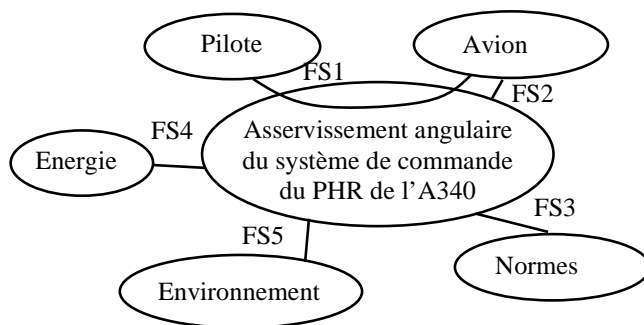


Etude du plan horizontal réglable (PHR) de l'Airbus A340

(Inspiré de CCP MP 2005)

On s'intéresse à l'asservissement en position angulaire du moteur électrique au système de commande du plan horizontal réglable (PHR) d'un Airbus A340 dont on donne une description fonctionnelle ainsi qu'un extrait de cahier des charges.

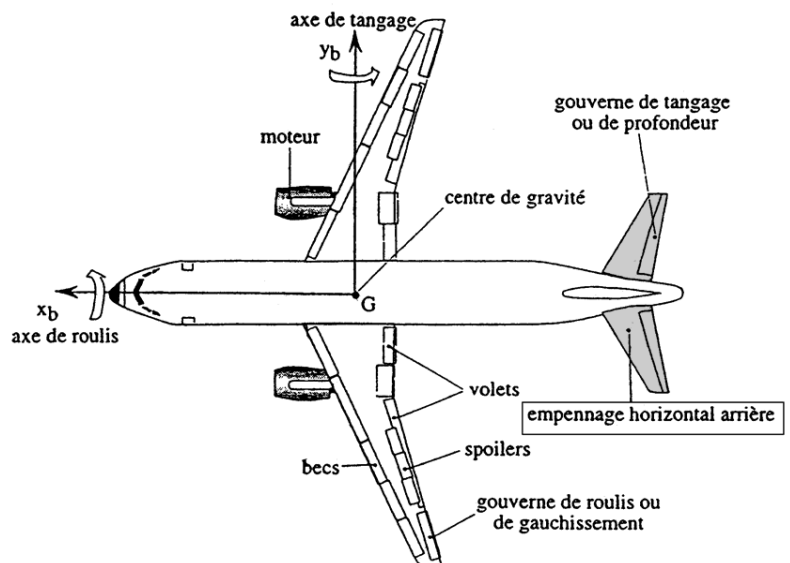


FS1 : Permettre au pilote de piloter en toute sécurité l'avion.
...

FS	Critère	Niveau	Flexibilité
FS1
	Erreur statique	Nulle	Aucune
	Temps de réponse à 5%	$t < 0,2s$	Aucune
	Erreur de trainage	Nulle	Aucune

Le PHR est réglé à l'aide des gouvernes de profondeur. On peut montrer que 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 β 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 1, placée en annexe, présente le schéma de principe de la chaîne d'énergie à partir de la génération de la commande par le calculateur ou le pilote.

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.

Q.1. Compléter le diagramme FAST relatif à la fonction principale régler l'angle du PHR sur le document réponse 1.

La boucle d'asservissement en position angulaire du moteur électrique a pour entrée une tension de consigne $u_c(t)$ 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 $\varepsilon_1(t)$ 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.

Q.2. Construire le schéma bloc fonctionnel de cet asservissement.

Le moteur électrique est un moteur à courant continu. On procède 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 dans le document réponse 2.

Q.3. Identifier la réponse en justifiant le modèle retenu et la (ou les) technique(s) utilisée(s) pour déterminer les paramètres. Les tracés seront laissés apparents sur la figure du document réponse 2.

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

- Equation électrique liant la tension $u(t)$ aux bornes du moteur et le courant $i(t)$ le traversant : $u(t) = e(t) + R.i(t)$,
- Equation de couplage électrique liant la tension contre-électromotrice $e(t)$ à la vitesse de rotation $\omega_m(t)$ de l'arbre du moteur : $e(t) = k_e.\omega_m(t)$,
- Equation de la mécanique liant la vitesse de rotation $\omega_m(t)$ et le couple moteur $C_m(t)$:

$$J_e \cdot \frac{d\omega_m(t)}{dt} = C_m(t),$$

- Equation 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 $J_e = 4.10^{-6} \text{ kg.m}^2$
- k_e : constante de force contre électromotrice $k_e = 0,02 \text{ V/(rad/s)}$
- k_a : constante de couple $k_a = 0,02 \text{ Nm/A}$

Q.4. Déterminer la fonction de transfert $M(p) = \frac{\theta_m(p)}{U(p)}$ du moteur électrique et montrer qu'elle peut

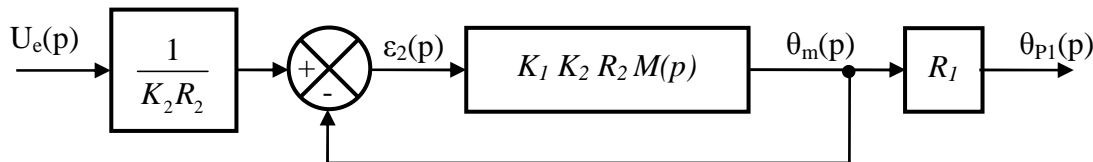
se mettre sous la forme d'un intégrateur $\frac{1}{p}$ multiplié par une fonction de transfert d'un 1er ordre de gain statique K_m et de constante de temps τ_m .

Q.5. Donner les expressions littérales de K_m et τ_m .

Q.6. Application numérique : calculer K_m et τ_m en précisant les unités.

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

Q.7. Montrer que le schéma bloc peut se mettre sous la forme suivante :



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

Q.8. Déterminer la fonction de transfert en boucle ouverte $T(p) = \frac{\theta_m(p)}{\varepsilon_2(p)}$, la mettre sous la forme

$T(p) = \frac{K_{BO}}{p(1 + \tau_m \cdot p)}$ et en déduire l'expression du gain de boucle K_{BO} .

Q.9. 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 ω_0 la pulsation propre.

Q.10. Donner l'expression littérale de K_{BF} en fonction de R_1 , R_2 et K_2 , de z et ω_0 en fonction de K_{BO} et τ_m .

Q.11. 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.

Q.12. Déterminer l'erreur statique du système. Le système est-il précis ? Conclure vis-à-vis du C.d.C.F..

Q.13. Déterminer le temps de réponse à 5% du système document réponse 3 et conclure vis-à-vis du C.d.C.F..

On admet que la longueur utile de la vis est $l = 0,6m$. Le pas de la vis est $p_v = 10mm$.

Q.14. Déterminer le nombre de tour maximal N_v que va faire la vis.

La vis est entraînée en rotation par un réducteur dont le rapport de réduction vaut $\frac{\theta_{P1}}{\theta_v} = \frac{1}{5}$.

Q.15. Déterminer le nombre de tour N_{P1} que va faire l'arbre d'entrée du réducteur 52.

Q.16. En déduire le nombre de tour N_m que va faire 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.

Q.17. En supposant que l'on utilise le capteur sur toute sa plage (10 tours), déterminer le rapport de réduction R_2 du réducteur reliant la sortie du moteur à l'entrée du potentiomètre.

Q.18. Déterminer le gain du capteur potentiométrique.

Q.19. En déduire le gain K_1 du régulateur connaissant la valeur de K_{BO} fixée question 11.

Dans le cas d'une entrée de type rampe $u_e(t) = t.u(t)$, le cahier des charges stipule que l'erreur de traînage doit être nulle.

Q.20. Déterminer l'erreur de traînage et conclure vis-à-vis du C.d.C.F..

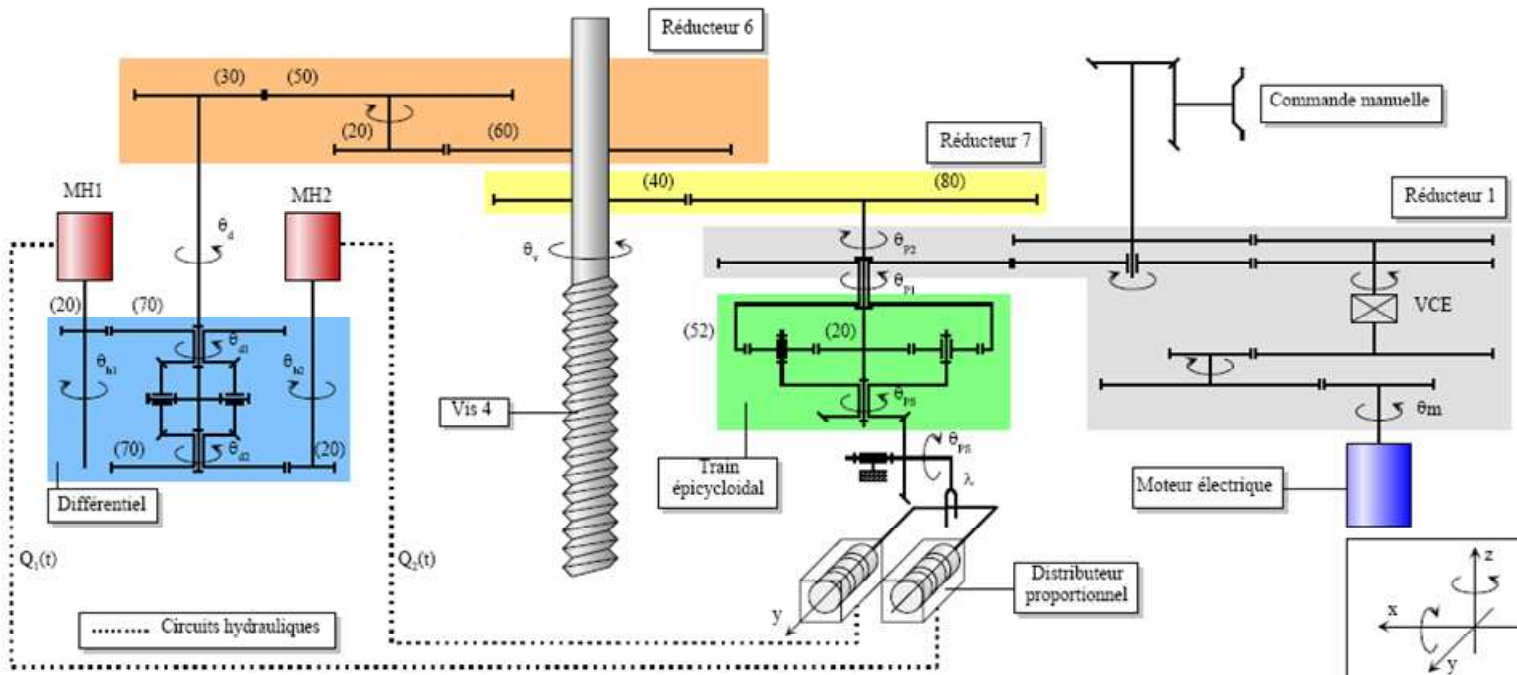
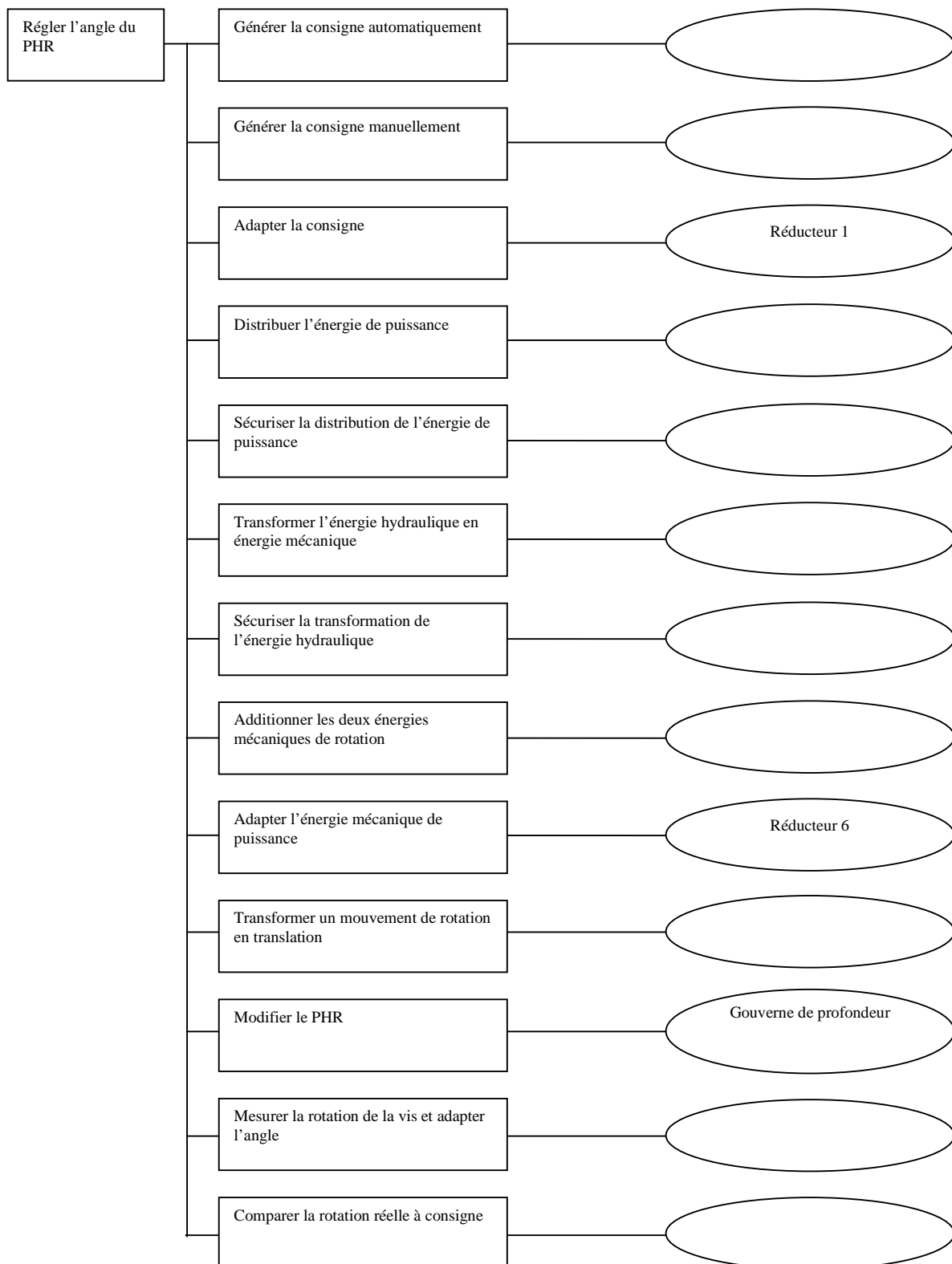
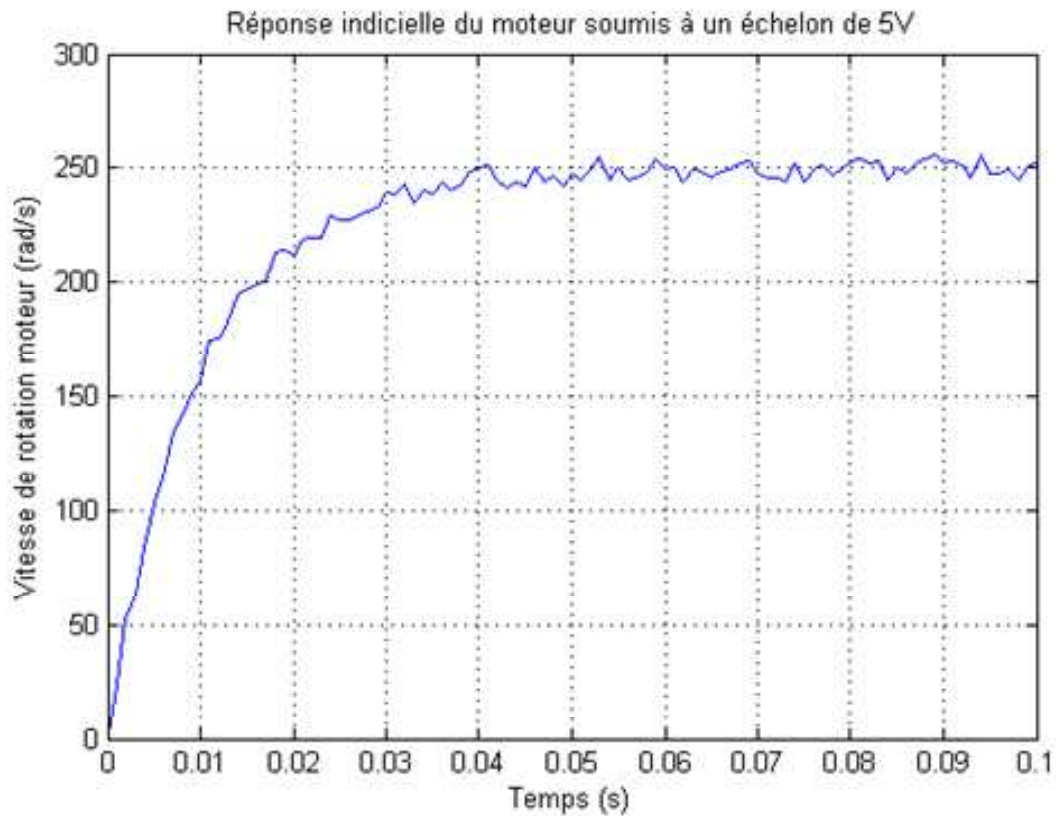


Figure 1

Document réponse 1.

Document réponse 2.**Document réponse 3**