TD 0
Étude d'un automate d'exploration de l'hémostase par chronométrie – Corrigé

Emilien Durif.

Présentation

C1-02

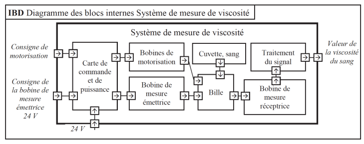
C2-04

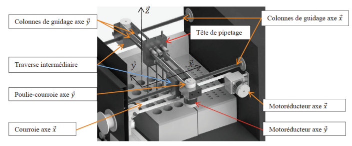
La société Stago est un laboratoire pharmaceutique de l'industrie du Diagnostic In Vitro (DIV) entièrement dédiée à l'exploration de l'hémostase et de la thrombose. L'hémostase est le processus physiologique qui permet d'interrompre le saignement pour éviter l'hémorragie. L'objet de cette étude, le STA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

Le STA Compact permet de réaliser, entre autre, des tests de chronométrie afin de mesurer un temps de coagulation.

La tête de pipetage, dont le diagramme de bloc interne est fourni, est guidée en translation suivant $\overrightarrow{y}$ par rapport à une traverse intermédiaire, elle-même guidée en translation suivant $\overrightarrow{x}$ par rapport au bâti.

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





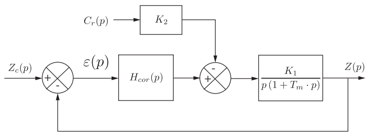
Réglage de l'asservissement

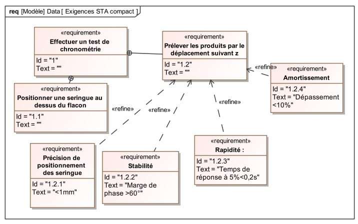
La modélisation de l'asservissement de position est donnée par le schéma-bloc ci-dessous dans lequel $K_2 = 2,78 \cdot 10^{-2}\text{N}^{-1}$, $K_1 = 856\,\text{s}^{-1}$, $T_m = 3 \cdot 10^{-2}s$.

Le couple résistant C_r est constant et vaut $C_{r0} = 2,7 \cdot 10^{-3}\text{Nm}$.

On suppose le correcteur proportionnel : $H_{cor}(p) = K_p$.

Les performances du système sont détaillées dans le diagramme des exigences partiel.





Question 1 Déterminer l'expression de la fonction de transfert en boucle ouverte $H_{bo}(p) = \left(\frac{Z(p)}{\varepsilon(p)}\right)_{C_r(p)=0}$ ainsi que la fonction de transfert $H_{cr}(p) = \left(\frac{Z(p)}{C_r(p)}\right)_{Z_c=0}$.

Question 2 Déterminer l'erreur statique pour une entrée de type échelon d'amplitude Z_{c0} dans l'hypothèse d'une perturbation nulle (C_{r0}). Déterminer ensuite l'erreur due à une perturbation constante C_{r0}, 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.

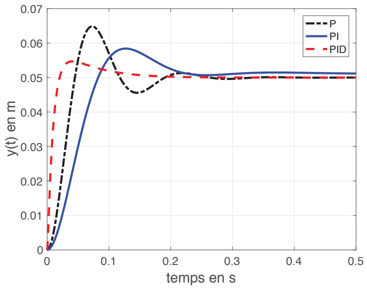
Question 3 Sur le document réponse compléter les diagrammes de Bode en gain et en phase de $H_{bo}(p)$ pour K_p déterminé précédemment. Indiquer si le critère de stabilité est satisfait en justifiant votre démarche par des tracés nécessaires.

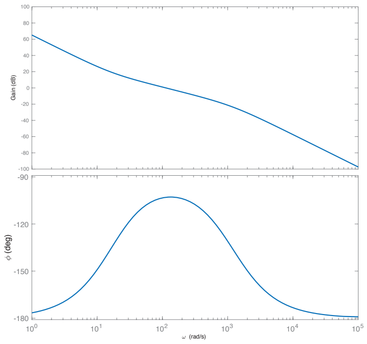
Afin d'améliorer le comportement, on implante un correcteur Proportionnel Intégral ayant pour fonction de transfert : $H_{cor}(p) = \frac{K_p(1+T_i \cdot p)}{T_i \cdot p}$ avec $K_p = 1$ et $T_i = 1\,\text{s}$.

Question 4 Tracer le diagramme de Bode de la fonction de transfert en boucle ouverte avec ce correcteur avec $K_p = 1$ et $T_i = 1\,\text{s}$.

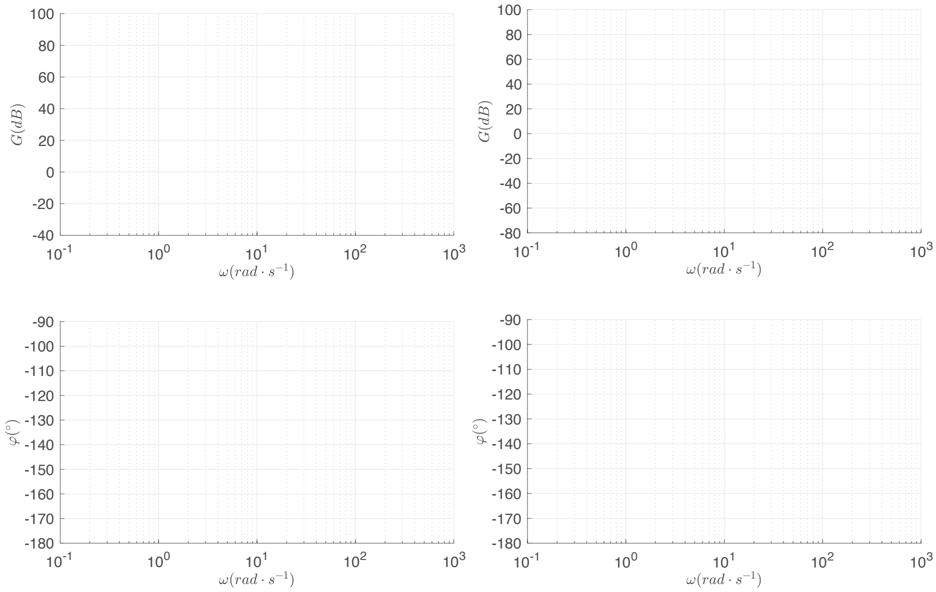
Question 5 On souhaite une marge de phase d'au moins 60°. Proposer un réglage de K_p pour satisfaire au cahier des charges.

Question 6 La figure suivante donne la réponse à un échelon de position de 50 mm avec trois types de correcteurs. Vérifier qu'elle est conforme au cahier des charges. Justifier clairement vos réponses en donnant les valeurs numériques pour chaque critère.





Question 7 Analyser les résultats à l'aide du diagramme de Bode de la FTBO corrigé avec un PID optimisé.



Question 8 $H_{bo}(p) = \frac{Z(p)}{\varepsilon(p)} = H_{cor}(p)\frac{K_1}{p(1+T_m p)} = \frac{K_p K_1}{p(1+T_m p)}$ et $Z(p) = \frac{K_1}{p(1+T_m p)}\left[K_p \varepsilon(p) - K_2 C_r(p)\right] = \frac{K_1}{p(1+T_m p)}\left[K_p(-Z(p)) - K_2 C_r(p)\right] \Leftrightarrow Z(p)(1 + \frac{K_p K_1}{p(1+T_m p)}) = -\frac{K_1 K_2}{p(1+T_m p)} C_r(p) \Leftrightarrow H_{cr}(p) = \left(\frac{Z(p)}{c_r(p)}\right)_{Zc=0} = \frac{-\frac{K_1 K_2}{p(1+T_m p)}}{(1+\frac{K_p K_1}{p(1+T_m p)})} = -\frac{K_1 K_2}{p(1+T_m p)+K_p K_1} = -\frac{\frac{K_2}{K_p}}{1+\frac{p(1+T_m p)}{K_p K_1}}$.

Question 9 L'erreur statique par rapport à une entrée échelon, la perturbation étant nulle, est égale à 0, car il y a une intégration dans la chaine directe

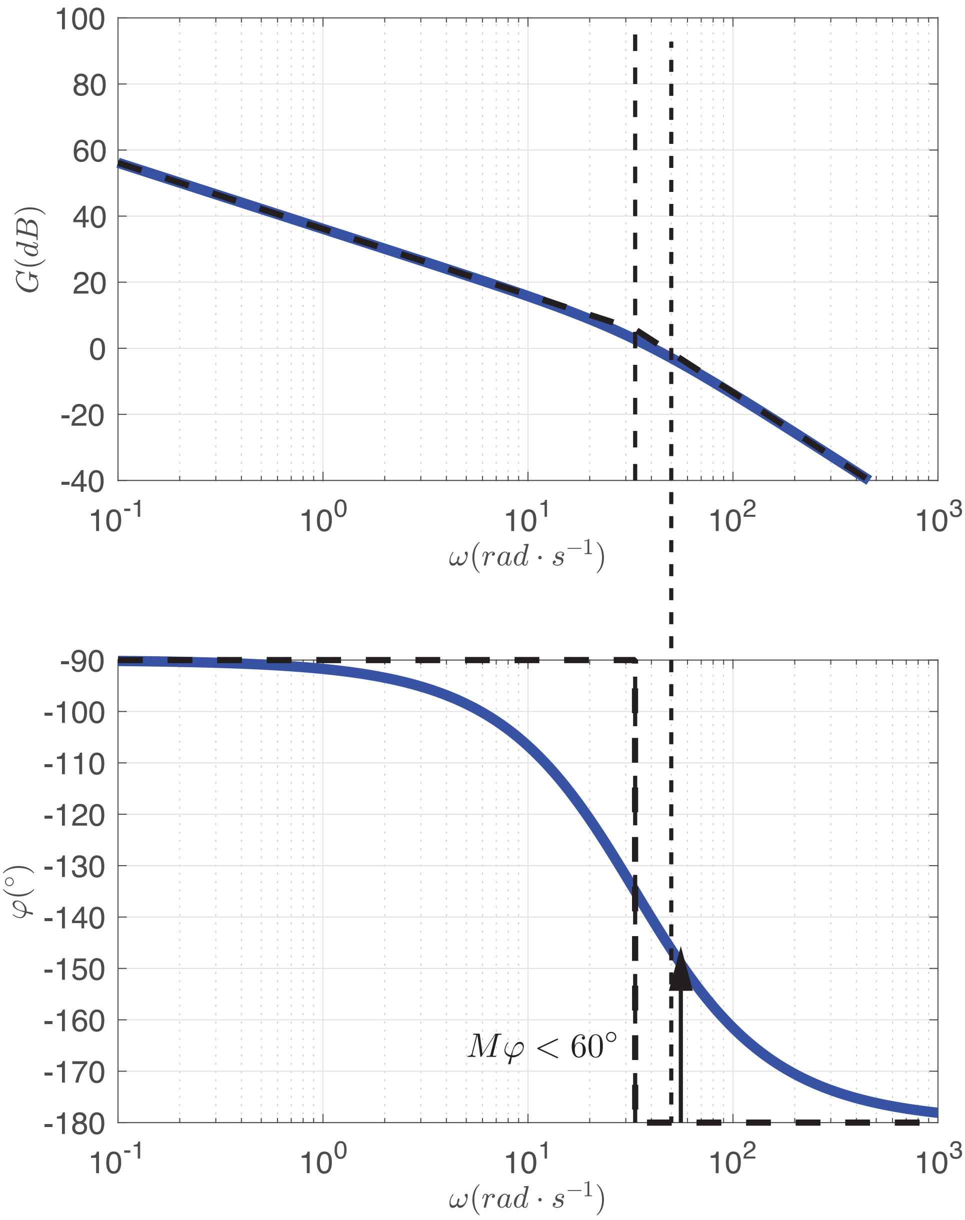
Dans le cas d'une perturbation constante égale à C_{ro}, d'après la question précédente on peut écrire : $Z(p) = -\frac{\frac{K_2}{K_p}}{1+\frac{p(1+T_m p)}{K_p K_1}} c_r(p) = -\frac{\frac{K_2}{K_p}}{1+\frac{p(1+T_m p)}{K_p K_1}} \frac{C_{ro}}{p}$.

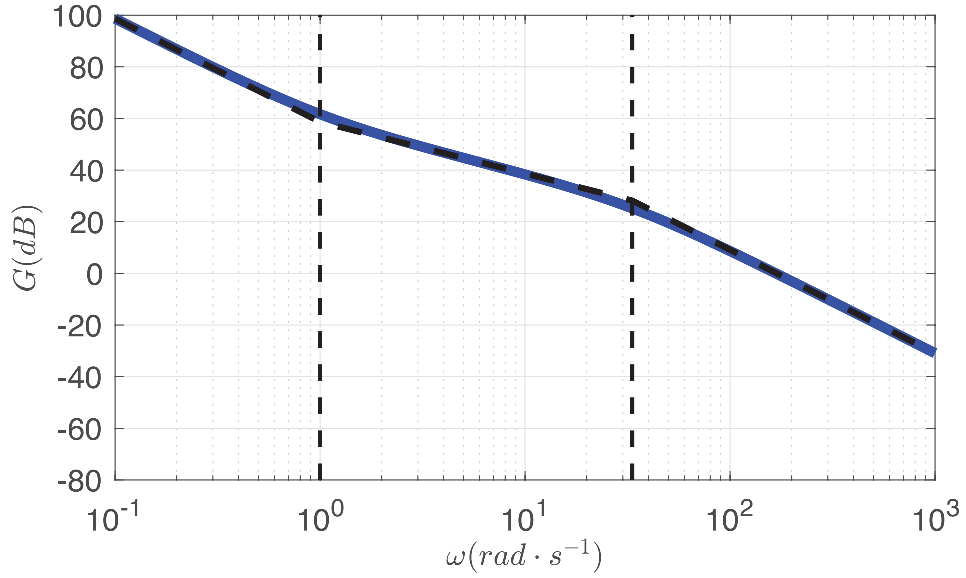
En utilisant la propriété du gain statique, on en déduit $z_\infty = \frac{K_2 C_{ro}}{K_p}$, l'erreur vaut donc $\varepsilon = -z_\infty = \frac{K_2 C_{ro}}{K_p}$.

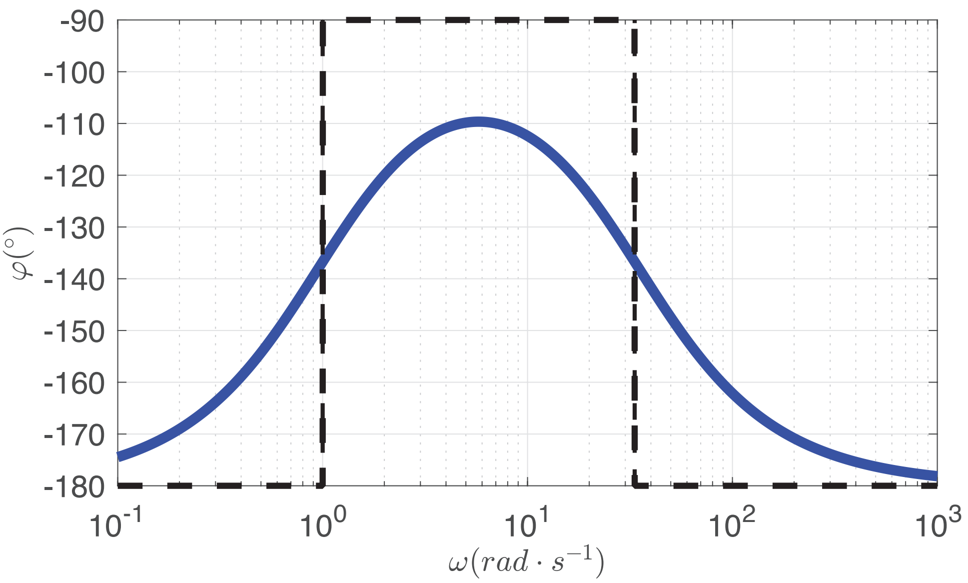
Pour répondre à l'exigence de précision, on doit avoir $\varepsilon = \frac{K_2 C_{ro}}{K_p} < 1\, mm$.

On en déduit $\varepsilon = \frac{K_2 C_{ro}}{K_p} < 10^{-3}\, m$
$\Leftrightarrow K_p > \frac{K_2 C_{ro}}{10^{-3}} \Leftrightarrow K_p > \frac{2{,}78.10^{-2}.2{,}3.10^{-3}}{10^{-3}} \Leftrightarrow K_p > 0,075$.

Question 10 Avec $K_p = 0,075$, on obtient une marge de phase de $35° < 60°$, le critère de stabilité n'est donc pas vérifié.


100
80
60
40
20
0
-20
-40
$G(dB)$
10^{-1} 10^{0} 10^{1} 10^{2} 10^{3}
$\omega(rad \cdot s^{-1})$
-90
-100
-110
-120
-130
-140
-150
-160
-170
-180
$\varphi(°)$
$M\varphi < 60°$
10^{-1} 10^{0} 10^{1} 10^{2} 10^{3}
$\omega(rad \cdot s^{-1})$

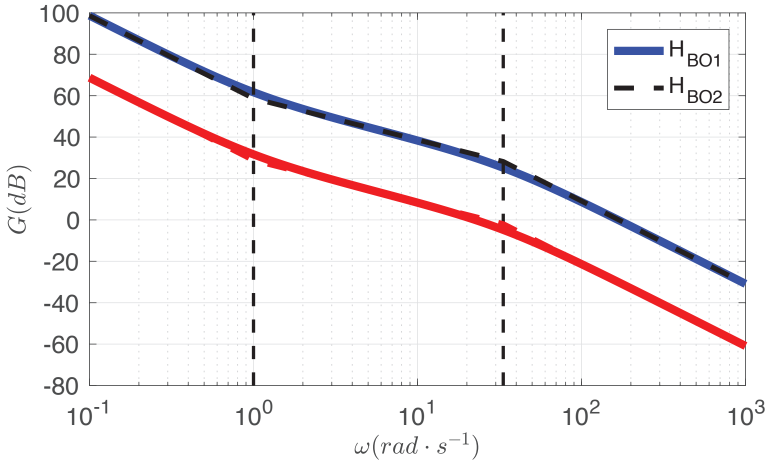


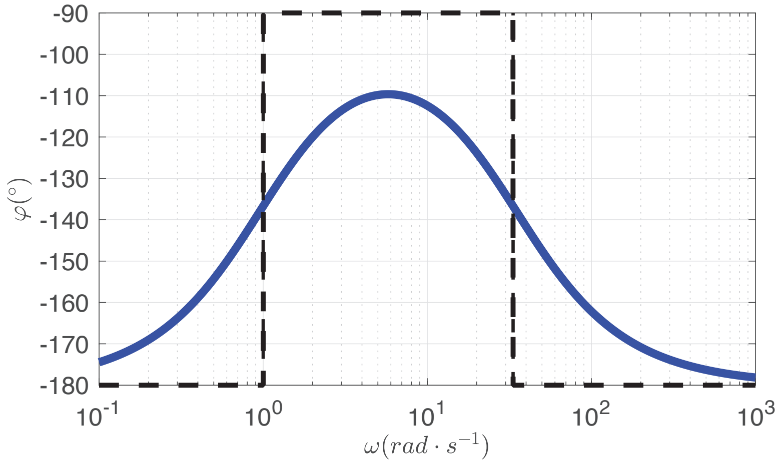


Question 11 On note qu'en la pulsation donnant une phase à $-120°$, le gain en décibel est à peu prêt égal à $-30dB$. On règle donc K_p tel que :

$$\boxed{K_p = 10^{-30/20} = 0,032.}$$

On obtient alors le deuxième tracé.



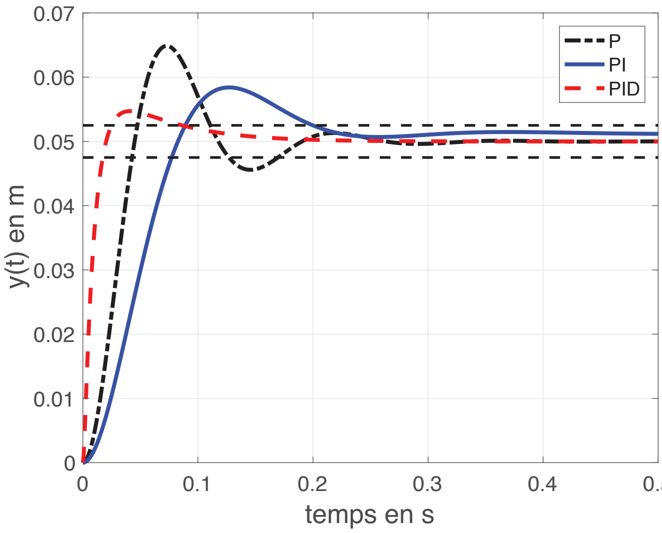


Question 12 ► La valeur en régime permanent vaut 50mm pour les trois réponses, l'erreur statique est nulle le critère de précision est respecté pour les trois réglages.

► Temps de réponse à 5% et dépassement :

Type de correcteur	**P**	**PI**	**PID**
$tr_{5\%}$	$0,17s$	$0,2s$	$0,08$
Dépassement	$29,72\%$	$16,8\%$	$9,4\%$

► Seul le PID vérifie le critère sur le premier dépassement car $D_{1\%} = 9,4\% < 10\%$. Le critère d'amortissement est donc respecté.



Question 13 On trouve une marge de phase supérieure à 60° et une bande passante à $0dB$ égale à $100rad/s$ supérieure aux réglages précédents ce qui donne une réponse plus rapide et plus stable.