

CI 2 – SLCI : ÉTUDE DU COMPORTEMENT DES SYSTÈMES LINÉAIRES CONTINUS INVARIANTS

EXERCICE DE COLLE

ÉTUDE DU PLAN HORIZONTAL RÉGLABLE (PHR) DE L'AIRBUS A340

D'après ressources d'Alain Caignot.

1 Présentation

Le thème proposé concerne l'aéronautique et plus particulièrement la commande en position du plan horizontal réglable (PHR) de l'airbus A340.

Le calculateur génère une tension de commande qui va alimenter le moteur électrique qui est asservi en position angulaire pour permettre de générer l'angle de consigne initial. Cet angle de consigne initial est adapté à l'aide du réducteur 1. L'angle de sortie du réducteur 1 permet de commander les deux distributeurs proportionnels, qui vont délivrer un débit de fluide hydraulique pour alimenter les deux moteurs hydrauliques. Ces deux moteurs hydrauliques transforment l'énergie hydraulique en énergie mécanique de rotation. Les deux mouvements de rotation ainsi générés sont additionnés à l'aide du différentiel pour créer un seul mouvement de rotation à sa sortie. La sortie du différentiel est reliée au réducteur 6 qui va adapter l'énergie mécanique de puissance pour actionner la vis 4. La vis 4 est reliée à la gouverne de profondeur et permet de commander son angle.

L'angle de rotation de la vis 4 est capté à l'aide du réducteur 7 qui va l'adapter afin d'être comparé à la rotation de commande des distributeurs à l'aide du train épicycloïdal, qui joue ici le rôle d'un comparateur.

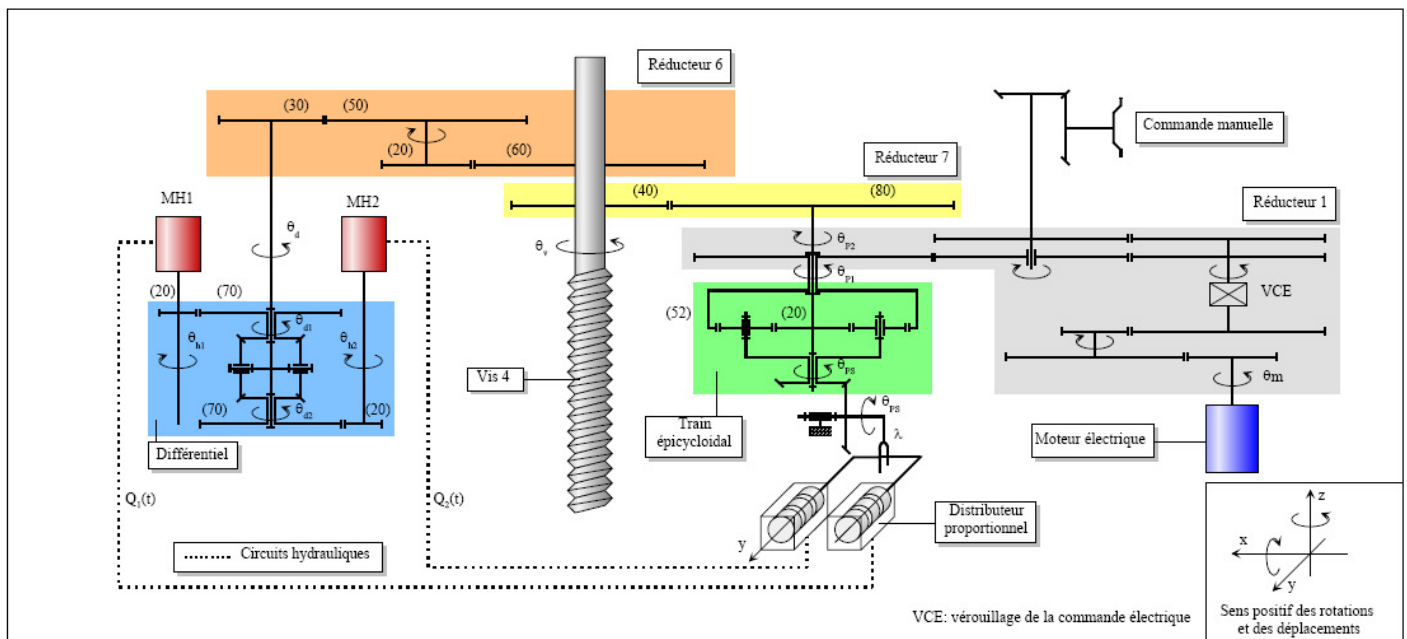


Figure 3

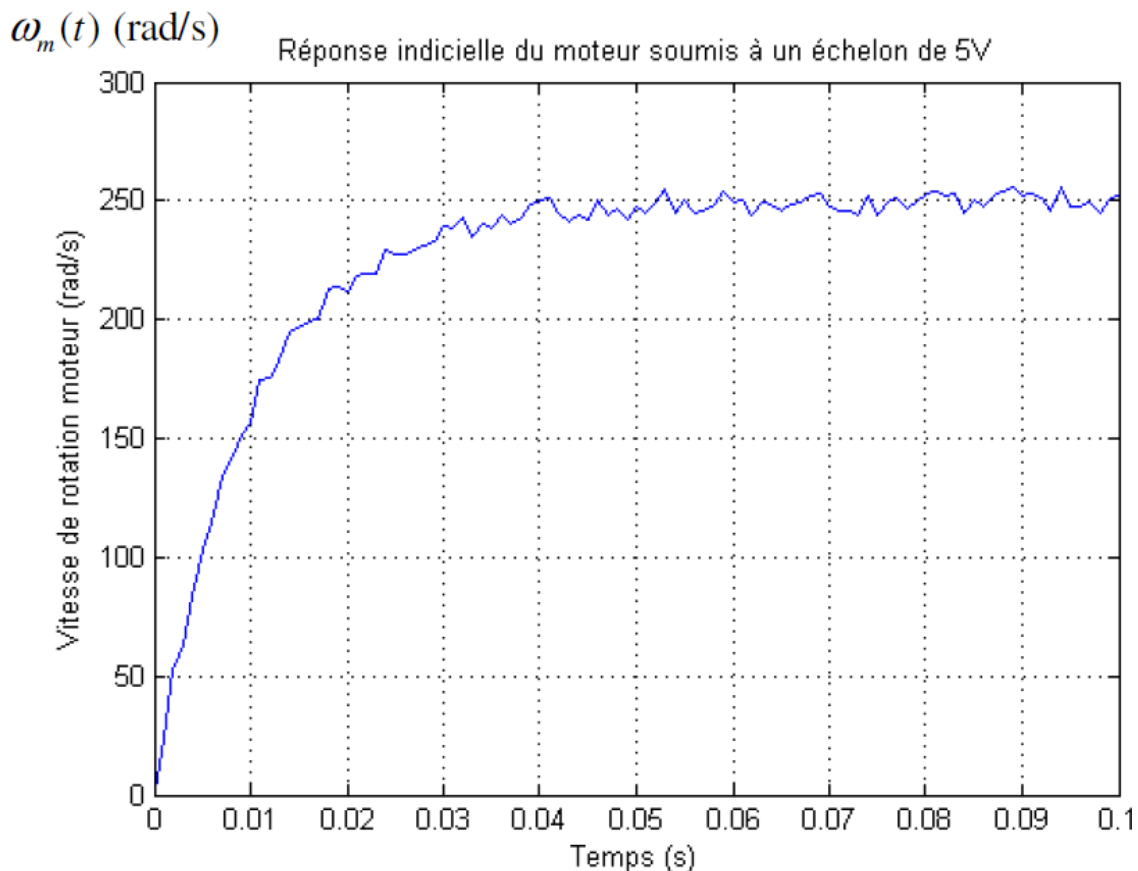
2 Étude de l'asservissement en position du moteur électrique

2.1 Analyse du moteur électrique

Le moteur électrique est un moteur à courant continu. Les ingénieurs procèdent à une identification du moteur en le soumettant à un échelon de tension $U = 5V$, afin de déterminer par un modèle de comportement sa fonction de transfert. On obtient la réponse indicielle (vitesse de rotation $\omega_m(t)$) donnée ci-après.

Question 1

Identifier la réponse en justifiant le modèle retenu et la (ou les) techniques utilisées pour déterminer les paramètres. Les tracés seront laissés apparents sur la figure ci-après.



Pour valider le modèle expérimental, on peut utiliser les équations du moteur à courant continu :

- équation électrique liant la tension u aux bornes du moteur et le courant i le traversant : $u(t) = Ri(t) + e(t)$;
- équation de couplage électrique liant la tension contre-électromotrice $e(t)$ à la vitesse de rotation $\omega_m(t)$ de l'arbre du moteur et le couple moteur : $e(t) = k_e \omega_m(t)$;
- équation de la mécanique liant la vitesse de rotation $\omega_m(t)$ et le couple moteur $C_m(t)$: $J_e \frac{d\omega_m(t)}{dt} = C_m(t)$;
- équation de couplage mécanique liant le couple moteur au courant : $C_m(t) = k_a i(t)$

Avec :

- R : la résistance de l'induit ($R = 1\Omega$) ;
- J_e : inertie équivalente ramenée sur l'arbre moteur ($J_e = 4 \cdot 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$) ;
- k_e : constante de force contre électromotrice ($k_e = 0,02 \text{ V/(rad/s)}$) ;
- k_a : constante de couple ($k_a = 0,02 \text{ Nm/A}$).

2.2 Détermination de la fonction de transfert du moteur

Question 2

Déterminer la fonction de transfert $M(p) = \frac{\theta_m(p)}{U(p)}$ du moteur électrique et montrer qu'elle peut se mettre sous la forme d'un intégrateur $1/p$ multiplié par une fonction de transfert d'un 1^{er} ordre de gain statique K_m et de constante de temps τ_m .

Question 3

Donner les expressions littérales de K_m et τ_m .

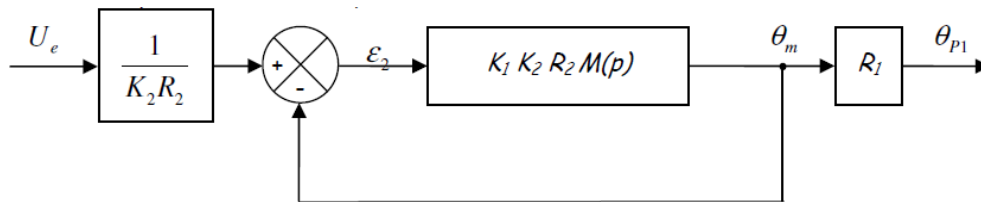
Question 4

Application numérique : calculer K_m et τ_m en précisant les unités.

2.3 Schéma bloc de l'asservissement

La fonction de transfert du correcteur et amplificateur peut être assimilée dans un gain K_1 . La fonction de transfert du réducteur 2 est un gain noté R_2 . La fonction de transfert du réducteur 1 est un gain noté R_1 . La fonction de transfert du capteur potentiométrique est assimilée à un gain noté K_2 .

Les schéma bloc peut se mettre sous la forme suivante :



Le rapport de transmission du réducteur 1 est $R_1 = \frac{1}{150}$.

2.4 Détermination de la fonction de transfert en boucle ouverte

Question 5

Déterminer la fonction de transfert $T(p) = \frac{\theta_m(p)}{\varepsilon_2(p)}$, la mettre sous la forme $T(p) = \frac{K_{BO}}{p(1 + \tau_m p)}$ et en déduire l'expression du gain de la boucle K_{BO} .

2.5 Détermination de la fonction de transfert en boucle fermée

Question 6

Déterminer la fonction de transfert $F(p) = \frac{\theta_{p1}(p)}{U_e(p)}$ et montrer qu'elle peut se mettre sous la forme d'un système du second ordre. On notera K_{BF} le gain statique ξ le coefficient d'amortissement et ω_0 la pulsation propre.

Question 7

Donner l'expression littérale de K_{BF} en fonction de R_1 , R_2 et K_2 de ξ et ω_0 en fonction de K_{BO} et τ_m .

2.6 Analyse des performances

Question 8

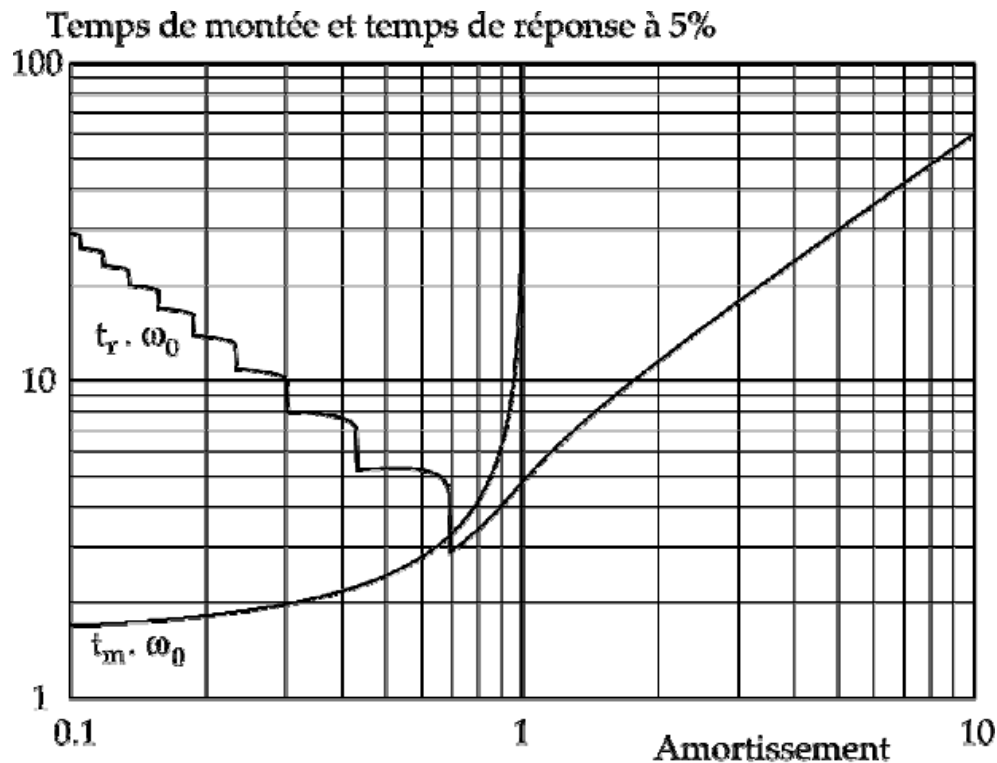
Déterminer la valeur du gain de boucle K_{BO} de telle sorte que la réponse à une entrée de type échelon soit la plus rapide possible sans toutefois produire de dépassement.

Question 9

Déterminer l'écart de position pour une entrée de type échelon en calculant l'écart statique : $\varepsilon_s = \lim_{t \rightarrow +\infty} \varepsilon_2(t)$. Le système est précis à une entrée de type échelon si $\varepsilon_s = 0$. Conclure.

Question 10

Déterminer le temps de réponse à 5% à l'aide de la figure 3.



2.7 Analyse des performances en mode suiveur

Dans le cas d'une entrée de type rampe $u_e(t) = t u(t)$, le cahier des charges stipule que l'écart de traînage ne doit pas excéder $\varepsilon_T \leq 0,5 \text{ rad}$.

Question 11

Déterminer l'écart de traînage $\varepsilon_T = \lim_{t \rightarrow +\infty} \varepsilon_2(t)$ à une entrée de type rampe.

Question 12

En déduire une première inégalité sur K_{BO} permettant de vérifier cette partie du cahier charges.

Question 13

En reprenant la **Question 8**, déterminer une seconde inégalité sur K_{BO} permettant d'assurer que la réponse indicielle du système ne présentera pas de dépassement.

Dans la pratique le régulateur est un correcteur dont la fonction de transfert est :

$$C_1(p) = K_1 \frac{1 + T_1 p}{1 + b T_1 p} \text{ avec } b > 1$$

Question 14

Justifier la nécessité de ce correcteur.