

TD 01



Modélisation d'un hayon de coffre électrique

Sciences industrielles de l'ingénieur MP/MP* PSI/PSI* PT/PT*, Vuibert Prépas – CCS

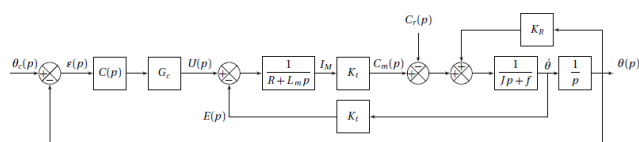
TSI 2013

Savoirs et compétences :

Les constructeurs d'automobiles proposent régulièrement des solutions innovantes pour l'amélioration du confort et de la sécurité des véhicules. Le hayon de coffre électrique entre dans ce cadre. Développé par la société Valéo, il permet de manipuler le hayon de coffre sans effort, depuis l'extérieur ou depuis le siège conducteur. Le mouvement du hayon doit satisfaire un certain nombre de contraintes, et en particulier, assurer la sécurité des personnes (mouvement progressif et effort limité en cas de pincement d'un membre) et offrir un service adéquat (rapidité et précision suffisante pour un bon fonctionnement). Le cahier des charges impose les performances suivantes :

- stabilité : marge de phase de plus de 45° ;
- précision : écart en régime permanent nul vis-à-vis d'une consigne d'angle sous forme d'un échelon ;
- rapidité : temps de réponse à 5% de moins de 0.5 s ;
- effort de pincement : 40 N maximum 1% en 10 ms maximum.

La figure suivante propose une modélisation de l'asservissement de la position angulaire du hayon.



Le mouvement angulaire du hayon fait l'objet d'un asservissement. Le schéma-blocs de la modélise l'architecture choisie et le comportement des composants. Les valeurs numériques sont les suivantes : $L = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{H}$, $R = 50 \cdot 10^{-3} \text{W}$, $J = 10^{-4} \text{kg.m}^2$, $f = 0,1 \text{Nms}^{-1}$, $K_t = 9,5 \cdot 10^{-3} \text{Nm/A}$, $K_R = 0,1 \text{Nm}$ et $G_c = 2,4 \text{V/rad}$.

Le correcteur $C(p)$ est dans un premier temps considéré comme unitaire : $C(p) = 1$.

Question 1 Sans faire aucun calcul, peut-on prévoir, à partir du schéma-blocs, si le système sera précis et s'il sera sensible aux perturbations ?

Question 2 Déterminer la fonction de transfert de la FTBO : $FTBO(p) = \frac{\theta(p)}{\varepsilon(p)}$.

Question 3 En calculant la limite à convergence pour une entrée consigne en échelon, vérifier si le système est

précis.

Question 4 Déterminer la fonction de transfert relative à l'entrée en perturbation : $Hr(p) = \frac{\theta(p)}{C_r(p)}$.

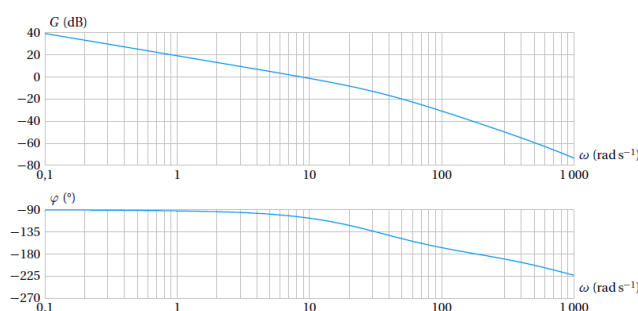
Question 5 Déterminer la limite à convergence pour une perturbation en échelon et vérifier si le système est sensible aux perturbations.

Après calcul, la fonction de transfert en boucle fermée pour un correcteur unitaire peut s'écrire sous la forme $FTBF(p) = \frac{0,82}{1 + 0,2p + 5,6 \cdot 10^{-3}p^2 + 5,4 \cdot 10^6 p^3}$. Les pôles associés sont les suivants : $p_1 = -6.6 \text{rad s}^{-1}$, $p_2 = -28 \text{rad s}^{-1}$, $p_3 = -1000 \text{rad s}^{-1}$.

Question 6 À partir des informations fournies, peut-on conclure sans calcul sur la précision et la stabilité du système ?

Question 7 En adoptant une expression approchée pertinente de la FTBF (par réduction d'ordre), estimer le temps de réponse à 5 % du système non corrigé.

Le correcteur $C(p)$ est désormais choisi sous la forme $C(p) = K_i \frac{1 + \tau p}{p}$, avec $K_i = 2 \text{s}^{-1}$ et $\tau = 1 \text{s}$. Le diagramme de Bode de la fonction de transfert en boucle ouverte est donné.



Question 8 Le système est-il toujours stable ? Estimer les valeurs des marges de stabilité sur le diagramme de Bode.

Question 9 Comment le correcteur adopté modifie-t-il la précision et la sensibilité aux perturbations ? Cette conclusion est-elle prévisible sur le diagramme de Bode ?

Question 10 Déterminer une estimation de la rapidité du système en boucle fermée à partir de la bande passante obtenue sur le diagramme de Bode de la FTBO.

Question 11 Si un usager se coince la main lors de la fermeture du coffre, comment l'asservissement se comportera-

t-il? Peut-on déterminer le couple moteur dans ces conditions?

Question 12 Cette valeur du couple moteur conduit à une force de pincement de 120N sur la main. Cette valeur est-elle acceptable?

Exercice 1

1) La chaîne directe est de classe 0. Le système n'est donc pas précis et il est sensible aux perturbations.

2) Après modification du schéma-bloc on obtient la figure ci-dessous :

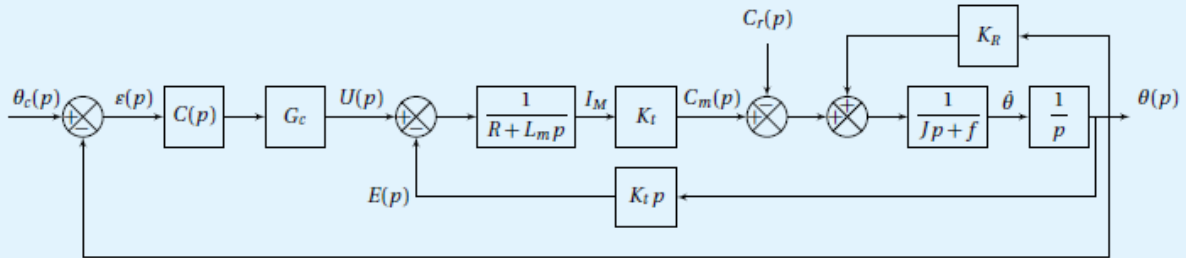


Figure 1.35. Schéma-bloc de l'asservissement du hayon de coffre.

$$\text{La fonction de transfert FTBO}(p) = \frac{\theta(p)}{\varepsilon(p)} = C(p)G_c \frac{\frac{K_t}{R+L_m p} \frac{H(p)/p}{1-H(p)K_R/p}}{1 + \frac{K_t^2}{R+L_m p} \frac{H(p)/p}{1-H(p)/p}} = \frac{C(p)G_c K_t H(p)}{(R+L_m p)(p-H(p)K_R) + p K_t^2 H(p)}$$

$$= \frac{C(p)G_c K_t}{J L_m p^3 + (J R + L_m f) p^2 + (R f - L_m K_R + K_t^2) p - R K_R}$$

3) Il y a un retour unitaire, donc $\text{FTBF}(p) = \frac{\theta(p)}{\theta_c(p)} = \frac{\text{FTBO}(p)}{1 + \text{FTBO}(p)}$. Pour une entrée en échelon, $\theta(p) = \frac{\theta_0}{p}$, donc $\lim_{t \rightarrow \infty} \theta(t) = \lim_{p \rightarrow 0} p \theta(p) = \lim_{p \rightarrow 0} p \text{FTBF}(p) \theta_c(p) = \frac{\frac{G_c K_t}{R K_R}}{1 + \frac{G_c K_t}{R K_R}} \theta_0 \neq 0$.

Le système n'est pas précis.

4) La fonction de transfert relative à l'entrée en échelon en perturbation est :

$$H_r(p) = \frac{\theta(p)}{C_r(p)}$$

$$\Rightarrow \theta(p) = \frac{1}{J p^2 + f p - K_R} [-C_r(p) + \frac{K_t}{R+L_m p} (-p K_t - C(p)G_c) \theta(p)]$$

$$\Rightarrow \frac{\theta(p)}{C_r(p)} = \frac{-(R+L_m p)}{(R+L_m p)(J p^2 + f p - K_R) + p K_t^2 + C(p)G_c K_t}$$

5) Pour une entrée en échelon, $C_r(p) = \frac{C_0}{p}$ et $\lim_{t \rightarrow \infty} \theta(t) = \lim_{p \rightarrow 0} p H_r(p) \frac{C_0}{p} = \frac{R}{R K_R - G_c K_t} \neq 0$.

6) Le gain statique est différent de 1, le système n'est pas précis. La fonction de transfert possède des pôles négatifs, le système est stable.

7) Le pôle dominant est p_1 . La fonction de transfert peut se simplifier par $\text{FTBF}(p) \simeq \frac{0,82}{1 + \tau_1 p}$ avec $\tau_1 = \frac{-1}{p_1} = 0,15 \text{ s}$. Le temps de réponse $t_{r5\%} \simeq 3 \tau_1 = 0,45 \text{ s}$

8) La marge de phase M_φ se mesure en $\omega \simeq 9 \text{ rad s}^{-1}$, sa valeur est positive et vaut 75° .

La marge de gain M_G se mesure en $\omega \simeq 190 \text{ rad s}^{-1}$, sa valeur est positive et vaut 41 dB .

Le système est toujours stable.

9) Le correcteur intégrateur augmente la classe du système de la chaîne directe en amont de la perturbation. Le système est donc précis et insensible aux perturbations suite à des entrées en échelon. Cette conclusion est prévisible, car le gain de la FTBO à basses fréquences tend vers l'infini.

10) La bande passante à 0 dB de la FTBO vaut 9 rad s^{-1} . Le temps de réponse $t_{r5\%} \simeq \frac{3}{\omega_{0\text{dB}}} \simeq 0,3 \text{ s}$, ce qui est plus rapide que le système non corrigé.

11) Lors d'un coincement dans la phase de fermeture du hayon, l'écart ε se stabilise à une valeur non nulle. La tension U va augmenter à cause de l'intégrateur pour saturer à une valeur $U_{\text{max}} = 12 \text{ V}$. Étant donné que la vitesse angulaire $\dot{\theta} = 0$, on peut estimer la valeur du couple $C_m = \frac{K_t}{R} U_{\text{max}} = 2,28 \text{ Nm}$.

12) Une force de 120 N correspond à une masse de 12 kg . La surface de pincement de la main étant petite, cette force engendrera des blessures de la main. Un contrôle du couple au niveau de l'asservissement est nécessaire.