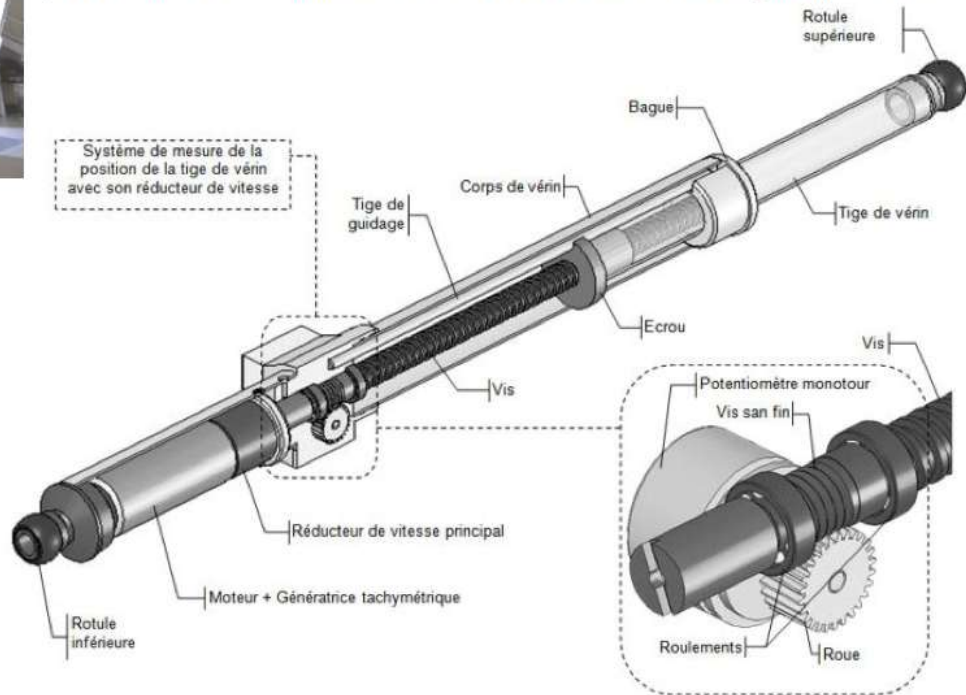


Exercice 1 : Capteur de vitesse de la plateforme 6 axes



Les plates-formes mobiles, qui font partie des robots dits « parallèles », sont des systèmes constitués d'un plateau mis en mouvement par 6 vérins électriques ou hydrauliques.

Elles sont principalement utilisées dans le domaine aéronautique pour réaliser des simulateurs de vol d'avions ou d'engins spatiaux.

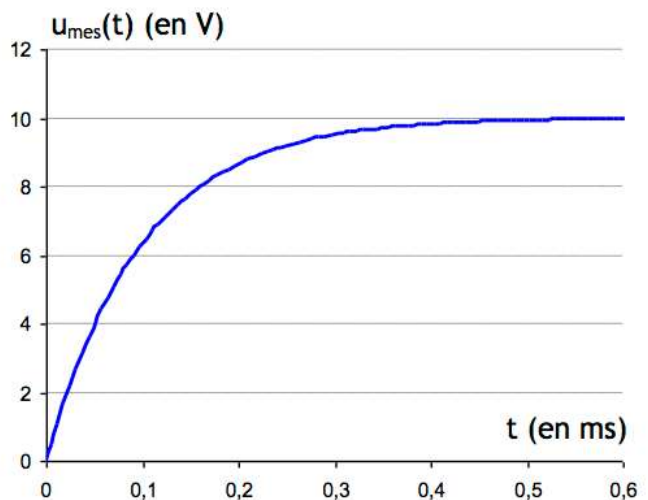
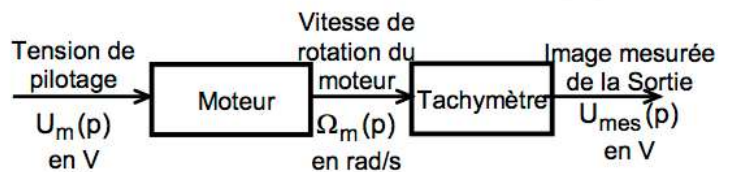


On s'intéresse au système en **boucle ouverte**, constitué du moteur et du capteur de vitesse (génératrice tachymétrique), d'un axe de la plateforme du laboratoire.

Le moteur est modélisé par la fonction de transfert :

$$\frac{\Omega_m(p)}{U_m(p)} = \frac{67,6}{1 + 0,02.p}$$

Lorsque le moteur tourne à vitesse constante (1,25 rad/s), on ferme un interrupteur situé à l'entrée du capteur de vitesse (on le soumet ainsi à un échelon de consigne). On enregistre alors l'évolution de sa sortie en fonction du temps (courbe ci-contre).



Question 1 : Indiquer l'ordre du système auquel le capteur peut être identifié. Justifier.

Question 2 : En déduire ses paramètres caractéristiques ainsi que sa fonction de transfert.

Question 3 : Après avoir comparé les constantes de temps du moteur et du capteur, justifier que l'ensemble moteur + capteur peut être assimilé à un système du premier ordre.

Question 4 : En déduire la fonction de transfert de ce système moteur + capteur.

Exercice 2 : Caméra de poursuite SPEEDCAM

L'étude porte sur la caméra de poursuite SPEEDCAM utilisée lors des événements sportifs pour filmer le sprint final des athlètes en tête de la course. La caméra est fixée sur un chariot se déplaçant sur un rail. Ce rail est le plus petit au monde permettant d'atteindre des vitesses supérieures à 15 m s^{-1} .

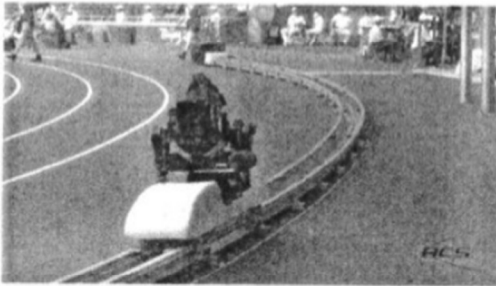


Figure 5.15. Caméra mobile montée sur un rail « haute vitesse ».

Un capteur optique permet de mesurer la position de la caméra par rapport au coureur. Un ordinateur détermine la consigne de vitesse nécessaire pour suivre le coureur, transmise sous forme de tension de commande à l'asservissement du chariot. Le chariot est asservi en vitesse comme le montre le schéma fonctionnel figure 5.16. Il doit satisfaire aux performances suivantes :

- système stable,
- vitesse maximale : supérieure à 15 m s^{-1} ,
- précision : erreur $< 5 \%$ pour une consigne en échelon,
- rapidité : $t_{5\%} < 0,5 \text{ s}$.

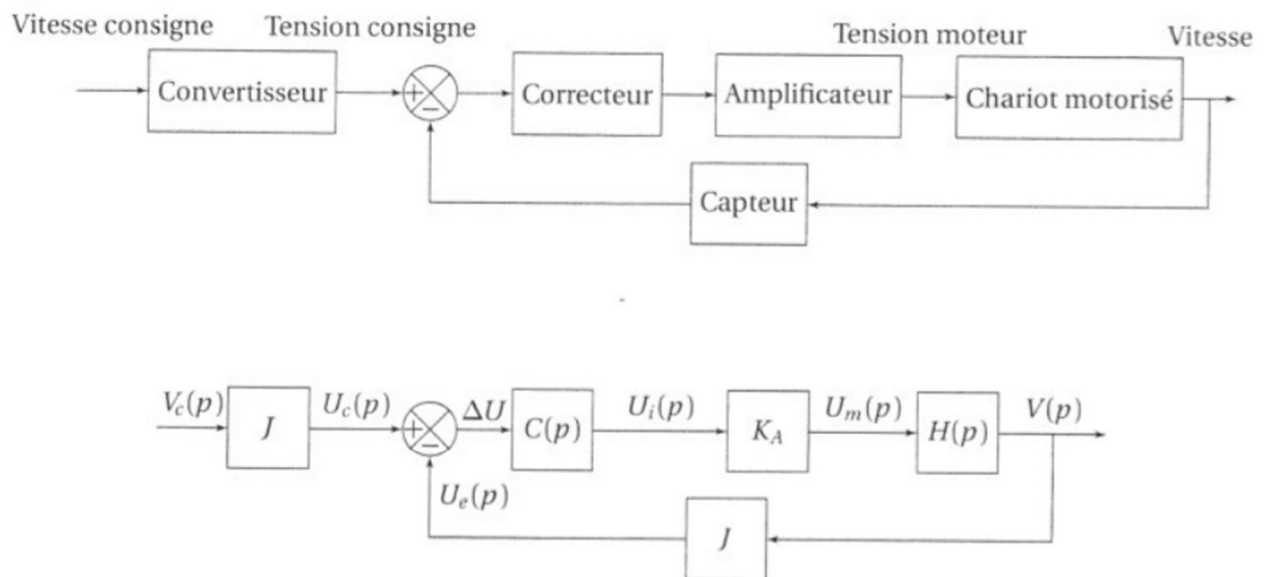


Figure 5.16. Schéma fonctionnel et schéma-blocs du chariot.

Le chariot est actionné par un moteur électrique piloté par sa tension d'entrée u_m . Cette tension est obtenue à l'aide d'un amplificateur fournissant une tension u_m proportionnelle à la tension $u_i(t)$ (gain : $K_A = 500$). Un capteur de vitesse mesure la vitesse v et renvoie une information de tension u_e proportionnelle à la vitesse v (gain : $J = 0,3 \text{ V s/m}$).

Modélisation du comportement du chariot Le chariot est relativement complexe, ce qui ne permet pas de donner *a priori* un modèle de connaissance $H(p)$ comme pour le capteur de vitesse ou l'amplificateur. Afin de modéliser son comportement, une mesure est réalisée afin de proposer un modèle simple représentatif. La courbe 5.17 montre la réponse obtenue par le capteur de vitesse lorsqu'un échelon de tension $u_m = u_0.U(t)$ (avec $u_0 = 70\text{V}$) est appliqué en entrée de $H(p)$.

On choisit un modèle simple du premier ordre pour identifier le comportement du chariot, soit $H(p) = \frac{K_c}{1 + \tau.p}$ où K_c et τ sont à déterminer à l'aide de la courbe.

- 1) Justifier le choix d'un modèle du premier ordre.
- 2) Déterminer à l'aide de la courbe la valeur de K_c .
- 3) Déterminer par trois méthodes la valeur de τ . À partir des trois valeurs obtenues, proposez une valeur de τ pertinente.

Étude des performances du système en boucle fermée On cherche maintenant à caractériser les performances du système asservi, c'est-à-dire la stabilité, rapidité et précision, pour un correcteur proportionnel $C(p) = K_p$ réglable. On supposera $K_p = 1\text{ s}^{-1}$ dans un premier temps.

- 4) Calculer la fonction de transfert totale $H_T(p) = \frac{V(p)}{V_c(p)}$ du chariot asservi. Quel est son ordre ? Le système sera-t-il stable ?
- 5) En calculant la valeur à convergence de $v(t)$ suite à une entrée en échelon $v_c(t) = V_0 U(t)$, déterminer si le système est précis.

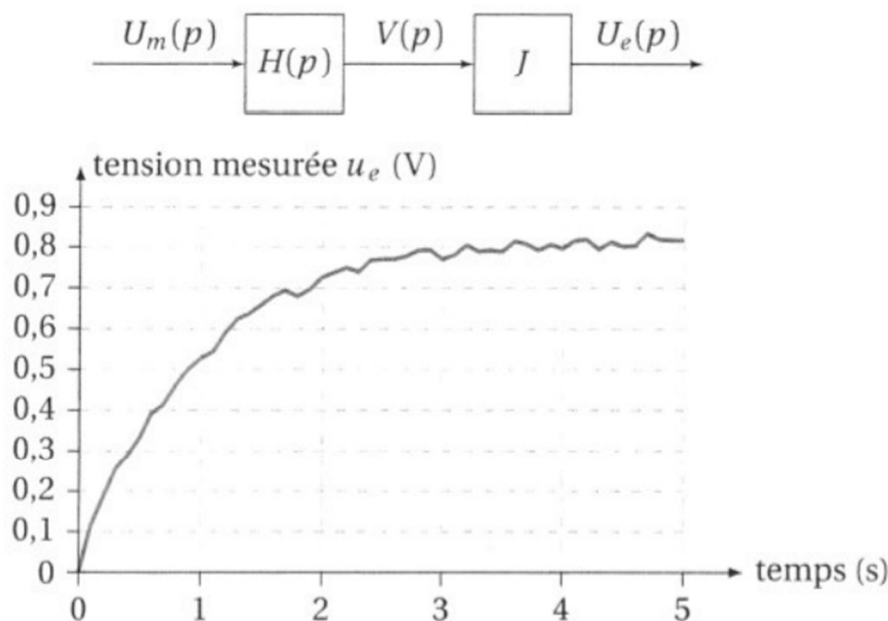
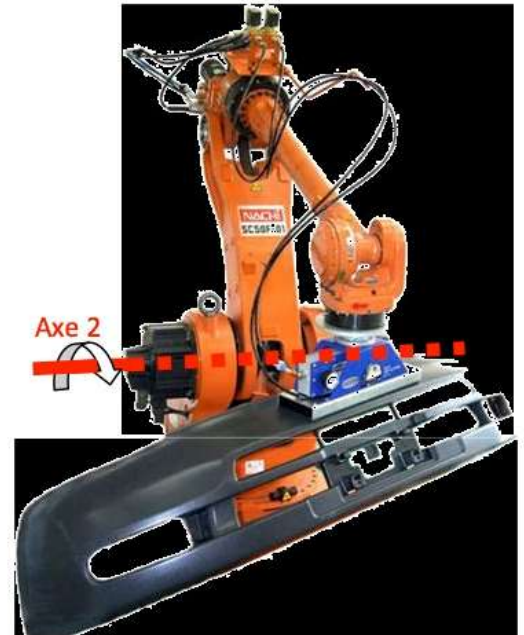
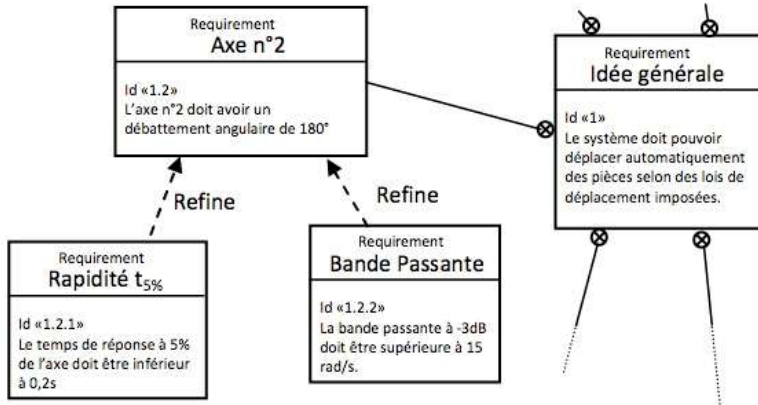


Figure 5.17. Identification d'un modèle représentatif de la mesure expérimentale.

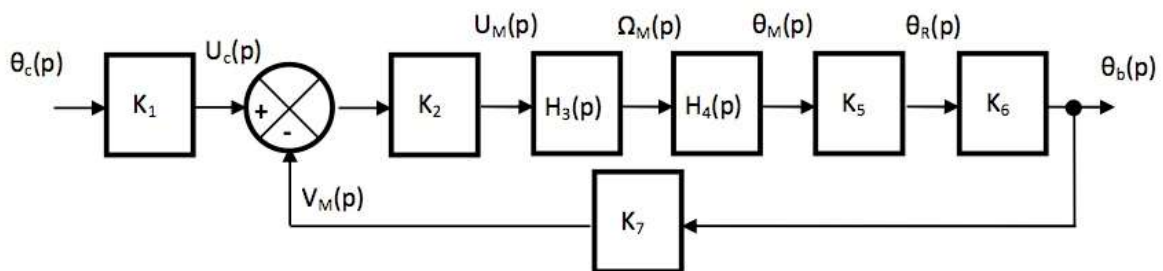
- 6) Déterminer la rapidité du système. Comment modifier K_p pour améliorer la rapidité du système ? Quelle sera la conséquence sur la précision ?

Exercice 3 : Robot préhenseur de pièces

On s'intéresse à un robot préhenseur de pièces dont on donne une description structurelle ainsi qu'un extrait partiel du diagramme des exigences de son modèle SysML. L'objectif de cette étude est de vérifier les performances d'un des axes asservis de ce robot vis-à-vis des critères de performances attendus.



On donne ci-dessous le modèle de l'asservissement de position angulaire de l'axe du bras étudié sous la forme d'un schéma bloc (l'angle réel du bras est $\theta_b(t)$, l'angle de consigne est $\theta_c(t)$).



Avec : K_1, K_2, K_5, K_6, K_7 : constantes, $\theta_c(p)$: angle de consigne, $U_c(p)$: tension consigne, $U_M(p)$: tension moteur, $\Omega_M(p)$: vitesse angulaire de l'arbre moteur, $\theta_M(p)$: angle de l'arbre moteur, $\theta_R(p)$: angle de l'arbre en sortie de réducteur, $\theta_b(p)$: position angulaire du bras, $V_M(p)$: tension mesurée image de $\theta_b(p)$.

Q.1. Déterminer le lien entre K_1 et K_7 pour que $\theta_b(p)$ soit asservi sur $\theta_c(p)$.

La fonction de transfert $H_3(p)$ est réalisée par un moteur, dont le modèle de connaissance est le suivant :

$$u_M(t) = e(t) + R \cdot i(t) \quad e(t) = k_e \cdot \omega_M(t) \quad J \cdot \frac{d\omega_M(t)}{dt} = C_M(t) \quad C_M(t) = k_M \cdot i(t)$$

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 de l'arbre en sortie de moteur (en rad/s), $C_M(t)$: couple moteur (en N.m) (un couple est une action mécanique qui tend à faire tourner), J : inertie équivalente en rotation de l'arbre moteur (en kg.m^2), R : résistance électrique du moteur (Ω), k_e : constante de force contre-électromotrice ($\text{V.rad}^{-1}.\text{s}$), k_M : constante de couple (N.m.A^{-1}).

Q.2. Déterminer la fonction de transfert $H_3(p) = \frac{\Omega_M(p)}{U_M(p)}$. Montrer que $H(p)$ peut se mettre sous la forme

canonique $H_3(p) = \frac{K_3}{(1 + T_3 \cdot p)}$ et déterminer les valeurs littérales K_3 et T_3 .

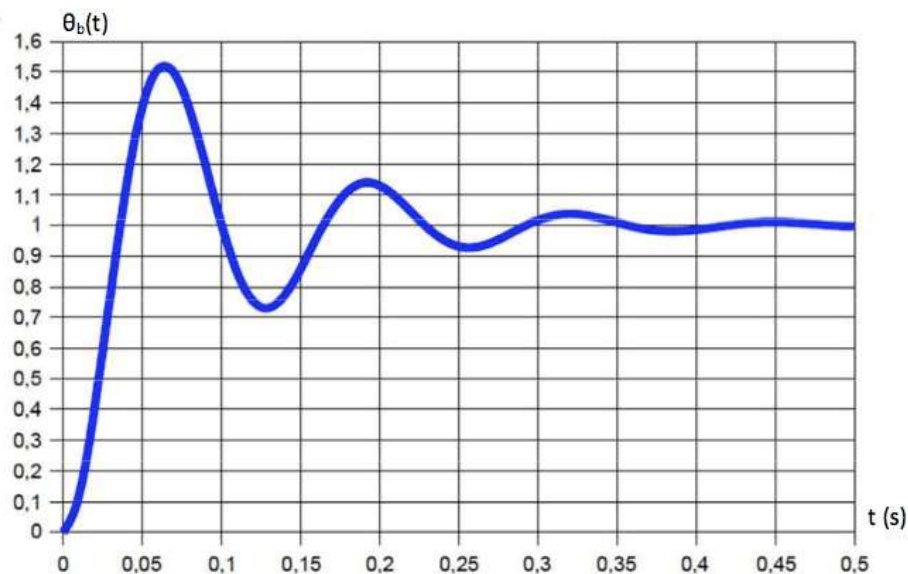
Q.3. Déterminer $\omega_M(t)$ lorsque $u_M(t)$ est un échelon de tension d'amplitude U_0 . Préciser la valeur de $\omega_M(t)$ à l'origine, la pente de la tangente à l'origine de $\omega_M(t)$ et la valeur finale atteinte par $\omega_M(t)$ quand t tend vers l'infini.

Q.4. Déterminer la fonction de transfert $H_4(p)$.

Q.5. Déterminer la fonction de transfert $H(p) = \frac{\theta_b(p)}{\theta_c(p)}$. Montrer que cette fonction peut se mettre sous la forme

$H(p) = \frac{K}{(1 + \frac{2z}{\omega_0}p + \frac{1}{\omega_0^2}p^2)}$ et déterminer les valeurs littérales K , z et ω_0 en fonction des constantes fournies.

La réponse indicielle de $H(p)$ à un échelon unitaire, obtenue à l'aide d'un logiciel de simulation, est donnée sur la figure suivante :



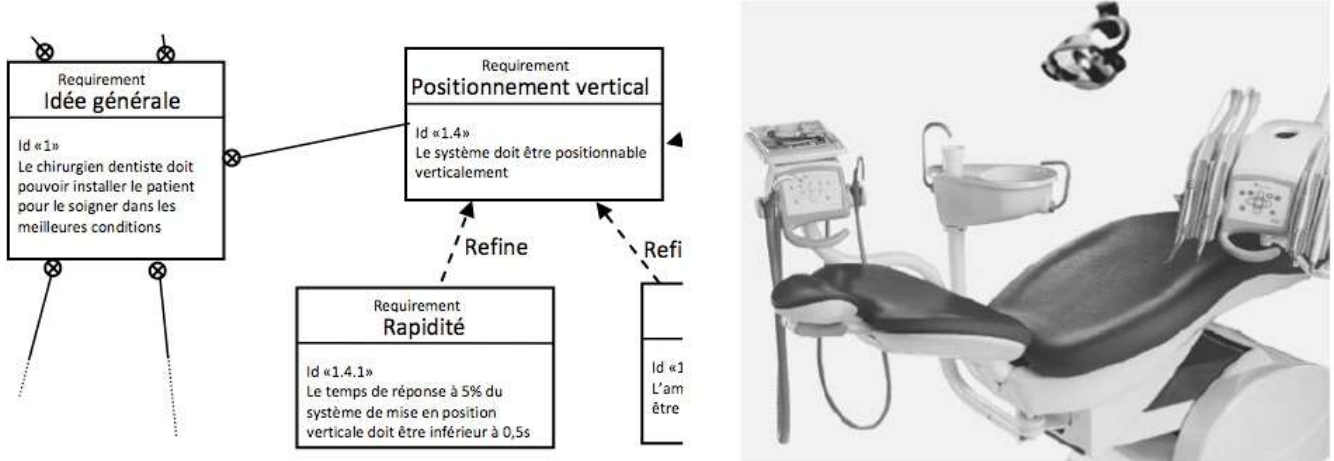
Q.6. Déterminer, en expliquant la démarche utilisée, les valeurs numériques de K , z et ω_0 .

Q.7. Déterminer, en expliquant la démarche utilisée, la valeur numérique du critère qui permet de vérifier l'exigence 1.2.1. du système.

Q.8. Réaliser une synthèse présentant les résultats obtenus ainsi que l'évaluation de l'écart 3 correspondant à l'écart entre performances attendues et performances simulées puis conclure vis-à-vis des exigences du cahier des charges.

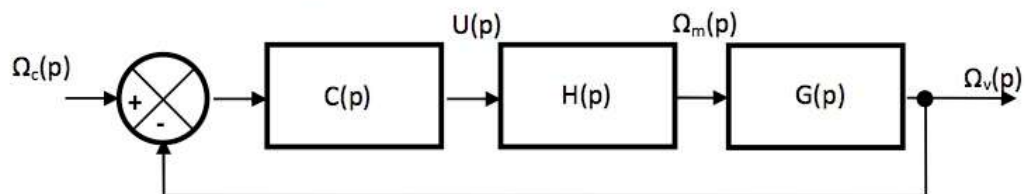
Exercice 4 : Étude de l'asservissement d'une unité dentaire

Le support de l'étude est une « unité dentaire » dont on donne un extrait partiel du diagramme des exigences de son modèle ainsi qu'une description structurale du système. Cet équipement a été conçu et réalisé dans le but d'une adaptabilité maximale aux différentes méthodes de travail des chirurgiens dentistes. Le chirurgien dentiste possède une pédale et un pupitre de commande qui lui permet de monter ou descendre verticalement le corps du patient, de l'incliner plus ou moins et de positionner sa tête. Grâce à cela, le patient peut prendre une position pertinente pour que le chirurgien puisse réaliser tous les actes médicaux.



On s'intéresse dans ce sujet au critère de l'exigence 1.4.1 concernant le temps de réponse du système permettant de mettre en position verticale le patient. Le travail proposé porte sur la comparaison de deux solutions techniques pour réaliser le correcteur $C(p)$ du système de positionnement vertical. Le comportement temporel du système avec chacune de ces solutions sera analysé vis-à-vis du critère de l'exigence 1.4.1.

Pour régler le patient en position verticale, le chirurgien dentiste appuie sur une pédale, plus ou moins fort. Un moteur électrique se met en route, sa vitesse de rotation dépendant de l'appuie plus ou moins profond du chirurgien dentiste sur la pédale. La vitesse de rotation du moteur est réduite par un réducteur à engrenages. En sortie du réducteur à engrenages se trouve une vis, dont la rotation $\Omega_v(p)$ entraîne, par un système vis écrou, la translation du siège en hauteur. L'ensemble peut se représenter par le schéma bloc suivant (le composant de fonction de transfert $C(p)$ correspond au correcteur) :



Q.1. Donner le nom des composants qui correspondent aux fonctions de transfert $H(p)$ et $G(p)$.

Q.2. Déterminer la fonction de transfert en boucle fermée du système : $\frac{\Omega_v(p)}{\Omega_c(p)}$

Les équations du moteur utilisé sont les suivantes :

$$u(t) = e(t) + R \cdot i(t) + L \cdot \frac{di(t)}{dt} \quad e(t) = k_e \cdot \omega_m(t) \quad J \cdot \frac{d\omega_m(t)}{dt} = C_m(t) - f \cdot \omega_m(t) \quad C_m(t) = k_m \cdot i(t)$$

Avec : $u(t)$ = tension du moteur ; $e(t)$ = force contre électromotrice du moteur ; $i(t)$ = intensité dans le moteur ; $C_m(t)$ = couple exercé par le moteur ; $\omega_m(t)$ = vitesse angulaire du moteur. Les grandeurs physiques R , L , k_e , J , f et k_m sont des constantes.

Q.3. En supposant les conditions initiales nulles (ce qui sera également supposé dans tout le reste de l'exercice), exprimer ces équations dans le domaine de Laplace.

Q.4. Montrer que, dans le domaine de Laplace, la relation entre $\Omega_m(p)$ et $U(p)$ peut s'écrire sous la forme : $\frac{\Omega_m(p)}{U(p)} = \frac{K}{(1 + \frac{2z}{\omega_0}p + \frac{1}{\omega_0^2}p^2)}$ où K , z et ω_0 sont trois constantes à déterminer.

Si on utilise un correcteur proportionnel, l'application numérique des grandeurs physiques permet de trouver la fonction de transfert simplifiée suivante : $\frac{\Omega_v(p)}{\Omega_c(p)} = \frac{K_T}{1 + T_T \cdot p}$, avec $K_T=0,9$ et $T_T=0,1s$

Q.5. Déterminer $\omega_v(t)$ lorsque le chirurgien dentiste demande un échelon de rotation $\omega_c(t) = \omega_{c0} \cdot u(t)$. Exprimer le résultat en fonction de ω_{c0} , K_T et T_T .

Q.6. Déterminer le temps de réponse à 5% du système et effectuer l'application numérique.

Le patient, initialement immobile, bouge verticalement selon le déplacement $x_v(t)$ tel que : $\frac{dx_v(t)}{dt} = a \cdot \omega_v(t)$ avec a =constante qui représente le pas réduit de la vis.

Q.7. Déterminer la transformée de Laplace $X_v(p)$ de $x_v(t)$.

Q.8. Déterminer $x_v(t)$ en fonction de a , K_T et T_T et ω_{c0} .

Si on utilise un correcteur proportionnel, dérivé et intégral, l'application numérique des grandeurs physiques permet de trouver la fonction suivante : $\frac{\Omega_v(p)}{\Omega_c(p)} = \frac{1}{1 + 2 \cdot p + p^2}$

Q.9. Déterminer $\omega_v(t)$ lorsque le chirurgien dentiste demande un échelon de rotation $\omega_c(t) = \omega_{c0} \cdot u(t)$.

Q.10. Comparer la rapidité du système muni du correcteur proportionnel, avec la rapidité du système muni du correcteur proportionnel intégral dérivé.

Q.11. Réaliser une synthèse présentant les résultats obtenus ainsi que l'évaluation de l'écart 3 correspondant à l'écart entre performances attendues et performances simulées puis conclure vis-à-vis des exigences du cahier des charges.