

# TD 0

## Gyropode à usage professionnel

### HUBLEX– Sujet

Concours CCINP – MP 2020.

B2-04

C2-03

### Présentation

Le système étudié dans ce sujet, appelé Hublex, est un gyropode professionnel destiné à faciliter le déplacement des collaborateurs au sein d'entreprises, administrations, hôpitaux... lorsque ces lieux sont de grandes tailles.

### Étude de l'asservissement en intensité des moteurs

#### Objectif

Modéliser la chaîne d'asservissement en intensité du moteur afin de déterminer les paramètres du correcteur permettant de respecter l'exigence « 1.7.1.1 » et ses sous-exigences.

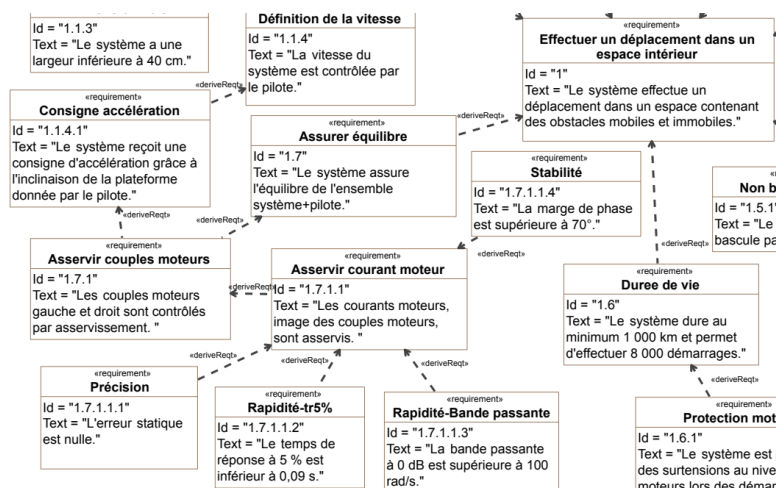


FIGURE 1 – Diagramme des exigences

### Modélisation du moteur

Le moteur brushless associé à son électronique de commande peut se modéliser par les équations d'une machine à courant continu.

On notera  $J_{eq}$  l'inertie équivalente des masses mobiles mises en jeu ramenée sur l'arbre moteur. On modélisera les différents frottements par un frottement visqueux générant un couple résistant, rapporté à l'arbre moteur, proportionnel à la vitesse de rotation de l'arbre moteur et de coefficient  $f$  ( $f > 0$ ). On rappelle les équations caractéristiques associées :

- ▶  $u(t) = e(t) + Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt}$  ;
- ▶  $e(t) = K_e \omega_m(t)$  ;
- ▶  $C_m(t) = K_e i(t)$  ;
- ▶  $J_{eq} \frac{d\omega_m(t)}{dt} = C_m(t) - f \omega_m(t)$ .

**Question 1** Donner, dans le domaine de Laplace, les 4 équations caractéristiques associées au modèle de machines à courant continu.

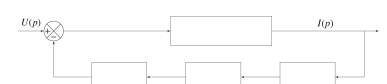


FIGURE 2 – Schéma-blocs

**Question 2** Compléter alors le schéma-blocs du moteur dans [Figure 2](#). On précisera la grandeur associée à chaque lien.

**Question 3** Donner l'expression de la fonction de transfert  $H_m(p) = \frac{I(p)}{U(p)}$ . Mettre cette fonction de transfert sous la forme  $H_m(p) = K_m \frac{1 + \tau_m p}{1 + \frac{2z_m}{\omega_{0m}} p + \frac{1}{\omega_{0m}^2} p^2}$ .

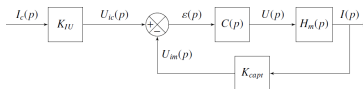


FIGURE 3 – Schéma-blocs

### Asservissement du moteur en intensité

L'architecture retenue pour contrôler le couple moteur est un asservissement en intensité, image du couple moteur (voir équation précédente). Le schéma-blocs est représenté [Figure 3](#). Un convertisseur IU fournit au calculateur une tension  $u_{ic}(t)$  image de l'intensité de consigne  $i_c(t)$ , proportionnelle à cette dernière de coefficient  $K_{iu}$ . De même, l'intensité réelle  $i(t)$ , mesurée par un capteur d'intensité de coefficient  $K_{capt}$ , a pour image  $u_{im}(t)$ . L'écart, noté  $\varepsilon(t) = u_{ic}(t) - u_{im}(t)$ , est traité par le correcteur de fonction de transfert  $C(p)$ , qui impose la tension  $u(t)$  aux bornes du moteur.

On donne la fonction de transfert du moteur :  $H_m(p) = K_m \frac{1 + \tau_m p}{1 + \frac{2z_m}{\omega_{0m}} p + \frac{1}{\omega_{0m}^2} p^2}$ .

**Question 4** Préciser, en justifiant, quelle valeur donner à  $K_{iu}$ , caractéristique du convertisseur IU.

On prend, dans un premier temps, un correcteur purement proportionnel :  $C(p) = K_p$ .

On en déduit la fonction de transfert  $H_I(p) = \frac{I(p)}{I_c(p)}$  :

$$H_I(p) = \frac{K'}{1 + K'} \frac{1 + \tau_m p}{1 + \frac{\frac{2z_m}{\omega_{0m}} + K' \tau_m}{1 + K'} p + \frac{1}{\omega_{0m}^2 (1 + K')} p^2}, \text{ avec } K' = K_{iu} K_p K_m.$$

**Question 5** Calculer l'expression littérale de l'erreur en régime permanent notée  $\mu_s$ , pour une entrée indicielle (i.e.  $I_c(p)$  est un échelon unitaire), en fonction de  $K_{iu}$ ,  $K_p$  et  $K_m$ .

**Question 6** Conclure, lorsque cela est possible, quant au respect des sous exigences de l'exigence « 1.7.1.1.1 » avec ce type de correcteur.

Dans un deuxième temps, il est décidé d'utiliser un correcteur de type proportionnel intégral. Sa fonction de transfert est notée :  $C(p) = K_p + \frac{K_i}{p}$ .

**Question 7** Tracer les diagrammes de Bode asymptotique du correcteur ainsi que l'allure des courbes réelles pour  $K_p = 10$  et  $K_i = 1000$ . On précisera les valeurs numériques associées aux valeurs caractéristiques.

Une fois le correcteur réglé, on obtient les diagrammes de Bode en boucle ouverte ([Figure 4](#)) et les réponses temporelles ([Figure 5](#)), pour un échelon d'intensité  $i_c(t)$  de 2 A.

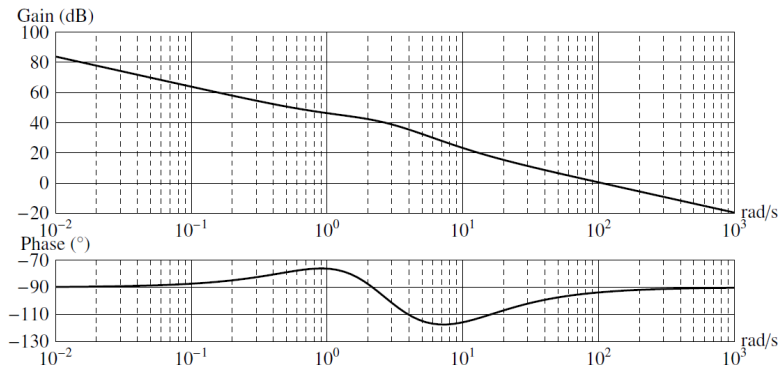


FIGURE 4 – Diagrammes de Bode en boucle ouverte avec réglage du correcteur PI effectué

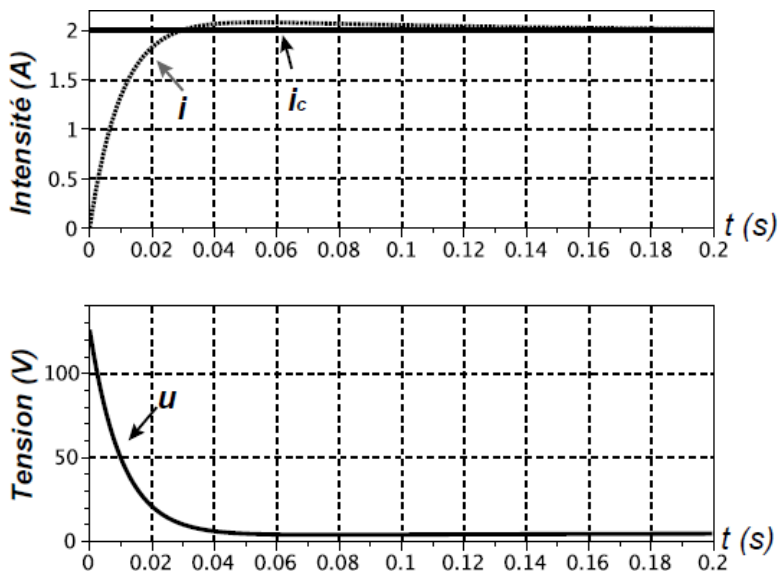


FIGURE 5 – Réponses temporelles avec réglage du correcteur PI effectué

**Question 8** Commenter le résultat obtenu vis-à-vis de l'exigence « 1.7.1.1.4 ». Expliquer pourquoi cet asservissement n'est pas directement implanté en l'état dans le système (on pourra s'intéresser à la réponse en tension du système).

Le correcteur reste inchangé. Afin de palier au problème identifié précédemment, on apporte une dernière évolution au sein du calculateur. Cela permet de respecter les exigences de l'asservissement. Figure 6 présente les réponses temporelles du système pour un échelon d'intensité  $i_c(t)$  de 2 A.

**Question 9** Préciser quelle ultime modification a apporté le constructeur afin de respecter les exigences de l'asservissement.

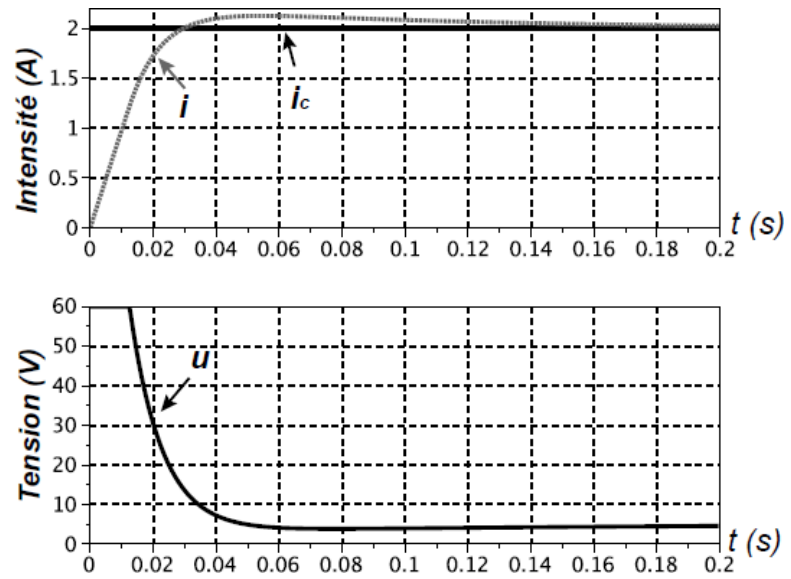


FIGURE 6 – Réponses temporelles du système finalement implanté

#### Éléments de correction

1.  $U(p) = E(p) + RI(p) + LpI(p)$ ,  
 $E(p) = K_e \Omega_m(p)$ ,  $C_m(p) = K_e I(p)$ ,  $J_{eq} p \Omega_m(p) = C_m(p) - f \Omega_m(p)$ .
2. .
3.  $K_m = \frac{f}{Rf + K_e^2}$ ,  $\tau_m = \frac{J}{f}$ ,  
 $\omega_{0m} = \sqrt{\frac{Rf + K_e^2}{LJ}}$ ,  $z_m = \frac{Lf + RJ}{2\sqrt{LJ}\sqrt{Rf + K_e^2}}$ .
4.  $K_{capt} = K_{IU}$ .
5.  $\varepsilon_s = \frac{1}{1 + K_m K_p K_{Capt}}$ .
6. .
7. .
8. Saturation.

