



DS 7 - SI

Consignes

- Copies propres et bien présentées: encadrer vos résultats, souligner les applications numériques (avec une règle bien sûr)...
- Uniquement la calculatrice est autorisée.
- Les exercices sont indépendants.
- Ne pas oublier de rendre les Documents Réponses (DR), avec vos noms dessus. Même s'ils ne sont pas remplis.

Attention, la numérotation des questions est indépendante pour chaque exercice, prenez soin de signaler de quel exercice il s'agit.

Lèvre-vitre - CCINP – PSI – 2017 (extrait)

Présentation



On s'intéresse dans cet exercice à des ouvrants dont le pilotage est automatisé. Ici, l'utilisateur demande simplement à ce que l'ouvrant se déplace jusqu'à une position prédéfinie. Une brève action de sa part entraîne le déplacement complet de l'ouvrant. Pour le lève-vitre électrique séquentiel, l'utilisateur demande à ce que la vitre remonte complètement, par une courte action sur l'interrupteur. Dès lors, le système de contrôle/commande gère le déplacement de l'ouvrant dans le cas normal, mais aussi en cas de dysfonctionnement (perte de fonctionnalité ou présence d'un obstacle sur le trajet de la vitre). Il faut donc assurer un fonctionnement sûr et robuste du système d'ouvrant piloté automatisé pour éviter que le système blesse un occupant.

Le diagramme des exigences est donnée figure 1 ci-dessous

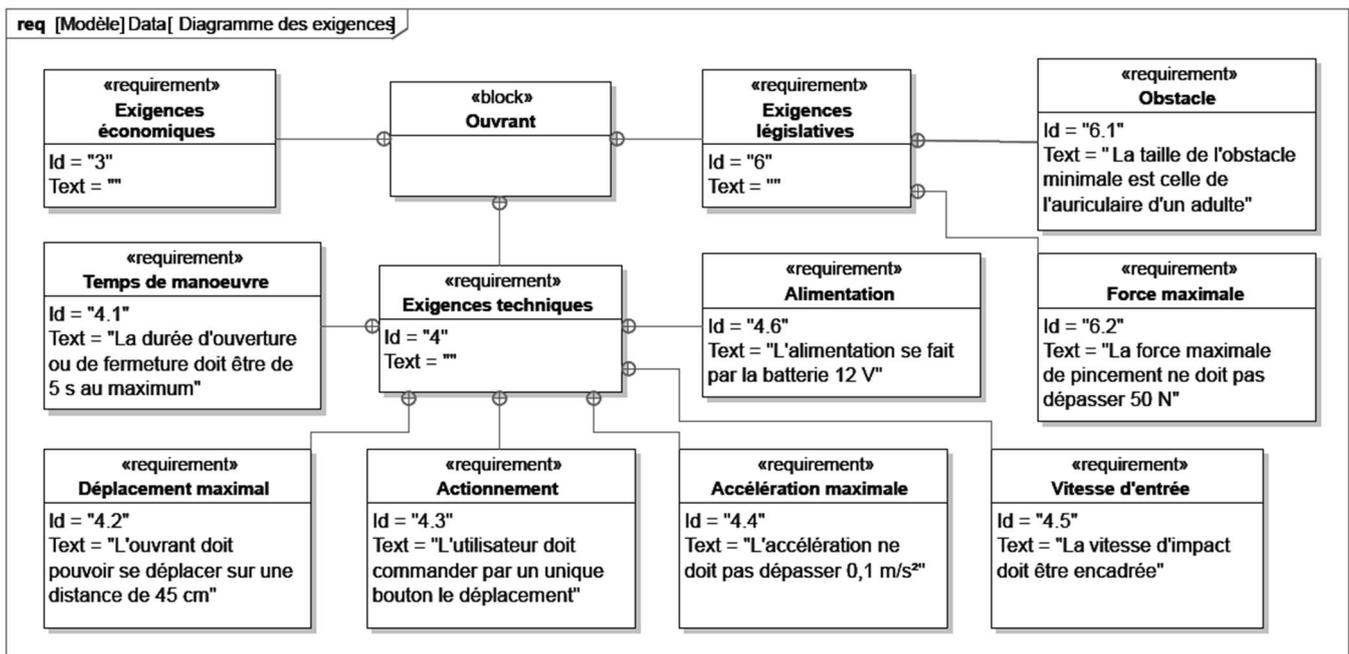


Figure 1 : Diagramme des exigences

Mesure de la position de la vitre

La position de la vitre est détectée à l'aide de capteurs à effet Hall situés près du moteur (figure 3, page suivante). Une roue magnétique possédant 2 paires de pôles Nord/Sud est solidaire de l'axe du rotor du moteur. Deux capteurs à effet Hall sont placés en quadrature et repèrent les changements de champ magnétique (fronts montants et descendants) de la roue en fonction de la rotation du moteur.

Q1. Quels sont les intérêts d'utiliser deux capteurs à effet Hall placés en quadrature ?

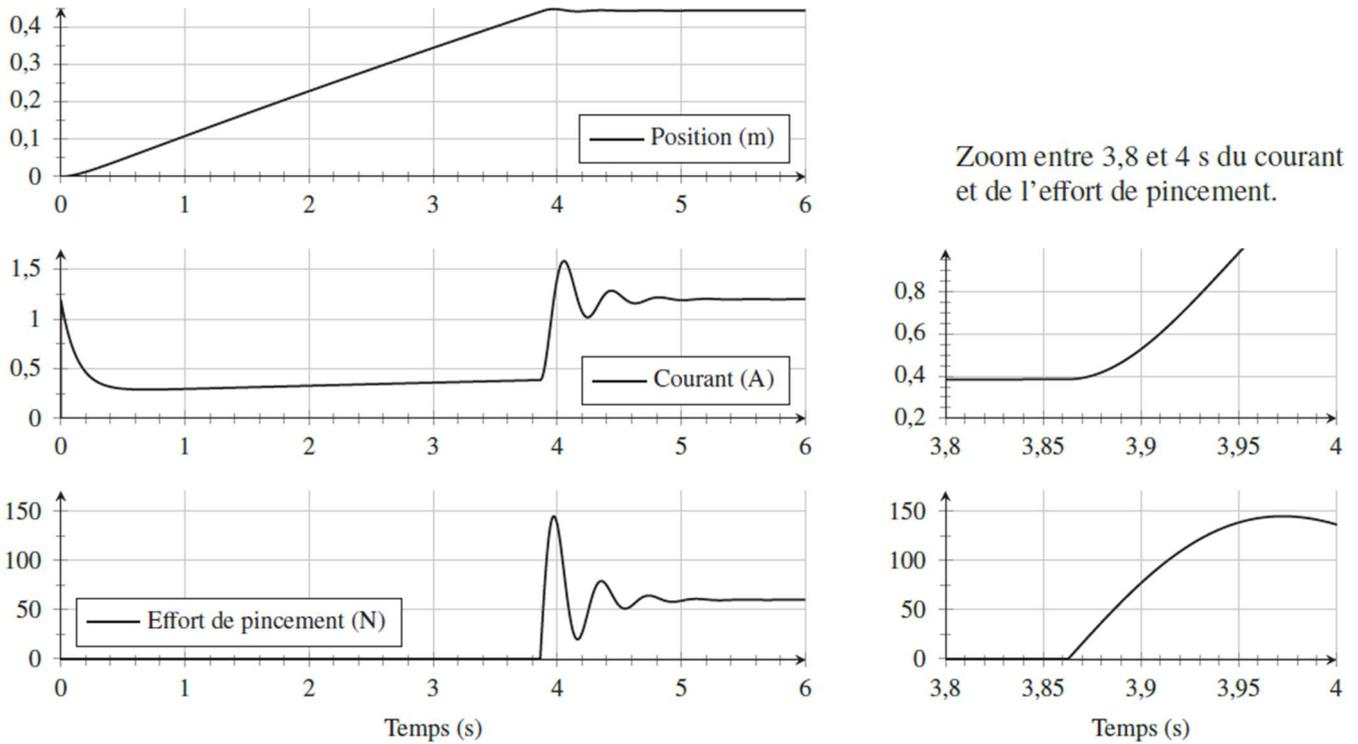


Figure 2 : Courbes de position de la vitre, d'intensité moteur et d'effort de pincement

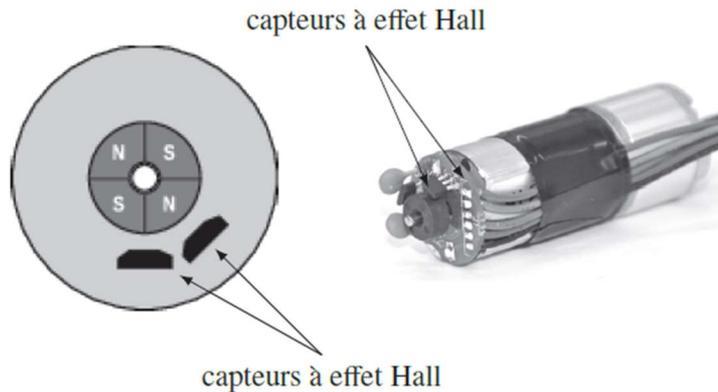


Figure 3 : Principe du capteur à effet Hall

Compte-tenu des capteurs utilisés, il est possible d'obtenir une précision de 1/8ème de tour du moteur. La vitesse de déplacement de la fenêtr e et liée à la rotation du moteur par la relation :

$$v = r\omega$$

Où $r = 0,39 \text{ mm} \cdot \text{rad}^{-1}$

- Q2. Déterminer le plus petit déplacement de la vitre en mm qu'il est possible de mesurer avec ce capteur.
- Q3. En prenant une raideur d'obstacle $k = 20N/mm$ correspondant à la dernière phalange de l'auriculaire, combien d'impulsions auront été comptées à partir du moment où la phalange commence à être écrasée jusqu'à ce que l'effort dans la phalange soit de 50 N (diagramme des exigences, figure 1) ? Commenter ce résultat.

Analyse de la qualité de la mesure de la vitesse

Pour détecter un obstacle, une solution envisagée est d'utiliser la mesure de la vitesse dont les variations sont plus grandes que celles du courant. La vitesse de rotation du moteur est tout d'abord calculée. Lorsque la variation de cette vitesse est supérieure à une valeur donnée, on indique qu'un obstacle est rencontré et le moteur est stoppé.

Les simulations de la partie précédente montrent qu'il faut détecter rapidement la variation de vitesse, ce qui impose de prendre une période d'échantillonnage de 10 ms au maximum. Ainsi, toutes les 10 ms, le programme va calculer la vitesse en prenant le nombre d'impulsions comptées depuis le dernier calcul et en le divisant par la période d'échantillonnage.

- Q4.** En supposant que le moteur tourne parfaitement à la vitesse nominale de 300 rad/s, déterminer le nombre d'impulsions moyen N_{moy} mesuré à chaque période d'échantillonnage.

Le nombre N réellement utilisé par le programme est un entier égal, soit à l'entier immédiatement inférieur à N_{moy} , soit à l'entier immédiatement supérieur. Par conséquent, il y a deux valeurs possibles pour la vitesse de rotation du moteur.

- Q5.** Déterminer les deux valeurs extrêmes de rotation du moteur en tours/min.
Q6. Conclure quant à la pertinence de l'utilisation de la variation de la vitesse pour obtenir un résultat fiable pour la détection. Au vu de la simulation **figure 4** ci-dessous, commenter également l'hypothèse de vitesse constante avant détection d'obstacle.

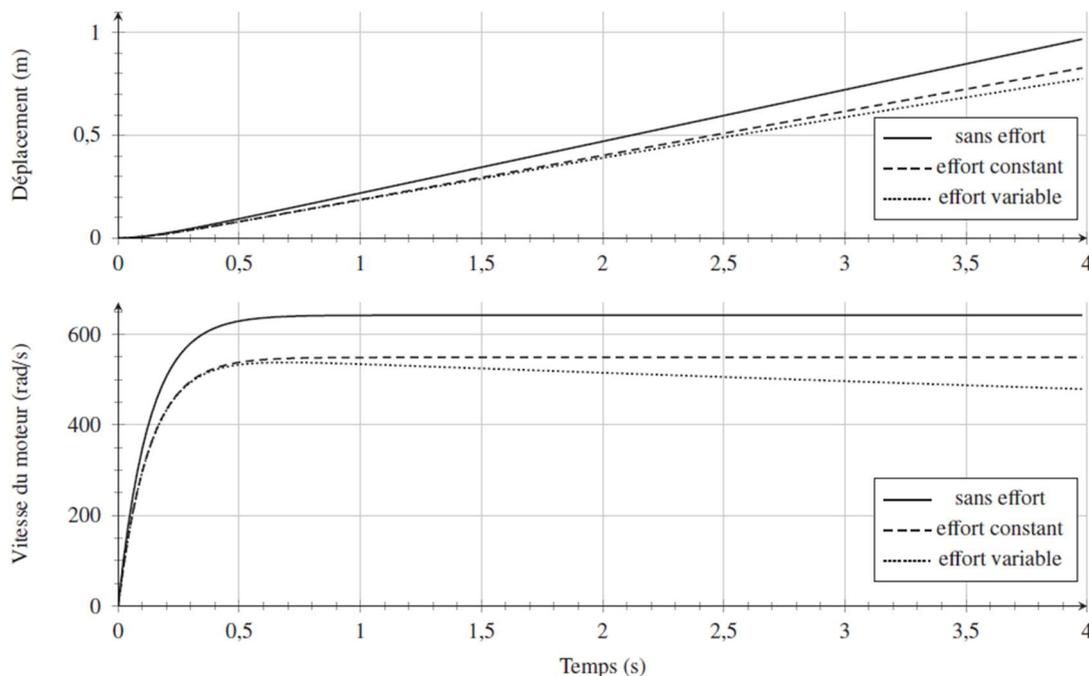


Figure 4 : Courbes de la position de la vitre et de la vitesse de rotation du moteur

Mise en place de l'algorithme de commande

L'algorithme finalement mis en place se base sur la variation des temps mesurés entre deux impulsions successives. Après la détection d'une impulsion, un prédicteur temporel permet de déterminer le temps auquel la prochaine impulsion est attendue. Si la nouvelle impulsion intervient avant le temps prédit, alors il n'y a pas de blocage, sinon un blocage est détecté et une alarme est déclenchée.

En réalité, cette technique conduit à de fausses détections et une modification permettant d'améliorer la robustesse est de ne déclencher l'alarme qu'au bout de 3 dépassements du temps prédit.

Cet algorithme est résumé sur la **figure 5** pour lequel :

- **appui bouton** est un évènement qui survient quand le bouton de commande est actionné,
- **M+** est la variable permettant de faire tourner le moteur dans le sens de la montée de la vitre,
- **M0** permet d'arrêter le moteur,
- **impulsion** est un évènement qui survient à chaque nouvelle impulsion envoyée par les capteurs,
- **fin course haut** est un évènement permettant de détecter l'arrivée en position haute de la vitre,

- **prediction()** est une fonction qui renvoie le temps auquel la prochaine impulsion est attendue,
- **alarme** permet d'activer l'alarme.

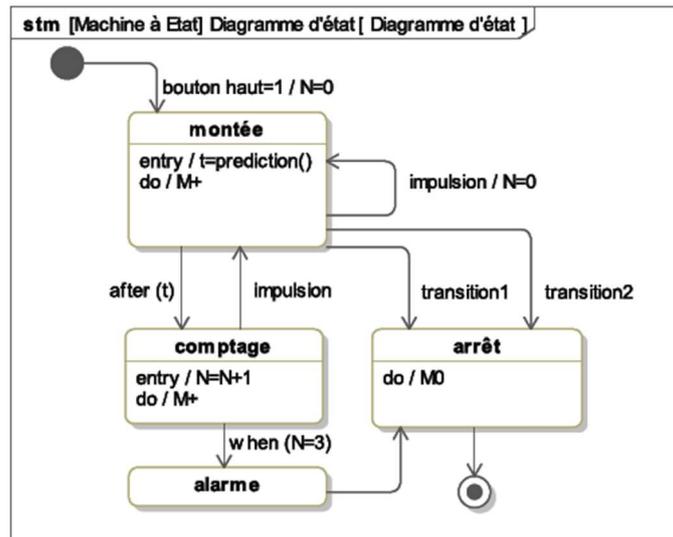


Figure 5 : Diagramme d'état de l'algorithme en version simplifiée

- Q7.** Donner l'expression des deux conditions notées « transition 1 » et « transition 2 » permettant de passer de l'état montée à l'état arrêt directement.
- Q8.** Compléter le chronogramme du document réponse en indiquant par des créneaux les durées pendant lesquelles un état est activé et l'évolution du contenu de la variable N . La durée de l'alarme et de l'arrêt est supposée très faible et sera représentée par un dirac (une impulsion).

Lanceur de rouleau

Présentation du système

Mise en situation

Lorsque l'on désire imprimer un très grand nombre d'exemplaires d'un même ouvrage (journal à grand tirage, annuaire téléphonique,...) on utilise généralement des machines à impression rotative. Ces machines sont alimentées en papier de façon continue, grâce à de gros rouleaux de papier situés en amont. Afin d'améliorer la productivité, il est nécessaire de remplacer le rouleau de papier vide par un plein, sans pour cela immobiliser la machine.

Avant d'engager une feuille du nouveau rouleau, il est nécessaire de l'accélérer. Le système d'accélération (lanceur) est l'objet de cet exercice...

Dimensionnement du lanceur

Une étude dynamique montre que le couple résistant au démarrage du rouleau, appliqué sur l'axe (A, \vec{z}) vaut

$$C_r = -176 \text{ Nm}$$

Les moteurs, qui entraînent le rouleau, n'ont pas un couple moteur suffisant pour lancer celui-ci. C'est pour cela que l'on utilise un lanceur (doc 1), qui a pour fonction d'accélérer le rouleau en rotation, d'une vitesse initiale nulle à sa vitesse de fonctionnement normal. La courroie 4 du lanceur vient se plaquer sur le rouleau 1, entraînant celui-ci en rotation par adhérence.

Notations :

- On note \vec{F}_{ij} , la résultante des actions de contact de la pièce i sur la pièce j .
- On note $\|\vec{F}_{ij}\|$ la norme de cette résultante.

Dans toute cette partie, nous faisons les hypothèses suivantes :

- Les liaisons sont parfaites sans frottement, à l'exception du contact entre la courroie 4 et le rouleau 1.
- Le poids des pièces est négligé, et \vec{F}_{41} s'applique au point E .
- Le système est supposé plan.

Donnée : On prendra $R_{max} = 0,6 \text{ m}$

- Q1.** On suppose qu'au démarrage le rouleau 1 est en équilibre statique, sous l'action des efforts \vec{F}_{41} , \vec{F}_{01} et du couple $\vec{C}_r = C_r \vec{z}$. En posant $\vec{F}_{41} = F_{41}^T \vec{x} + F_{41}^N \vec{y}$, donner l'expression de la composante tangentielle F_{41}^T (doc 2). Expliquer la démarche. Faire l'application numérique.
- Q2.** Sachant que le coefficient de frottement entre le rouleau 1 et la courroie 4 vaut $f = 0.58$, déterminer l'expression de la composante normale F_{41}^N .
- Q3.** En supposant que L est la largeur de la courroie et que la répartition de pression p_1 entre la courroie 4 et le rouleau 1 est uniforme, déterminer l'expression de F_{41}^N en fonction de p_1 , β , L et R_{max} (doc 3).

Pour les questions suivantes, on prendra $F_{41}^T = -300 \text{ N}$ et $F_{41}^N = -500 \text{ N}$.

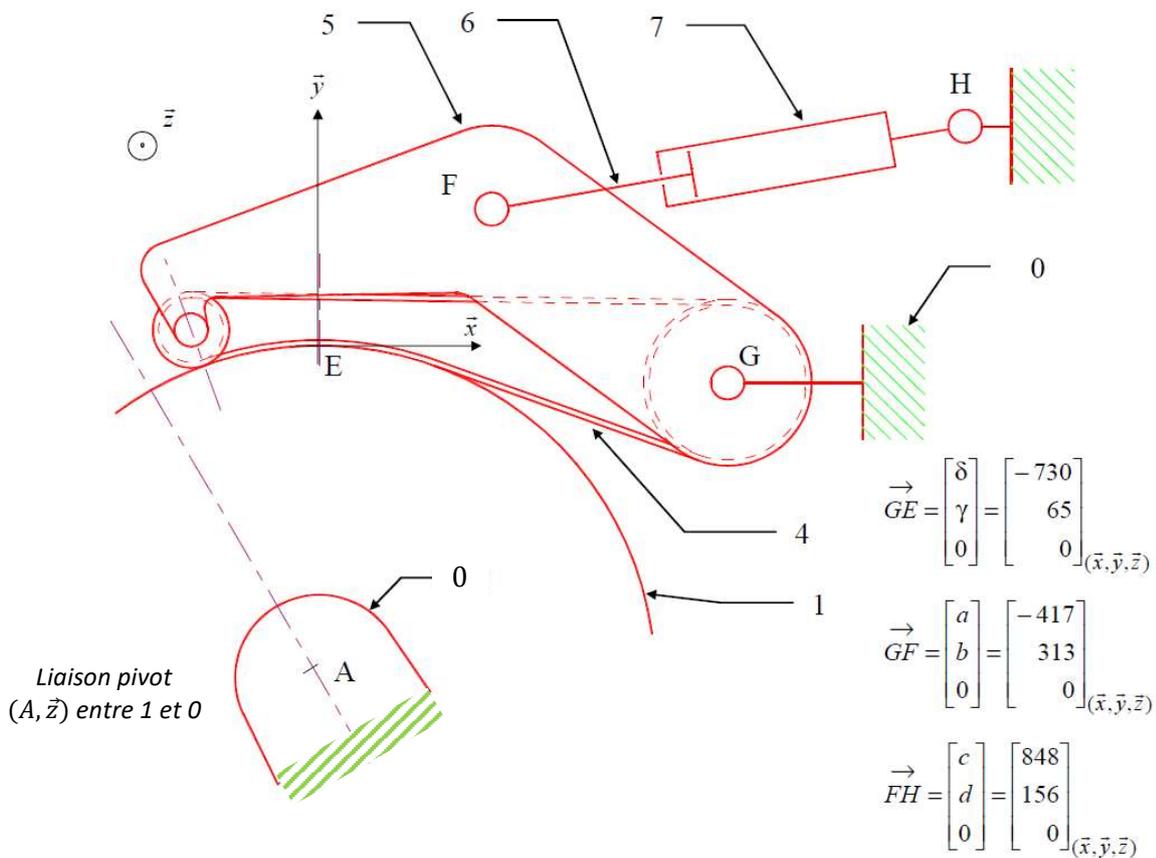
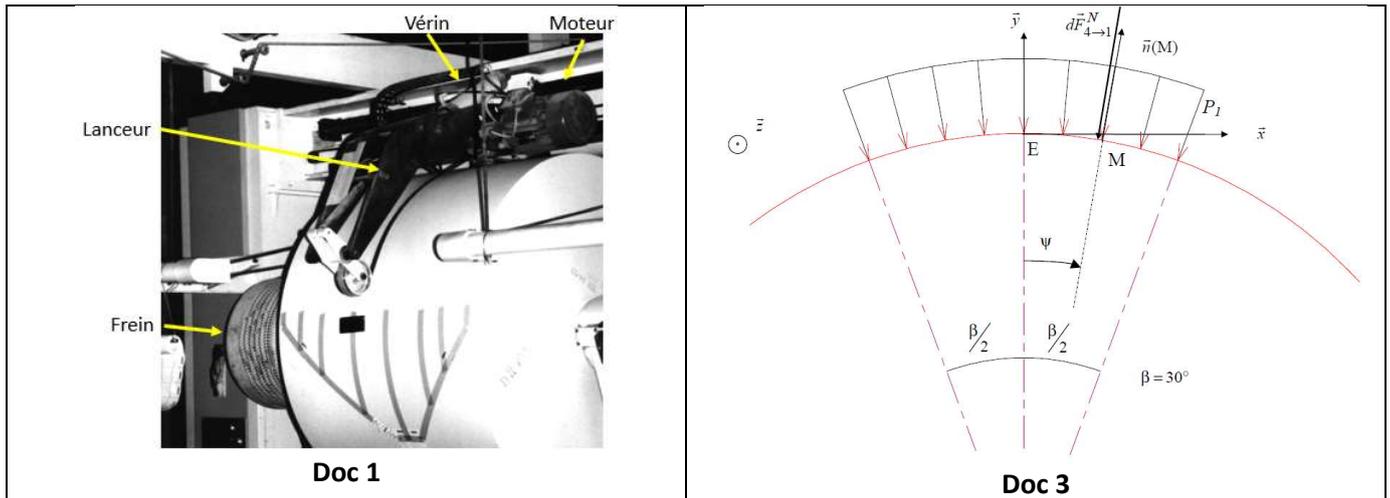
- Q4.** En prenant $\beta = 30^\circ$, calculer la largeur L de la courroie, pour que la pression de contact p_1 ne dépasse pas $1 \text{ daN} \cdot \text{cm}^{-2}$.

On pose pour l'effort développé par le vérin

$$\vec{F}_{65} = F_{65} * \frac{\overrightarrow{FH}}{\|\overrightarrow{FH}\|}$$

Q5. En précisant le système isolé, exprimer la norme F_{65} de l'effort de la tige 6 sur le carter 5. Faire une application numérique.

Q6. Sachant que la pression d'huile p_H est de 6 bars, calculer la section utile S_u du vérin.



Doc 2

1. Commande en position d'un robot porte-sonde

1.1 Mise en situation

Grâce à la télé-échographie robotisée, il devient possible de réaliser une échographie sur un patient situé sur un site isolé (appelé site patient, **(a)** de la Figure 1), alors même que le spécialiste en imagerie médicale se trouve sur un site distant de celui où est pratiqué l'examen (appelé site expert, **(b)** de la Figure 1).



FIGURE 1 – Principe de la télé-échographie

La Figure 2 décrit le robot porte-sonde constitué :

- o d'une structure porteuse 0;
- o d'un module de rotation, composé des sous-ensembles 1, 2 et 3, permettant d'orienter la sonde en lui imposant trois rotations suivant les axes 1 à 3;
- o du porte-sonde 4 sur lequel est fixé la sonde échographique S. La translation suivant l'axe 4 permet de contrôler l'effort de contact sonde/peau du patient.

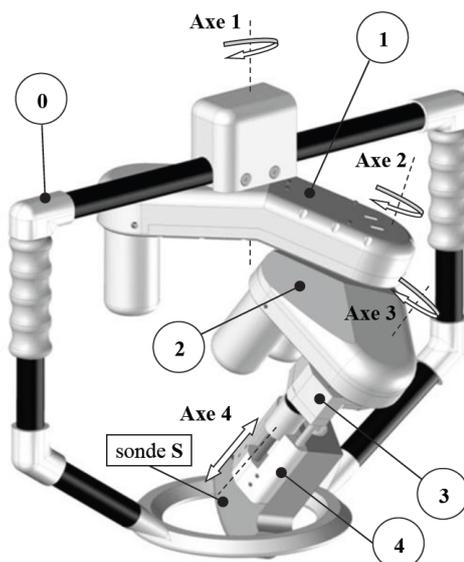


FIGURE 2 – Robot porte-sonde

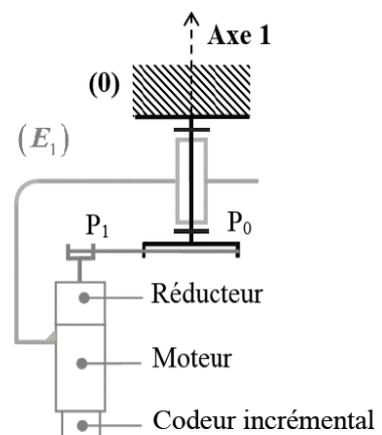


FIGURE 3 – Chaîne cinématique associée à l'axe 1

1.2 Commande en position du robot porte-sonde

On se limite ici à l'étude de la commande du premier axe, dont la structure est présentée en Figure 3. Le principe associé à cette commande est décrit par la Figure 4. La structure de commande de la position angulaire θ_1 est composée de deux boucles imbriquées disposant chacune d'un réseau correcteur :

- une boucle interne de vitesse, gérée par le variateur ;
- une boucle externe de position, gérée par la carte d'axes.

Un codeur incrémental, solidaire de l'axe moteur permet après traitement numérique d'obtenir une image de la position angulaire θ_1 et de la vitesse angulaire ω_1 de l'axe 1, grandeurs mises en oeuvre au niveau des deux boucles d'asservissement. La consigne de position est élaborée par la carte d'axes, par intégration du profil de vitesse généré.

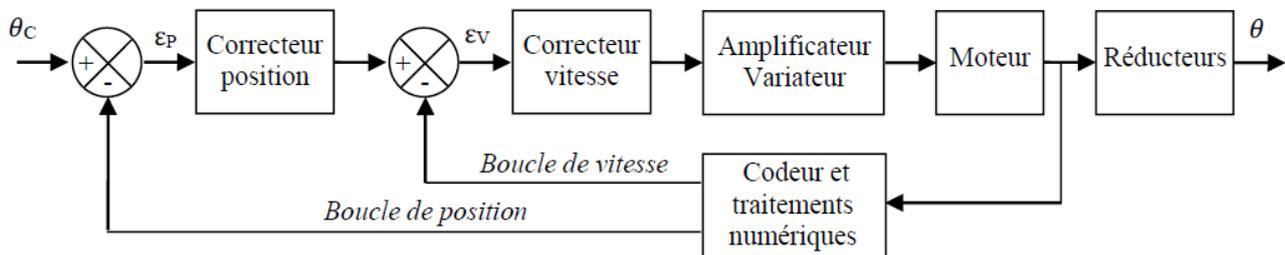


FIGURE 4 – Structure de l'asservissement d'un axe

1.2.a Modélisation de l'axe 1

L'objectif est d'élaborer un modèle de connaissance de l'axe 1 et de réaliser la synthèse de la commande.

Modélisation de la motorisation

La motorisation de l'axe 1 est réalisée à l'aide d'un moteur électrique à courant continu et aimants permanents, dont le comportement peut être modélisé par les équations suivantes :

$$u_m(t) = e(t) + Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} \quad e(t) = k_e \omega_m(t)$$

$$J_{eq} \frac{d\omega_m(t)}{dt} = C_m(t) - C_r(t) \quad C_m(t) = k_c i(t)$$

Avec :

$u_m(t)$: tension aux bornes du moteur (en V)

$e(t)$: force contre-électromotrice (en V)

$i(t)$: intensité (en A)

$\omega_m(t)$: vitesse de rotation du moteur (en rad/s)

$C_m(t)$: couple moteur (en Nm)

$C_r(t)$: le couple résistant (perturbation) (en Nm)

J_{eq} : inertie équivalente en rotation de l'arbre moteur ($8,6 \cdot 10^{-6} \text{ kg.m}^2$)

R : résistance électrique du moteur ($4,1 \Omega$)

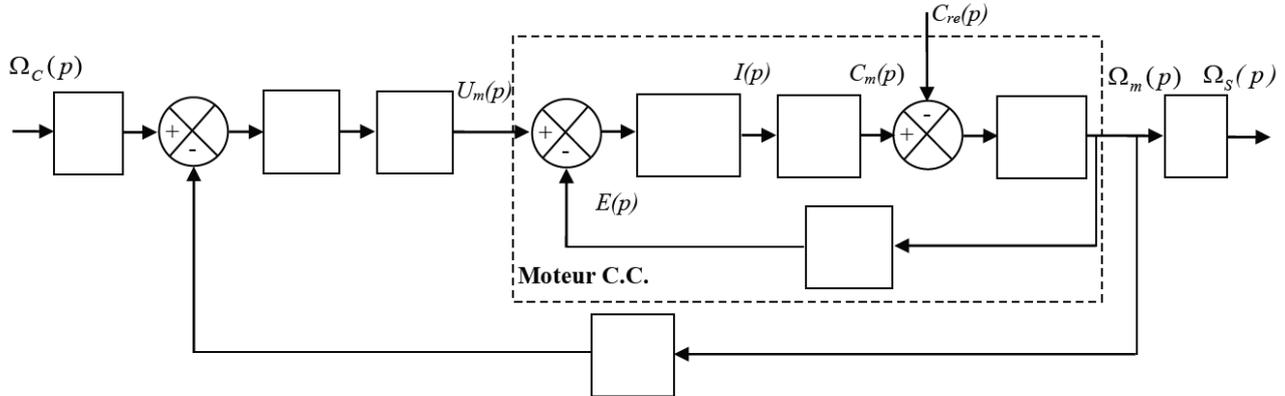
k_e : constante de force contre-électromotrice ($1,6 \cdot 10^{-2} \text{ V/(rad/s)}$)

k_c : constante de couple ($1,6 \cdot 10^{-2} \text{ Nm/A}$)

L : inductance de l'induit ($0,18 \text{ mH}$)

Question 1: Passer les équations précédentes dans le domaine de Laplace, on considère les conditions initiales nulles.

On donne le schéma-bloc incomplet suivant :



Question 2: Compléter la partie *Moteur C.C.* de ce schéma-bloc dans les documents réponses. Recopier le sur votre copie ou penser à détacher les documents réponses et les rendre avec votre copie.

Question 3: Déterminer les expressions littérales des fonctions de transfert

$H_1(p) = \frac{\Omega_m(p)}{U_m(p)}$ quand $C_r(p) = 0$, et $H_2(p) = \frac{\Omega_m(p)}{C_r(p)}$ quand $U_m(p) = 0$, sous forme canonique.

On pose $\tau_e = \frac{L}{R}$ et $\tau_m = \frac{J_{eq}R}{k_c k_e}$, respectivement constantes de temps électrique et électromécanique du moteur à courant continu.

Question 4: Déterminer les valeurs numériques des constantes de temps τ_e et τ_m . Une constante de temps peut-elle être négligée devant l'autre ?

Question 5: Montrer, en précisant l'expression de K_m , que $H_1(p)$ peut être simplifiée par :

$$H_1(p) = \frac{K_m}{(1 + \tau_e p)(1 + \tau_m p)}$$

Modélisation de la boucle de vitesse

La Figure 5 présente la structure de la boucle de vitesse associée à la commande de l'axe 1.

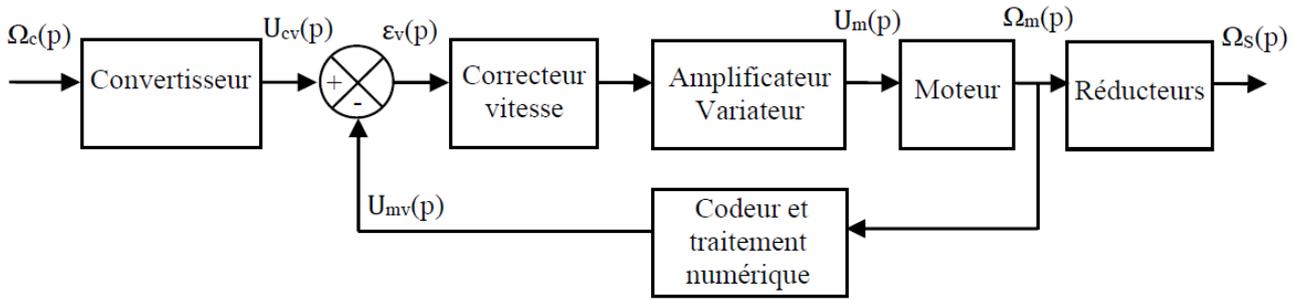


FIGURE 5 – Asservissement en vitesse d'un axe

On donne les notations suivantes pour les gains des différents composants intervenant dans la commande de l'axe 1 :

- Convertisseur : K_{conv} ;
- Correcteur vitesse : $C_v(p)$;
- Amplificateur/varianteur : $K_A = 9,4$;
- Codeur et traitement : $K_{vit} = 8,3 \cdot 10^{-3} V / (rad/s)$;
- Réducteurs : K_r ;

La partie "réducteurs" est composée d'un réducteur à train simple ainsi que d'un système de poulie. La poulie P_0 a pour diamètre $D_0 = 42mm$ et la poulie P_1 a pour diamètre $D_1 = 13mm$. Le réducteur à engrenage est quant à lui présenté sur la Figure 6.

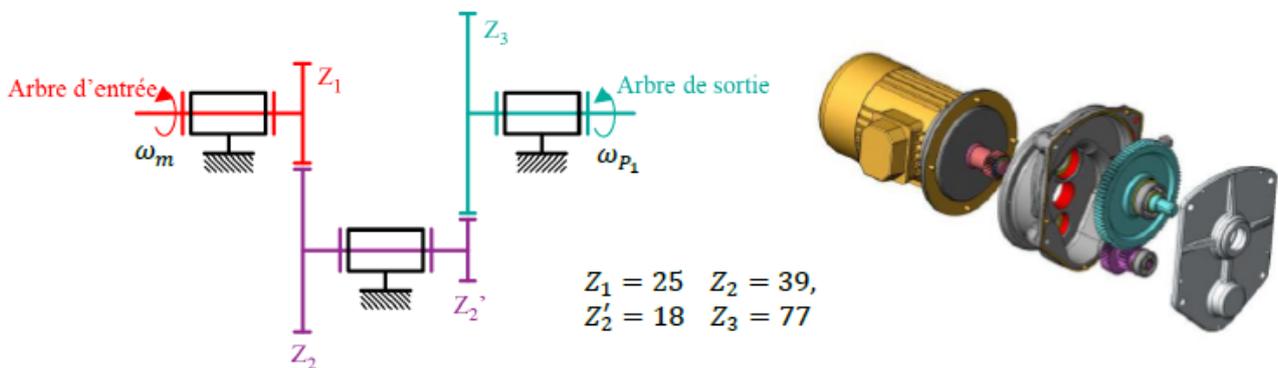


FIGURE 6 – Réducteur à engrenage du moteur

Question 6 : Déterminer les rapports de réduction $r_e = \frac{\omega_{P1/0}}{\omega_{m/0}}$ du train d'engrenage et

$r_p = \frac{\omega_{P1/0}}{\omega_{P0/0}}$ des poulies et en déduire l'expression et la valeur numérique de K_r .

Question 7 : Déterminer l'expression du gain K_{conv} ainsi que sa valeur numérique et unité associée.

Question 8 : Compléter le reste du schéma-bloc en document réponse en y faisant figurer les fonctions de transfert sous forme littérale dans le domaine de Laplace avec des conditions initiales nulles.

On pourrait montrer que le schéma-bloc peut se ramener au schéma à retour unitaire de la Figure 7, avec $G_1(p) = \frac{k_c}{R} \frac{1}{1 + \tau_e p}$, $G_2(p) = \frac{R}{k_c} \frac{1}{1 + \tau_m p}$ et $K = K_{vit} K_A K_m$.

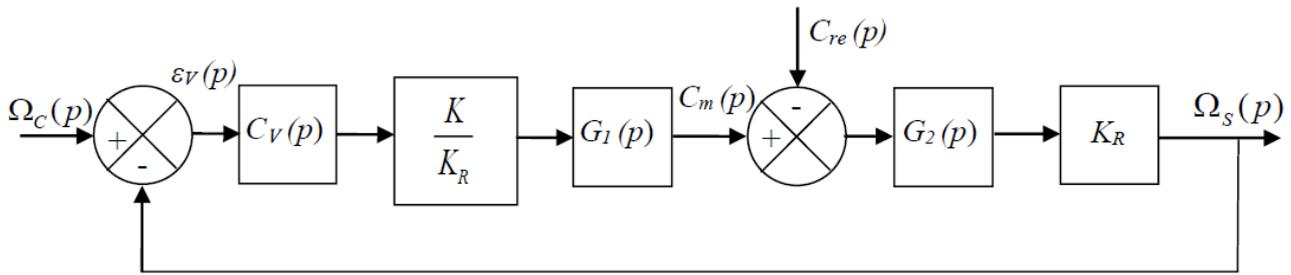


FIGURE 7 – Schéma-bloc équivalent pour la boucle de vitesse

Pour la suite nous prendrons $\tau_m = 0,14s$, $\tau_e = 10^{-4}s$ et $K = 4,9$.

Question 9: A partir du schéma-bloc à retour unitaire de la Figure 7, déterminer l'expression de la fonction de transfert en boucle ouverte $H_{BO}(p) = \frac{\Omega_s(p)}{\varepsilon_v(p)}$ en fonction de $C_v(p)$, τ_e , τ_m et K . On considère $C_{re}(p) = 0$.

1.2.b Synthèse de la commande : boucle de vitesse

Le système est considéré en l'absence de perturbation (étude en suivi de consigne). Le correcteur de la boucle de vitesse est un correcteur Proportionnel Intégral, de fonction de transfert :

$$C_V(p) = K_i \frac{1 + \tau_m p}{\tau_m p}$$

Question 10: Déterminer, en fonction des paramètres K_i , τ_e , τ_m et K , l'expression littérale de la fonction de transfert en vitesse sous la forme canonique d'un système du second ordre. Préciser la valeur de K_v , le gain de cette fonction, et les expressions littérales du taux d'amortissement ξ et de la pulsation propre ω_0 .

Le gain K_i du correcteur est fixé de manière à obtenir la réponse la plus rapide sans dépassement en boucle fermée. On rappelle que pour un modèle du second ordre, la réponse la plus rapide sans dépassement est obtenue pour un facteur d'amortissement $\xi = 1$, valeur pour laquelle on a $t_{5\%}\omega_0 = 5$.

Question 11: Déterminer l'expression de K_i ainsi que sa valeur numérique. Déterminer la valeur du temps de réponse $t_{5\%}$ de la boucle de vitesse pour cette valeur de K_i .

2. Documents réponses

