

MASTER II RODECO

Commande Optimale

TP: MOTEUR À COURANT CONTINU

Synthèse d'une commande LQ Application
à un procédé electro-mécanique

Année scolaire 2022-2023

Jour de TP:	15/11/2022
Date limite envoi CR:	28/11/2022
Enseignant(s):	Soheib Fergani
E-mail(s) enseignant(s):	sfergani@laas.fr

1. Description et objectifs de la commande

On souhaite mettre en oeuvre un dispositif de régulation de niveau pour l'alimentation d'un bac d'eau. Pour des raisons de simplicité et de coût, cette régulation est effectuée à l'aide d'un calculateur numérique. On met en évidence différents aspects liés à la commande numérique d'un processus continu. Différents correcteurs sont synthétisés et implémentés sur le système physique.

1. Description et objectifs de la commande

On désire asservir la position angulaire de l'arbre de sortie d'un moteur à courant continu à une valeur $\theta_r(t) = \theta_0$ en respectant les spécifications suivantes en boucle fermée :

- Le système doit atteindre la consigne en 8 secondes maximum.
- Le régime transitoire ne doit pas admettre des oscillations.
- L'erreur de position en régime permanent doit être nulle.

Le moteur utilisé en salle de travaux pratiques peut être modélisé¹ et représenté par le schéma fonctionnel suivant:

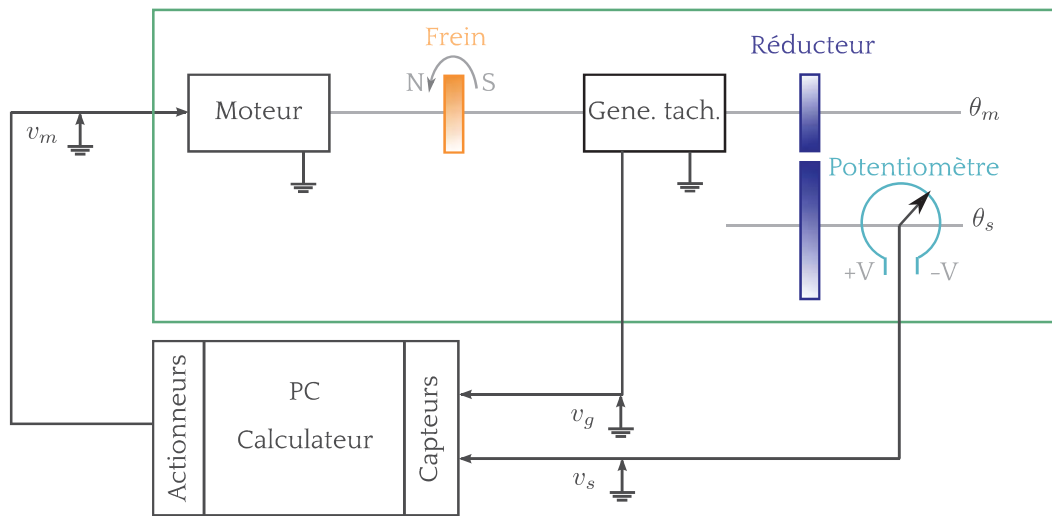


Figure 1.1: Asservissement de position par ordinateur.

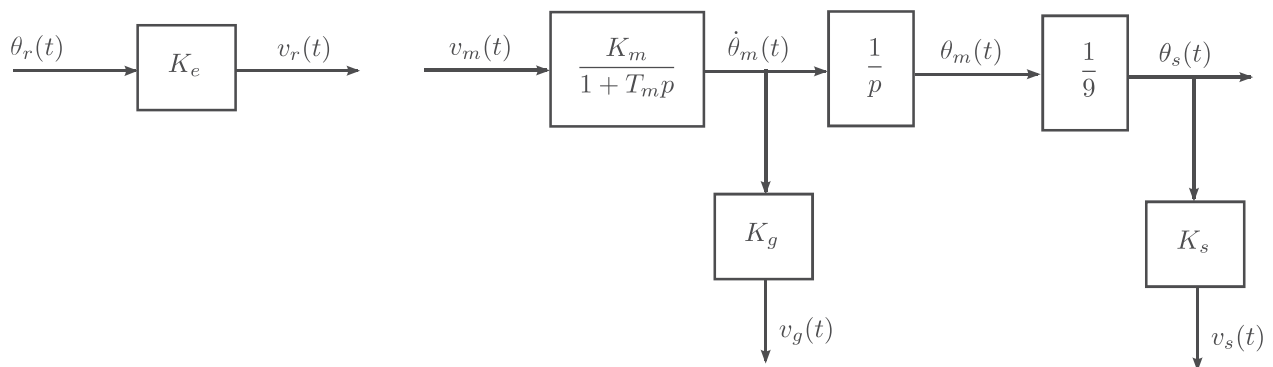


Figure 1.2: Eléments de la platine "asservissement de position".

- $v_m(t)$ représente l'alimentation d'entrée du moteur. L'axe primaire du moteur (dont la position angulaire est notée $\theta_m(t)$ et la vitesse angulaire $\Omega_m(t) = \dot{\theta}(t)$) peut tourner dans le sens direct ou rétrograde suivant la valeur de la tension d'induit $u_m(t)$. Ce premier élément est couplé à un système de freinage à courants de Foucault qui ne sera pas utilisé dans le cadre du TP.
- Un réducteur de vitesse relie l'axe primaire à un axe secondaire dont la position angulaire est notée $\theta_s(t)$.
- Un potentiomètre de sortie permet de convertir la position $\theta_s(t)$ en une tension $v_s(t)$, mesurable.

¹Cela reste effectivement une approximation. Le fonctionnement d'une MCC n'est pas parfaitement linéaire.

- Une génératrice tachymétrique délivre une tension $v_g(t)$ proportionnelle à la vitesse angulaire $\dot{\theta}_m(t)$. Enfin, un tachymètre digital permet de lire la vitesse angulaire de l'axe secondaire exprimée en tours par minutes.
- K_m, T_m sont les paramètres électro-mécaniques du moteur. On donne les valeurs des paramètres suivants $K_m = 9, T_m = 0.3, K_g = 0.105 \text{Vs/tr}, K_s = K_e = 10 \text{V/tr}$.

2. Modélisation & analyse du système en boucle ouverte

1. En choisissant convenablement les variables d'état, proposez une modélisation du moteur à courant continu.
2. Montrer que le système est commandable et observable.
3. Le système est-il stable en boucle ouverte?

3. Développement d'une régulation basée sur une commande LQ

3.1. Premier essai

On se propose de déterminer la loi de commande LQ permettant de minimiser le coût suivant.

$$J = \frac{1}{2} \int_0^{+\infty} x^T(t)x(t) + 100u^2(t)dt$$

1. Ecrire l'équation de Ricatti associée.
2. Résoudre l'équation de Ricatti en utilisant la commande care de Matlab. En déduire le gain de la commande par retour d'état.
3. Déterminer l'expression de la boucle fermée et en déduire sa dynamique. Celle-ci est-elle stable asymptotiquement?
4. Déterminer la marge de module du système en boucle fermée. En déduire des majorations sur la marge de phase et de gain du système bouclé.
5. Tracer la réponse indicielle du système bouclée.
6. Modifier la loi de commande afin d'obtenir une erreur de position nulle.

3.2. Choix des paramètres du coût J

Afin d'améliorer les performances du système bouclé, on se propose de modifier la valeur du coût J qui vaut donc:

$$J = \frac{1}{2} \int_0^{+\infty} x^T(t)Qx(t) + ru^2(t)dt$$

1. Par une méthode heuristique, proposez un jeu de valeurs pour Q et R permettant de satisfaire les contraintes.
2. En déduire une manière simple de régler Q et r .
3. Déterminer l'expression de la boucle fermée et en déduire sa dynamique. Celle-ci est-elle stable asymptotiquement?
4. Calculer la marge de module du système en boucle fermée. Celle-ci a-t-elle été modifiée? Calculer la marge de gain et de phase.
5. Tracer la réponse indicielle du système bouclée.

4. Extension du modèle et commande LQ

Afin d'éviter l'utilisation d'un gain de précompensation, nous nous proposons d'utiliser une commande par retour d'état avec effet intégral :

$$u(t) = -Kx(t) - k_i x_i(t),$$

$$x_i(t) = y(t) - y_r(t)$$

1. Proposer une modélisation du système bouclée.
2. Montrer que choisir les gains de la commande est équivalent à déterminer un retour d'état pour un système étendu.
3. Calculer une commande par retour d'état en utilisant la commande LQR pour le système étendu et vérifier que les spécifications sont satisfaites.

5. PROTOTYPAGE SUR LE PROCÉDÉ: IMPLÉMENTATION DES LOIS DE COMMANDE AVEC MATLAB-SIMULINK ET RTW TARGET

Dans cette partie, on se propose de vérifier les performances du système asservi de manière expérimentale, l'ensemble étant codé dans l'environnement Matlab-Simulink. Pour commander en temps réel le système, il faut utiliser la boîte à outils RTW TARGET.

1. Définir dans l'environnement de travail, une période d'échantillonnage T_e pour effectuer l'acquisition et l'envoi des données du moteur. Justifier votre choix.
2. Pour la loi de commande par retour d'état, effectuer le schéma-bloc de l'asservissement, à partir du fichier copié du serveur. Vous devez le copier/coller du répertoire COMMUN (à partir de l'icône poste de travail, puis connecter un lecteur réseau) dans un de vos répertoires de travail, dans la racine (Z:).
3. Compiler et exécuter votre schéma-bloc de l'asservissement (la démarche est décrite en Annexe). Observer et mesurer les performances de système asservi (caractéristiques dynamiques, erreurs...).
4. Comparer ces résultats réels aux résultats en simulation ainsi qu'à la théorie. Interpréter.
5. Pour toutes les autres lois de commande, suivre la démarche précédemment décrite. Observer et mesurer les performances de système asservi (caractéristiques dynamiques, erreurs...). Comparer ces résultats réels aux résultats en simulation ainsi qu'à la théorie. Interpréter.