

TD3 : Bras artificiel à structure anthropomorphique

Une machine difficile à dompter

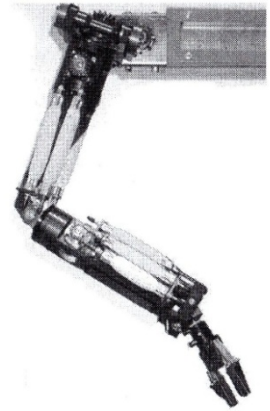
1- Présentation du système

Mise en situation

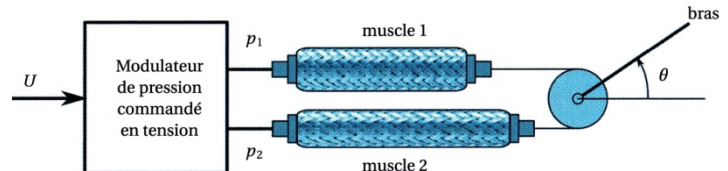
Cette étude concerne un manipulateur développé en laboratoire. Il se caractérise par une structure anthropomorphique à 7 degrés de liberté activés par des paires de muscles montés en opposition.

Un muscle est constitué d'une vessie en caoutchouc emprisonnée dans une tresse de fils. L'angle d'inclinaison de cette tresse permet de convertir le gonflement de la vessie, sous l'effet de la pression, en effort de traction.

La modulation de pression, réalisée à partir d'une tension de commande $u(t)$, permet alors de faire varier l'effort de traction. En associant deux muscles en opposition, on peut ainsi activer une articulation à l'aide d'un fil (tendon) relié aux deux extrémités des muscles et roulant sans glisser sur une poulie.

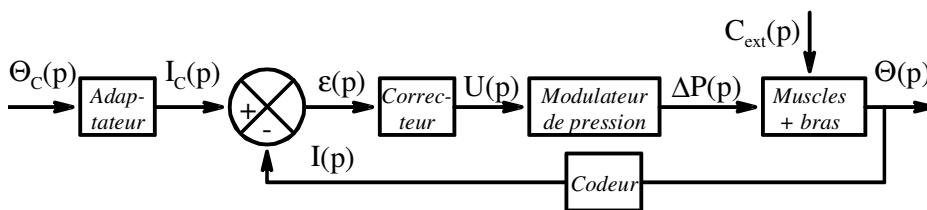


Muscles artificiels pneumatiques détendu et tendu.



Modélisation du système

On s'intéresse à l'articulation du coude de ce bras que l'on modélise par le schéma bloc ci-dessous.



Codeur et adaptateur transforment les positions angulaires réelle $\Theta(p)$ et de consigne $\Theta_c(p)$ par un gain pur :

$$K_1 = 10 \text{ inc}/^\circ = 573 \text{ inc.rad}^{-1}$$

Le bras tourne grâce à la différence de pression δp (pression dans le muscle 1 – pression dans le muscle 2). Une étude mécanique a permis d'établir les équations de fonctionnement suivantes :

$$\text{☞ } C_m(t) - C_{\text{ext}}(t) = I_e \ddot{\theta}(t) \quad \text{où : } I_e \text{ l'inertie de l'avant bras est de : } I_e = 0,5 \text{ kg.m}^2.$$

$$\text{☞ } C_m(t) = K_2 \cdot \delta p(t) - K_3 \cdot \theta(t) - K_4 \cdot \dot{\theta}(t) \quad K_2 = 4 \text{ N.m.b}^{-1}, K_3 = 5 \text{ N.m.rad}^{-1}, K_4 = 0,8 \text{ N.m.s.rad}^{-1}$$

$C_m(t)$ est le couple exercé par les muscles sur le bras

$C_{\text{ext}}(t)$ est le couple perturbateur extérieur agissant sur le bras

Une identification en réponse à un échelon de tension, a permis d'établir la fonction de transfert du modulateur de pression dont l'expression est :

$$H_m(p) = \frac{0,25}{1 + 0,06.p} \text{ en b.V}^{-1}$$

La tension de commande $u(t)$ est élaborée par un correcteur de fonction de transfert $C(p)$ à partir de l'écart $\epsilon(t) = \theta_c(t) - \theta(t)$ où $\theta_c(t)$ et $\theta(t)$ sont les angles de consigne et de position réelle du bras.

On a un asservissement avec un fonctionnement normal : $\epsilon(p) = 0$ pour $\Theta(p) = \Theta_c(p)$

Objectif du problème

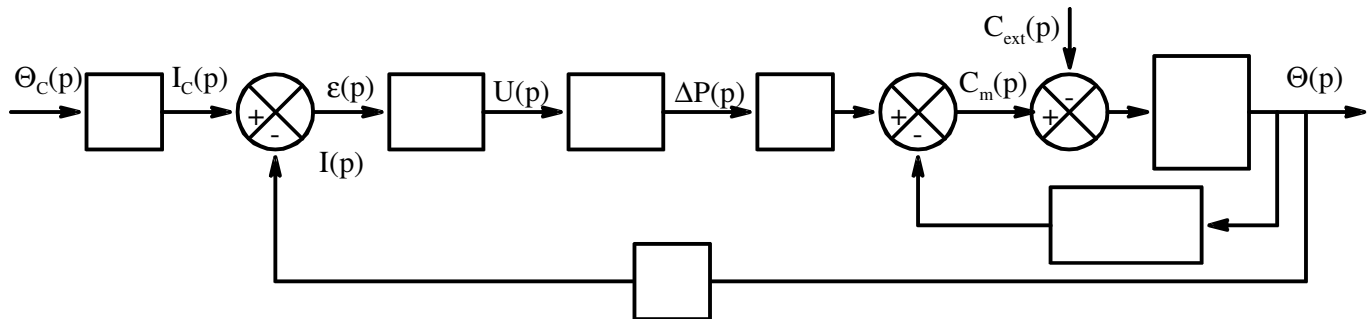
Choisir un type de correcteur, et le dimensionner pour répondre au cahier des charges suivant :

- ☞ L'erreur statique en réponse à un échelon de consigne (avec une perturbation) doit être nulle : $\epsilon_s = 0$
- ☞ L'erreur de trainage due à une consigne en rampe de pente $v_0 = 0,2 \text{ rad.s}^{-1}$ (avec une perturbation) doit rester inférieure à 2° : $\epsilon_T \leq 5^\circ = 8,7 \cdot 10^{-2} \text{ rad}$
- ☞ La marge de phase de cet asservissement en position doit être supérieure à 45° : $M_\phi \geq 45^\circ$
- ☞ La pulsation de coupure à 0 dB : $\omega_{0\text{dB}}$ doit être supérieure à 8 rad.s^{-1} : $\omega_{0\text{dB}} \geq 8 \text{ rad.s}^{-1}$

Travail demandé

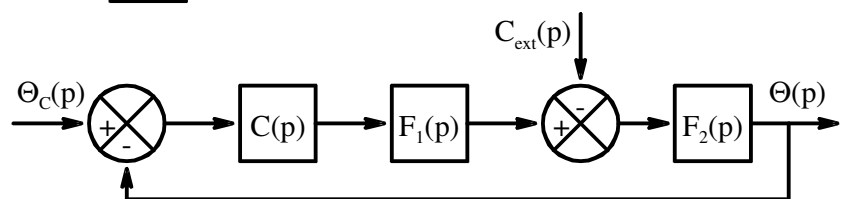
1- Modélisation simplifiée

1.1- En vous aidant de la modélisation donnée en page précédente, compléter le schéma bloc ci-dessous en donnant les fonctions de transfert en fonction de $C(p)$, $H_m(p)$, des constantes K_1 , K_2 , K_3 , K_4 , I_e et la variable de Laplace p .



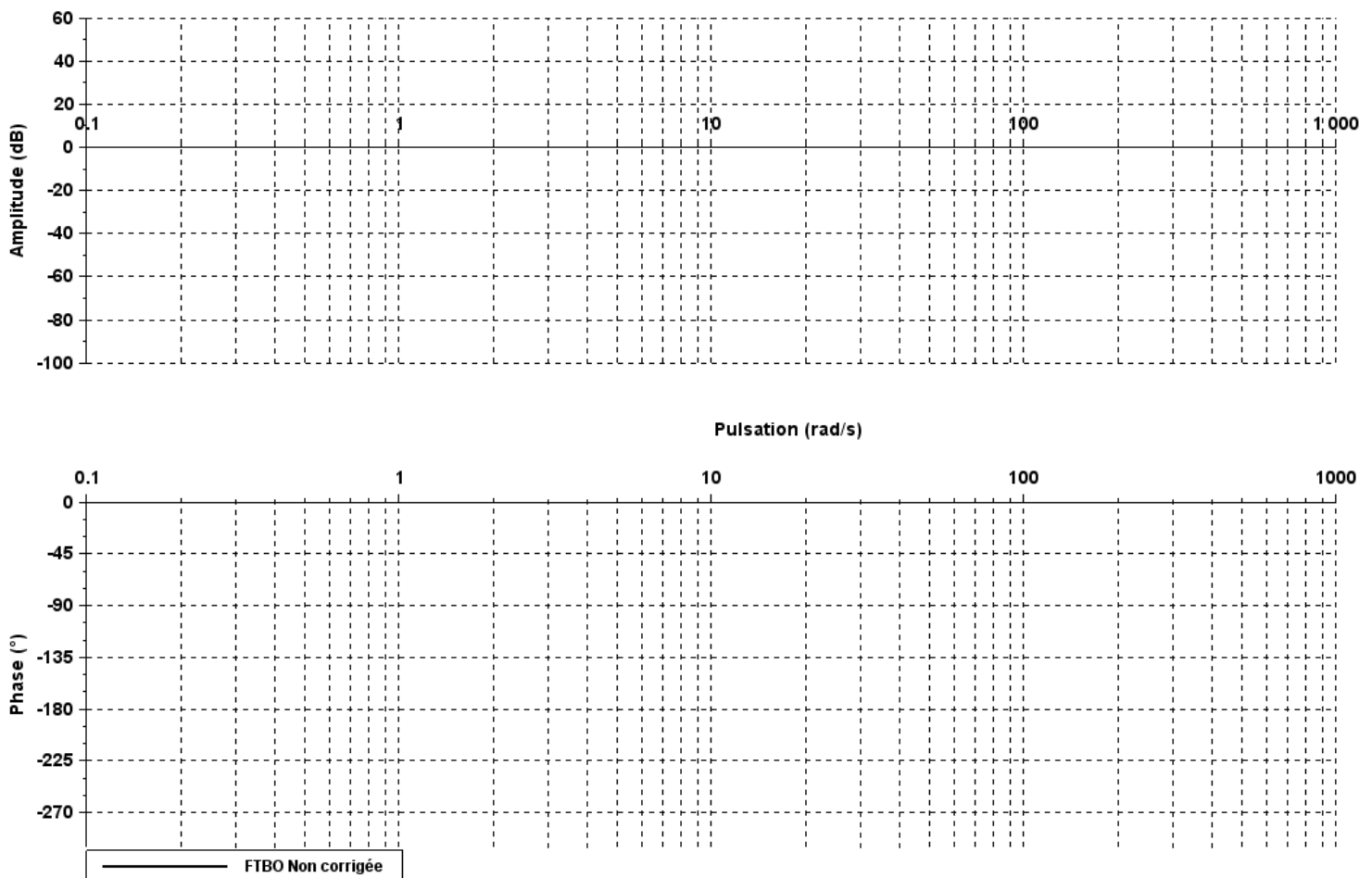
1.2- Le schéma bloc ci-dessous est équivalent au schéma bloc à retour unitaire ci-contre.

Déterminer les expressions numériques de $F_1(p)$ et $F_2(p)$



En déduire les éléments caractéristiques de ces fonctions de transfert : Gains statiques K_{F1} , K_{F2} , constante de temps τ , pulsation propre non amortie ω_0 et facteur d'amortissement ξ .

1.3- Tracer ci-dessous les diagrammes asymptotiques de Bode (puis l'allure des diagrammes) de la fonction de transfert en boucle ouverte (FTBO) non corrigée : Pour $C(p) = 1$.



1.4- Déterminer, à la pulsation de coupure $\omega_{0dB} = 8 \text{ rad.s}^{-1}$, la phase et le gain dynamique de la FTBO non corrigée (pour $C(p) = 1$).

2- Choix d'un correcteur

2.1- Parmi les correcteurs suivant, quels sont ceux qui ne peuvent pas permettre de respecter le cahier des charges ? (Justifier la réponse)

☞ Proportionnel ☞ Intégral ☞ Proportionnel Intégral ☞ A avance de Phase

2.2- Proposer une combinaison de deux correcteurs permettant de respecter le cahier des charges.

3- Dimensionnement du correcteur

Les correcteurs PI dont la phase à la pulsation de coupure à 0 dB de la FTBO est supérieure à -20° induisent après le dépassement de la valeur finale un retour vers la valeur finale très lent. Cela augmente considérablement le temps de réponse.

On évitera donc de choisir de tels correcteurs. Pour cela le(s) correcteur(s) PI choisi(s) auront une phase à la pulsation de coupure de la FTBO égale à -20° .

3.1- Dimensionner le correcteur choisi (Combinaison de deux correcteurs) afin que les critères de rapidité (pulsation de coupure à 0dB de la FTBO) et stabilité (Marge de phase) soient juste respectés.

3.2- Le correcteur choisi permet-il de respecter les critères de précision ? Sinon quel devrait être la condition sur le gain du correcteur pour que ces critères soient respectés ?

3.3- Le gain trop faible du correcteur vient du fait que le correcteur à avance de phase a un facteur (« a » ou « c ») trop important ($10 \cdot \log a$ est trop important). Proposer une combinaison de trois correcteurs permettant de respecter le cahier des charges.

3.4- Dimensionner le correcteur choisi (Combinaison de trois correcteurs) afin que les critères de rapidité (pulsation de coupure à 0dB de la FTBO) et stabilité (Marge de phase) soient juste respectés. On choisira une combinaison de trois correcteurs dont 2 sont identiques.

3.5- Le correcteur ainsi dimensionné répond-il à tous les critères du cahier des charges? Justifiez votre réponse pour chaque critère du cahier des charges.