



DS 3 - 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.

Table des matières

| | | |
|----------|---|----------|
| 1 | Colleuse de lamelles | 2 |
| 1.1 | Présentation | 2 |
| 1.1.a | Mise en situation | 2 |
| 1.1.b | Préparation de l'appareil | 2 |
| 1.1.c | Cycle de collage | 2 |
| 1.1.d | Partie opérative et partie commande | 2 |
| 1.2 | Étude de l'asservissement du système de préhension | 3 |
| 1.2.a | Présentation | 3 |
| 1.2.b | Étude de l'asservissement en position sans perturbation ($F_p = 0$) | 5 |
| 1.2.c | Étude de l'asservissement en position avec perturbation | 6 |
| 2 | Robot de Vincennes | 7 |
| 2.1 | Contexte | 7 |
| 2.2 | Système bouclé sans correcteur | 8 |
| 2.3 | Système corrigé | 8 |
| 3 | Manipulation de schéma-bloc | 9 |

1. Colleuse de lamelles

1.1 Présentation

1.1.a Mise en situation

Le groupe TECH-INTER commercialise du matériel de laboratoire d'histopathologie. Cette spécialité médicale consiste à découper des tissus d'organes en fine épaisseur ($4-5\mu m$). Ces tissus sont ensuite collés sur des lames de verres de $2mm$ d'épaisseur puis colorés chimiquement dans un automate. Pour certains tissus, il est nécessaire de coller sur les tissus colorés une lamelle de verre de $0,3mm$ d'épaisseur afin de les protéger. Cette dernière opération est très délicate à effectuer manuellement et très longue, une étude pouvant comporter plusieurs centaines de lames. L'appareil appelé « Colleuse de lamelle » automatise ce procédé.

1.1.b Préparation de l'appareil

Les lames sont placées manuellement dans des paniers disposés dans des bacs inox remplis de toluène. Ces bacs sont positionnés sur un rail de transport puis glissés dans l'appareil. Un tiroir de rangement ayant été préalablement chargé en lamelles, un récipient de colle ayant été placé dans l'appareil et des racks de réception glissés dans l'élévateur, le cycle peut commencer.

1.1.c Cycle de collage

L'opérateur programme la quantité de colle et le temps de séchage des lames collées puis appuie sur le bouton START. Le cycle se réalise alors automatiquement.

Le tapis roulant fait avancer le bac contenant le panier et un système de comptage détermine le nombre n de lames et leur position dans le panier.

Un mécanisme bielle – manivelle muni d'une pince positionne une lame horizontalement et la dépose sur le support de lame. Dans le même temps, une lamelle est aspirée du tiroir de rangement grâce à une pompe à vide puis est positionnée par un bras manipulateur au-dessus de la lame.

Un distributeur de colle dépose la colle sur la lame puis la lamelle descend sur la lame. L'ensemble collé « lame – lamelle » est stocké dans un rack par le support de lame.

1.1.d Partie opérative et partie commande

Les actions de positionnement de la lame et de la lamelle sont réalisées grâce à des mécanismes de type :

- « *bielle – manivelle* » pour le positionnement de la lame ;
- « *bras manipulateur* » pour le positionnement de la lamelle.

Les actions permettant de compter les lames, de positionner les lames et les lamelles, de coller la lamelle sur la lame, de stocker les ensembles « lame + lamelle collées » sont coordonnées et commandées par une unité centrale.

1.2 Étude de l'asservissement du système de préhension

1.2.a Présentation

Le mouvement peut être décomposé comme suit :

- Un mouvement de rotation commandé par une came;
- Un mouvement de translation commandé par un système vis-écrou.

Ce mouvement de translation fait l'objet de l'étude de cette partie.

Un moteur à courant continu entraîne un réducteur à engrenage. Sur l'axe de ce dernier est accouplée une vis en acier 7 qui entraîne un écrou monté sur une platine 8 en liaison glissière avec le bâti 0 de la colleuse. Cette platine entraîne l'axe 9 du système de préhension d'un mouvement vertical (schéma cinématique ci-contre).

On note $\lambda(t)$ le déplacement de l'écrou par rapport au bâti et $v_e(t)$ sa vitesse de translation.

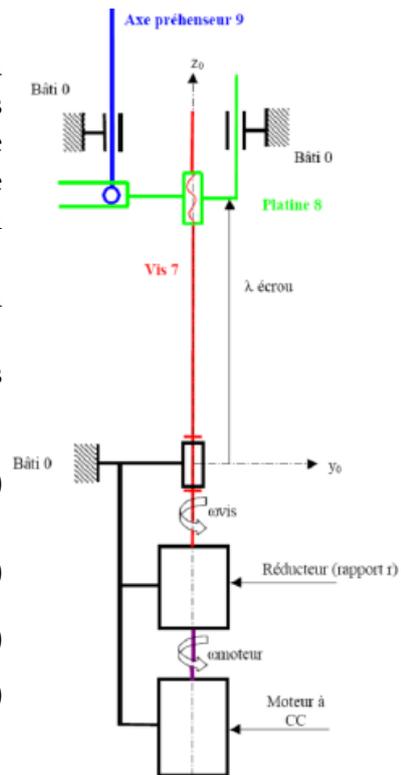
Le moteur à courant continu est régi par les équations suivantes :

$$u(t) = e(t) + u_R(t) = e(t) + R.i(t) \tag{1}$$

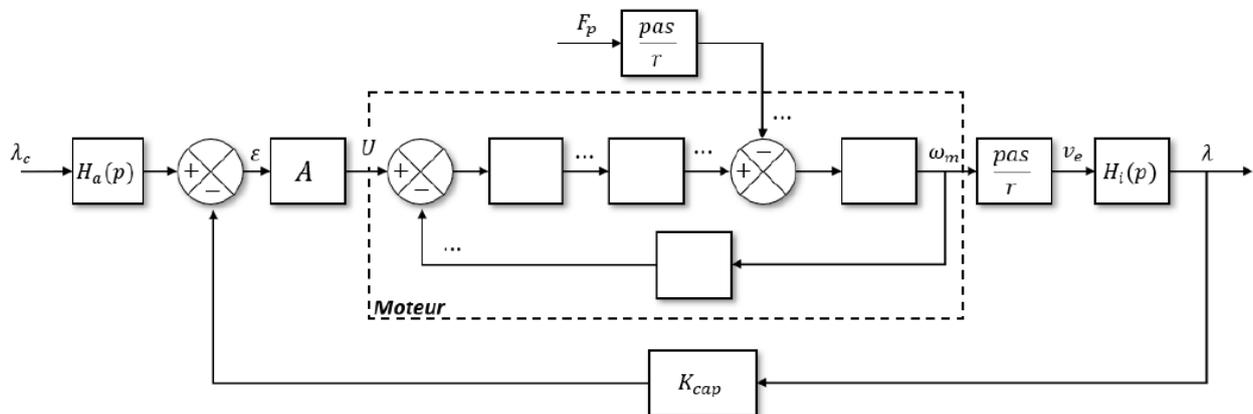
$$J \cdot \frac{d\omega(t)}{dt} = C_m(t) + C_r(t) \tag{2}$$

$$C_m(t) = K \cdot i(t) \tag{3}$$

$$e(t) = K \cdot \omega_m(t) \tag{4}$$



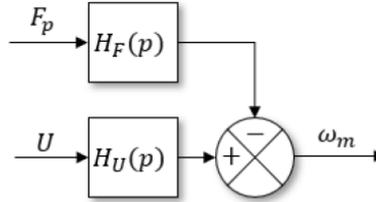
Le poids de la platine et les efforts extérieurs génèrent une force perturbatrice $F_p(t)$. L'application du principe fondamental de la dynamique permet d'écrire $C_r(t) = \frac{pas}{r} F_p(t)$. Ce mécanisme de préhension est commandé en position de consigne λ_c suivant le schéma bloc suivant :



Question 1: Écrire les transformées de Laplace des équations du moteur.

Question 2: Recopier, *rapidement et proprement*, puis compléter les blocs du moteur ainsi que les grandeurs indiquées par "...". On se limitera à la partie *moteur*.

La partie moteur peut se mettre sous la forme :



Question 3: Donner les expressions des fonctions $H_F(p)$ et $H_U(p)$, les mettre sous la forme canonique d'un premier ordre. On notera K_U et K_F les gains de ces fonctions et τ_U et τ_F leur constante de temps.

Question 4: Donner les expressions de K_U , K_F , τ_U et τ_F en fonction des caractéristiques du moteur K , R , J , r et pas .

La figure 1 donne la réponse de la vitesse de rotation ω_m pour une entrée en échelon d'amplitude $U_0 = 24V$ ($F_p = 0$).

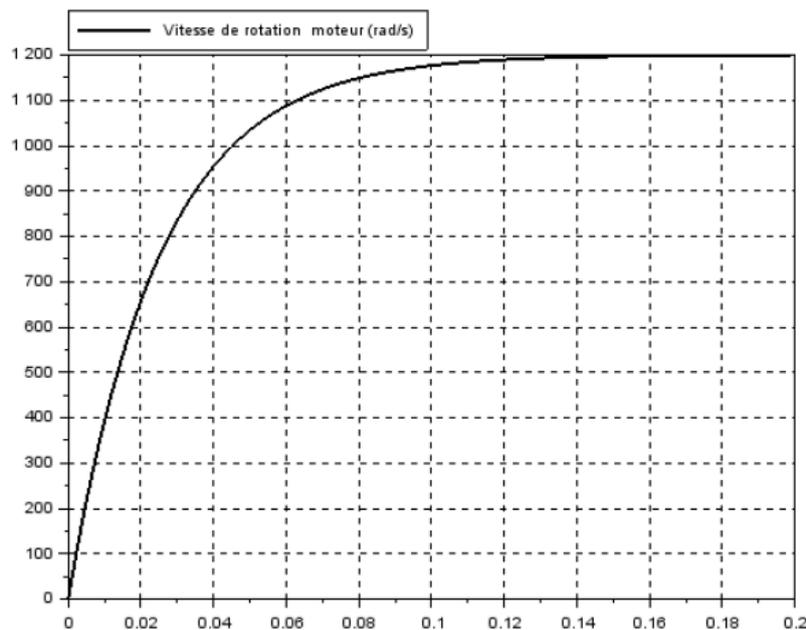


FIGURE 1 – Réponse de la vitesse de rotation ω_m pour une entrée en échelon d'amplitude $U_0 = 24V$ ($F_p = 0N$)

La figure 2 donne la réponse de la vitesse de rotation ω_m pour une force perturbatrice en échelon d'amplitude $F_0 = 100N$ ($U = 0V$).

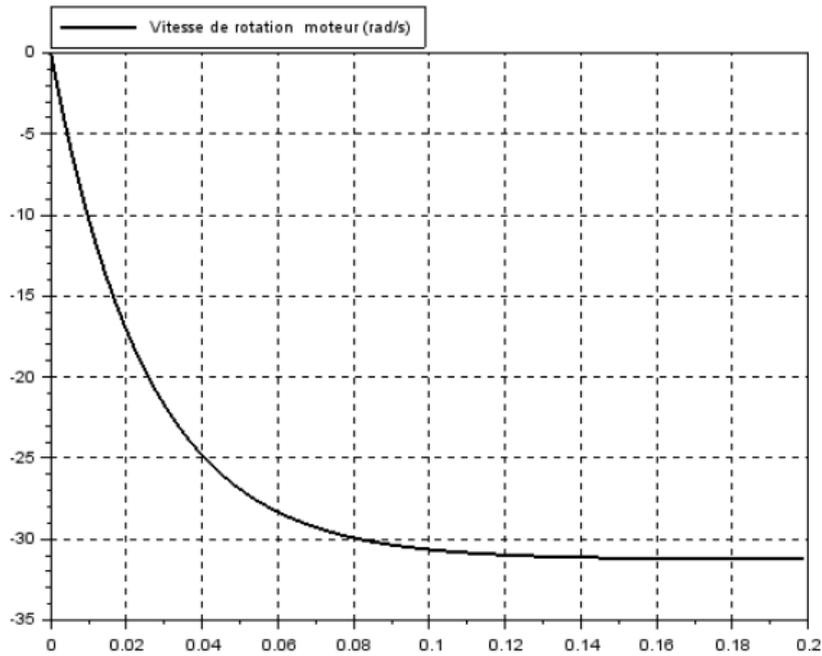
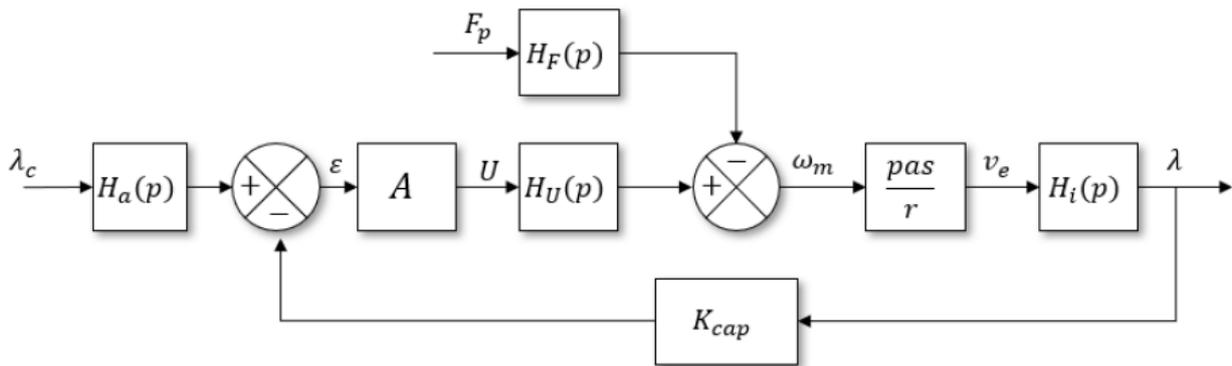


FIGURE 2 – Réponse de la vitesse de rotation ω_m pour une force perturbatrice en échelon d'amplitude $F_0 = 100N$ ($U = 0V$)

Question 5: A partir des figures 1 et 2, déduire, en justifiant, les valeurs numériques de K_F , K_U et τ_F .

Question 6: Déterminer le temps de réponse à 5% de $H_U(p)$ par deux méthodes.

Le schéma bloc de l'asservissement s'écrit maintenant sous la forme :



Question 7: Donner l'expression de $H_i(p)$.

Question 8: Donner, en justifiant, l'expression de la fonction de transfert $H_a(p)$. Indication : il faut avoir $\epsilon = 0$ et $\lambda_c = \lambda$, il suffit ensuite d'exprimer ϵ en fonction d'un λ .

1.2.b Étude de l'asservissement en position sans perturbation ($F_p = 0$)

Le cahier des charges impose pour une entrée en échelon :

- Une erreur nulle ;

— Un dépassement nul.

Pour cette partie, on peut montrer que le schéma bloc précédent peut se mettre sous la forme :



Où $G_U(p) = \frac{C_U}{p(1 + \tau_U \cdot p)}$; $C_U = 6,25 \cdot 10^{-4} m \cdot V^{-1}$ et $\tau_U = 0,025 s$.

Question 9: Déterminer la FTBF du système entier $G_\lambda(p) = \frac{\lambda(p)}{\lambda_c(p)}$ en fonction de τ_U , C_U et A . Mettre cette fonction sous forme canonique d'un système du second ordre.

On donne la forme canonique d'un système du second ordre :

$$G_\lambda(p) = \frac{K_\lambda}{1 + \frac{2\xi}{\omega_0}p + \frac{1}{\omega_0^2}p^2}$$

Question 10: Déterminer l'erreur en régime permanent pour une entrée en échelon. Le système valide-t-il le cahier des charges ?

Question 11: Afin d'éviter les dépassements, le coefficient d'amortissement ξ doit être égale à 1. Déterminer littéralement la valeur de A pour ce réglage en fonction des constantes du système puis calculer la valeur numérique de A .

Question 12: Calculer la pulsation propre non amortie ω_0 avec cette valeur maximale de A en fonction des composantes du système, calculer la valeur numérique de ω_0 .

Question 13: Il est maintenant possible de mettre $G_\lambda(p)$ sous la forme canonique la plus simple.

1.2.c Étude de l'asservissement en position avec perturbation

Question 14: Déterminer la fonction de transfert $G_p(p) = \frac{\lambda(p)}{F_p(p)}$, en considérant $\lambda_c(p) = 0$, en fonction de K_F , τ_F , K_U , τ_U , K_{capt} , A , pas et r .

Question 15: Exprimer l'erreur $\varepsilon_p(p)$ pour une entrée en échelon de perturbation F_0 en fonction des constantes du système. En prenant la valeur de la A calculée précédemment, le cahier des charges est-il validé ?

2. Robot de Vincennes

2.1 Contexte

L'étude porte sur un petit robot suspendu à un fil conçu pour suivre un groupe de chevaux lors d'une course à Vincennes.

A partir d'une image fixe de la zone de course dans la ligne droite devant les gradins, un programme informatique est capable de repérer la position de chaque cheval. Il en déduit par dérivation la vitesse de chacun. Un opérateur choisi ensuite de suivre l'un des chevaux de la course. Le programme identifie la vitesse du cheval concerné et envoie cette vitesse en consigne au robot.



Lors du mouvement du cheval, on attend du robot qu'il soit capable de suivre le cheval :

- Lors de son accélération en début de course, supposée constante aux environs de $1m.s^{-2}$, en ayant au plus une erreur de traînage de $3m.s^{-1}$. Puisque le cheval accélère en l'espace de quelques secondes, le robot prendra quelques mètres de retard qu'il rattrapera ensuite s'il est capable d'avoir un écart statique nul.
- Lors de chacun de ses passages devant les gradins où l'on supposera que le cheval a une vitesse constante (environ $20km.h^{-1}$ ou $5,5m.s^{-1}$). On attend alors que le robot le suive à la même vitesse, soit un écart statique nul. Le robot sera donc légèrement en arrière du cheval, le temps d'accélérer jusqu'à obtenir la vitesse du cheval.

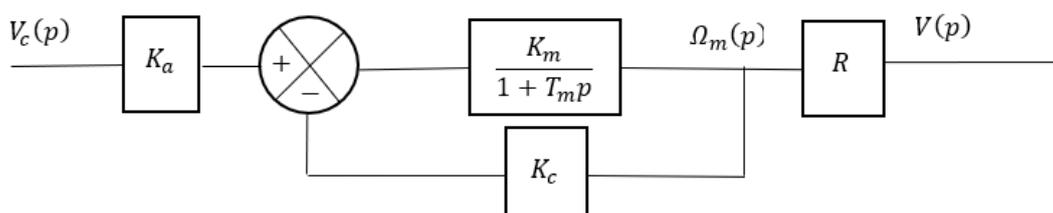
On attend du robot une aptitude à avoir atteint la vitesse du cheval en moins de 5 secondes. Les caractéristiques de l'asservissement attendues sont résumées dans le tableau suivant :

| | |
|--|----------------------------------|
| Temps de réponse à 5% | $t_{r_{5\%}} \leq 5s$ |
| Erreur statique | $\varepsilon_s = 0$ |
| Erreur de traînage pour une entrée en rampe unitaire | $ \varepsilon_v \leq 3m.s^{-1}$ |

La structure de l'asservissement est la suivante.

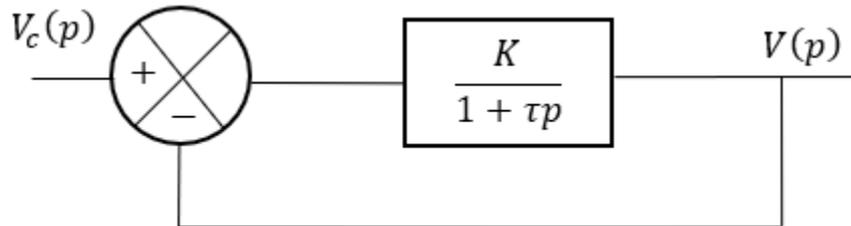
Une consigne de vitesse V_c en entrée du système est convertie à l'aide d'un adaptateur de gain K_a en une tension qui est comparée à la tension renvoyée par un capteur de gain K_c qui mesure la vitesse de rotation en sortie de l'arbre moteur et lui associe numériquement la valeur de la vitesse du robot en sortie de l'asservissement. L'écart en tension est envoyé au moteur à courant continu, qui génère une vitesse de rotation en sortie. Une roue roule sans glisser sur le fil sur lequel le robot est suspendu. Ainsi, la vitesse du robot est telle que $V = R\omega_m$, avec R le rayon de la roue.

Le schéma bloc de l'asservissement est donc le suivant :



Question 16: Afin que l'asservissement soit correct, il faut que l'écart en sortie du comparateur soit nul et que l'entrée soit égale à la sortie. Exprimer cet écart en fonction de $V_c(p)$ et $V(p)$ et des données afin de déterminer la valeur de K_a pour que le système soit correctement asservi.

Dans ces conditions, on peut montrer que le système peut alors se mettre sous la forme d'un asservissement avec un retour unitaire :



On gardera ce schéma bloc pour la suite de l'exercice.

Après avoir choisi le moteur, le capteur et le rayon de la roue, on obtient la fonction de transfert en boucle ouverte suivante :

$$G(p) = \frac{K}{1 + \tau p} \text{ avec } K = 2 \text{ et } \tau = 1 \text{ s.}$$

$$\text{Pour la suite, on notera } H(p) = \frac{V(p)}{V_c(p)} = \frac{S(p)}{E(p)}.$$

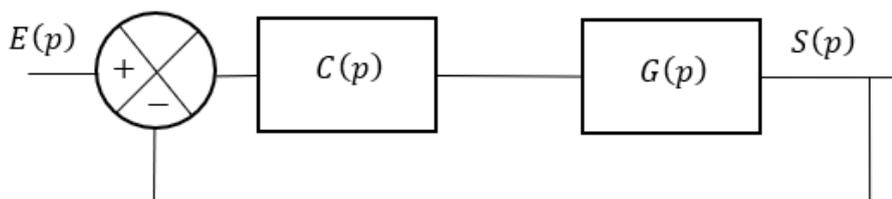
2.2 Système bouclé sans correcteur

Question 17: Donner la forme canonique de la fonction de transfert $H(p)$ et ses coefficients caractéristiques, c'est à dire son gain noté K_{BF} et le coefficient devant le p noté τ_{BF} , en fonction de K et τ . Faire les applications numériques.

Question 18: Étudier les trois performances du cahier des charges pour ce système. On sait que 95% de la valeur finale est atteinte pour $3 \cdot \tau_{BF}$.

2.3 Système corrigé

On propose d'ajouter un correcteur tel que $C(p) = \frac{a}{p}$.



Question 19: Donner la forme canonique de la fonction de transfert $H(p)$.

Question 20: Déterminer son ordre, sa classe et son gain.

On peut montrer que la fonction peut se mettre sous la forme :

$$H(p) = \frac{K}{1 + \frac{2\xi}{\omega_0}p + \frac{1}{\omega_0^2}p^2}$$

Question 21: Identifier les paramètres ξ et ω_0 .

Pour que le système soit le plus rapide possible, il faut $\xi = \frac{\sqrt{2}}{2}$.

Question 22: En déduire la valeur de a .

Question 23: Étudier les deux critères de précision du cahier des charges pour ce système corrigé.

3. Manipulation de schéma-bloc

Question 24: Déterminer la fonction de transfert $H(p) = \frac{S(p)}{E(p)}$ du schéma bloc suivant.

