

Master 1 EEA

EMEAG2C1 : Commande des machines électriques

Examen du 17 mai 2018

Sans document

Durée : 1H30

ASSERVISSEMENT DE POSITION D'UNE PENDULE INVERSÉ

Un pendule inversé mû par un motoréducteur à courant continu est représenté sur la figure 1. Le motoréducteur est constitué d'un moteur électrique à courant continu et à aimants permanents associé à un système d'engrenages de rapport 5 : la vitesse de sortie est 5 fois plus faible que la vitesse du moteur. Le couple électromécanique du moteur ramené sur l'axe de sortie du réducteur est noté C_m et la vitesse de rotation en sortie du réducteur est notée Ω . Le pendule est constitué d'un bras rigide de longueur $L_0=30$ cm et de masse négligeable à l'extrémité duquel est fixé une sphère en acier de masse $m=200$ g. Sa position angulaire par rapport à la verticale est repérée par l'angle θ . Tous les frottements du dispositif sont négligeables.

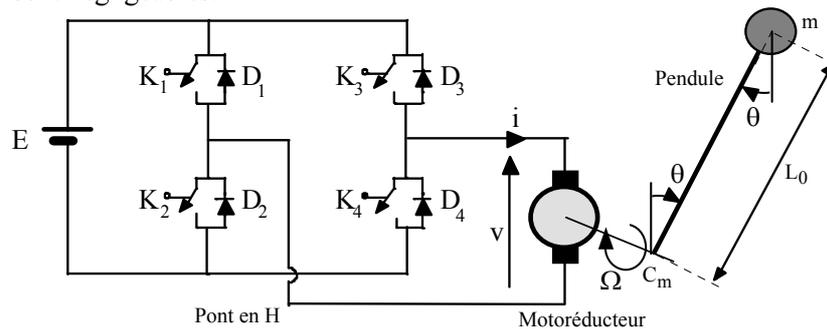


Figure 1

Le moteur est alimenté par un hacheur quatre quadrants (pont en H), lui-même alimenté par une source de tension continue E constante de valeur égale à 60 V. Le motoréducteur possède les caractéristiques suivantes :

Tension maximale	Courant permanent à vitesse lente	Vitesse maximale en régime permanent	Courant maximal à vitesse lente	FEM par 100 tr/mn (25 °)	Couple par Ampère	Résistance induit (25°)	Inductance	Moment d'inertie J_{mr}
60 V	6,8A	750 tr/mn	28 A	7,6 V	0,725 N.m	0,56 Ω	5,3 mH	$1250 \cdot 10^{-5}$ kg.m ²

La force contre-électromotrice du motoréducteur sera notée E_m .

Dans la suite, on souhaite asservir la position angulaire du pendule θ à une valeur de consigne θ_c proche de zéro.

• Modélisation

Le pont en H est piloté par M.L.I. dans le mode $u \in \{-1,1\}$ et à une fréquence de découpage $F=20$ kHz. La valeur moyenne de u sur chaque période de découpage sera notée U .

1 - Peut-on inverser le sens de rotation du motoréducteur ? Peut-on freiner sa rotation ? Expliquer rapidement.

2 – Proposer un modèle aux valeurs moyennes du pont en H doté de sa commande. L'entrée sera notée U_c . Le transfert entre U_c et U sera explicité.

La relation fondamentale de la mécanique appliquée sur l'axe de rotation du pendule s'écrit :

$$C_m(t) + mgL_0 \sin \theta(t) = J \frac{d\Omega}{dt}. \text{ L'accélération de la pesanteur vaut } g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}.$$

3 – Montrer que l'on peut linéariser cette équation différentielle si on suppose l'angle θ petit. On utilisera cette équation linéarisée dans la suite.

4 – Le moment d'inertie du pendule seul s'écrit $J_p = mL_0^2$. Quelle est l'expression et la valeur du moment d'inertie total J ?

5 – Modéliser le système complet et en déduire le schéma-blocs décomposé de l'ensemble hacheur-motoréducteur-pendule (U_c : entrée ; θ : sortie). Quel est l'ordre de ce système ? Calculer les différents paramètres de ce modèle.

• **Boucle de courant**

On désire réaliser l'asservissement proposé sur la figure 2. La force contre-électromotrice E_m est supposée lentement variable par rapport à la rapidité souhaitée pour la boucle de courant. On note I_c la consigne à laquelle on souhaite asservir le courant induit I .

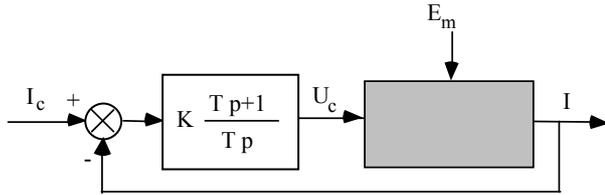


Figure 2

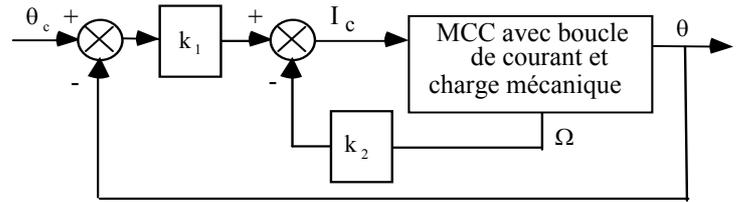


Figure 3

On souhaite obtenir un temps de réponse à 95 % voisin de 10 ms.

6 – Après avoir justifié le choix du correcteur, proposer une méthode de réglage et exprimer la fonction de transfert en boucle fermée $\frac{I(p)}{I_c(p)}$ pour $E_m=0$. Justifier l'approximation effectuée sur le modèle. Exprimer et calculer K et T .

• **Asservissement de position**

Le principe de l'asservissement de position est représenté sur la figure 3. k_1 et k_2 sont des gains constants à déterminer pour obtenir un temps de réponse à 95 % voisin de 100 ms.

7 - Pourquoi peut-on supposer que la boucle interne de courant précédemment calculée est idéale ?

8 - Déterminer les pôles du système en boucle ouverte. Est-il stable (expliquer) ?

9 - Exprimer la fonction de transfert de poursuite en boucle fermée $F_p(p) = \frac{\theta(p)}{\theta_c(p)}$.

10 - Par analogie avec un système du 2° ordre de fonction de transfert $F_p(p) = \frac{F_p(0)}{1 + \frac{2z}{\omega_n} p + \frac{p^2}{\omega_n^2}}$, exprimer k_1 et k_2 en

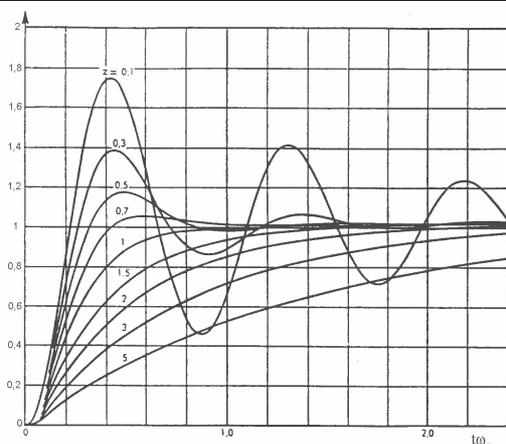
fonction de ω_n et z et les calculer. Donner l'expression de $F_p(0)$.

11 - Calculer l'erreur statique de position de cet asservissement.

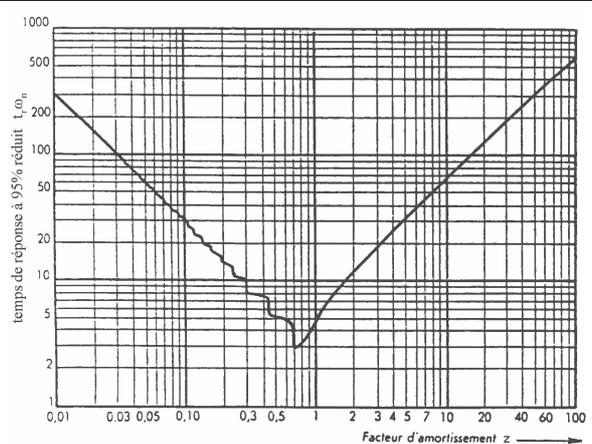
12 - En lieu et place de k_1 , proposer un correcteur permettant d'annuler l'erreur statique de position précédente. Justifier.

13 - Exprimer alors la nouvelle fonction de transfert de poursuite en boucle fermée $F_p(p) = \frac{\theta(p)}{\theta_c(p)}$. Proposer qualitativement une méthode de réglage.

• **Annexe : Système du 2° ordre**



Réponse à un échelon de position unitaire en fonction de z



Temps de réponse réduit $t_r \omega_n$ à 95 % en fonction de z
