

TP Contrôle-commande embarqué d'un volant électrique

Filière ASI 3A, (UE Robust Control for Mecatronic Systems) Ense3,
Grenoble-INP, 2020-2021

1 Objectifs du TP :

L'objectif du TP est de commander la position angulaire d'un système motorisé possédant un codeur incrémental. Le bruit de quantification produit par le codeur ainsi que des couples résistants (inconnus) agissant sur l'axe moteur devront être considérés lors de la synthèse de la loi de commande. Notamment, le couple résistant devra être estimé puis utilisé pour contrôler la position angulaire d'un volant.

2 Description du système

Le système est constitué d'une carte Arduino reliée à des éléments d'électronique de puissance qui fournissent une tension et une intensité à un moteur à courant continu (3). Pour augmenter le couple moteur, un réducteur (2) (amplificateur de couple) est utilisé et relié à la roue (1) dont nous voulons commander la position (voir figure 1). Pour mesurer la position angulaire, nous disposons d'un capteurs incrémental (4) comme le montre la Figure 1.

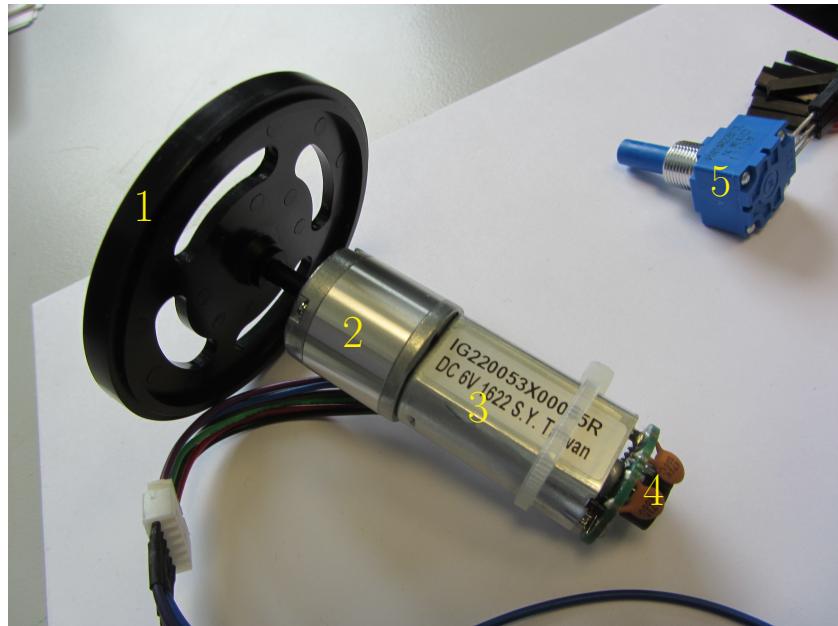


FIGURE 1 – Volant d'inertie (1), réducteur (2), moteur (3) codeur incrémental (4) et un potentiomètre (5).

Pour information, voici la liste des entrées/sorties de la carte Arduino Due avec une carte Motor Shield :

- const int pinDir = 12; // Direction (Output PIN)
- const int pinPwm = 3; // PWM (Output PIN)
- const int pinBrake = 9; // Brake (Output PIN)
- const int pinCurrent = 54; // Current sensor (Input PIN)
- const int pinSensorA = 5; // Encoder-A (Input PIN)
- const int pinSensorB = 6; // Encoder-B (Input PIN)
- const int pinPot = 56; // Potentimeter (Input PIN)

Mesure de la position angulaire

Dans ce TP le codeur incrémental utilisé est un générateur d'impulsion qui fournit deux signaux carrés (A et B) en quadrature pour déterminer la position angulaire. Le déphasage des signaux A et B est égale à $\frac{\pi}{2}$ rad comme le montre la Figure 2. Pour un tour complet (2π rad) de l'axe du codeur, chaque signal change d'état 3 fois. Le chronogramme du codeur montre 12 états ou positions pendant un tour. Par conséquent, la résolution du codeur est égale à $\frac{2\pi}{12}$ rad. De plus, il faut prendre en considération le rapport de réduction qui est égal à 53. Ce rapport, imposé par le réducteur, permet d'augmenter le couple et de réduire la vitesse de rotation du côté de la charge (c-à-d, du côté du volant d'inertie). Ainsi, étant donnée la position donnée par le codeur, la résolution de la position angulaire fournie par l'ensemble codeur-réducteur (vue du côté du volant d'inertie) est égale à $\frac{2\pi}{12 \times 53} = \frac{2\pi}{636}$ rad.

Le comptage-décomptage des impulsions par l'unité de traitement permet de définir la position angulaire du volant. **Dans ce TP, vous allez utiliser deux fonctions déjà codées pour reconstruire la position angulaire du volant à partir des impulsions.**

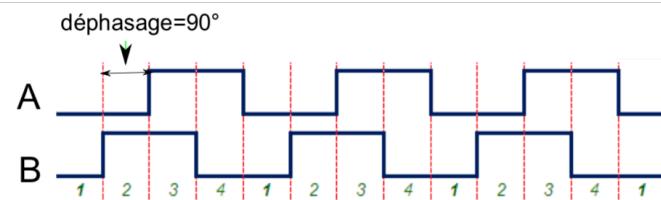


FIGURE 2 – Chronogramme du codeur incrémental.

3 Description du modèle physique

Les équations physiques du système, en négligeant l'inductance L , sont les suivantes : **équation électrique :**

$$V = R \cdot I + E \quad (1)$$

avec

- V : tension d'alimentation du moteur (V), dont la tension maximale sera égale à V_{max} .
- $E = K_e \omega$: force électromotrice du moteur (V), avec K_e la constante de force électromotrice ($V.s/rad$).
- I : courant traversant le moteur (A)
- R : résistance interne du moteur (Ω)
- L : inductance interne du moteur (H)

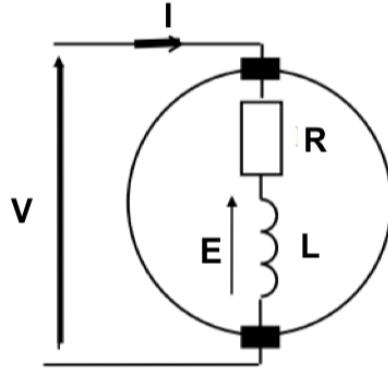


FIGURE 3 – Modèle équivalent du moteur à courant continu.

TABLE 1 – Paramètres du système.

Paramètre	Symbol	Valeur
Inertie des pièces en rotation vu du coté volant	J	6.8e–3 ($kg.m^2$)
Constante de force électromotrice	K_e	0.47 ($N.m/A$)
Résistance électrique du moteur	R	3.33 (Ω)
Tension maximale au bornes du moteur	V_{max}	$\pm 5(Volts)$

équation mécanique :

$$J\dot{\omega} = \tau_e + \tau_{fric} \quad (2)$$

avec

- J : moment d'inertie total ramené du coté de la charge ($kg.m^2$)
- ω : vitesse angulaire du volant (rad/s), c-à-d $\dot{\theta} = \omega$, avec θ la position angulaire (rad).
- $\tau_e = K_c I$: couple électrique produit par le moteur vu du coté de la charge ($N.m$), avec K_c la constante du couple ($N.m/A$). A savoir que $K_c = K_e$.
- τ_{fric} : couple résistant inconnu ($N.m$)

On suppose qu'on mesure la position angulaire avec un bruit de quantification, dénoté η , dont ses valeurs extrêmes sont égales à $\pm \frac{2\pi}{636}$. Ainsi, la sortie mesurée est décrite comme suit :

$$y = \theta + \eta \quad (3)$$

1) En utilisant les lois physiques décrivant le comportement d'un moteur à courant continu, montrer que le système peut être modélisé comme suit :

$$J\dot{\omega} = \frac{K_e}{R}(V - K_e\omega) + \tau_{fric} \quad (4)$$

Les valeurs des paramètres du systèmes sont présentés dans le Tableau 1.

2) Proposer un premier modèle en représentation d'état qui nous permettrait de commander la position angulaire.

4 Synthèse d'un observateur d'état du système étendu

On désire construire un estimateur du couple résistant basé sur un observateur d'état optimal.

Le couple résistant inconnu τ_{fric} est présent dans l'axe moteur. Nous savons que ce couple perturbera la commande de position du volant. Sa variation au cours du temps $\dot{\tau}_{ext}$ peut être décrite par un système de premier ordre, comme suit :

$$\dot{\tau}_{fric} = -c\tau_{fric} \quad (5)$$

avec c une constante positive à choisir (utiliser par exemple $c = 1e-9$).

3) Définir un nouveau vecteur d'état (c-à-d un état étendu) et établir la représentation d'état suivante

$$\begin{cases} \dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= Cx + \eta \end{cases} \quad (6)$$

où u est l'entrée du système qui est égale à la tension moteur V , y est la sortie qui correspond à l'angle de rotation θ (en rad) et x est l'état du système (l'état étendu).

4) Discréteriser le système (6) pour une période d'échantillonnage égale à $T_e = 10\text{ms}$.

5) Proposer un observateur d'état qui permet d'estimer l'état complet x . Le gain de l'observateur L_{obs} est obtenu à partir de la solution d'un problème d'optimisation du type filtre de Kalman (problème dual LQR).

6) Coder et tester l'observateur sur la carte Arduino. Tester l'observateur pour une tension nulle ($V = 0$) et en déplaçant le volant à la main, par exemple.

5 CAS 1 : Commande de la position angulaire

On désire construire une loi de commande en temps-discret qui permet de piloter la position angulaire du moteur en atténuant les effets du couple résistant "estimé" dans la partie 4. On suppose que l'observateur d'état est opérationnel.

7) Déterminer la commande par retour d'état $u = -F(x - x^{ref})$, avec $x = [\theta, \omega, \tau_{fric}]^T$, et $x^{ref} = [\theta^{ref}, 0, 0]^T$. On prendra le gain de retour d'état F obtenu à partir de la solution d'un problème d'optimisation du type Régulateur Linéaire Quadratique (LQR).

8) En considérant le système étendu, synthétiser en suite une loi de commande puis coder et tester sur le système réel. Générer la consigne de position θ^{ref} à l'aide du potentiomètre.

6 CAS 2 : Assistance électrique en couple

9) Proposer une entrée u (tension moteur) qui permettrait d'appliquer une assistance électrique en couple au niveau du volant. Nous aimerais que le moteur aide l'utilisateur du volant de façon proportionnel à son effort. La solution devrait ainsi soulager la charge aperçue lorsque qu'on cherche à faire tourner le volant.

10) Coder et tester sur le système réel. Conclure.