

## Plan horizontal réglable de l'Airbus A340

### 1. Présentation

*Airbus A340 en vol*



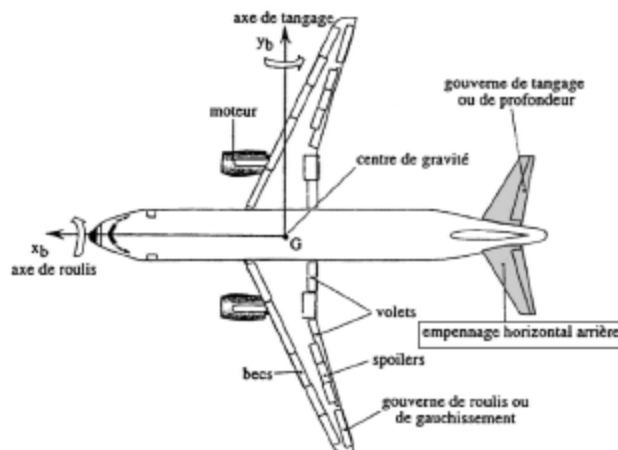
On s'intéresse à l'asservissement en position angulaire du moteur électrique du système de commande du plan horizontal réglable (PHR) d'un Airbus A340 dont on donne un bref extrait de cahier des charges concernant la fonction étudiée.

Exigence	Critère	Niveau	Flexibilité
E1 : permettre au personnel navigant de piloter l'avion en toute sécurité	Erreur de position	nulle	aucune
	Temps de réponse à 5%	$t < 0,2s$	aucune
	Erreur en poursuite	nulle	aucune
	Marge de phase	$M\varphi \geq 60^\circ$	aucune

Le PHR est réglé à l'aide des gouvernes de profondeur.

Pour une vitesse donnée, il est possible, par réglage du PHR, de réduire la poussée des réacteurs et donc d'économiser du carburant.

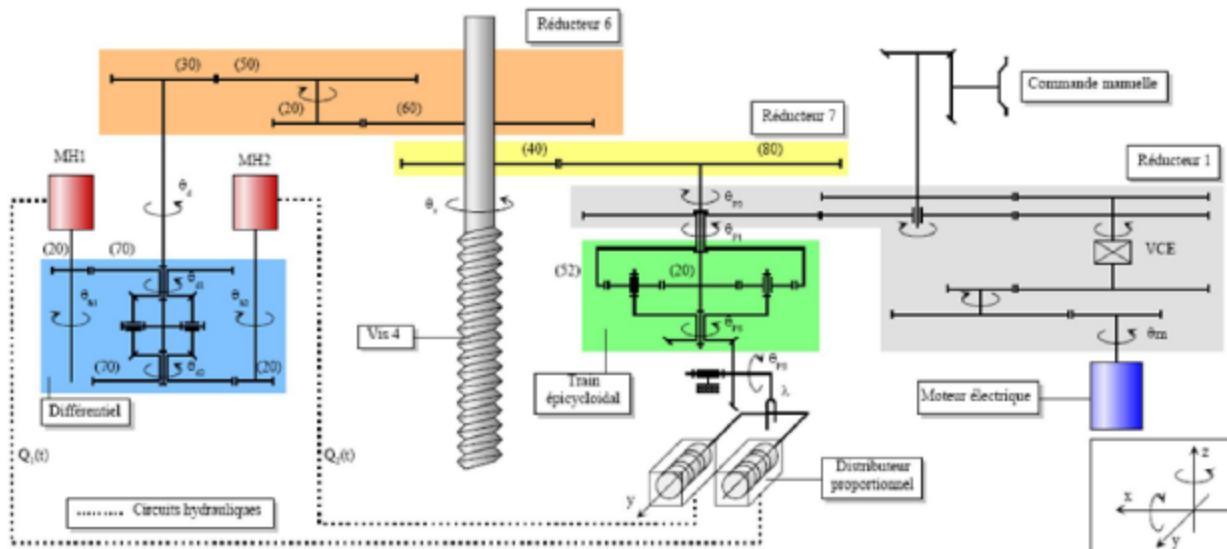
Afin de répondre aux exigences de fiabilité qui stipulent, en particulier, que le PHR doit pouvoir fonctionner durant  $10^9$  FH (Fly Hour) sans subir de défaillance, un certain nombre de composants de la chaîne de commande du PHR sont doublés ou triplés suivant les cas.



D'autre part, toujours par souci de sécurité, le PHR peut être commandé :

- soit automatiquement par un ordinateur de bord qui détermine, à partir des paramètres du vol, la valeur optimale de l'angle  $\beta$  que doit prendre les gouvernes de profondeur,
- soit manuellement par le pilote à partir d'un volant de commande situé dans le poste de pilotage et ce en cas de défaillance de la commande automatique du PHR.

La figure page suivante présente le schéma de principe de la chaîne d'énergie à partir de la génération de la commande par le calculateur ou le pilote.



Mécanisme de réglage du PHR

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 52, qui joue ici le rôle d'un comparateur.

La boucle d'asservissement en position angulaire du moteur électrique a pour entrée une tension de consigne  $u_e(t)$  générée par le calculateur.

Cette tension est comparée à la tension  $u_r(t)$ , image de l'angle  $\theta_r(t)$ , délivrée par un capteur potentiométrique.

L'écart  $e_1(t)$  est ensuite corrigé et amplifié par un bloc correcteur-amplificateur et fournit la tension  $u(t)$  aux bornes du moteur électrique.

L'angle de rotation  $\theta_m(t)$  en sortie du moteur est réduit par un réducteur 2 pour donner la rotation  $\theta_r(t)$  mesurée par le capteur.

D'autre part, l'angle  $\theta_m(t)$ , est réduit par un réducteur 1 pour fournir un angle de rotation en sortie  $\theta_{p1}(t)$ , sortie de cet asservissement.

## 2. Objectif

Valider les critères du cahier des charges

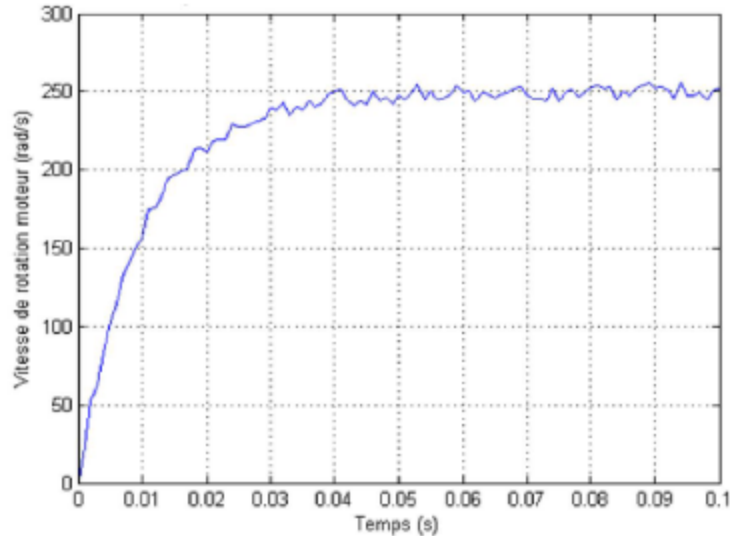
### 3. Travail demandé

1. Elaborer le schéma-bloc fonctionnel de cet asservissement.

Le moteur électrique est un moteur à courant continu.

On procède à une identification de son modèle de comportement en le soumettant à un échelon de tension  $u(t)=5V$ .

On obtient la réponse suivante :



Relevé expérimental de la sortie du moteur pour une entrée en échelon d'amplitude 5V

2. Déterminer une fonction de transfert approchée du moteur.

Le modèle de connaissance de ce moteur peut être obtenu à partir des équations qui caractérisent le comportement des machines à courant continu.

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

Avec :

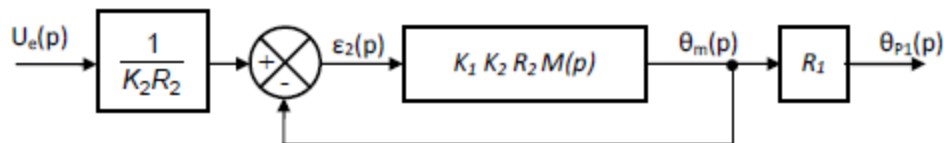
- $R$  : la résistance de l'induit  $R = 1\Omega$
- $J_e$  : inertie équivalente ramenée sur l'arbre moteur  $J_e = 4 \cdot 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
- $k_e$  : constante de force contre électromotrice  $k_e = 0,02 \text{ V}/(\text{rad/s})$
- $k_a$  : constante de couple  $k_a = 0,02 \text{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

3. Déterminer la fonction de transfert  $M(p) = \frac{\theta_m(p)}{U(p)}$  du moteur électrique.

4. Montrer qu'elle peut se mettre sous la forme d'un intégrateur  $\frac{1}{p}$  multiplié par une fonction de transfert du premier ordre de gain statique  $K_m$  et de constante de temps  $\tau_m$ . Donner les expressions littérales de  $K_m$  et  $\tau_m$ . Faire les applications numériques.

La fonction de transfert du *correcteur-amplificateur* peut être assimilé à 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 assimilé à un gain noté  $K_2$ .

5. Montrer que le schéma bloc de l'asservissement en position angulaire peut se mettre sous la forme suivante :



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

6. Déterminer la fonction de transfert en boucle ouverte  $T(p) = \frac{\theta_m(p)}{\varepsilon_2(p)}$ , la mettre sous la forme  $T(p) = \frac{K_{BO}}{p \cdot (1 + \tau_m \cdot p)}$  et en déduire l'expression du gain de boucle ouverte  $K_{BO}$ .
7. Déterminer la fonction de transfert  $F(p) = \frac{\theta_{P1}(p)}{U_e(p)}$ . Montrer qu'elle peut se mettre sous la forme d'un système du second ordre. On notera  $K_{BF}$  le gain statique,  $z$  le coefficient d'amortissement et  $\omega_0$  la pulsation propre.
8. Donner l'expression littérale de  $K_{BF}$  en fonction de  $R_1$ ,  $R_2$  et  $K_2$ . Donner l'expression littérale de  $z$  et  $\omega_0$  en fonction de  $K_{BO}$  et  $\tau_m$ .
9. Déterminer la valeur du gain de boucle  $K_{BO}$  qui permet d'assurer que la réponse à une entrée de type échelon soit la plus rapide possible sans toutefois produire de dépassement.
10. Déterminer l'erreur de position du système. Indiquer si le système est précis et conclure vis-à-vis du cahier des charges.
11. Déterminer le temps de réponse à 5% du système et conclure vis-à-vis du cahier des charges.
12. Déterminer la marge de phase pour cette valeur de  $K_{BO}$  et conclure vis-à-vis du cahier des charges.

La longueur utile de la vis est  $l = 0,6\text{m}$  et le pas de la vis est  $p_{vis} = 10\text{mm}$ .

13. Déterminer le nombre de tour maximal  $N_v$  de la vis.

L'acquisition de l'angle de rotation de la vis est réalisée via un réducteur dont le rapport de réduction est tel que  $\frac{\theta_{P1}}{\theta_v} = \frac{1}{5}$ .

14. Déterminer le nombre de tour maximal  $N_{P1}$  de l'arbre d'entrée du réducteur 52.
15. En déduire le nombre maximal de tour  $N_m$  de l'arbre du moteur.

Le capteur de position de gain  $K_2$  de la boucle d'asservissement du moteur électrique est un capteur potentiométrique *10 tours* dont la tension de sortie varie de -12 à +12 Volts.

16. En supposant que l'on utilise le capteur sur toute sa plage, déterminer le rapport de réduction  $R_2$  du réducteur reliant la sortie du moteur à l'entrée du potentiomètre.
17. Déterminer le gain du capteur potentiométrique.
18. En déduire le gain  $K_1$  du régulateur connaissant la valeur de  $K_{BO}$  déterminée à la question 9.
19. Déterminer l'erreur de traînage et conclure vis-à-vis du cahier des charges.