer l'allure de la vitesse et des courants, la consommation d'énergie avec et sans le limiteur de courant. Que peut-on en conclure ?

Remarque : En pratique, plutôt que de limiter le courant, si on détecte une sur-intensité alors on débraille le moteur ou on signale la présence de cette sur-intensité à la partie commande. Cette fonctionnalité est présente sur le contrôleur de moteurs à courant continu LM 629.

5 Evaluation : impact de l'implantation hardware des boucles de contrôle

Cette partie est réalisée par chaque groupe de manière autonome. Elle sera évaluée en complément du rapport effectué sur la première partie. Le compte rendu de cette partie doit être ajouté à au reste pour former un unique document.

5.1 Boucle de vitesse

On se focalise dans un premier temps sur la boucle d'asservissement en vitesse. Celle-ci est réalisée à temps discret dans le microcontrôleur, de manière échantillonnée à 250Hz. Le temps de calcul de la boucle est de l'ordre de 2ms.

- ⇒ Proposer une modélisation prenant en compte cet échantillonnage et ce temps de calcul qui sera rajoutée dans la boucle d'asservissement existante.
- ⇒ Observer l'effet sur la stabilité de l'asservissement en revenant à un correcteur K_p et en augmentant le gain progressivement et en comparant les deux cas continus et échantillonnés.
- ⇒ Que se passerait-il si on déplaçait cette boucle d'asservissement dans le PC. Evaluer la fréquence d'échantillonnage et le délai de traitement et transmission des données dans ce cas. Est-il constant ? Si il ne l'est pas, proposer une modélisation additionnelle de ce phénomène.
- ⇒ Observer à nouveau dans ce cas l'effet sur la stabilité de l'asservissement en revenant à un correcteur K_p et en augmentant le gain progressivement dans les deux cas continus et échantillonnés.
- ⇒ Concluez sur la possibilité d'implanter l'asservissement de vitesse sur le PC et sur l'embarqué.

⇒ Concluez également sur la fréquence minimale de calcul de l'asservissement qu'il est souhaitable de respecter.

5.2 Boucle de position

⇒ Effectuez les mêmes expérimentations sur la boucle de position.

⇒ Concluez sur la possibilité d'implanter l'asservissement de position sur le PC et sur l'embarqué.

⇒ Concluez également sur la fréquence minimale de calcul de l'asservissement qu'il est souhaitable de respecter.