

## Colle

## Système mobile d'imagerie interventionnelle Discovery IGS 730 \*

Concours CCINP – MP 2018

## Savoirs et compétences :

- ❑ Res1.C4.SF1 : Proposer la démarche de réglage d'un correcteur proportionnel
- ❑ Con.C2 : Correction d'un système asservi
- ❑ Con.C2.SF1 : Choisir un type de correcteur adapté

\*

Présentation du système Développé dans le cadre d'un projet ambitieux associant des industriels (GE Healthcare, BA Systèmes et C&K), deux laboratoires de recherche (CEA-LIST et IRCCYN) et un centre de recherche préclinique (laboratoire CR2i INRA AP-HP), le Discovery IGS 730 (figure 1) est le premier système mobile d'imagerie interventionnelle. Embarquant un ensemble de logiciels de traitement d'images pour les applications vasculaires, l'oncologie et la cardiologie et permettant un accès complet au patient, il guide les gestes de l'équipe médicale tout au long de l'intervention chirurgicale.



FIGURE 1 – Système d'imagerie robotisé Discovery IGS 730 en situation de travail (photo de gauche) et en mode parking (photo de droite)

La base motorisée AGV (figure 2) est constituée :

- d'une structure support, ou châssis, composée du bras vertical et du cadre Y;
- de deux sous-ensembles roue motrice et motorisation associée (un motoréducteur d'orientation et un motoréducteur de propulsion pour chaque roue);
- de deux doubles roues « folles » non motorisées.

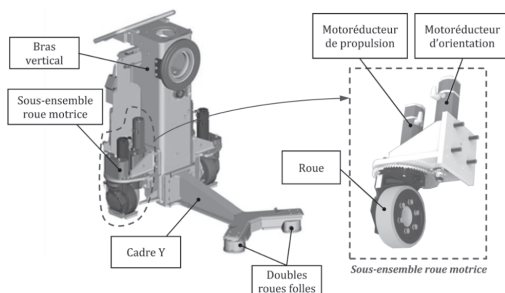


FIGURE 2 – Éléments du sous-système AGV, carter et sous-système d'imagerie enlevés

### Prévision des performances « l'asservissement en vitesse du mouvement de translation de l'AGV »

**Objectif** Vérifier que l'exigence d'asservissement en vitesse du mouvement de translation de la base motorisée AGV (Id. 1.1.3) et ses sous-exigences sont respectées.

Les déplacements de la base motorisée AGV sont contrôlés de la manière suivante : au niveau de chacun des 2 moteurs, des boucles de vitesse et de position assurent l'asservissement en vitesse et position du système. Nous ne nous intéresserons dans le sujet qu'à la boucle de vitesse. L'objectif de cette partie est de déterminer les paramètres de réglage de chacune des boucles d'asservissement en vitesse lors d'un mouvement de translation de l'AGV par rapport au sol.

#### Étude préliminaire : moteurs brushless de propulsion

**Hypothèses et modélisations :** Le comportement individuel d'un des deux moteurs brushless peut être approché par celui d'un moteur à courant continu avec les équations électromécaniques suivantes :  $u(t) = L \frac{di(t)}{dt} + Ri(t) + e(t)$ ,  $C_m(t) = K_c i(t)$ ,  $e(t) = K_e \omega_m(t)$ ,  $C_m(t) - C_r(t) = J_{eq} \frac{d\omega_m(t)}{dt}$ .

On a :  $R = 0,07 \Omega$ ,  $L = 0,15 \text{ mH}$ ,  $K_e = 0,113 \text{ V/(rad/s)}$ ,  $K_c = 0,113 \text{ Nm/A}$ ,  $J_{eq} = 5,3 \times 10^{-3} \text{ kgm}^2$ .

#### Fonction de transfert d'un moteur de propulsion

On note  $\Omega_m(p)$ ,  $U(p)$ ,  $E(p)$ ,  $I(p)$ ,  $C_m(p)$  et  $C_r(p)$  les transformées de Laplace respectives de  $\omega_m(t)$ ,  $u(t)$ ,  $e(t)$ ,  $i(t)$ ,  $C_m(t)$  et  $C_r(t)$ .

**Question 1** Déterminer les transformées de Laplace des équations du moteur définies en considérant des conditions initiales nulles. Compléter le schéma-blocs du document réponse par les transmittances manquantes.

**Question 2** Déterminer les expressions littérales des fonctions de transfert du moteur en poursuite  $H_1(p) = \left. \frac{\Omega_m(p)}{U(p)} \right|_{C_r(p)=0}$  (sans perturbation) et en régulation  $H_2(p) = \left. \frac{\Omega_m(p)}{U(p)} \right|_{U(p)=0}$ .

Le système est étudié en l'absence de perturbation,  $C_r(t) = 0$ .

**Question 3** Réaliser l'application numérique de la fonction de transfert du moteur  $\frac{\Omega_m(p)}{U(p)}$  et mettre le résultat sous la forme :  $\frac{K}{(1 + \tau_1 p)(1 + \tau_2 p)}$ .

### Étude de l'asservissement en vitesse de la base motorisée AGV

Pour une consigne de vitesse  $v_c(t)$  [m/s], les micro-contrôleurs de pilotage génèrent une tension de consigne de rotation à appliquer à chaque moteur  $u_c(t)$  [V]. Un traitement numérique de la vitesse relevée sur l'axe de chaque moteur fournit une tension mesurée  $u_m(t)$  [V], image de la vitesse de rotation du moteur  $\omega_m(t)$ . Un correcteur (défini par la suite) adapte le signal écart entre la tension de consigne et la tension mesurée, ce qui permet après correction et amplification, de définir la tension d'alimentation  $u(t)$  à appliquer aux moteurs.

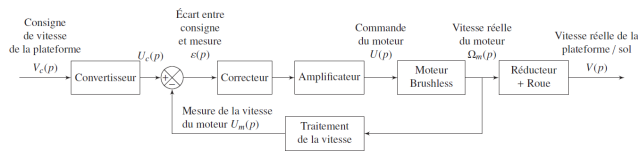


FIGURE 3 – Schéma-blocs fonctionnel de l'asservissement en vitesse d'un des deux moteurs

Blocs	Fonctions de transfert
Convertisseur	$K_{\text{conv}}$ (à déterminer)
Correcteur	$C(p)$ (réglé par la suite)
Amplificateur	$K_A = 7,9$ sans unité
Traitement numérique de la vitesse	$K_{\text{vit}} = 1,4 \times 10^{-3}$ V/(rad/s)
Réduction et roue	$K_R$ (à déterminer)

Indépendamment des résultats trouvés précédemment, la fonction de transfert du moteur brushless sera prise égale à :  $H_m(p) = \frac{K_m}{(1 + \tau_1 p)(1 + \tau_2 p)}$ , avec  $K_m = 8,85$ ,  $\tau_1 = 0,027$  s et  $\tau_2 = 0,0023$  s.

Le moteur est suivi d'un réducteur à deux étages : le premier avec un rapport de réduction  $k_1 = \frac{1}{4}$  et le second avec un rapport de réduction  $k_2 = \frac{1}{28,9}$ . Le rayon  $r$  des roues motrices est de 115 mm.

**Question 4** Déterminer les valeurs numériques et unités SI des gains  $K_A$  (ensemble réducteur et roue) et  $K_{\text{conv}}$  (convertisseur) en sachant que lorsque la vitesse réelle de l'AGV  $v(t)$  est égale à la vitesse de consigne  $v_c(t)$ , l'écart  $e(t)$  doit être nul.

**Question 5** Réaliser le schéma-blocs en y faisant figurer les fonctions de transfert sous forme littérale dans le domaine de Laplace avec des conditions initiales nulles, ainsi que les signes des sommateurs.

### Étude du système non corrigé : $C(p) = 1$

**Question 6** Déterminer, en fonction notamment de  $K_m$ ,  $K_A$ ,  $K_{\text{vit}}$ ,  $\tau_1$  et  $\tau_2$ , l'expression de la fonction de transfert de

la boucle de vitesse sous la forme canonique d'un système du second ordre  $H(p) = \frac{V(p)}{V_c(p)} = \frac{K}{1 + \frac{2\xi}{\omega_0}p + \frac{p^2}{\omega_0^2}}$ . Donner les expressions littérales et numériques de  $K$ ,  $\xi$  et  $\omega_0$ .

On considère que l'accélération maximum peut être approchée par  $a_{\text{max}} = \frac{V_{\text{max}}}{t_{5\%}}$ .

**Question 7** À l'aide de l'abaque du document réponse, déterminer le temps de réponse à 5% de la boucle de vitesse (faire apparaître les tracés sur le document réponse). Ce temps de réponse est-il satisfaisant vis-à-vis de l'exigence Id. 1.1.3.1.1 ? Sinon, comment satisfaire cette exigence ?

**Question 8** Déterminer l'erreur en régime permanent de la boucle de vitesse pour une entrée en échelon. Permet-elle de satisfaire l'exigence Id. 1.1.3.2.1 ? Sinon, comment satisfaire cette exigence ?

### Étude du système non corrigé : $C(p) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i p}\right)$

**Question 9** Déterminer, en fonction notamment de  $K_m$ ,  $K_A$ ,  $K_{\text{vit}}$ ,  $\tau_1$ ,  $\tau_2$ , l'expression de la fonction de transfert en boucle ouverte, sous la forme canonique suivante :  $H_{\text{BO}}(p) = \frac{K_{\text{BO}}(T_i p + 1)}{p(1 + \tau_1 p)(1 + \tau_2 p)}$ . Donner l'expression littérale de  $K_{\text{BO}}$ .

**Question 10** On choisit  $T_i$  de façon à compenser le "mode le plus lent". Donner la valeur de  $T_i$ .

L'exigence de stabilité Id. 1.1.3.3.1 impose une marge de phase de 45°. Indépendamment de la réponse à la question précédente, on prendra  $K_{\text{BO}} = 37 K_p$ .

**Question 11** Ce correcteur permet-il de répondre à l'exigence de précision ? Tracer les asymptotes et les courbes réelles avec  $K_p = 1$  dans le plan de Bode du document réponse. Déterminer le gain  $K_p$  du correcteur permettant de satisfaire l'exigence de stabilité en étant le plus rapide (on s'intéressera à la bande passante à 0 dB).

La figure du document réponse présente sur un même graphe les réponses à une consigne en échelon d'amplitude 0,3 m/s obtenues par simulation pour différentes valeurs de  $K_p$ .

**Question 12** Choisir le gain  $K_p$ , parmi les trois valeurs proposées, satisfaisant l'exigence de stabilité et de rapidité (notamment l'accélération qui ne doit pas dépasser 0,8 m/s²). Appuyez votre réponse par des tracés sur le document réponse.

### Synthèse

**Question 13** Les courbes du document réponse représentent la réponse réelle relevée sur la base motorisée AGV et le résultat obtenu par simulation numérique pour une entrée en échelon d'amplitude 0,3 m/s. Comparer quantitativement les résultats au cahier des charges et conclure sur les écarts.

