

1 Asservissement

1.1 DM Noël

Devoir 1- Métier à tisser automatique
extrait du sujet de la banque PT SIA 2002

Corrigé page 5

A. Présentation

La présentation initiale du sujet est disponible sur mon site.

Face aux contraintes imposées par l'environnement économique d'aujourd'hui, un atelier de dentellerie traditionnel manque essentiellement de flexibilité :

- Chaque métier doit être équipé d'un jacquard particulier, dont la fabrication et la duplication sont particulièrement longues et fastidieuses : il faut en effet perforer les lattes de carton une par une, puis les coudre entre elles. La moindre modification du modèle de dentelle impose le démontage puis le remontage du jacquard.
- La distribution de l'énergie mécanique aux différents métiers d'un atelier s'effectue à partir d'un moteur unique au moyen de poulies et de courroies ; le dispositif est encombrant, dangereux, et manque de souplesse.
- Certains composants mécaniques présentent des signes d'usure, et supportent mal les tentatives d'augmentation des cadences.

Aussi a-t-on choisi la stratégie suivante pour moderniser les métiers :

- Conservation de la partie mécanique, qui donne globalement satisfaction ; quelques modifications de détail ont permis d'éliminer des problèmes d'usure excessive au niveau de certains composants.
- Remplacement du jacquard et de son dispositif de lecture par une commande électronique numérique. Des électro-aimants, pilotés par un micro-ordinateur, assurent la sélection des aiguilles. Mise en place d'une motorisation autonome au moyen d'une machine synchrone autopilotée (MSAP) couplée à un variateur de vitesse. Cet ensemble est commandé en position par le micro-ordinateur.

La motorisation du métier à tisser la dentelle du Puy est réalisée par un moteur communément appelée moteur « brushless ». Ce moteur est alimenté par un variateur. La commande de ce groupe moto-variateur et des aiguilles est pilotée par une commande numérique (système PMAC) embarquée dans un micro ordinateur. L'architecture du système est donnée sur la figure 1.1.1 suivante :

L'étude ne portera que sur l'analyse du pilotage du moteur « brushless ». Le contrôle de cet axe met en œuvre :

- un moteur « brushless » alimentée par un système de trois formes d'ondes de tensions alternatives fournies par l'onduleur. Une modélisation permet de développer une commande simple en courant donc en couple. Cette modélisation ne fait pas partie du sujet mais permet de poser $C(t) = K_t \cdot I(t)$ (équation analogue à celle d'une machine à courant continu) ;
- un variateur numérique dont le rôle est d'asservir en couple et en vitesse le moteur ;
- une commande numérique dont le rôle est d'asservir en position le moteur en fournissant une référence de vitesse au variateur.

Le système est numérique et non-linéaire. Cependant, la fréquence relativement élevée de découpage et de rafraîchissement des différentes grandeurs ainsi que l'hypothèse de linéarité sur le modèle aux variations permet de modéliser le système sous forme de S.L.I. (Système Linéaire Invariant) continu du temps. On utilisera donc, dans le cadre de cette étude, la transformée de Laplace et la représentation par schémas blocs.

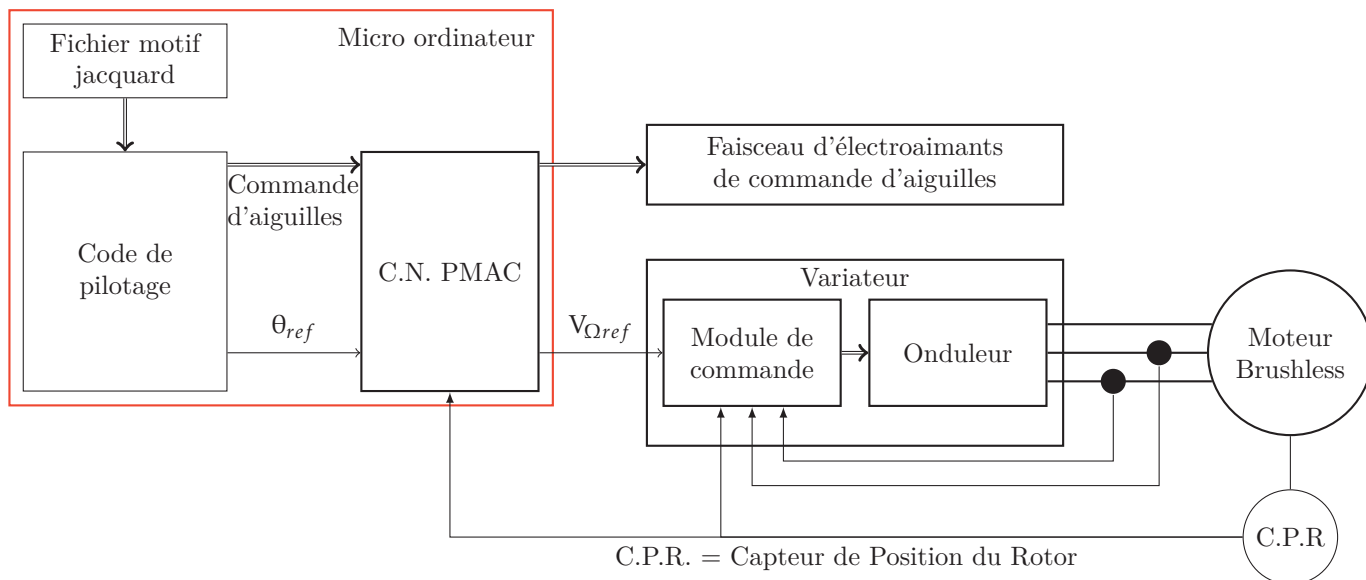
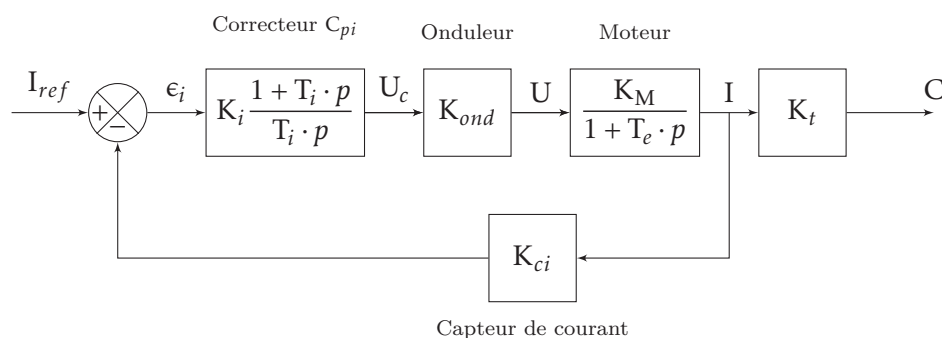


Figure 1.1.1 – Architecture du système

B. Étude de la boucle de courant

La boucle de courant (donc de couple) est présentée sur la figure 1.1.2.



$$K_{ond} = 15; T_e = 2 \text{ ms}, K_M = 0,2 \text{ VA}^{-1}; K_t = 0,55 \text{ Nm A}^{-1}; K_{ci} = 1.$$

Figure 1.1.2 – Schéma bloc de la boucle de courant

Q1. Donner sous forme canonique et littérale (sans faire intervenir de valeurs numériques) la fonction de transfert en boucle fermée $F_i(p) = \frac{I(p)}{I_{ref}(p)}$ =

$$K' \frac{N_i(p)}{D_i(p)}.$$

On se propose de déterminer T_i et K_i à partir d'un modèle simplifié de $F_i(p)$ obtenu en négligeant le zéro du numérateur, soit $F'_i(p) = K' \frac{1}{D_i(p)}$.

Q2. Déterminer numériquement T_i et K_i pour obtenir le comportement d'un second ordre avec :

- un coefficient d'amortissement $m = 1$;
- une pulsation naturelle $\omega_{ni} = 6000 \text{ rad s}^{-1}$.

Q3. La réponse temporelle réelle de la boucle de courant à l'échelon unitaire est représentée figure 1.1.3.

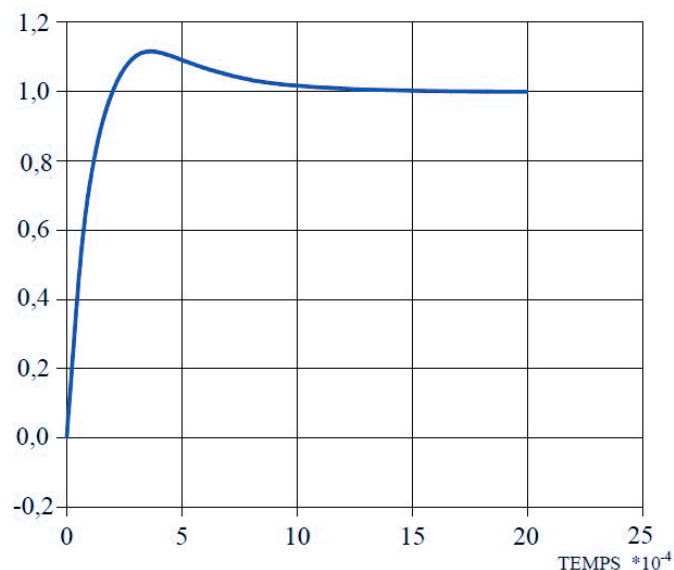
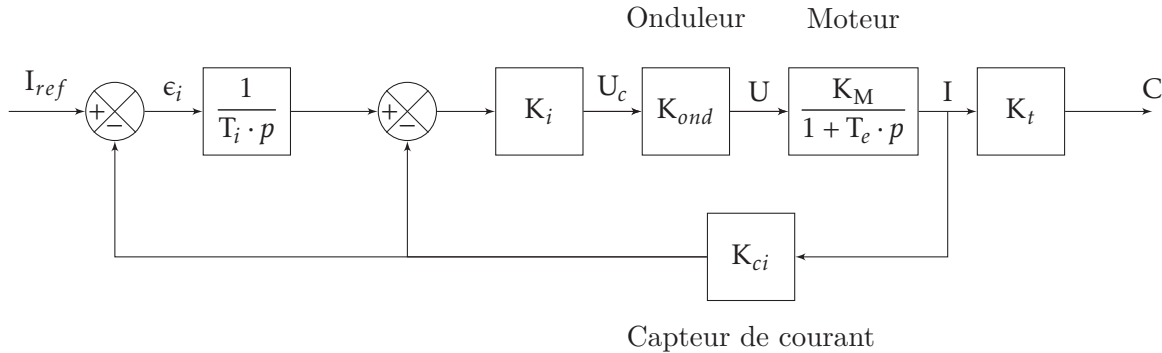


Figure 1.1.3 – Réponse temporelle à l'échelon unitaire de la boucle de courant

- Déterminer graphiquement le dépassement D en %.
- Conclure quant à l'hypothèse émise à la question Q2.

On considère la nouvelle structure de correcteur intégré dans la boucle de courant présentée figure 1.1.4. Cette structure est communément appelée « correcteur de type I.P. ».



$$K_{ond} = 15 ; T_e = 2 \text{ ms}, K_M = 0,2 \text{ V A}^{-1} ; K_t = 0,55 \text{ N m A}^{-1} ; K_{ci} = 1.$$

Figure 1.1.4 – Schéma bloc de la boucle de courant-structure I.P.

Q4. Donner sous forme canonique et littérale (sans faire intervenir de valeur numérique) la fonction de transfert en boucle fermée $G_i(p) = \frac{I(p)}{I_{ref}(p)}$.

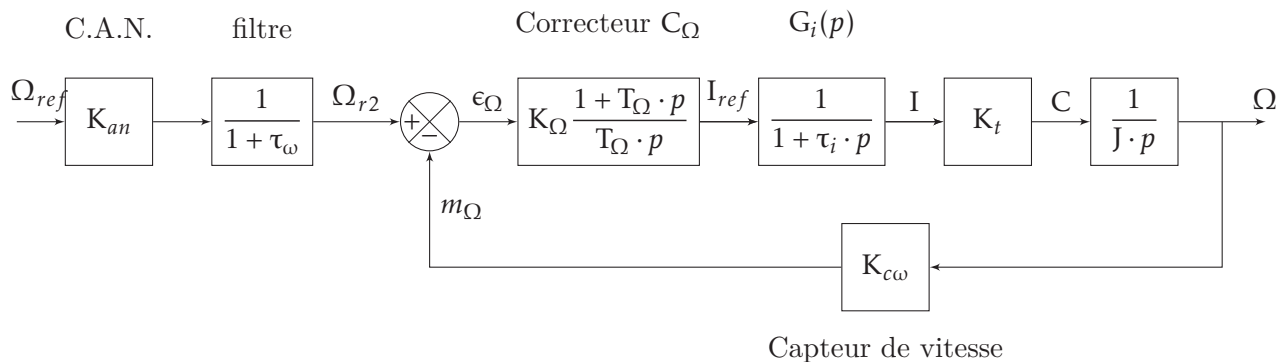
Q5. Comparer $G_i(p)$ avec $F_i(p)$ de la question Q1.

Pour la suite, on pose $G_i(p) = \frac{1}{1 + \frac{p}{\omega_{ni}}}$ avec $\tau_i = \frac{1}{\omega_{ni}}$.

Q6. À quelles conditions cette simplification est-elle valable ?

C. Étude de la boucle de vitesse

On conserve le modèle approché du 1^{er} ordre de la boucle de courant. La boucle de vitesse est présentée sur la figure 1.1.5. K_{can} représente le convertisseur analogique-numérique (C.A.N.) de l'entrée de référence en vitesse du variateur. Un filtre permet de lisser les sauts de la numérisation. un correcteur $C_\Omega(p)$ est placé dans la chaîne directe.



$$K_{c\omega} = \frac{4096}{\pi} ; J = 1,5 \text{ kgm}^2, \tau_i = 167 \mu\text{s} ; K_t = 0,55 \text{ N m A}^{-1} ; K_{an} = 10 \cdot \pi.$$

Figure 1.1.5 – Schéma bloc de la boucle de vitesse

Q7. Donner la forme littérale de la fonction de transfert en boucle ouverte $B_\Omega(p) = \frac{m_\Omega(p)}{\epsilon(p)}$ du système bouclé de la figure 1.1.5.

On pose avec $T_\Omega = a \cdot \tau_i$ avec $a > 1$.

On s'intéresse dans un premier temps, à la fonction $T(p) = \frac{1 + T_\Omega \cdot p}{1 + \tau_i \cdot p}$ extraite de la fonction de transfert

$B_\Omega(p)$

Q8. Exprimer le module en dB et l'argument de la fonction de transfert complexe $T(j \cdot \omega)$.

Q9. Montrer que l'argument possède un maximum Φ_M pour la pulsation $\omega_m = \frac{1}{\sqrt{a} \cdot \tau_i}$ et qu'il est tel que

$$\sin(\Phi_M) = \frac{a-1}{a+1}.$$

Q10. Déterminer a pour que $\Phi_M = 62^\circ$

Q11. Tracer avec soin sur la copie et en indiquant les valeurs remarquables,

Q11a. l'allure du diagramme asymptotique de Bode en phase de $B_\Omega(p)$ (placer ω_m),

Q11b. l'allure du diagramme asymptotique de Bode en gain et en phase de $B_\Omega(p)$, sachant que K_Ω est tel que l'axe des 0dB passe par ω_m ($|B_\Omega(j \cdot \omega_m)| = 1$)

Q12. Déterminer K_Ω en fonction a , τ_i , $K_{c\Omega}$, J et K_t pour que justement, la courbe de gain coupe l'axe 0dB en ω_m , Faire l'application numérique.

Q13. Déterminer la fonction de transfert en boucle fermée $F_\Omega(p) = \frac{\Omega(p)}{\Omega_{ref}(p)}$

Pour la suite, on assimile la fonction de transfert en boucle fermée $F_\Omega(p)$ à un premier ordre $G_\Omega(p) = \frac{K_{F\Omega}}{1 + T_\Omega \cdot p} = 4,82 \times 10^{-2} \frac{1}{1 + \frac{p}{372}}$.

D. Étude de la boucle de position

On conserve le modèle approché du 1^{er} ordre de la boucle de vitesse. La boucle de position est présentée figure 1.1.6. Le gain K_{cna} représente le convertisseur numérique analogique de sortie de la commande numérique PMAC.

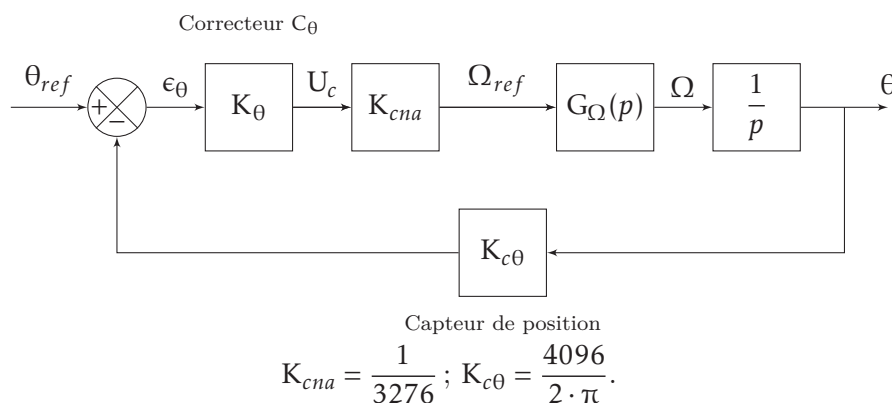


Figure 1.1.6 – Schéma bloc de la boucle de position

Q14. Donner sous forme canonique la fonction de transfert en boucle fermée $F_\theta(p) = \frac{\theta(p)}{\theta_{ref}(p)}$ (ne faire intervenir aucune valeur numérique).

Q15. Déterminer K_θ de telle sorte que la réponse à un échelon de position s'effectue sans dépassement et en un temps de réponse minimum.