Examen final
Durée : 02 heures.
Documents : non autorisés sauf une feuille manuscrite de format A4.

A. Généralités sur la variation de vitesse

1. La variation de vitesse se justifie par quelques nécessités pratiques. Citer au moins quatre applications typiques faisant appel à la variation de vitesse.
2. Expliquer le principe du premier système de variation de vitesse dans l'histoire.
3. Le système « Ward Leonard » est le premier système de variation de vitesse électrique connu. Expliquer son principe.
4. En traction ferroviaire, l'engin moteur doit développer un couple moteur à ses jantes supérieur aux couples résistants présentés par le train pour que le convoi puisse démarrer et accélérer. Ces performances sont représentées sur une courbe Couple/Vitesse de l'engin moteur, voir figure 1. Quelle est la condition de stabilité de ce groupe moteur-charge ? Expliquer son sens physique.

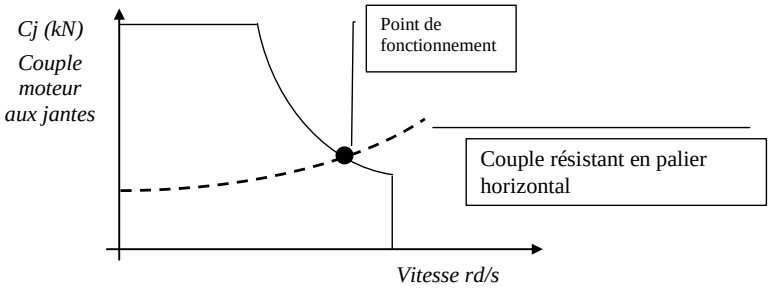

Figure 1

B. Alimentation des machines à courant continu

Le schéma de la figure 2 représente la partie mécanique de la chaîne de traction d'un train électrique. Le diamètre des roues est Dr = 100mm. Un réducteur de vitesse est monté entre les roues et le moteur, son rapport de réduction est $\Omega m / \Omega r = 2$. Le rendement de la transmission entre la roue et le moteur est $\eta = 0{,}98$. On suppose que le moteur de traction est du type continu à excitation indépendante.

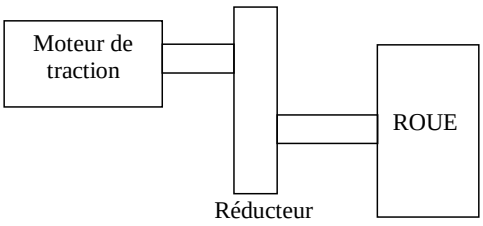

Figure 2

A la vitesse v = 72 km/h (20 m/sec), la tension aux bornes du moteur est de 1100 V, le courant absorbé est de 90 A et le couple utile est Tu = 200 Nm.

5. Calculer le rendement du moteur à la roue pour ce point de fonctionnement.
6. En s'aidant d'un schéma pertinent, donner le modèle de ce type de moteur d'abord en régime transitoire puis en régime permanent..

7. A partir du modèle en régime permanent, donner l'expression reliant le couple électromagnétique C_e en fonction de la vitesse angulaire **Ω** et tracer l'allure de $C_e(\Omega)$ pour plusieurs valeurs de tension d'induit U.

Afin de faire varier la vitesse du moteur, on insère entre la source continue U et le moteur un hacheur (figure 3a) à fonctionnement périodique de période T et de durée d'enclenchement t_0 ($0 < t_0 < T$).

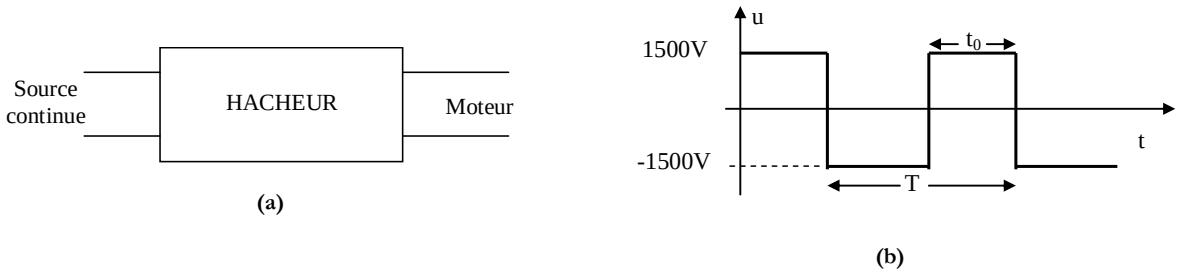

Figure 3

Nous obtenons aux bornes du moteur à courant continu, une tension périodique u de valeur moyenne <u> = U.

8. En se basant sur la figure 3b, donner le type et le schéma de ce hacheur.
9. Donner les équations différentielles régissant le fonctionnement de l'ensemble hacheur-moteur.
10. On suppose que le moteur est soumis à couple résistant constant de 200Nm et est contrôlé à l'aide du hacheur précédent de sorte à suivre le profil de vitesse représenté sur la figure 4. Tracer les profils de vitesse angulaire et du couple du moteur électrique en admettant que l'inertie côté moteur est de 0,5kgm².

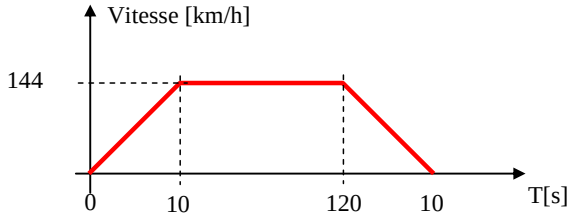

Figure 4

11. On suppose que la commande rapprochée utilisée pour commander le convertisseur statique associé au moteur est du type MLI-hystérésis. Expliquer son principe.
12. Pour cette commande MLI, tracer les allures des courants de référence et mesurés au niveau de l'induit de la machine pour réaliser le profil de vitesse ci-dessus. Quels sont les paramètres qui influencent ce type de commande rapprochée ?

C. Alimentation des machines synchrones

Une machine synchrone triphasée, à pôles lisses et parfaitement symétrique, est alimentée par un onduleur de tension. La figure 5 représente la partie puissance incluant le bus continu E, les interrupteurs de puissance (K1, K1', K2, K2', K3 et K3') et les trois phases de la machine, dont les tensions respectives sont v_{aN}, v_{bN} et v_{cN}, est connectée en étoile. Chaque interrupteur K_m est commandé de façon opposée à K'_m,.à l'aide de la fonction dite de commande f_m où m = 1, 2, 3.

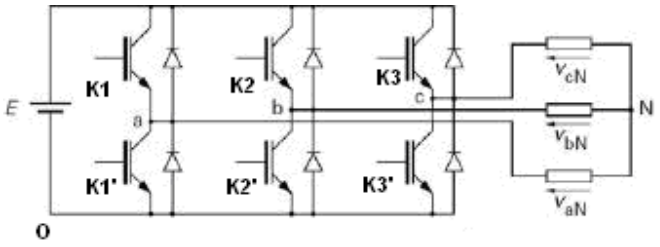

Figure 5

13. Donner les expressions des tensions v_{a0}, v_{bO} et v_{cO} en fonction de E, f_1, f_2 et f_3. En déduire celles de v_{NO}, v_{aN}, v_{bN} et v_{cN}.
14. Observer les fonctions de commande représentées sur la figure 6 où θ_e est l'angle électrique de la machine. Quel est le nom de cette commande ? Représenter les formes d'ondes des signaux v_{a0}, v_{bO}, v_{cO} et v_{aN} correspondants.

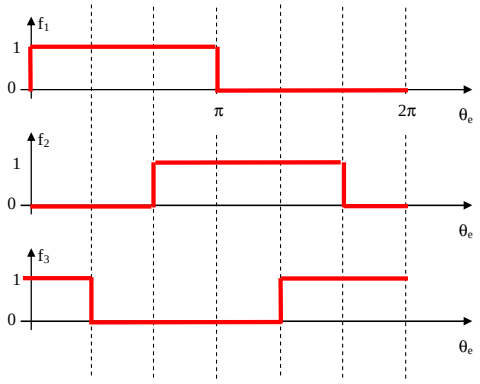

Figure 6

15. Donner l'équation différentielle régissant l'évolution du courant dans la phase a.
16. Tracer qualitativement la forme d'onde de ce courant en supposant que la constante de temps mécanique est beaucoup plus grande de la constante de temps électrique (cela veut dire que la variation de la vitesse, et donc de la fém, est beaucoup plus lente que celle du courant).
17. Quels sont les inconvénients de cette commande ?
18. Pour remédier à ces inconvénients on se propose d'utiliser une commande MLI-triangle sinus. Expliquer son principe de fonctionnement en s'aidant de schémas pertinents.