

Colle 2

Automate d'exploration de l'hémostase

CCP MP 2015

Présentation du système

La société Stago est un laboratoire pharmaceutique de l'industrie du Diagnostic In Vitro (DIV) entièrement dédiée à l'exploration de l'hémostase et de la thrombose. L'hémostase est le processus physiologique qui permet d'interrompre le saignement pour éviter l'hémorragie. L'objet de cette étude, le STA Compact, est un automate de laboratoire destiné à l'analyse de l'hémostase.

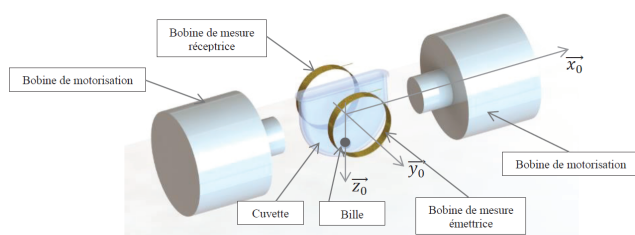


Analyse de l'exigence 3.3 « Mettre la bille en oscillation »

Objectif Déterminer la pulsation optimale des bobines motrices.

Mise en situation

Le principe de la chronométrie consiste à mesurer la variation de l'amplitude d'oscillation d'une bille placée dans la cuvette de mesure.



La bille, roulant sans glisser sur le fond cylindrique de la cuvette, est mise en mouvement par un champ magnétique variable induit par deux bobines motrices placées de part et d'autre de la tête de mesure.

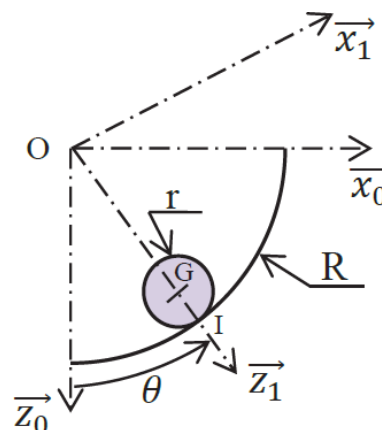
À viscosité constante, on obtient un balancement pendulaire constant de la bille. Quand la viscosité augmente

(phénomène de coagulation), l'amplitude d'oscillation de la bille varie.

La bille est de masse m , de centre de masse G , de rayon r et roule sans glisser sur un rail circulaire de rayon R dans le plan $(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0)$. La position de la bille sur le rail est repérée par : $\theta = (\vec{z}_0, \vec{z}_1) = (\vec{x}_0, \vec{x}_1)$.

f est le coefficient d'adhérence au contact bille/cuvette : $f = 0, 1$. $J = \frac{2}{5} m r^2$ le moment d'inertie de la bille autour de l'axe (G, \vec{y}_0) .

L'équation du mouvement de la bille est donnée par : $\frac{7}{5} m (R - r) \ddot{\theta} + f_v (R - r) \dot{\theta} + m g \sin \theta = F(t) \cos \theta$.



Modélisation du mouvement de la bille

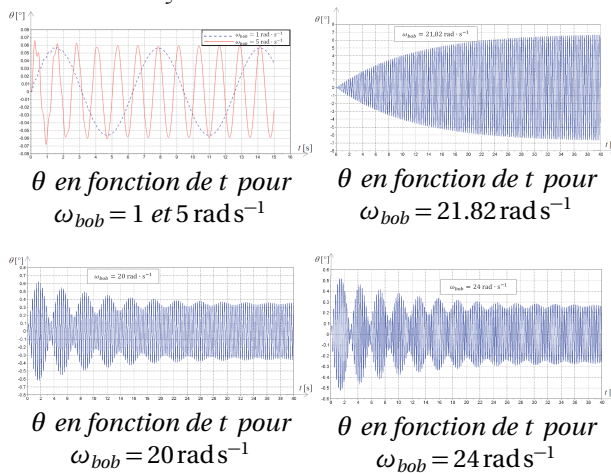
Question 1 θ étant petit, linéariser l'équation du mouvement puis en déduire la fonction de transfert $H(p) = \frac{\theta(p)}{F(p)}$. Mettre $H(p)$ sous la forme canonique d'un système du second ordre dont on donnera les expressions du gain statique K_S , de la pulsation propre non amortie ω_0 et du coefficient d'amortissement ξ en fonction de f_v , R , r , m et g .

Question 2 On prendra les valeurs numériques suivantes pour cette question : $\omega_0 = 21.8 \text{ rad s}^{-1}$; $K_S = 25 \text{ N}^{-1}$; $\xi = 4 f_v$. Tracer, le diagramme asymptotique de Bode en gain, ainsi que l'allure du diagramme réel pour les valeurs suivantes du coefficient de frottement visqueux f_v : $f_v = 0,005$, $f_v = 0,05$, $f_v = 0,02$.

Question 3 La sollicitation des bobines est sinusoïdale : $F(t) = F_0 \sin(\omega_{bob} t)$. Préciser, en justifiant votre réponse, la valeur à laquelle il faut régler la pulsation ω_{bob} pour pouvoir observer, au mieux, l'évolution du coefficient de frottement f_v .

Question 4 Exprimer, pour un système du second ordre, en fonction de ξ , le rapport des amplitudes de sortie à $\omega \rightarrow 0$ et $\omega = \omega_0$ pour une même amplitude du signal d'entrée.

Question 5 Les figures suivantes représentent, avec f_v constant, l'évolution de la position de la bille θ (en degrés) en fonction du temps t (en secondes) pour différentes valeurs de pulsation ω_{bob} . À partir de ces courbes et des résultats précédents, déterminer la valeur du coefficient d'amortissement ξ .



Question 6 En déduire la valeur numérique du coefficient de viscosité η du sang correspondant.

Question 7 À partir de ces analyses, en justifiant votre réponse, donner l'allure de la courbe θ en fonction de t obtenue à la pulsation ω_0 lorsque la viscosité du sang varie au fur et à mesure de la coagulation (si l'on suppose que f_v augmente avec la coagulation).

Analyse de l'exigence 2.3 « Prélever les produits par déplacement suivant \vec{z} de la tête de pipetage »

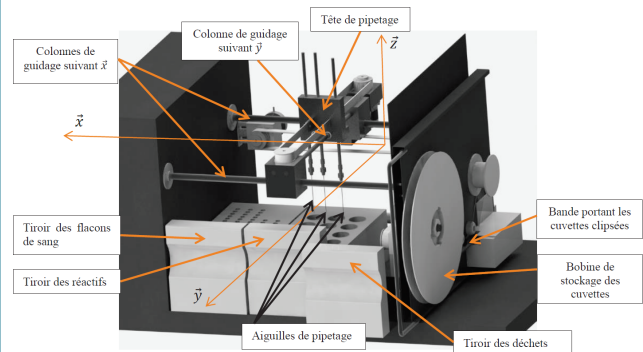
Objectif Régler la commande du moteur afin de respecter le cahier des charges.

Présentation

Les aiguilles de prélèvement des doses de plasma et de réactifs sont reliées à la tête de pipetage. Elles peuvent avoir un mouvement de translation verticale (selon la direction \vec{z}) par rapport à cette tête. Deux types de réactifs sont utilisés. La tête de pipetage possède donc trois aiguilles : une pour le sang et une par type de réactif.

Successivement, pour chaque produit (plasma puis réactifs), la tête de pipetage est positionnée au dessus du flacon approprié, l'aiguille correspondante prélève la quantité nécessaire, puis l'ensemble tête de pipetage/aiguilles vient déposer le produit dans la cuvette d'analyse.

Les aiguilles sont ensuite plongées dans un flacon de nettoyage. L'aspiration et le refoulement des liquides (plasma et réactifs) se font à l'aide d'une même seringue de pipetage motorisée (non représentée).



Modélisation de la motorisation

Les déplacements verticaux des aiguilles de la tête de pipetage (axe \vec{z}) sont assurés par un ensemble motoréducteur à courant continu et système pignon-crémaillère. On note :

- $\theta_m(t)$ et $\omega_m(t)$ l'angle et la vitesse angulaire du moteur ;
- $\omega_r(t)$ la vitesse angulaire en sortie de réducteur ;
- $k_r = \frac{\omega_r}{\omega_m} = \frac{1}{19,2}$ le rapport de réduction du réducteur ;
- $c_m(t)$ le couple moteur ;
- J_m l'inertie du moteur et J_r l'inertie du réducteur ramenée à l'arbre moteur ;
- $m_p = 0.2 \text{ kg}$ la masse en translation ;
- $F_r(t) = 1 \text{ N}$ l'effort de l'opercule sur l'aiguille ;
- c_{res} couple résistant ramené à l'arbre moteur modélisant l'ensemble des frottements, y compris les frottements internes au réducteur ($c_{res} \leq 0$) ;
- $R_p = 10 \text{ mm}$ le rayon du pignon du système pignon crémaillère ;
- $\omega_{mn} = 4150 \text{ tr min}^{-1}$ la vitesse de rotation nominale du moteur ;
- $c_{mn} = 5 \times 10^{-3} \text{ Nm}$ le couple moteur nominal ;
- $E_c(S/Rg)$ l'énergie cinétique de l'ensemble S par rapport au référentiel R_g .

L'inertie équivalente ramenée à l'arbre moteur est donnée par $J_{eq} = J_m + J_r + m_p(r_p k_r)^2$. On établit que $c_m(t) = c_r(t) + J_{eq} \dot{\omega}_m(t)$ (4) avec $c_r(t) = mgR_p k_r + F_R R_p k_r - C_{res}$.

La tête de pipetage est asservie en position. Le schéma-bloc de cet asservissement est ébauché sur le document réponse. Un codeur mesure l'angle de rotation moteur et un hacheur module la tension aux bornes du moteur. On note :

- $u(t)$ la tension aux bornes du moteur, $i(t)$ l'intensité, $e(t)$ la force électromotrice ;
- R la résistance de l'induit, L son inductance, K la constante de force électromotrice ;
- $K_{cod} = 2000 \text{ points/tr}$ le gain du codeur tel que $m_\theta(t) = K_{cod} \theta_m(t)$;
- K_{adap} le gain permettant d'adapter la consigne $z_c(t)$ à l'image de la position $m_\theta(t)$;

- $H_{cor}(p)$ la fonction de transfert du correcteur;
- $K_h = 0.094 \text{ V point}^{-1}$ le gain du hacheur.

Les équations du moteur à courant continu sont les suivantes : $u(t) = Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} + e(t)$ (5), $e(t) = K \omega_m(t)$ (6), $c_m(t) = Ki(t)$ (7).

Question 8 En tenant compte des notations précédentes, compléter sous forme littérale, sur le document réponse***, le schéma-blocs de l'asservissement en position.

Question 9 Déterminer l'expression de K_{adapt} pour que l'écart calculé ε soit proportionnel à l'erreur $z_c(t) - z(t)$.

On note :

- i_0 l'intensité initiale;
- i_∞ et ω_∞ l'intensité et la vitesse du moteur en régime permanent;
- c_{r0} le couple résistant $c_r(t)$ supposé constant.

Question 10 Déterminer les expressions de $\left(\frac{\Omega_m(p)}{U(p)}\right)_{c_{r0}=0}$ et de $\left(\frac{I(p)}{U(p)}\right)_{c_{r0}=0}$. Mettre celles-ci sous forme canonique.

Afin de déterminer les caractéristiques du moteur, on applique à celui-ci un échelon de tension ($u_0(t)$) d'amplitude 24 V. On mesure la vitesse $\omega_m(t)$ et l'intensité $i(t)$. Les résultats obtenus sont donnés sur le document réponse *****.

Question 11 À partir de ces courbes et des résultats de la question 10, indiquer si l'hypothèse d'une inductance négligeable est pertinente. Justifier la réponse.

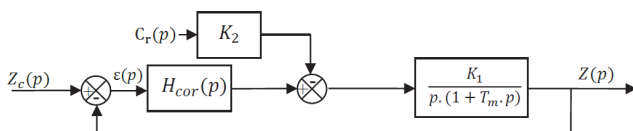
Question 12 Dans cette hypothèse d'une inductance négligeable et à partir des équations (4), (5), (6) et (7), déterminer les expressions de i_0 , i_∞ et ω_∞ en fonction de u_0 , c_{r0} , R et K .

Question 13 Dédurre de cette étude les valeurs numériques de K et R .

Question 14 Déterminer la valeur numérique du couple résistant ramené à l'arbre moteur c_{r0} et de l'inertie équivalente ramenée à l'arbre moteur J_{eq} .

Réglage de l'asservissement

Les résultats précédents ont permis de modéliser l'asservissement de position par le schéma-blocs ci-dessous :



avec $K_2 = 2.78 \times 10^{-2} \text{ N}^{-1}$, $K_1 = 856 \text{ s}^{-1}$, $T_m = 3 \times 10^{-2} \text{ s}$. Le couple résistant C_r est constant et vaut $C_{r0} = 2.7 \times 10^{-3} \text{ Nm}$. On suppose le correcteur proportionnel : $H_{cor}(p) = K_p$.

On donne le diagramme partiel des exigences.

<<requirement>> 2.3 Prélever les produits par le déplacement suivant Z (partie 5 du sujet)	<<deriveReq>>	<<requirement>> 2.3.1 Précision de positionnement des seringues < 1 mm
	<<deriveReq>>	<<requirement>> 2.3.2 Stabilité : marge de phase $\geq 60^\circ$
	<<deriveReq>>	<<requirement>> 2.3.3 Rapidité : temps de réponse à 5 % < 0,2 s
	<<deriveReq>>	<<requirement>> 2.3.4 Amortissement : dépassement < 10 %

Question 15 Déterminer l'expression de la fonction de transfert en boucle ouverte $H_{bo}(p) = \frac{Z(p)}{\varepsilon(p)}$ ainsi que la fonction de transfert $H_{cr}(p) = \left(\frac{Z(p)}{C_r(p)}\right)_{Z_c=0}$.

Question 16 Déterminer l'erreur statique pour une entrée de type échelon d'amplitude Z_{c0} dans l'hypothèse d'une perturbation nulle ($C_{r0} = 0$). Déterminer ensuite l'erreur due à une perturbation constante C_{r0} , définie comme la valeur finale de la position $z(t)$ dans le cas d'une consigne de position nulle $z_c = 0$. En déduire la valeur de K_p pour satisfaire le critère de précision du cahier des charges.

Question 17 Les diagrammes de Bode en gain et en phase de $H_{bo}(p)$ sont donnés sur le document réponse pour $K_p = 1$. Pour la valeur de K_p déterminée précédemment, indiquer si le critère de stabilité est satisfait en justifiant votre démarche par les tracés nécessaires sur le document réponse.

Afin d'améliorer le comportement, on implante un correcteur Proportionnel Intégral ayant pour fonction de transfert : $H_{cor}(p) = \frac{K_p(1 + T_i p)}{T_i p}$ avec $K_p = 1$ et $T_i = 1 \text{ s}$.

Les diagrammes de Bode de la fonction de transfert en boucle ouverte avec ce correcteur sont donnés sur le document réponse. On souhaite une marge de phase d'au moins 60° .

Question 18 Justifier le choix de ce correcteur. Déterminer le coefficient K_p pour satisfaire au cahier des charges. Justifier vos calculs par les tracés nécessaires sur le document réponse.

Question 19 La figure suivante donne la réponse à un échelon de position de 50 mm avec le correcteur précédemment réglé. Vérifier qu'elle est conforme au cahier des charges. Justifier clairement vos réponses en donnant les valeurs numériques pour chaque critère.

