

## Master 1 EEA

## EMEAG2A1 Modélisation et commande des convertisseurs statiques

Examen du 9 mai 2017

Sans document

Durée : 1H30

## EXERCICE 1 : SOURCE DE COURANT (7 PTS)

On considère le convertisseur représenté sur la figure 1, permettant d'alimenter en courant une charge quelconque. La position de l'interrupteur  $K$  est représentée par une variable  $u$ :  $u=1$  lorsque  $K$  est passant,  $u=0$  lorsque  $K$  est bloqué. On suppose que le hacheur fonctionne en conduction continue.

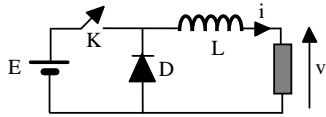


Figure 1

1) - On envisage de modéliser la charge comme une source équivalente variable : faut-il choisir une source de courant ou de tension ? Justifier.

2) - Donner l'équation d'état représentant l'évolution du courant  $i(t)$  en fonction de  $u$ ,  $v$  et des paramètres du circuit.

3) - A quelle condition peut-on faire croître ou décroître le courant  $i$  ? Justifier.

$u$  est piloté par Modulation de Largeur d'Impulsion, avec un rapport cyclique  $\alpha$

4) - Dans la mesure où la condition proposée en 3) est vérifiée, représenter qualitativement l'allure du courant  $i(t)$  en supposant  $v$  constant. En déduire une condition de régime permanent liant  $\alpha$ ,  $E$ , et  $v$ .

5) - En négligeant le retard pur du modulateur, donner l'expression de la valeur moyenne  $U = \bar{u}$  de la commande  $u$  en fonction du rapport cyclique  $\alpha$ .

6) - En déduire l'équation d'état aux valeurs moyennes de ce convertisseur.

Le courant moyen  $I$  dans la bobine est asservi à une référence  $I_{ref}$  au moyen de l'asservissement représenté sur la figure 2.

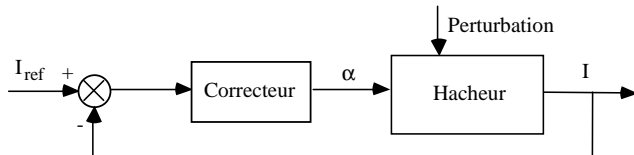


Figure 2

7) - Expliciter le schéma-bloc du hacheur en définissant la "perturbation" et en exprimant sa fonction de transfert.

8) - Proposer en le justifiant un correcteur.

9) - Calculer la fonction de transfert en boucle fermée pour une "perturbation" nulle et proposer une méthode pour choisir les paramètres du correcteur.

## EXERCICE 2 : RÉGULATION D'UN ÉLÉVATEUR DE TENSION ( 15 PTS)

On se propose d'étudier une régulation de la tension de sortie d'un convertisseur continu-continu élévateur de tension, réversible en courant, commandé en MLI, dont le schéma est représenté sur la figure 1. Les différents éléments du circuit ont les valeurs suivantes :

$E = 36 \text{ V}$  ;  $L = 100.10^{-6} \text{ H}$  ;  $C_s = 600.10^{-6} \text{ F}$  ;  $R = 4 \Omega$ . La fréquence de découpage est  $F = 40 \text{ kHz}$ .

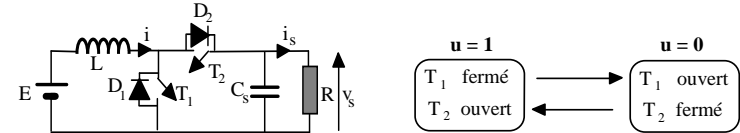


Figure 1

1) - Donner la représentation d'état en variables instantanées. En déduire la représentation d'état en valeurs moyennes. Les variables moyennes seront écrites en lettres majuscules et on notera  $\alpha$  le rapport cyclique.

Par la suite, on étudiera le fonctionnement autour d'un point d'équilibre statique défini par  $[\alpha_0, V_{s0}]$ . Les valeurs moyennes seront notées sous la forme  $\alpha = \alpha_0 + \tilde{\alpha}$ ,  $V_s = V_{s0} + \tilde{V}_s$  et ainsi de suite. Les lettres majuscules surmontées du signe  $\sim$  représentent les variations des grandeurs autour du point d'équilibre statique.

2) - Donner les conditions d'équilibre statique. En particulier, déterminer la relation liant  $V_{s0}$  et  $\alpha_0$ . Que doit valoir le rapport cyclique pour obtenir une tension moyenne de sortie égale à  $2E$  ?

Afin de réguler la tension de sortie, on développe un modèle dynamique aux petites variations du convertisseur commandé par MLI. Le retard pur du modulateur MLI est négligé.

3) - Déterminer le modèle d'état aux petites variations ("petit signal") par un développement au premier ordre du modèle moyen obtenu en 1).

4) - En employant les conditions d'équilibre obtenues en 2, déduire la fonction de transfert  $\frac{\tilde{V}_s(p)}{\tilde{\alpha}(p)}$  sous la

forme  $G(p) = K_0 \frac{1 - \tau_0 p}{1 + \frac{2z_0}{\omega_{n0}} p + \frac{p^2}{\omega_{n0}^2}}$ . Expliciter les paramètres  $K_0$ ,  $\tau_0$ ,  $\omega_{n0}$  et  $z_0$  en fonction de  $E$ ,  $L$ ,  $C_s$ ,  $R$  et

$\alpha_0$ .

5) - Calculer numériquement cette fonction de transfert autour du point d'équilibre correspondant à  $V_{s0} = 2E$ .

On réalise une boucle de régulation de tension autour du point  $V_{s0} = 2E$ , tel que représenté sur la figure 2. En première approche, la variable  $\Delta$  symbolise une entrée de perturbation, rendue homogène à une variation de rapport cyclique.

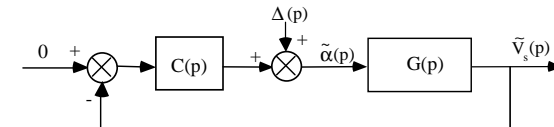


Figure 2

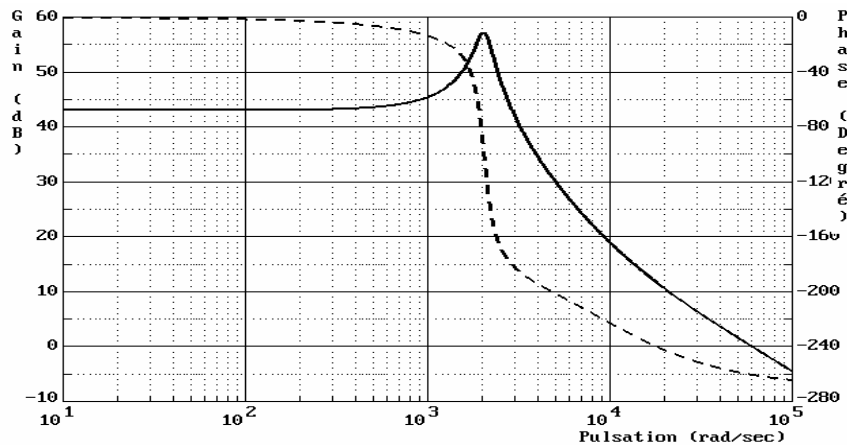
On désire tout d'abord effectuer le choix d'un correcteur proportionnel à avance de phase,  $C(p) = K \frac{1 + aTp}{1 + Tp}$ , dont

les principales caractéristiques sont données en annexe. On admettra enfin que le critère du revers est applicable, bien que le système considéré ne soit pas à minimum de phase.

6) - Calculer les paramètres  $a$ ,  $T$ , et  $K$  du correcteur qui permettent d'obtenir une marge de phase corrigée  $\Delta\Phi_C = +45^\circ$  pour la fonction de transfert en boucle ouverte corrigée  $C(p)G(p)$ , à une pulsation de  $\omega_{col} = 5000$  rad/s. Le diagramme de Bode de  $G(p)$  est donné en annexe. La démarche proposée devra être suffisamment détaillée.

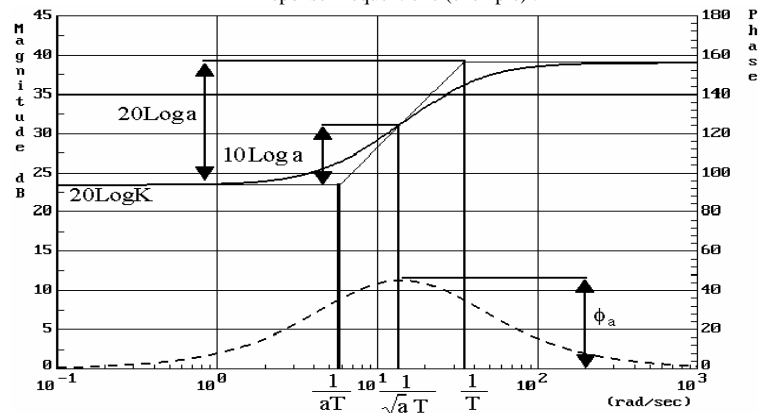
7) - Quelle correction série *supplémentaire* conviendrait-il d'apporter à l'asservissement ? Pourquoi ? Expliciter la fonction de transfert ce correcteur et dessiner un schéma-bloc de principe de la régulation modifiée. Indiquer *qualitativement* quel positionnement fréquentiel devrait-on donner à ce correcteur par rapport à la réponse en fréquence de la boucle ouverte corrigée étudiée à la question 6).

• **Annexe 1 : Réponse fréquentielle petit signal de l'élèveateur  $G(j\omega)$**



• **Annexe 2 : Correcteur proportionnel à avance de phase**  $D(p) = K \frac{1+aTp}{1+Tp}$

• Réponse Fréquentielle (exemple) :



• Phase maximale apportée par le correcteur  $\phi_a = \arcsin \frac{a-1}{a+1}$ , qui donne :  $a = \frac{1+\sin \phi_a}{1-\sin \phi_a}$

\*\*\*