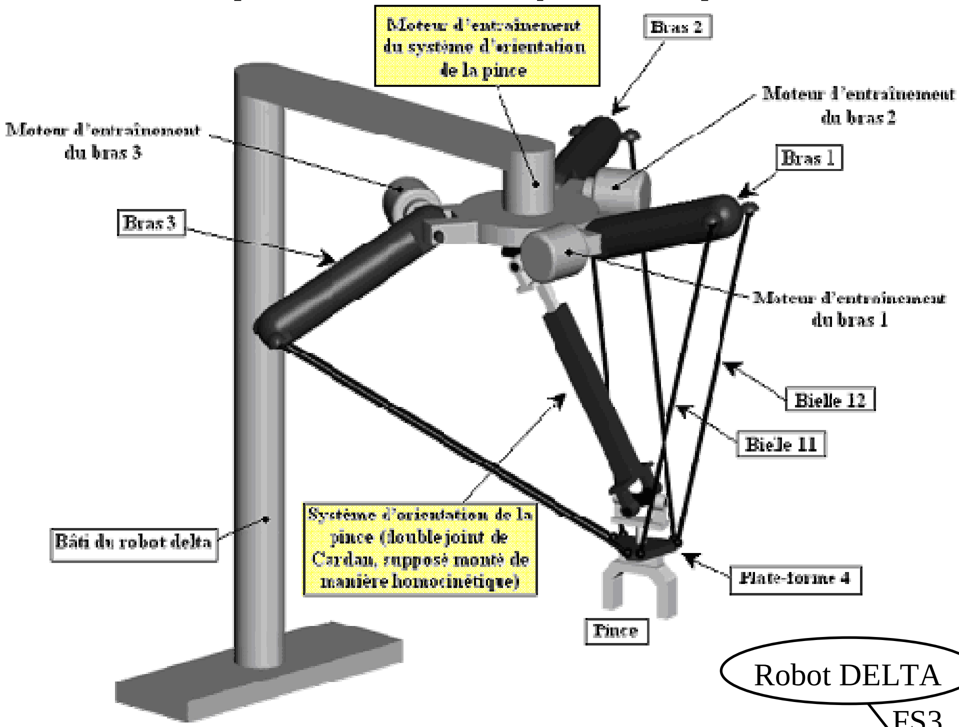
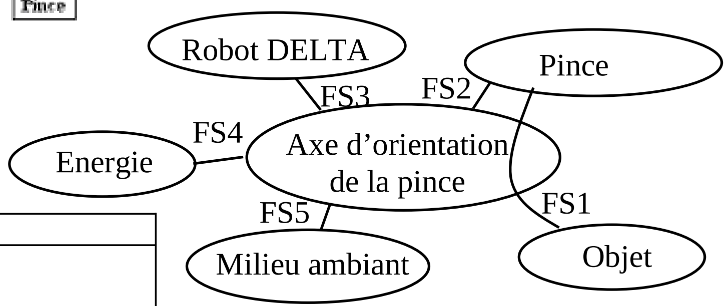
Etude de l’axe d’orientation d’une pince de robot DELTA équipant une cellule de conditionnement

(D’après X-ENS MP 2002)

On s’intéresse aux performances d’un axe d’orientation d’une pince de robot DELTA dont on donne ci dessous une description structurelle ainsi qu’un extrait partiel de cahier des charges fonctionnel.





Fonction	Critère	Niveau
FS1	Stabilité	Marge de phase $M_\varphi > 45°$ Marge de gain $M_G > 10$ dB
	Précision	Écart statique nul à une entrée en échelon
	Rapidité …	Bande Passante à 0 dB de la fonction $H_B(p)$: $BP_0 > 50$ rad s^{-1} …

FS1 : Orienter le pince vis-à-vis de l’objet à saisir
FS2 : S’adapter à la pince
FS3 : S’adapter au robot DELTA
FS4 : Etre alimenté en énergie
FS5 : Résister au milieu ambiant

Le servo-entraînement met en rotation un arbre télescopique muni à chacune de ses extrémités d’un joint de Cardan. Le mouvement d’orientation de la pince est indépendant des mouvements de la plate-forme 4. Afin d’assurer un bon positionnement angulaire de la pince P, la commande de sa rotation est asservie de la façon suivante :

- la consigne de position θ_{PC}, entrée par l’utilisateur grâce à une interface graphique (lors des réglages) ou imposée par la partie commande (lors des cycles de travail), est transformée en une tension v_{PC} grâce à un convertisseur qui sera assimilé à un système de gain pur K_C ;
- la vitesse de rotation ω_M et l’angle de rotation θ_M de l’arbre moteur sont mesurés par un codeur incrémental monté directement sur l’arbre moteur qui délivre une information numérique ; celle-ci est alors transformée par une carte de conversion numérique analogique (C.N.A.) supposée linéaire en deux tensions v_ω et v_θ telles que $v_\omega = K_\omega.\omega_M$ et $v_\theta = K_\theta.\theta_M$;
- la tension v_θ est soustraite à la tension v_{PC} pour donner la tension ε_P ;

- la tension ε_P est modifiée par un correcteur de fonction de transfert C(p) pour donner la tension e_{VP} ;
- la tension v_ω est soustraite à la tension e_{VP} en sortie du correcteur pour donner la tension ε_V ;
- la tension ε_V est amplifiée par un amplificateur de gain pur G pour donner la tension d'alimentation du moteur u_M
- le moteur tourne à la vitesse angulaire ω_M telle que $\Omega_M(p) = M(p).U_M(p)$
- la rotation θ_{EC} de la pièce d'entrée du double joint de Cardan est telle que $\theta_{EC} = \lambda.\theta_M$, grâce au réducteur de vitesse fixé sur l'arbre moteur
- le double joint de cardan est homocinétique et a pour fonction de transfert R(p) = 1 (l'entrée est l'angle θ_{EC}, et la sortie est $\theta_{SC} = \theta_P$ où θ_P est la rotation de la pince fixée sur la pièce de sortie du double joint de Cardan).

On donne : $\lambda = 0,2$; $K_\theta = 0,01$ V rad^{-1} ; $K_\omega = 6$V / 1000 tours.min^{-1}

Q.1. Réaliser le schéma-bloc de l'asservissement de l'axe d'orientation.

Q.2. Déterminer la relation entre K_C, K_θ et λ pour obtenir un fonctionnement précis en régime permanent, de façon à annuler l'écart ε_P quand la position angulaire en sortie θ_P et la position de consigne θ_{PC} sont égales.

Les équations qui modélisent le moteur sont les suivantes :

$u_M(t) = e(t) + R_I.i(t) + L_I.\dfrac{d\,i(t)}{dt}$ $\qquad e(t) = K_E.\omega_M(t)$ $\qquad J.\dfrac{d\,\omega_M(t)}{dt} = C_M(t)$ $\qquad C_M(t) = K_T.i(t)$

Avec : K_E : constante de force électromotrice, $K_E = 14,3$ V / 1000 tours min^{-1},
K_T : constante de couple, $K_T = 0,137$ N.m.A^{-1},
R_I : résistance de l'induit, $R_I = 1\ \Omega$
L_I : inductance de l'induit, $L_I = 1,65$ mH
J : inertie du rotor + de la charge entraînée rapportée à l'axe de rotation du moteur, $J = 12.10^{-5}$ kg.m^2.

Q.3. Déterminer la fonction de transfert du moteur M(p) telles que $\Omega_M(p) = M(p).U_M(p)$.

Q.4. Déterminer l'expression littérale et la valeur numérique du gain G de l'amplificateur pour que la boucle tachymétrique présente un temps de réponse à 5 % minimum pour une entrée en échelon. Quel est alors le temps de réponse à 5 % ?

Avec la valeur de G trouvée précédemment, on a calculé la fonction de transfert de boucle ouverte $H_B(p)$ pour l'asservissement en position : $H_B(p) = \dfrac{V_\theta(p)}{\varepsilon_P(p)} = C(p).\dfrac{88}{p(10^3 + 3,2.p + 5.3.10^{-3}.p^2)}$

Q.5. On considère pour l'instant que le système n'est pas corrigé : C(p) = 1.
Tracer les diagrammes asymptotiques de Bode en amplitude et phase de la fonction de transfert $H_B(p)$ du système non corrigé en plaçant avec précision les points caractéristiques.

Pour la fin, les courbes de gain et de phase seront assimilées à leur tracé asymptotique.

Q.6. Déterminer les valeurs de marge de phase M_φ, de marge de gain M_G et de bande passante à 0 dB BP_0 de la fonction de transfert HB(p). Conclure vis-à-vis du C.d.C.F..

Q.7. On utilise une correction proportionnelle $C(p) = C_0$. Déterminer la bande de valeurs de C_0 qui permet de vérifier les critères de performance de la FS1.