

## Master 1 EEA

## EMEAG2C1 : Commande des machines électriques

Examen du 15 mai 2017

 Sans document  
Durée : 1H30

## PROBLÈME : COMMANDE EN POSITION D'UNE MACHINE SYNCHRONE

Remarque : Les parties I et II sont indépendantes

## PARTIE I - Autopilotage du couple de la machine (Question de cours guidée – 6 pts)

• **Conseil** : L'énoncé de cette "question de cours" peut paraître long, mais les réponses aux questions sont et doivent être courtes !

Le schéma de la figure 1 représente une machine synchrone triphasée bipolaire alimentée par un onduleur de tension. La machine est à pôles lisses, sans couple de réluctance ni d'encoche et sans circuit amortisseur. Sa f.e.m. est supposée sinusoïdale. La position  $\theta$  du rotor est mesurée. Dans la mesure où un asservissement du courant dans chaque phase de la machine est réalisé, l'onduleur associé à ses boucles de courant peut être remplacé par le schéma équivalent proposé sur la figure 2.  $(i_a, i_b, i_c)$  constitue un système de courants sinusoïdaux triphasés équilibrés d'amplitude  $\hat{I}_s$ .

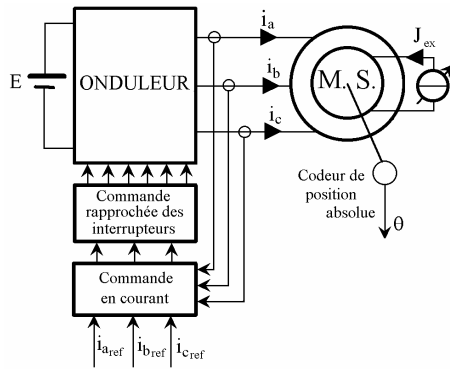


Figure 1

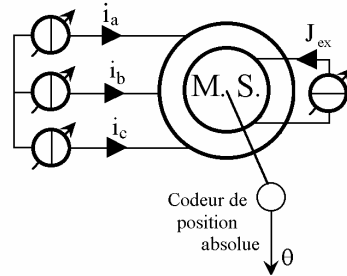


Figure 2

1- En utilisant certaines variables de la représentation de la figure 3, donner l'expression de ces courants.

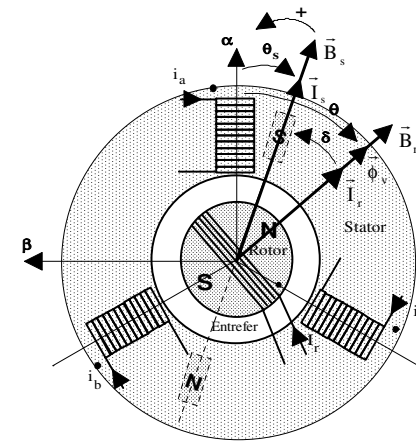


Figure 3

2- Ces courants créent le champ tournant stator  $\vec{B}_s$ . Quel paramètre dans l'expression de ces courants permet de contrôler la position angulaire de ce champ? Quel paramètre permet de contrôler l'amplitude? Justifier rapidement.

Le couple moteur instantané de la machine a pour expression:

$$C_m = \frac{3}{2} \cdot \hat{\phi}_v \cdot \hat{I}_s \cdot \sin \delta. \quad \hat{\phi}_v \text{ représente le flux maximum envoyé par le rotor dans une phase du stator.}$$

3- A  $\hat{\phi}_v$  et  $\hat{I}_s$  donnés, pour quelle valeur  $\delta_M$  de l'angle  $\delta$  le couple moteur est-il maximum?

4- Donner un schéma de principe de la boucle de commande permettant de garantir à tout instant cette valeur à l'angle  $\delta$ . Ne pas hésiter à éclaircir ce schéma par quelques commentaires.

5- Le flux  $\hat{\phi}_v$  est supposé constant. Compléter le schéma précédent de manière à maintenir à tout instant le couple moteur  $C_m$  à une valeur de consigne  $C_{ref}$ .

## PARTIE II - Contrôle en position (14 pts)

La machine synchrone autopilotée précédente est employée pour asservir la position angulaire d'une charge mécanique. L'autopilotage du couple étant supposé idéal ( $C_{ref} = C_m$ ), on considère alors dans la suite que l'entrée de commande est directement le couple moteur  $C_m$ . Le moment d'inertie mécanique total est noté  $J$  et les frottements sont représentés par un couple de frottement visqueux (coefficient de frottement  $f$ ) et un couple perturbateur  $C_p$ . La vitesse de rotation de la charge (et de la machine) est notée  $\Omega$  et la position angulaire  $\theta$ .

6- Établir le schéma-blocs décomposé du système en faisant apparaître les variables  $C_m$ ,  $C_p$ ,  $\Omega$  et  $\theta$ .

Une première boucle, de vitesse, est mise en œuvre suivant le schéma de la figure 4.

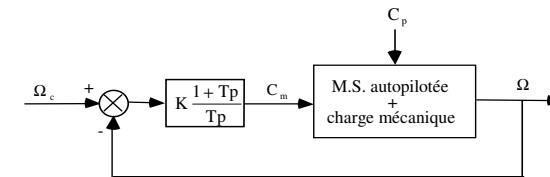


Figure 4

7- Pourquoi utiliser un correcteur série de type Proportionnel-Intégral ?

8- Choisir le paramètre  $T$  afin de compenser le mode dominant du processus. Exprimer alors la fonction de transfert de poursuite en boucle fermée :  $F_\Omega(p) = \frac{\Omega(p)}{\Omega_c(p)} \Big|_{C_p=0}$ .

9- Donner l'expression de la fonction de transfert de régulation (rejet de perturbation) :  $F_C(p) = \frac{\Omega(p)}{C_p(p)} \Big|_{\Omega_c=0}$ . Que valent les erreurs statiques de position et de vitesse ?

10- Comparer les pôles de  $F_\Omega(p)$  et  $F_C(p)$  ? Conclusion ?

L'asservissement est complété par la boucle de position, comme représenté sur la figure 5.

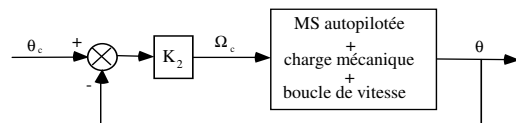


Figure 5

11- Pourquoi peut-on se contenter en première approche d'un correcteur proportionnel ?

12- En assimilant la fonction de transfert de la boucle de vitesse à  $F_\Omega(p)$  déterminée à la question 8, exprimer la fonction de transfert de l'asservissement de position  $F_\theta(p) = \frac{\theta(p)}{\theta_c(p)}$ .

13- Par analogie avec un système du 2<sup>e</sup> ordre de fonction de transfert  $F_\theta(p) = \frac{1}{1 + \frac{2z}{\omega_n}p + \frac{p^2}{\omega_n^2}}$ , exprimer  $\omega_n$  et  $z$ .

Comment choisir  $K_2$  afin d'obtenir un coefficient d'amortissement  $z=0.7$  ?

En réalité, une erreur existe sur la boucle de vitesse, que l'on représente par une perturbation  $\Delta$  sur la figure 6.

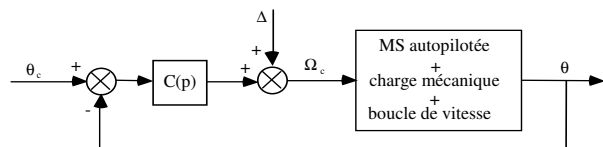


Figure 6

Dans la suite, pour simplifier en première approche les calculs, on supposera la boucle de vitesse de la figure 4 idéale.

14- Proposer un correcteur  $C(p)$  en justifiant son choix.

15- Avec le correcteur précédent, calculer la fonction de transfert de poursuite  $F_\theta(p) = \frac{\theta(p)}{\theta_c(p)} \Big|_{\Delta=0}$ . Proposer une méthode pour choisir les paramètres du correcteur.

16- Calculer la fonction de transfert de régulation (rejet de perturbation)  $F_\Delta(p) = \frac{\theta(p)}{\Delta(p)} \Big|_{\theta_c=0}$ .

\* \* \*