Examen Final : **EL57 – P2012**

Durée : **2 heures.**

Documents : **non autorisés sauf une feuille manuscrite de format A4.**

Un moteur à courant continu, à aimants permanents, entraîne une charge opposant un couple résistant proportionnel à la vitesse de rotation. Ce moteur est alimenté par un hacheur série réversible en courant, voir figure 1. Les principales caractéristiques du moteur à courant continu et de sa charge sont les suivantes :

- coefficient de proportionnalité entre la vitesse angulaire et la fém de l'induit : $K_E = 0{,}25$ V.rad^{-1}.s ;
- coefficient de proportionnalité entre le couple et le courant : $K_c = 0{,}25$ N.m.A^{-1} ;
- vitesse nominale de rotation : $n_N = 3000$ tr.min^{-1} ;
- résistance de l'induit : $R = 0{,}1\ \Omega$;
- courant nominal d'induit : $I_N = 16$ A ;
- courant maximum admis : $I_{max} = 32$ A ;
- couple nominal : $C_N = 4$ N.m ;
- moment d'inertie total ramené à l'axe du moteur : $J = 0{,}01$ kg.m^2 ;
- couple résistant de type frottement visqueux : $C_r = f.\Omega$, avec $f = 10^{-2}$ N.m.rad^{-1}.s.

On négligera les pertes du moteur à courant continu.

A. Identification des quadrants de fonctionnement de la MCC.

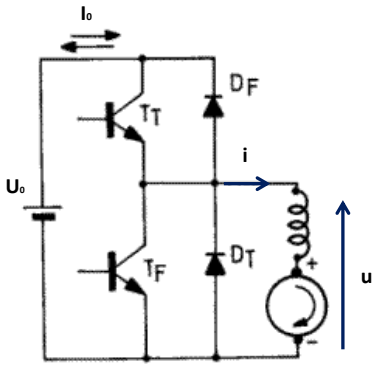

Figure 1

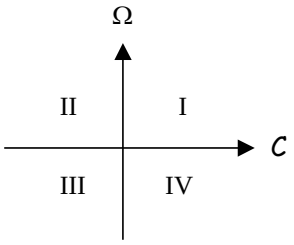

Figure 2

*

Soient Ω la vitesse angulaire et C le moment du couple du moteur à courant continu. Une convention d'orientation sur l'axe est choisie. Suivant les signes de Ω et de C, la figure 2 définit quatre quadrants de fonctionnement.

Le moteur est alimenté par un hacheur. Le courant et la tension de sortie du hacheur (ceux de l'induit) sont respectivement notés u et i.

A.1) Donner le modèle régissant le fonctionnement de l'ensemble MCC en régimes dynamique et permanent.

A.2) Montrer que la valeur moyenne U de la tension u est proportionnelle à la vitesse de rotation du moteur

A.3) Montrer que la valeur moyenne I du courant i est proportionnelle au couple de la machine à courant continu.

A.4) En partant de la configuration du hacheur alimentant la MCC quels sont les quadrants possibles de fonctionnement de l'ensemble MCC-hacheur ? Représenter ces points de fonctionnement sur le repère de la figure 2.

B. Etude d'un cycle de fonctionnement.

Le moteur étant initialement au repos, on envisage un fonctionnement périodique défini comme suit :

(a) Mise en rotation sens positif à couple maximum ($C_a = +10$ N.m) jusqu'à atteindre la vitesse nominale ;

(b) Fonctionnement à vitesse nominale pendant 0,5 seconde ;

(c) Freinage à couple maximum jusqu'à l'arrêt (C_C = -10 N.m) ;

(d) Temps d'arrêt de 1 seconde ;

B.1) Déterminer le couple pour les phases de fonctionnement b, d.

B.2) Représenter dans le repère d'ordonnée Ω et d'abscisse C, défini dans la figure 2, le déplacement du point de fonctionnement du moteur lors du cycle. On distinguera les déplacements instantanés et les déplacements ayant une durée non nulle du point de fonctionnement (par exemple en traçant les premiers en traits pointillés et les seconds en traits pleins).

B.3) En résolvant l'équation différentielle régissant le mouvement, déterminer les durées t_a et t_c des phases a et c.

B.4) On rappelle que le couple quadratique moyen est défini par :

$$C_{quad}=\sqrt{\frac{1}{T}\sum_{i=1}^{n} C_i^2 t_i}$$

où T est la période du cycle de fonctionnement, C_i et t_i le couple et la durée de la phase i de fonctionnement. Calculer le couple quadratique moyen. Comparer le résultat obtenu au couple nominal, conclure.

C. Etude du variateur

Le montage utilisé est un hacheur en pont à transistors bipolaires représenté figure 1. Les transistors sont assimilés à des interrupteurs commandés, unidirectionnels (sens de passage du courant: du drain vers la source). La tension drain-source en conduction est nulle, le courant drain lorsque le transistor est bloqué est nul. Les diodes sont supposées idéales. L'ensemble moteur et bobine de lissage est assimilé dans cette partie à une charge E, L. Soit T la période et a le rapport cyclique de hachage.

De 0 à α.T, le transistor T_T est commandé. De α.T à T, le transistor T_F est commandé.

C.1) Conduction continue lorsque I = < i > est positif (I > 0).

C1.1. Dessiner, pour ce cas de figure, les formes d'ondes de la tension u et du courant i correspondant à la commande des transistors décrite précédemment.

C1.2. Préciser sur ce graphique les interrupteurs conducteurs.

C1.3. Déterminer U, valeur moyenne de u(t), en fonction de U_0 et α. En déduire l'expression de la fém E en fonction de U_0 et α.

C1.4. On notera I_0 et I_1 les valeurs de i lorsque t = O et t = α.T. Etablir les expressions de i(t) de O à α.T et de α.T à T en fonction de U_0, L, E, I_0 et I_1.

C1.5. Exprimer l'ondulation du courant en fonction de U_0, α, T et L.

C1.6. Pour quelle valeur de α cette ondulation est maximale.

C1.7. Exprimer la valeur de L permettant de limiter l'ondulation du courant i à 10% de sa valeur nominale et cela pour une fréquence de hachage de 10kHz?

C.2) Conduction continue lorsque I = < i > est négatif (I < 0).

C2.1. Dessiner, pour ce cas de figure, les formes d'ondes de la tension u et du courant i correspondant à la commande des transistors décrite précédemment.

C2.2. Préciser sur ce graphique les interrupteurs conducteurs.

C.3) Conduction discontinue lorsque I = < i > est négatif (I < 0).

C3.1. Expliquer quand est ce que l'on parle du régime de conduction discontinue ?

C3.2. Dessiner, pour ce cas de figure, les formes d'ondes de la tension u et du courant i correspondant à la commande des transistors décrite précédemment.

C3.3. Préciser sur ce graphique les interrupteurs conducteurs.