

Master 1 SMIS EEAS Parcours SYGELEC**2M8EE2M : Commande des convertisseurs et machines**

Examen du 12 septembre 2006

Sans document

Durée : 2H

PREMIER PROBLÈME : CHARGEUR DE BATTERIES

On considère le convertisseur représenté sur la figure 3, permettant d'échanger du courant entre 2 sources de tension continue. La position de l'interrupteur K est représentée par une variable u: u=1 lorsque K est passant, u=0 lorsque K est bloqué.

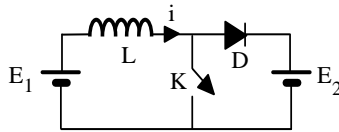


Figure 3

- 1) Dans quel sens peut-on échanger de la puissance? Pourquoi?
- 2) Donner l'équation d'état représentant l'évolution du courant $i(t)$, en fonction de u, lorsque l'on est en conduction continue.
- 3) On commande u par Modulation de Largeur d'Impulsion, avec un rapport cyclique α .
 - a - A quelle condition peut-on piloter la valeur moyenne de i ?
 - b - Représenter l'allure du courant $i(t)$ et donner une condition de régime permanent, liant α , E_1 , et E_2 .
 - c - Donner l'équation d'état aux valeurs moyennes de ce convertisseur.
 - d - En déduire la fonction de transfert $\frac{\tilde{i}(p)}{\tilde{\alpha}(p)}$.
 - e - Comment asservir la valeur moyenne du courant i à une valeur de consigne ?
- 4) On suppose maintenant que le convertisseur fonctionne en mode de conduction discontinue, l'interrupteur K étant toujours commandé par Modulation de Largeur d'Impulsion.
 - a - Donner la relation liant le courant moyen dans la self sur une période de découpage et le rapport cyclique.
 - b - Conclusion?

Dans le but de lisser le courant absorbé par la source de tension E_2 , on complète le convertisseur de la figure 3 pour obtenir celui représenté sur la figure 4. On suppose que la tension v et le courant i_2 évoluent lentement par rapport au courant i_1 .

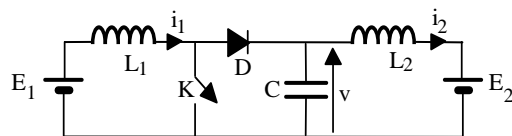


Figure 4

5) Donner la représentation d'état en variables instantanées de ce convertisseur en mode de conduction continue, lorsque la position de l'interrupteur K est repérée par u, comme sur la structure précédente. Quelle est la nature de ce modèle?

On réalise une commande en mode courant de ce convertisseur, que l'on assimile à la loi idéale:

$$\begin{cases} u = 1 & \text{si } i_1 < I_c \\ u = 0 & \text{si } i_1 > I_c \end{cases} \text{ avec } I_c \text{ la consigne en courant.}$$

6) On suppose que $i_1 = I_c$ d'où l'on peut tirer que $\frac{di_1}{dt} = \frac{dI_c}{dt}$. Déterminer la représentation d'état simplifiée résultante en mode courant, en exprimant pour cela au préalable la commande équivalente u_{eq} (qui appartient à $[0,1]$).

7) Rechercher les conditions de régime d'équilibre statique.

8) Déterminer le modèle d'état linéarisé (modèle petit signal) autour d'un point d'équilibre (I_{c0}, v_0, i_{20}) . On pose pour cela : $\tilde{I}_c = I_c - I_{c0}$; $\tilde{v} = v - v_0$; $\tilde{i}_2 = i_2 - i_{20}$.

9) Déterminer alors la fonction de transfert $\frac{\tilde{i}_2(p)}{\tilde{I}_c(p)}$.

10) Que dire de la stabilité de ce système en boucle ouverte? Pourquoi ?

11) Proposer une méthode de commande en boucle fermée permettant de piloter le chargeur.

SECOND PROBLÈME

La figure 1 représente de manière simplifiée le système de propulsion d'un véhicule automobile électrique. Le moteur est une machine à courant continu à aimants permanents.

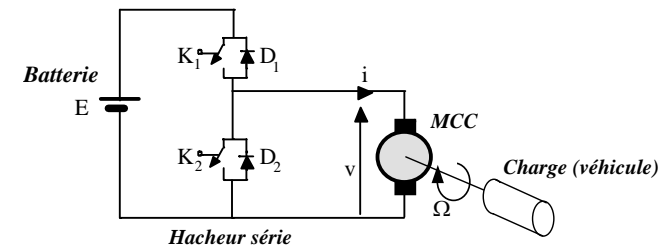


Figure 1

Fonctionnement du hacheur série

1) En repérant la position des interrupteurs K_1 et K_2 par une variable binaire notée u, rappeler au moyen d'un graphe d'état les 2 configurations de marche du hacheur.

2) Donner un modèle électrique équivalent de ce hacheur au moyen d'une source commandée

3) Ce hacheur est-il réversible en courant ? Pourquoi ? quels avantages cela procure-t-il dans le cadre du véhicule ?

Commande du couple du moteur

Afin de donner au conducteur la maîtrise des accélérations (et décélérations...) de son véhicule, le concepteur a décidé de réaliser une commande en boucle fermée du couple du moteur. La consigne de cet asservissement sera associée à la position de la pédale d'accélérateur.

4) Pourquoi, en terme d'ergonomie de conduite, ce choix est-il judicieux ?

5) Rappeler l'expression du couple C_m du moteur utilisé et en déduire une stratégie possible pour commander en boucle fermée ce couple.

6) En supposant que u est piloté par Modulation de Largeur d'Impulsions (MLI) déterminer un schéma fonctionnel de l'asservissement proposé à la question précédente, en explicitant les différentes fonctions de transfert du processus en boucle ouverte (Modulateur MLI et modèle du moteur). Le choix du correcteur sera aussi justifié.

7) Proposer une méthode de réglage du correcteur.

Asservissement de la vitesse du véhicule

8) Quelle stratégie de commande en boucle fermée choisir afin de proposer au conducteur une régulation de vitesse du véhicule (par exemple sur autoroute) ?

9) Déterminer un schéma fonctionnel de l'asservissement proposé à la question précédente, en explicitant les différentes fonctions de transfert du processus en boucle ouverte. Le choix du correcteur sera aussi justifié.

Examen du 12 septembre 2006

Sans document

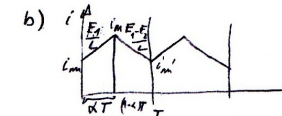
Durée : 2H

CORRECTION PREMIER PROBLÈME : CHARGEUR DE BATTERIES

1) de $E_1 \rightarrow E_2$ pas réversible.

$$2) \frac{di}{dt} = \frac{E_1}{L} + \frac{E_2}{L}(1-u)$$

3) a) $E_2 > E_1$, sinon i ne peut que croître.



$$i_m = \frac{E_1}{L} \alpha T + i_m \quad i_m' = i_m + \frac{E_1 - E_2}{L} (1 - \alpha) T \quad \text{ou bien } \overline{V_c} = 0$$

$$i_m = i_m' = 0 \quad E_1 \alpha T + (E_1 - E_2)(1 - \alpha) T = 0$$

$$\alpha \frac{E_1}{E_2} = \frac{1}{1 - \alpha} \quad \alpha = \frac{E_2 - E_1}{E_2}$$

$$c) \frac{d\overline{i}}{dt} = \frac{E_1 - E_2}{L} + \frac{E_2}{L} \overline{u} = \frac{E_1 - E_2}{L} + \frac{E_2}{L} \alpha$$

$$d) \frac{d\overline{i}}{dt} = \frac{E_2}{L} \alpha$$



$$\overline{i} = \frac{1}{T} \left(\frac{I_m}{2} \times (\alpha T + T_D) \right) = \frac{1}{T} \left(\frac{E_1}{2L} \alpha^2 T^2 + \frac{L I_m^2}{2(E_2 - E_1)} \right)$$

$$= \frac{1}{T} \left(\frac{E_1}{2L} \alpha^2 T^2 + \frac{E_1^2}{2L(E_2 - E_1)} \alpha^2 T^2 \right)$$

$$= \frac{E_1 T \alpha^2}{2L} \left(1 + \frac{E_1}{E_2 - E_1} \right) = \frac{E_1 E_2}{E_2 - E_1} \cdot \frac{T \alpha^2}{2L}$$

$$\overline{i} = \frac{E_1 E_2}{E_2 - E_1} \cdot \frac{\alpha^2 T}{2L}$$

$$5) \begin{cases} \frac{di_1}{dt} = \frac{E_1}{L_1} - \frac{v}{L_1}(1-u) = -\frac{v}{L_1} + \frac{vu}{L_1} + \frac{E_1}{L_1} \\ \frac{dv}{dt} = \frac{i_1}{C}(1-u) - \frac{i_2}{C} = \frac{i_1}{C} - \frac{i_2}{C} - \frac{vu}{C} \\ \frac{di_2}{dt} = \frac{v}{L_2} - \frac{E_2}{L_2} \end{cases}$$

$$6) \begin{cases} \frac{dv}{dt} = \frac{I_c}{C} - \frac{i_2}{C} - \frac{vu}{C} \\ \frac{di_2}{dt} = \frac{v}{L_2} - \frac{E_2}{L_2} \end{cases} \Rightarrow \boxed{u_{eq} = \frac{L_1}{v} \frac{dI_c}{dt} + 1 - \frac{E_1}{v}}$$

$$\text{or } \frac{dI_c}{dt} = -\frac{v}{L_1} + \frac{vu_{eq}}{L_1} + \frac{E_1}{L_1}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \frac{di_1}{dt} = \frac{I_1}{L_1} - \frac{i_2}{L_1} - \frac{L_1}{C} \cdot \frac{I_2}{v} \frac{dI_2}{dt} - \frac{I_2}{C} + \frac{E_1}{C} \cdot \frac{I_2}{v} \\ \frac{di_2}{dt} = \frac{v}{L_2} - \frac{E_2}{L_2} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{dv}{dt} = -\frac{i_2}{C} - \frac{L_1}{C} \cdot \frac{I_2}{v} \frac{dI_2}{dt} + \frac{E_1}{C} \cdot \frac{I_2}{v} \\ \frac{dI_2}{dt} = \frac{v}{L_2} - \frac{E_2}{L_2} \end{cases}$$

2) régime permanent si $\frac{dv}{dt} = 0, \frac{di_1}{dt} = 0, \frac{dI_2}{dt} = 0$

$$\Rightarrow v = E_2 \text{ et } E_1 \frac{I_2}{v} - I_2 = 0$$

$$\Rightarrow \begin{cases} v = E_2 \\ E_1 I_2 = i_2 E_2 \end{cases} \text{ conservation de la puissance!}$$

3) Condition d'équilibre: $I_{10}, v_0 = E_2, i_{10} = \frac{E_1 I_{20}}{E_2}$

$$\frac{dv}{dt} = f(i_2, v, \frac{dI_2}{dt}, I_2) \text{ posons } x = \frac{dI_2}{dt}$$

Autour d'un point d'équilibre statique:

$$f(i_2, v, x, I_2) \approx \left. \frac{\partial f}{\partial i_2} \right|_{(0)} \tilde{i}_2 + \left. \frac{\partial f}{\partial v} \right|_{(0)} \tilde{v} + \left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_{(0)} \tilde{x} + \left. \frac{\partial f}{\partial I_2} \right|_{(0)} \tilde{I}_2$$

$$\approx -\frac{1}{C} \tilde{i}_2 - \frac{E_1 I_{20}}{C v_0^2} \tilde{v} - \frac{L_1 I_{20}}{C v_0} \tilde{x} + \frac{E_1}{C v_0} \tilde{I}_2$$

$$\approx -\frac{1}{C} \tilde{i}_2 - \frac{E_1 I_{20}}{C E_2^2} \tilde{v} - \frac{L_1 I_{20}}{C E_2} \tilde{x} + \frac{E_1}{C E_2} \tilde{I}_2$$

$$\tilde{x} = \left(\frac{dI_2}{dt} \right) = \frac{d\tilde{I}_2}{dt} \text{ car } \left. \frac{dI_2}{dt} \right|_0 = 0 = \left. \frac{dI_{20}}{dt} \right|_0 \text{ (point d'équilibre statique)}$$

$$\begin{cases} \frac{d\tilde{v}}{dt} = -\frac{1}{C} \tilde{i}_2 - \frac{E_1 I_{20}}{C E_2^2} \tilde{v} - \frac{L_1 I_{20}}{C E_2} \frac{d\tilde{I}_2}{dt} + \frac{E_1}{C E_2} \tilde{I}_2 \\ \frac{d\tilde{I}_2}{dt} = \tilde{x} \end{cases}$$

$$\begin{cases} p \tilde{v}(p) = -\frac{1}{C} \tilde{i}_2(p) - \frac{E_1 I_{20}}{C E_2^2} \tilde{v}(p) - \frac{L_1 I_{20}}{C E_2} p \tilde{I}_2(p) + \frac{E_1}{C E_2} \tilde{I}_2(p) \\ p \tilde{i}_2(p) = \tilde{x}(p) \end{cases}$$

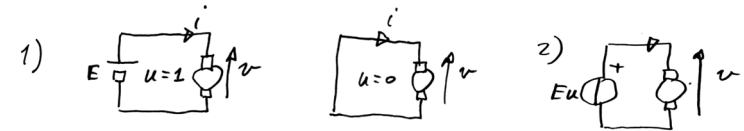
$$p^2 \tilde{i}_2(p) = -\frac{1}{L_2 C} \tilde{i}_2(p) - \frac{E_1 I_{20}}{L_2 C E_2^2} \tilde{v}(p) - \frac{L_1 I_{20}}{L_2 C E_2} p \tilde{I}_2(p) + \frac{E_1}{L_2 C E_2} \tilde{I}_2(p)$$

avec $\tilde{v}(p) = L_2 p \tilde{i}_2(p)$ on obtient:

$$(L_2 C p^2 + \frac{L_2 E_1 I_{20}}{E_2^2} p + 1) \tilde{i}_2(p) = \left(\frac{L_1 I_{20}}{E_2} p + \frac{E_1}{E_2} \right) \tilde{I}_2(p)$$

$$\frac{\tilde{i}_2(p)}{\tilde{I}_2(p)} = \frac{E_1}{E_2} \cdot \frac{\frac{L_1 I_{20}}{E_2} p + 1}{1 + \frac{L_2 E_1 I_{20}}{E_2^2} p + L_2 C p^2}$$

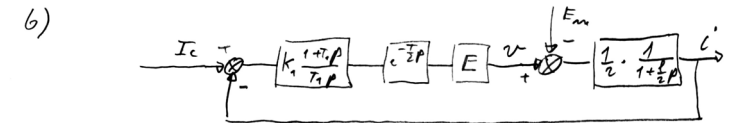
CORRECTION SECOND PROBLÈME



3) Oui, lorsque 2 quadrants (bras d'onduleur) \Rightarrow régénération freinage.

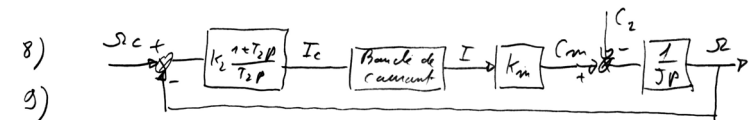
4) En maîtrisant le couple (c'est à dire les accélérations) le conducteur peut moduler la vitesse.

5) $C_m(s) = k_m i(t) \Rightarrow$ asservissement de courant induit.



P_I car problème de précision statique

7) Compensation de pôle ($T_1 = \frac{L}{C}$) au réglage z: ordre.



Choix du correcteur: idem 6)