Master 1 EEA

EM8ECEFM : Commande des Machines Electriques

Examen du 7 mai 2015 *Sans document*
Durée : 1H30

ASSERVISSEMENT DE POSITION D'UNE MACHINE À COURANT CONTINU

Un bras articulé est mû par des moteurs électriques à courant continu et à aimants permanents. Chaque moteur est associé à un hacheur quatre quadrants, supposé alimenté par une tension continue E constante et d'amplitude égale à 200 V. L'ensemble moteur + hacheur est appelé variateur.
Dans la suite du problème, on considérera un seul de ces variateurs, représenté schématiquement sur la figure 1. Le hacheur fonctionne avec une fréquence de découpage constante égale à 20 kHz. Chaque variateur doit positionner le bras, selon un de ses axes (ou degrés de liberté), en fonctionnant dans les quatre quadrants du plan couple/vitesse.

- Les caractéristiques de chaque moteur sont les suivantes :
  - Tension d'induit nominale V_n = 190 V
  - Courant d'induit nominal I_n = 2 A
  - Vitesse de rotation nominale N_n = 1000 t/mn
  - L'inducteur à aimants permanents crée à la vitesse nominale une f.c.é.m. E_m de 180 V
  - Les paramètres de l'induit sont : r = 5 Ω et L = l0 mH.
- Les paramètres mécaniques sont :
  - Inertie moyenne du moteur et de sa charge mécanique J = 0,0l kg.m^2
  - Coefficient de frottement visqueux f = 0,005 N.m.rad^{-1}s
  - Les autres couples de frottement sont rassemblés sous un terme C_r.

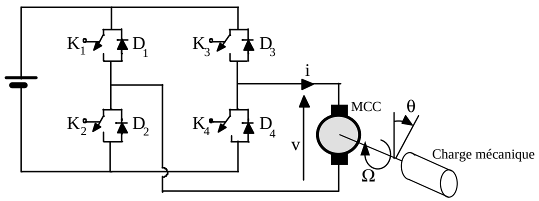


Figure 1

• *Modélisation*

1 - Peut-on inverser le sens de rotation de la charge ? Peut-on la freiner au moyen du variateur de vitesse ? Expliquer rapidement.

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

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.

3 – Modéliser le système et en déduire le schéma-blocs décomposé de l'ensemble hacheur-moteur-charge mécanique (U_c : entrée ; θ : sortie).

• *Boucle de courant*

On désire réalisé 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.

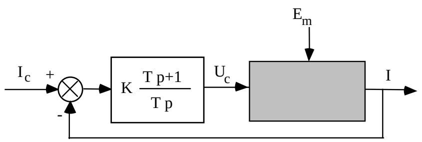


Figure 2

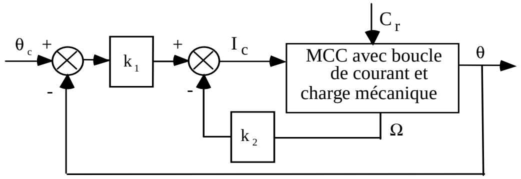


Figure 3

4 - Après avoir proposé une méthode de réglage du correcteur, exprimer la fonction de transfert en boucle fermée $\dfrac{I(p)}{I_c(p)}$ pour E_m=0 et calculer K et T pour obtenir un temps de réponse à 95 % voisin de 2 ms. Justifier l'approximation effectuée.

• *Asservissement de position*

Le principe de l'asservissement de position est représenté sur la figure 3. On souhaite obtenir un temps de réponse à 95 % voisin de 20 ms.

5 - Exprimer la fonction de transfert de poursuite en boucle fermée $F_p(p) = \left.\dfrac{\theta(p)}{\theta_c(p)}\right|_{C_r=0}$. Pour cela, pourquoi peut-on supposer que la boucle de courant précédemment calculée est idéale ?

6 - Par analogie avec un système du 2° ordre de fonction de transfert $F_p(p) = \dfrac{1}{1+\dfrac{2z}{\omega_n}p+\dfrac{p^2}{\omega_n^2}}$, exprimer k_1 et k_2 en fonction de ω_n et *z* et les calculer.

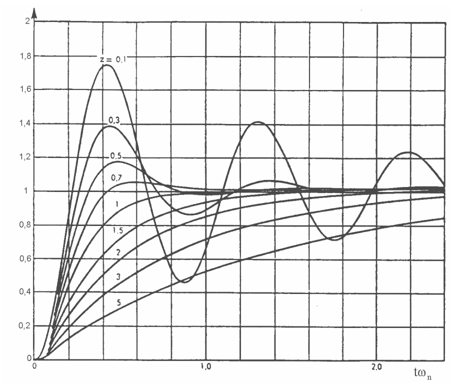
7 - Exprimer la fonction de transfert de régulation $F_r(p) = \left.\dfrac{\theta(p)}{C_r(p)}\right|_{\theta_c=0}$.

8 - Calculer l'erreur statique de position vis à vis d'une perturbation de couple.

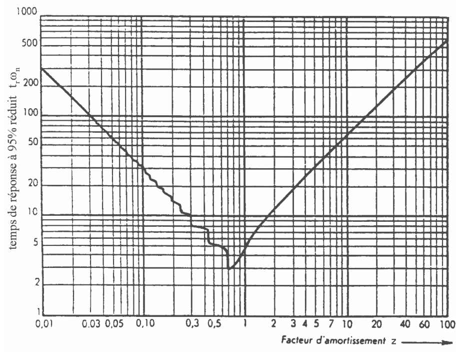
9 – En lieu et place de k_1, proposer un correcteur permettant d'annuler l'erreur statique de position précédente. Justifier.

10 – Exprimer alors la nouvelle fonction de transfert de poursuite en boucle fermée $F_p(p) = \left.\dfrac{\theta(p)}{\theta_c(p)}\right|_{C_r=0}$. 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

* * *

Master 1 EEA

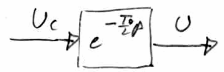
EM8ECEFM : Commande des Machines Electriques

Examen du 7 mai 2015

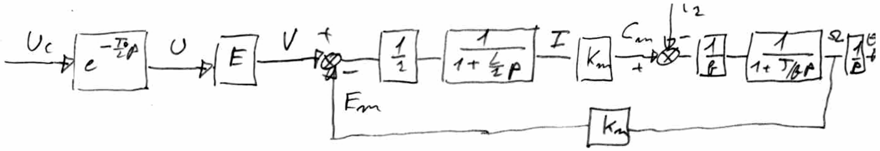
CORRECTION

1) Pont en H réversible (courant - tension).

2)



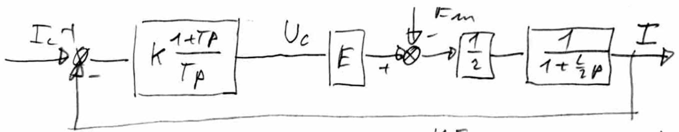
3)



$$E_m = K_m \Omega \Rightarrow K_m = \frac{E_m}{\Omega} = \frac{E_m \cdot 60}{N_n \cdot 2\pi} = 1{,}72\ V\cdot rd^{-1}\cdot s$$

ou $N\cdot m\cdot A^{-1}$

4)



a) $T = \frac{L}{R}$

$$\left.\frac{I(p)}{I_c(p)}\right|_{E_m=0} = \frac{\frac{KE}{Lp}}{1+\frac{KE}{Lp}} = \frac{1}{1+\frac{L}{KE}p} = \frac{1}{1+\tau_{BF}p}$$

$$\tau_{BF} = \frac{T_r}{3} \Rightarrow \frac{L}{KE} = \frac{T_r}{3} \Rightarrow K = \frac{3L}{T_r E}$$

A.N. : $T = 2\ ms$ $K = 0{,}075\ A^{-1}$

b)

$$\frac{I(p)}{I_c(p)} = \frac{\frac{KE(1+Tp)}{TRp(1+\frac{L}{R}p)}}{1+\frac{KE(1+Tp)}{TRp(1+\frac{L}{R}p)}} = \frac{KE(1+Tp)}{TLp^2+TRp+KE+TKEp}$$

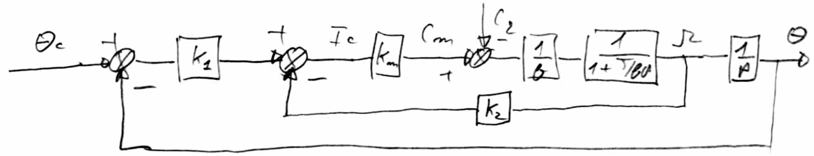
$$= \frac{1+Tp}{1+\frac{T(R+KE)}{KE}p+\frac{TL}{KE}p^2} = \frac{1+Tp}{1+\frac{2z}{\omega_n}p+\frac{p^2}{\omega_n^2}}$$

$$2z\omega_n = \frac{R+KE}{L} \Rightarrow K = \frac{1}{E}\left(2z\omega_n L - R\right)$$

$$\frac{KE}{TL} = \omega_n^2 \Rightarrow T = \frac{KE}{\omega_n^2 L} \qquad K = 0{,}08\ A^{-1}$$

$$z = 0{,}7 \Rightarrow T_r\omega_n = 3 \Rightarrow \omega_n = 1500\ rd/s \qquad T = 711\ \mu s$$

5)



$$G_{BO}(p) = \frac{K_1}{p}\cdot\frac{\frac{K_m}{f+Jp}}{1+\frac{K_2K_m}{f+Jp}} = \frac{K_1K_m}{p(Jp+f+K_2K_m)}$$

$$\left.\frac{\theta(p)}{\theta_c(p)}\right|_{C_2=0} = \frac{\frac{K_1K_m}{p(Jp+f+K_2K_m)}}{1+\frac{K_1K_m}{p(Jp+f+K_2K_m)}} = \frac{K_1K_m}{Jp^2+(f+K_2K_m)p+K_1K_m}$$

$$\left.\frac{\theta(p)}{\theta_c(p)}\right|_{C_2=0} = \frac{1}{1+\frac{(f+K_2K_m)}{K_1K_m}p+\frac{J}{K_1K_m}p^2} = \frac{1}{1+\frac{2z}{\omega_n}p+\frac{p^2}{\omega_n^2}}$$

6)

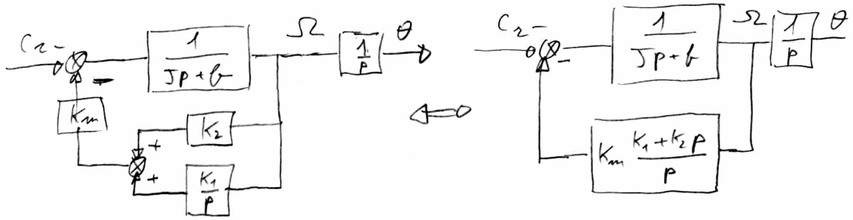
$$\frac{K_1K_m}{J} = \omega_n^2 \Rightarrow K_1 = \frac{J\omega_n^2}{K_m}$$

$$\frac{f+K_2K_m}{J} = 2z\omega_n \Rightarrow K_2 = \frac{1}{K_m}\left(2z\omega_n J - f\right)$$

$$z = 0{,}7 \Rightarrow T_r\omega_n = 3 \qquad \omega_n = 150\ rd/s$$

$$K_1 = 130{,}8\ A\cdot rd^{-1} \qquad K_2 = 1{,}22\ A\cdot rd^{-1}\cdot s$$

7)



$$\frac{\theta(p)}{C_2(p)} = -\frac{1}{p}\cdot\frac{\frac{1}{Jp+f}}{1+\frac{K_m(K_1+K_2p)}{p(Jp+f)}} = -\frac{1}{Jp^2+fp+K_mK_2p+K_mK_1}$$

$$= -\frac{1}{K_mK_1}\cdot\frac{1}{1+\frac{f+K_2K_m}{K_mK_1}p+\frac{J}{K_1K_m}p^2}$$

8) $\varepsilon_p = \dfrac{1}{K_m K_1} C_0$ avec $C_2(p) = \dfrac{C_0}{p}$

$\varepsilon_p = 4{,}44 \cdot 10^{-3} \, C_0$

9) $\Rightarrow$ rajouter un correcteur intégral avec K_1.

$$K_1 \longrightarrow K_p \cdot \frac{1+T_i p}{T_i p}$$

10) $$G_{BO}(p) = \frac{K_p K_m (1+T_i p)}{p(1+T_i p)(Jp + f + K_2 K_m)}$$

$$\left.\frac{\theta(p)}{\theta_c(p)}\right|_{C_2=0} = \frac{K_p K_m (1+T_i p)}{K_p K_m + [f + K_2 K_m + K_p K_m T_i]\, p + [J + (f + K_2 K_m) T_i]\, p^2 + J T_i p^3}$$

$$= \frac{1+T_i p}{1 + \dfrac{f + K_2 K_m + K_p K_m T_i}{K_p K_m}\, p + \dfrac{J + (f+K_2 K_m) T_i}{K_p K_m}\, p^2 + \dfrac{J T_i}{K_p K_m}\, p^3} \quad (a)$$

de la forme : $$\frac{1+T_i p}{(1+\tau p)\left(1 + \dfrac{2z}{\omega_n} p + \dfrac{p^2}{\omega_n^2}\right)} \quad (b)$$

On choisit $z \simeq 0{,}7$ $\quad \tau \simeq \dfrac{1}{\omega_n}$

On développe (b) et on identifie avec (a) au niveau du dénominateur pour extraire K_i, T_i, K_2 en fonction de z, ω_n et τ