

TD 0

Exosquelette lombaire – Corrigé

Concours Centrale-Supélec 2023 – MP.

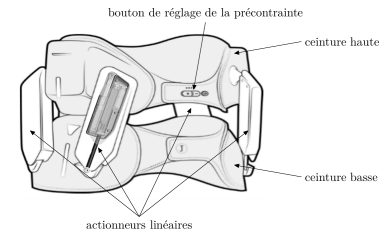


FIGURE 1 – Exosquelette lombaire Japet

Mise en situation

Réglage de la boucle d'asservissement de la vitesse angulaire du moteur

Question 1 Déterminer l'expression littérale de la phase de $H_{BOV}(i\omega)$. En déduire la valeur numérique de τ_i respectant les critères concepteur de la boucle de vitesse.

Correction

$$\text{On a } H_{BOV}(i\omega) = C_v(p)K_1 \frac{1}{R} K_3 \frac{1}{I_{eq}p} = \frac{K_i K_1 K_3}{R I_{eq}} \frac{1+\tau_i p}{\tau_i p^2}.$$

$$\text{On a } \varphi(\omega) = \arg\left(\frac{K_i K_1 K_3}{R I_{eq}}\right) + \arg(1 + \tau_i p) - \arg(\tau_i p^2) = \arctan \tau_i \omega - 180^\circ.$$

On souhaite une marge de phase supérieure à 80° ; donc $M_\varphi = \varphi(\omega) + 180 = \arctan \tau_i \omega \geq 80^\circ$.

$$\arctan \tau_i \omega \geq 80^\circ \Rightarrow \tau_i \omega \geq \tan 80^\circ \Rightarrow \tau_i \geq \frac{\tan 80^\circ}{\omega_{0dB}} \Rightarrow \tau_i \geq 0,57 \text{ s}.$$

Question 2 Déterminer la valeur numérique de K_i afin que la boucle d'asservissement de vitesse respecte les critères concepteur du tableau ??.

Correction

Pour $\omega_{0dB} = 10 \text{ rad s}^{-1}$ on mesure un gain de 80 dB . Il faut donc déterminer K_i tel que $20 \log K_i = -80$ soit $K_i = 1 \times 10^{-4} \text{ V s rad}^{-1}$.

Les critères de marge et de pulsation de coupure sont respectés (on a tout fait pour). L'erreur statique est nulle car il y a un intégrateur dans le correcteur (elle sera nulle à condition que la perturbation soit constante).

Simplification du modèle de connaissance

Question 3 Déterminer les fonctions de transfert $H_8(p)$ et $H_9(p)$ en fonction de K_5 , I_{eq} et $H_6(p)$. Ne pas remplacer K_5 et $H_6(p)$ par les expressions trouvées précédemment.

Correction

En décalant le point de prélèvement du capteur de vitesse d'un bloc vers la droite, on se retrouve avec $\frac{1}{H_6(p)}$ dans la boucle de retour.

On sort le bloc $\frac{1}{I_{eq}p}$ de la « petite » boucle et $\frac{1}{I_{eq}p}$ se retrouve aussi dans la pboucle de retour.

En identifiant, on a alors $H_9(p) = \frac{1}{H_6(p)}$ et en utilisant la formule de Black, on a $H_8(p) =$

$$\frac{H_6(p)}{1 + \frac{H_6(p)K_5}{I_{eq}p}} = \frac{H_6(p)I_{eq}p}{I_{eq}p + H_6(p)K_5}.$$

Question 4 Déterminer l'expression du gain K_{10} en fonction de K_{capt} et de K_{res} .

Il y a vraisemblablement une erreur dans le sujet de base : sur la figure ??, $\varepsilon_f(p)$ devrait être en amont du bloc $C(p)$.

Correction

En décalant le point de prélèvement de droite vers la droite, on a alors K_{res} dans la boucle de retour. Pour que le système soit correctement asservi, il faut donc nécessairement que $K_{\text{adapt}} = K_{\text{capt}} K_{\text{res}}$.
On se ramène ensuite à un retour unitaire. On alors $K_{10} = K_{\text{capt}} K_{\text{res}}$.

Question 5 Déterminer la fonction de transfert $G(p)$ en fonction de $H_2(p)$, I_{eq} , $H_8(p)$, $H_9(p)$ et K_{res} . Ne pas remplacer $H_2(p)$, $H_8(p)$ et $H_9(p)$ par les expressions trouvées précédemment.

Correction

$$G(p) = \frac{H_2(p) \frac{1}{I_{\text{eq}} p} H_8(p)}{1 + H_2(p) H_8(p) H_9(p) \frac{1}{I_{\text{eq}} p}} K_{\text{res}} = \frac{H_2(p) H_8(p)}{I_{\text{eq}} p + H_2(p) H_8(p) H_9(p)} K_{\text{res}}$$

Pour la suite, on donne la fonction de transfert $G(p)$, obtenue avec les valeurs de réglage correctes déterminées aux questions 1 et 2,

$$G(p) = \frac{F(p)}{\Omega_c(p)} = \frac{1 + \tau_i p}{p} \frac{1,2 \times 10^{-5}}{2 \times 10^{-4} + 9,7 \times 10^{-5} p + 5,3 \times 10^{-6} p^2}.$$

Analyse des performances de l'asservissement en force développée par un actionneur linéaire

Question 6 Déterminer la valeur numérique limite de K_{cor} afin que la boucle d'asservissement de force respecte les critères de marge de phase et de gain du tableau ??.

Correction

La marge de gain sera toujours infinie car la phase tend asymptotiquement vers -180° .
Pour régler la marge de phase à 60° , il faut relever le gain de 75 dB. On a donc $K_{\text{cor}} = 10^{75/20} \approx 5623$.

Question 7 Quel critère du tableau des exigences (tableau ??) n'est pas pris en compte dans le modèle de connaissance? D'après la courbe expérimentale, ce critère est-il respecté par le système réel?

Correction

La réponse temporelle du modèle ne permet pas de savoir si l'exigence 1.1 sur le dépassement est respectée.
Ce critère semble respecté sur le système réel vu qu'aucun dépassement n'est observé en régime permanent.

TD 1

Gyrolock ★ – Corrigé

Centrale Supélec PSI 2022.
Corrigé proposé par l'UPSTI.

Comportement dynamique du stabilisateur

C1-05

C2-09

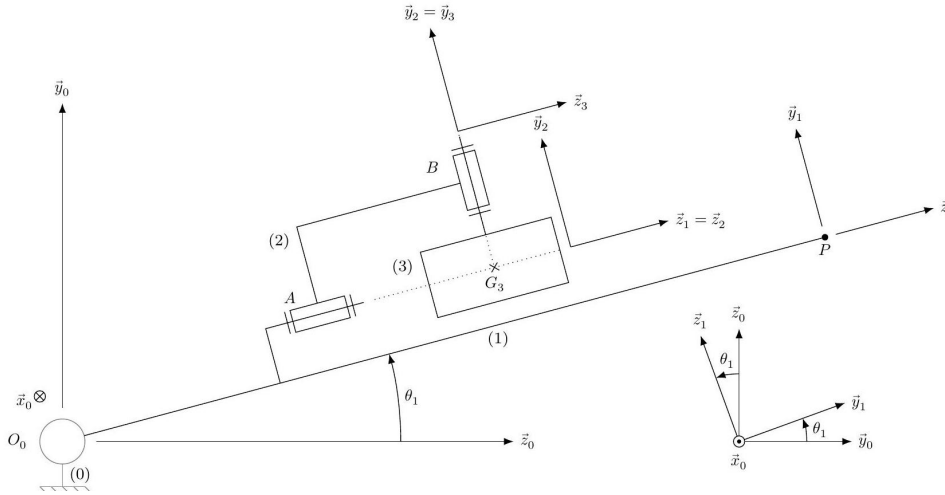


FIGURE 2 – Modèle cinématique du système GyroLock (représenté pour $\theta_2 = \theta_3 = 0$)

Dans la modélisation retenue (figure 2), une liaison pivot non parfaite permet de représenter la flexibilité de l'attache reconfigurable. La table d'opération (0) est supposée fixe et le référentiel $\mathcal{R}_0 (O_0, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ lié à la table (0) est galiléen. Au stabilisateur (1) est associé le repère $\mathcal{R}_1 (O_0, \vec{x}_0 = \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$ avec $\theta_1 = (\vec{y}_0, \vec{y}_1) = (\vec{z}_0, \vec{z}_1)$. Le point P tel que $O_0P = L$ représente le bout du stabilisateur (1) en contact avec la zone à opérer.

Paramétrage, notations et hypothèses

- La liaison pivot d'axe (O_0, \vec{x}_0) entre les solides (0) et (1) possède une raideur k et un coefficient de frottement visqueux f , d'où $\vec{M}(O_0, 0 \rightarrow 1) \cdot \vec{x}_0 = -(k\theta_1 + f\dot{\theta}_1)$;
- les autres liaisons sont supposées parfaites;
- l'action du cœur sur le stabilisateur (1) est modélisée par $\{\mathcal{T}_{c \rightarrow 1}\} = \left\{ \begin{matrix} f_c \vec{y}_1 \\ 0 \end{matrix} \right\}_P$;
- seul le déplacement vertical du point P est pris en compte. On note $y(t) = -\vec{O_0P} \cdot \vec{y}_0$;
- le stabilisateur (1) est de masse m_1 et possède un centre d'inertie G_1 tel que $\vec{O_0G_1} = L_{G_1} \vec{z}_1$ et l'opérateur d'inertie est $\mathcal{J}(G_1, 1) = \begin{bmatrix} A_1 & 0 & 0 \\ 0 & A_1 & 0 \\ 0 & 0 & C_1 \end{bmatrix}_{\mathcal{R}_1}$;
- la masse et l'inertie de l'étrier (2) sont négligeables;
- la toupie (3) est de masse m_3 et possède un centre d'inertie G_3 tel que $\vec{O_0G_3} = L_{G_3} \vec{z}_1 + H_{G_3} \vec{y}_1$;
- les figures de changement de base sont données figures 6 et 9;
- les actions mécaniques dues à la pesanteur sont négligées devant les effets dynamiques.

Question 1 Sans détailler les calculs, donner la méthode permettant de déterminer la loi de mouvement du stabilisateur (équation différentielle en $\theta_1(t)$). L'ensemble isolé,

l'inventaire des actions mécaniques extérieures, le théorème utilisé et sa projection scalaire sont à préciser clairement.

Question 2 Exprimer $\vec{\delta}(O_0, 1/0) \cdot \vec{x}_0$, la projection sur \vec{x}_0 du moment dynamique au point O_0 du solide (1) en mouvement dans le référentiel \mathcal{R}_0 .

Correction

Par formule de Varignon :

$$\vec{\delta}(O_0, 1/0) \cdot \vec{x}_0 = \vec{\delta}(G_1, 1/0) \cdot \vec{x}_0 + \left(\overrightarrow{O_0 G_1} \wedge m_1 \vec{\Gamma}(G_1, 1/0) \right) \cdot \vec{x}_0$$

$$\text{avec } \vec{\Gamma}(G_1, 1/0) = \left. \frac{d^2 \overrightarrow{O_0 G_1}}{dt^2} \right|_0 = -L_{G_1} \ddot{\theta}_1 \vec{y}_1 - L_{G_1} \dot{\theta}_1^2 \vec{z}_1 \text{ donc } \left(\overrightarrow{O_0 G_1} \wedge m_1 \vec{\Gamma}(G_1, 1/0) \right) \cdot \vec{x}_0 = m_1 L_{G_1}^2 \ddot{\theta}_1.$$

$$\text{De plus au centre d'inertie } G_1 : \vec{\delta}(G_1, 1/0) \cdot \vec{x}_0 = \left. \frac{d \vec{\sigma}(G_1, 1/0) \cdot \vec{x}_0}{dt} \right|_0 \text{ avec}$$

$$\vec{\sigma}(G_1, 1/0) \cdot \vec{x}_0 = \mathcal{J}(G_1, 1) \vec{\Omega}(1/0) \cdot \vec{x}_0.$$

$$\text{Donc } \vec{\sigma}(G_1, 1/0) \cdot \vec{x}_0 = A_1 \dot{\theta}_1 \text{ et } \vec{\delta}(G_1, 1/0) \cdot \vec{x}_0 = A_1 \ddot{\theta}_1.$$

$$\text{Finalement } \boxed{\vec{\delta}(O_0, 1/0) \cdot \vec{x}_0 = (A_1 + m_1 L_{G_1}^2) \ddot{\theta}_1}.$$

Question 3 Exprimer littéralement la vitesse $\vec{V}(G_3, 3/0)$ dans la base \mathcal{B}_1 , puis l'accélération $\vec{\Gamma}(G_3, 3/0)$ dans la base \mathcal{B}_1 .

Correction

Le point G_3 étant **physiquement rattaché à (3)** on peut écrire

$$\boxed{\vec{V}(G_3, 3/0) = \left. \frac{d \overrightarrow{O_0 G_3}}{dt} \right|_0 = -L_{G_3} \dot{\theta}_1 \vec{y}_1 + H_{G_3} \dot{\theta}_1 \vec{z}_1}.$$

$$\text{Ensuite } \boxed{\vec{\Gamma}(G_3, 3/0) = \left. \frac{d \vec{V}(G_3, 3/0)}{dt} \right|_0 = -\left(L_{G_3} \ddot{\theta}_1 + H_{G_3} \dot{\theta}_1^2 \right) \vec{y}_1 + \left(H_{G_3} \ddot{\theta}_1 - L_{G_3} \dot{\theta}_1^2 \right) \vec{z}_1}.$$

1: $\ddot{\theta}_2 \approx 0$, $\theta_2 \approx 0$ et $\dot{\theta}_3 = \omega_3$ constante.

Question 4 En conservant les conditions de fonctionnement ci-contre ¹, il est possible de montrer que $\vec{\delta}(G_3, 3/0) \cdot \vec{x}_0 = A_3 \ddot{\theta}_1 - c_x(t)$ avec $c_x(t) = B_3 \omega_3 \dot{\theta}_2$ (résultat admis sans démonstration). En déduire $\vec{\delta}(O_0, 3/0) \cdot \vec{x}_0$, en fonction de A_3 , $c_x(t)$, m_3 , L_{G_3} , H_{G_3} et $\ddot{\theta}_1(t)$.

Correction

Par formule de Varignon :

$$\begin{aligned} \vec{\delta}(O_0, 3/0) \cdot \vec{x}_0 &= \vec{\delta}(G_3, 3/0) \cdot \vec{x}_0 + \left(\overrightarrow{O_0 G_3} \wedge m_3 \vec{\Gamma}(G_3, 3/0) \right) \cdot \vec{x}_0 \\ &= A_3 \ddot{\theta}_1 - c_x(t) + m_3 L_{G_3} \left(L_{G_3} \ddot{\theta}_1 + H_{G_3} \dot{\theta}_1^2 \right) + m_3 H_{G_3} \left(H_{G_3} \ddot{\theta}_1 - L_{G_3} \dot{\theta}_1^2 \right) \\ &= \left(A_3 + m_3 L_{G_3}^2 + m_3 H_{G_3}^2 \right) \ddot{\theta}_1 - c_x(t) \end{aligned}$$

Question 5 Exprimer J_x en fonction de A_1 , A_3 , m_1 , m_3 , L_{G_1} , L_{G_3} et H_{G_3} permettant

d'écrire la loi de mouvement du stabilisateur (1) sous la forme suivante :

$$J_x \ddot{\theta}_1(t) + f \dot{\theta}_1(t) + k \theta_1(t) = c_x(t) - L f_c(t)$$

Correction

En appliquant la stratégie vue en question 14 on a l'équation (effets dynamiques de (2) négligés et actions de la pesanteur négligées) :

$$\vec{\delta}(O_0, 1/0) \cdot \vec{x}_0 + \vec{\delta}(O_0, 3/0) \cdot \vec{x}_0 = -(k\theta_1 + f\dot{\theta}_1) + (\overrightarrow{O_0P} \wedge f_c \vec{y}_1) \cdot \vec{x}_0$$

Tout calcul fait avec $\overrightarrow{O_0P} = L \vec{z}_1$:

$$\left(A_1 + A_3 + m_1 L_{G_1}^2 + m_3 L_{G_3}^2 + m_3 H_{G_3}^2 \right) \ddot{\theta}_1 + f \dot{\theta}_1 + k \theta_1 = c_x(t) - L f_c(t)$$

On identifie $J_x = A_1 + A_3 + m_1 L_{G_1}^2 + m_3 L_{G_3}^2 + m_3 H_{G_3}^2$.

En supposant que θ_1 reste proche de 0, la relation $y(t) = L\theta_1(t)$ sera utilisée.

Les transformées de Laplace de $y(t)$, $c_x(t)$ et $f_c(t)$ sont notées $Y(p)$, $C_x(p)$ et $F_c(p)$.

Question 6 En déduire les expressions littérales des fonctions de transfert $H_{\text{pert}}(p)$ et $H_1(p)$ du schéma-blocs figure 3 en fonction de L , J_x , f et k .

Correction

Le schéma-bloc donne $\frac{Y(p)}{H_1(p)} = C_x(p) - H_{\text{pert}}(p)F_c(p)$. L'équation différentielle précédente rapportée dans le domaine de Laplace (**conditions initiales nulles**) s'écrit (avec $Y(p) = L\theta_1(p)$) :

$$\left(J_x p^2 + f p + k \right) \frac{Y(p)}{L} = C_x(p) - L F_c(p)$$

On identifie $H_1(p) = \frac{L}{J_x p^2 + f p + k}$ et $H_{\text{pert}}(p) = L$.

On rappelle que $L = 0,3$ m et les valeurs retenues pour J_x , f et k sont :

- ▶ $J_x = 1,14 \times 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$;
- ▶ $-f = 64 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{rad}^{-1}$;
- ▶ $-k = 95 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{rad}^{-1}$.

Question 7 Écrire $H_1(p)$ sous forme canonique, puis calculer les valeurs de ses paramètres caractéristiques : gain statique K_1 , amortissement ξ_1 et pulsation propre ω_1 . Commenter le comportement associé (fréquentiel ou temporel).

Correction

On a $H_1(p) = \frac{L}{1 + \frac{f}{k}p + \frac{J_x}{k}p^2}$, on identifie alors :

- le gain statique $K_1 = \frac{L}{k} = \frac{0,3}{95} = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ rad/N}$;
- la pulsation propre $\omega_1 = \sqrt{\frac{k}{J_x}} = \sqrt{\frac{95}{1,14 \cdot 10^{-2}}} = 91,3 \text{ rad/s}$;

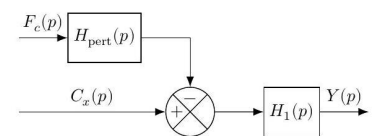


FIGURE 3 – Schéma bloc du stabilisateur (1)

- l'amortissement $\xi_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{f}{\sqrt{kJ_x}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{64 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{95 \times 1,14 \cdot 10^{-2}}} = 0,03$.

On choisit de décrire le comportement dans le domaine fréquentiel. On a un système d'ordre 2 avec résonance (car $\xi_1 < \frac{\sqrt{2}}{2}$) à la pulsation $\omega_r = \omega_1 \sqrt{1 - 2\xi_1^2}$. Le diagramme de Bode associé est le suivant :

Robot de dépose de fibres optiques ★ –

Corrigé

Concours Mines Ponts – PSI 2004.

C1-05

C2-08

Présentation

Objectif

En fin des mouvements des bras, on doit avoir $\delta = 14^\circ$ et $\dot{\delta} \leq 50^\circ \cdot s^{-1}$.



Hypothèses

Repères et paramétrage

Cahier des charges

Modélisation dynamique

Question 1 Donner l'expression de l'énergie cinétique galiléenne de l'ensemble $\Sigma = \{1 + 2 + 3 + 4\}$, puis la calculer.

Correction

Pour calculer l'énergie cinétique de l'ensemble seule la masse de la tige 1 est prise en compte.

$$2 E_c(\Sigma/R_0) = \{\mathcal{V}(\Sigma/R_0)\} \otimes \{\mathcal{V}(\Sigma/R_0)\} = \left\{ \begin{array}{c} \vec{\Omega}(1/0) \\ \vec{V}(G_1, 1/0) \end{array} \right\}_{G_1} \otimes \left\{ \begin{array}{c} m_1 \vec{V}(G_1, 1/0) \\ \vec{\sigma}(G_1, 1/0) \end{array} \right\}_{G_1}$$

$$= m_1 \left(\vec{V}(G_1, 1/0) \right)^2 + \vec{\sigma}(G_1, 1/0) \cdot \vec{\Omega}(1/0).$$

- Vecteur de taux de rotation de 1 par rapport à 0 : $\vec{\Omega}(1/0) = \dot{\delta} \vec{z}_0$.
- Vitesse du point G_1 appartenant à 1 par rapport à 0 : $\vec{V}(G_1, 1/0) = \vec{V}(I, 1/0) + \vec{G_1 I_1} \wedge \vec{\Omega}(1/0) = -\left(R \vec{y}_0 + \frac{L_1}{2} \vec{x}_1\right) \wedge \dot{\delta} \vec{z}_0 = -R \dot{\delta} \vec{x}_0 + \frac{L_1}{2} \dot{\delta} \vec{y}_1$.
- Caractéristiques d'inertie de la tige 1 : la tige 1 supposée unidimensionnelle présente naturellement des symétries matérielles suivant des plans contenant \vec{x}_1 . Les produits d'inertie sont donc nuls. Le moment d'inertie en G_1 suivant \vec{z}_0 est $C_1 = \frac{m_1 L_1^2}{12}$.
- Moment cinétique en G_1 de 1 par rapport à 0 : $\vec{\sigma}(G_1, 1/0) = \vec{I}_{G_1}(1) \cdot \vec{\Omega}(1/0) = \frac{m_1 L_1^2}{12} \dot{\delta} \vec{z}_0$.
- On en déduit $E_c(1/0)$: $E_c(\Sigma/0) = E_c(1/0) = \frac{1}{2} m_1 \dot{\delta}^2 \left(R^2 + \frac{L_1^2}{4} + R L_1 \sin \delta \right) + \frac{m_1 L_1^2}{12} \dot{\delta}^2$
 $= \frac{1}{2} m_1 \dot{\delta}^2 \left(R^2 + \frac{L_1^2}{3} + R L_1 \sin \delta \right).$

Question 2 Donner la puissance galiléenne des actions mécaniques extérieures agissant sur Σ .

Correction

$$\mathcal{P}(\text{ext} \rightarrow \Sigma/0) = \mathcal{P}(\text{pesanteur} \rightarrow \Sigma/0) + \mathcal{P}(\text{contact en E} \rightarrow \Sigma/0) + \mathcal{P}(\text{contact en I} \rightarrow \Sigma/0)$$

- Actions de la pesanteur :

$$\begin{aligned} \mathcal{P}(\text{pes} \rightarrow \Sigma/0) &= \mathcal{P}(\text{pes} \rightarrow 1/0) = \{\mathcal{T}(\text{pes} \rightarrow 1)\} \otimes \{\mathcal{V}(1/0)\} = \left\{ \begin{pmatrix} -m_1 g \vec{y}_0 \\ 0 \end{pmatrix} \right\}_{G_1} \otimes \\ &\left\{ \begin{pmatrix} \vec{\Omega}(1/0) \\ \vec{V}(G_1, 1/0) \end{pmatrix} \right\}_{G_1} \\ &= -m_1 g \vec{y}_0 \cdot \vec{V}(G_1, 1/0) = -m_1 g \frac{L_1}{2} \dot{\delta} \cos \delta. \\ \text{► Actions du contact en I entre 0 et 4 (le contact se fait par roulement sans glissement):} \\ \mathcal{P}(\text{contact en I} \rightarrow \Sigma/0) &= \{\mathcal{T}(0 \rightarrow 4)\} \otimes \{\mathcal{V}(4/0)\} = \left\{ \begin{pmatrix} \vec{R}_{04} \\ 0 \end{pmatrix} \right\}_I \otimes \left\{ \begin{pmatrix} \vec{\Omega}(4/0) \\ 0 \end{pmatrix} \right\}_I = 0. \\ \text{► Actions du contact en E entre 0 et 2 (le contact se fait sans frottement):} \\ \mathcal{P}(\text{contact en E} \rightarrow \Sigma/0) &= \{\mathcal{T}(0 \rightarrow 2)\} \otimes \{\mathcal{V}(4/0)\} = \left\{ \begin{pmatrix} R_{02} \vec{y}_0 \\ 0 \end{pmatrix} \right\}_E \otimes \\ &\left\{ \begin{pmatrix} \vec{\Omega}(2/0) \\ \vec{V}(E, 2/0) \end{pmatrix} \right\}_E = R_{02} \vec{y}_0 \cdot \vec{V}(E, 2/0) = 0. \end{aligned}$$

Question 3 Donner la puissance intérieure à Σ .

Correction

- Les liaisons sont supposées comme parfaites donc : $\mathcal{P}\left(1 \overset{\text{Pivot}}{\leftrightarrow} 2\right) = \mathcal{P}\left(1 \overset{\text{Pivot Gl.}}{\leftrightarrow} 3\right) = \mathcal{P}\left(3 \overset{\text{Pivot}}{\leftrightarrow} 2\right) = 0$.
- Action du vérin entre 1 et 3 :
- $$\mathcal{P}\left(1 \overset{\text{Vérin}}{\leftrightarrow} 3\right) = \{\mathcal{T}(1 \rightarrow 3)\} \otimes \{\mathcal{V}(3/1)\} = \left\{ \begin{pmatrix} \vec{F} \\ 0 \end{pmatrix} \right\}_N \otimes \left\{ \begin{pmatrix} \vec{0} \\ \vec{V}(N, 3/1) \end{pmatrix} \right\}_N = F \vec{V}(N, 3/1) \cdot \vec{x}_1.$$
- En considérant que \overrightarrow{MN} est porté par \vec{x}_1 (hypothèse faite dans l'énoncé), on obtient :
- $$\begin{aligned} \vec{V}(N, 3/1) \cdot \vec{x}_1 &= \vec{V}(M, 3/1) \cdot \vec{x}_1 = \left(\vec{V}(M, 3/2) + \vec{V}(M, 2/1) \right) \cdot \vec{x}_1 = \\ &= \left(\vec{0} + \vec{V}(B, 2/1) + \overrightarrow{MB} \wedge \vec{\Omega}(2/1) \right) \cdot \vec{x}_1 = \left(-b \vec{x}_2 \wedge (\dot{\beta} - \dot{\delta}) \vec{z}_0 \right) \cdot \vec{x}_1 = b (\dot{\beta} - \dot{\delta}) \cdot \vec{y}_2 \cdot \vec{x}_1 = \\ &= -b (\dot{\beta} - \dot{\delta}) \sin(\beta - \delta). \end{aligned}$$
- On en déduit : $\mathcal{P}\left(1 \overset{\text{Vérin}}{\leftrightarrow} 3\right) = -F b (\dot{\beta} - \dot{\delta}) \sin(\beta - \delta)$.

Question 4 Appliquer le théorème de l'énergie cinétique à Σ pour déterminer l'équation de mouvement donnant une relation entre F , δ , et β .

Correction

On applique alors le théorème de l'énergie cinétique à Σ par rapport au référentiel galiléen R_0 :

$$\frac{d}{dt}(E_c(\Sigma/R_0)) = \mathcal{P}(\text{ext} \rightarrow \Sigma/0) + \mathcal{P}_{\text{int}}(\Sigma).$$

$$\text{Or, } \frac{d}{dt}(E_c(\Sigma/R_0)) = \frac{d}{dt} \left[\frac{1}{2} m_1 \dot{\delta}^2 \left(R^2 + \frac{L_1^2}{3} + R L_1 \sin \delta \right) \right] = m_1 \dot{\delta} \left[\dot{\delta} \left(R^2 + \frac{L_1^2}{3} + R L_1 \sin \delta \right) + \frac{1}{2} \dot{\delta}^2 R L_1 \cos \delta \right].$$

Ainsi on obtient, l'équation :

$$m_1 \dot{\delta} \left[\dot{\delta} \left(R^2 + \frac{L_1^2}{3} + R L_1 \sin \delta \right) + \frac{1}{2} \dot{\delta}^2 R L_1 \cos \delta \right] = -F b (\dot{\beta} - \dot{\delta}) \sin(\beta - \delta) - m_1 g \frac{L_1}{2} \dot{\delta} \cos \delta.$$

Des simulations pour différentes valeurs de F donnent les diagrammes (figure suivante) représentant l'évolution de δ en fonction du temps.

Question 5 Pour chaque diagramme, analyser le comportement du robot. Déterminer les vitesses $\dot{\delta}$ en fin de course. En déduire les valeurs de F respectant le cahier des charges.

Correction

- $F = 700 \text{ N}$: le régime est fortement oscillant. Le système ne parvient pas à soulever le robot jusqu'à 14° . Celui-ci se comporte comme un oscillateur non amorti (le modèle est considéré sans frottement). Cette valeur de l'effort n'est pas satisfaisante.
- $F = 750 \text{ N}$: le système atteint les 14° . La pente à l'accostage vaut environ $37.5^\circ/\text{s}$ ce qui est raisonnable vis-à-vis du cahier des charges. Cependant, le modèle utilisé pour trouver ce résultat utilise des liaisons parfaites, sans frottement. L'effort de 700 N étant insuffisant avec ce modèle parfait, il est possible qu'un effort de 750 N devienne insuffisant en réalité. Cette valeur est théoriquement satisfaisante mais l'écart entre modèle et réalité risque de modifier la conclusion.
- $F = 800 \text{ N}$: Le système atteint les 14° . La pente à l'accostage vaut environ $45^\circ/\text{s}$ ce qui est inférieur à la limite de $50^\circ/\text{s}$ imposée par le cahier des charges. L'effort est 15% supérieur à la valeur minimale nécessaire pour atteindre les 14° ce qui semble une marge suffisante pour vaincre les frottements non pris en compte dans le modèle. Cette valeur est satisfaisante.
- $F = 950 \text{ N}$: Le système atteint les 14° . La pente à l'accostage vaut environ $75^\circ/\text{s}$ ce qui est supérieur à la limite de $50^\circ/\text{s}$ imposée par le cahier des charges. Cette valeur de l'effort n'est pas satisfaisante.

