

TD 01



Robot MIR : Machine d'inspection des réacteurs rapides

E3A MP

Savoirs et compétences :

Robot MIR : Machine d'inspection des réacteurs rapides

Mise en situation

Le robot MIR développé pour la vérification des cuves de Superphenix doit être adapté pour le contrôle d'une nouvelle génération de réacteurs à neutrons rapides.

L'objectif du robot MIR est de :

- assurer le contrôle surfacique télévisuel des soudures des deux cuves et des zones adjacentes ;
- assurer le contrôle volumique par ultrasons des soudures de la cuve principale et des zones adjacentes. Une possibilité était offerte d'effectuer ce contrôle sur la cuve de sécurité ;
- mesurer en permanence la distance entre les deux cuves.

Étude de la fonction : Synchroniser les vitesses des roues

On se place au niveau de l'arbre moteur avant réduction, couples et vitesses ramenées sur l'arbre moteur.

Objectif Synchroniser les vitesses des roues.

La synchronisation automatique de la vitesse des quatre roues est basée sur la parfaite réversibilité de la transmission des efforts de la roue vers le réducteur puis le moteur.

Dans une première approche, on ne s'intéresse qu'aux roues inférieures **SA** et **SB**.

Les roues **SA** et **SB** sont munies des mêmes motoréducteurs avec les mêmes moteurs à courant continu. Elles sont commandées en tension sur l'induit. Les circuits d'induit ont la même résistance R et une inductance négligeable.

On s'intéresse d'abord au moteur de la roue **SA** seule.

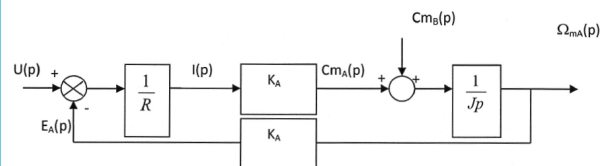
On notera :

- $\omega_{mA}(t)$: vitesse angulaire de rotation à la sortie du moteur, avant réduction (en rads^{-1}) ;
- $c_{mA}(t)$: couple exercé par le moteur de la roue **SA** sur l'arbre moteur en N.m ;
- $c_{mB}(t)$: couple exercé par le moteur de la roue **SB** sur l'arbre moteur en N.m ;
- J : moment d'inertie équivalent en kgm^2 .

Rappelons les équations régissant le moteur :

- équations électriques (en négligeant l'effet de l'inductance) : $u(t) = Ri_A(t) + e_A(t)$;
- équation mécanique issue de l'étude précédente, ramenée à l'arbre moteur de la roue **SA** : $c_{mA}(t) + c_{mB}(t) = J \frac{d\omega_{mA}(t)}{dt}$;
- équations électromécaniques : $e_A(t) = K_A \omega_{mA}(t)$ et $c_{mA}(t) = K_A i_A(t)$.

L'entrée du système est la tension de commande appliquée aux bornes du moteur, la sortie est la vitesse de rotation de la roue **SA**, on peut modéliser le système à l'aide du schéma bloc suivant :



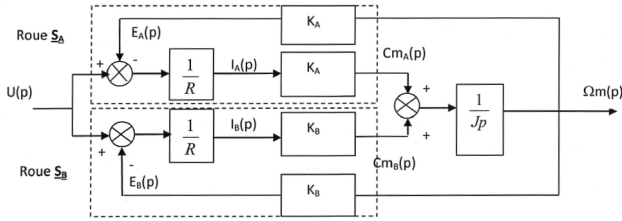
Question 1 Exprimer la fonction de transfert $\frac{\Omega_{mA}(p)}{U(p)}$ lorsque $C_{mB}(p) = 0$ et la mettre sous forme canonique.

Question 2 Exprimer quelle serait la valeur finale de la vitesse de rotation du moteur raccordé à la roue **SA**, notée ω_{mAf0} si on considère que $C_{mB}(p) = 0$, et ceci pour une entrée modélisée par un échelon de tension d'amplitude u_0 .

Question 3 Exprimer la fonction de transfert $\frac{\Omega_{mA}(p)}{C_{mB}(p)}$ lorsque $U(p) = 0$ et la mettre sous forme canonique.

Si les deux roues fonctionnent à la même vitesse, on a la structure du schéma bloc de la figure 10 pour chacune des deux roues.

Mais si les moteurs ont une légère différence, par exemple la constante électromécanique K_A et K_B , les 2 roues prendraient des vitesses différentes. Mais contraintes par le châssis et l'adhérence aux parois à tourner à la même vitesse (en ligne droite), elles exercent l'une sur l'autre un effort qu'on peut ramener à l'arbre moteur sous forme d'un couple supplémentaire C_{mB} sur la roue **SA**, et C_{mA} sur la roue **SB**. On a alors le schéma suivant :



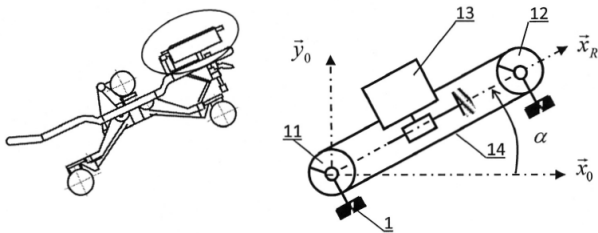
Question 4 Exprimer la fonction de transfert globale sous forme canonique : $\frac{\Omega_m(p)}{U(p)}$.

Question 5 Si l'entrée est un échelon de tension d'amplitude u_0 , calculer la valeur finale de la vitesse de rotation de chacun des moteurs, notée ω_{finale} . Conclure quant à la possibilité d'avoir roulement sans glissement entre chacune des roues et les cuves.

Étude de la fonction Ft12 : Déplacer le transducteur à vitesse constante

Le robot MIR étant à l'arrêt entre les deux cuves, le mini bac est plaqué contre la paroi de la cuve à contrôler. Pour l'inspection des soudures, le transducteur 13 (capteur de l'état des soudures) doit se déplacer à l'intérieur du mini bac d'inspection à vitesse constante. Le mini bac est rempli d'un fluide visqueux. L'inspection peut avoir lieu pour n'importe quelle position du robot MIR, donc l'angle α qui caractérise la direction du déplacement du transducteur par rapport à l'horizontale, est susceptible de prendre toute valeur comprise entre $-\pi/2$ (robot tête en bas) et $\pi/2$ (robot tête en haut). Afin de garantir la qualité des résultats de mesure, le transducteur doit donc se déplacer à une vitesse V_0 constante par rapport à la paroi, et ceci pour toute valeur de l'angle α .

Objectif Qualifier la précision statique du système et définir les améliorations à apporter.



L'objectif de cette partie est de dimensionner le correcteur nécessaire au respect d'un écart statique nul, et ceci malgré le caractère variable de l'angle α .

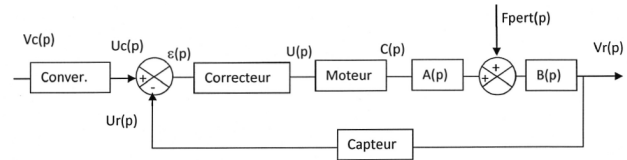
Le transducteur est en liaison glissière de direction \vec{x}_r , avec le corps 1 du robot MIR. La chaîne d'énergie est composée entre autre, d'un actionneur rotatif qui exerce un couple $c(t)$ sur le pignon 11, qui est en liaison pivot, supposée parfaite, avec le robot MIR. Un système poulies (11 et 12) et courroie crantée 14 impose le mouvement de translation au transducteur 13.

Le comportement dynamique du système est régi par l'équation suivante

$$M_{eq} \frac{dv_r(t)}{dt} = \delta c(t) + \beta v_r(t) + \gamma g$$

On cherche à garantir une vitesse de translation du transducteur 13 égale à la valeur de consigne indépendamment de l'angle α .

Pour cela, on réalise le système bouclé suivant :



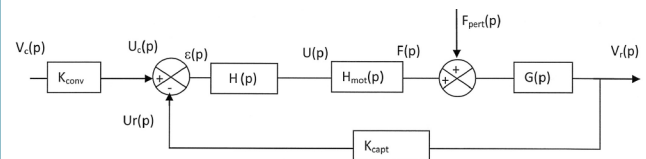
Notations : $V_r(p)$ est la transformée de Laplace de $v_r(t)$ vitesse de translation du transducteur 13. $F_{pert}(p)$ est la transformée de Laplace de $f_{pert}(t)$, avec : $f_{pert}(t) = -m_t \sin \alpha u(t)$ avec $u(t)$ échelon unitaire.

Question 6 En supposant des conditions initiales nulles, exprimer les fonctions de transfert $A(p)$ et $B(p)$ en fonction entre autres de δ , β et M_{eq} .

Le capteur est modélisé par un gain pur de valeur K_{capt} .

Question 7 En supposant une perturbation nulle, quelle doit être la valeur du gain K_{conv} du convertisseur modélisé par un gain pur, afin que l'écart $\epsilon(t)$ soit nul quand la valeur de la vitesse réelle $v_r(t)$ est égale à la valeur de la consigne $v_c(t)$.

On adopte pour la suite la modélisation suivante :



Avec $H_{mot}(p) = \frac{K_m}{1 + \tau_m p}$, $G(p) = \frac{K}{1 + \tau p}$ et $H(p) = K_{cor}$ fonction de transfert du correcteur.

Question 8 Exprimer les deux fonctions de transfert : $H_1(p) = \left(\frac{V_r(p)}{V_c(p)} \right)_{F_{pert}(p)=0}$ et $H_2(p) = \left(\frac{V_r(p)}{F_{pert}(p)} \right)_{V_c(p)=0}$. en fonction des gains K_{conv} , K_{cor} , et K_{capt} ainsi que des fonctions de transfert $H_{mot}(p)$ et $G(p)$.

Question 9 En supposant que $K_{cor} = 1$ et en indiquant les valeurs remarquables, tracer les diagrammes asymptotiques dans le plan de Bode de la fonction de transfert en boucle ouverte $\frac{U_r(p)}{\epsilon(p)}$ en utilisant les valeurs numériques suivantes :

$$K_m = 0.1 \text{ NV}^{-1} \quad \tau_m = 0.01 \text{ s} \quad K_{capt} = 50 \text{ V s m}^{-1} \quad K = 200 \text{ m s}^{-1} \text{ N}^{-1} \quad \tau = 0.01 \text{ s}$$

Question 10 Déterminer le gain en décibel de la fonction de transfert en boucle ouverte (courbe réelle) pour la pulsation de 100 rad s^{-1} .

On formule l'hypothèse simplificatrice suivante : la phase de la fonction de transfert en boucle ouverte pour une pulsation de 100 rad/s est de -135° .

Question 11 On souhaite une marge de gain 12 dB et une marge de phase de 45° , en utilisant le résultat de la question précédente, déterminer la valeur numérique correspondante de K_{cor} . Commenter la valeur de la marge de gain obtenue?

Question 12 On impose une vitesse constante en entrée de valeur v_0 ($v_c(t) = v_0 \cdot u(t)$) avec $u(t)$ fonction échelon

unitaire de Heaviside. Exprimer l'écart statique en régime permanent en tenant compte de la perturbation (en fonction de l'angle α , de la valeur de K_{cor} et des données).

On souhaite obtenir une vitesse de translation indépendante de l'inclinaison. Pour toute la suite du sujet, on installe un correcteur intégral du type $\frac{K_c}{p}$, placé au début de la chaîne d'action.

Question 13 On impose de nouveau une vitesse constante en entrée de valeur v_0 ($v_c(t) = v_0 \cdot u(t)$); exprimer l'expression du nouvel écart statique en régime permanent (en fonction de l'angle α et des données). Pouvaient-on prévoir ce résultat?

