

Dernière mise à jour	Précision des systèmes asservis	Denis DEFAUCHY
11/10/2017		TD2

Performances des systèmes asservis

TD2

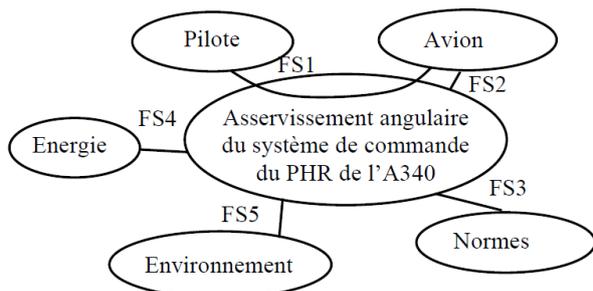
Précision

PHR Airbus A340

Programme - Compétences		
B228	Modéliser	<ul style="list-style-type: none"> · Pôles dominants et réduction de l'ordre du modèle ; · Performances et réglages ; · Précision d'un système asservi en régime permanent pour une entrée en échelon, une entrée en rampe, une entrée en accélération ; · Rapidité d'un système asservi : <ul style="list-style-type: none"> - temps de réponse, - bande passante.

Extrait du concours 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 du cahier des charges.

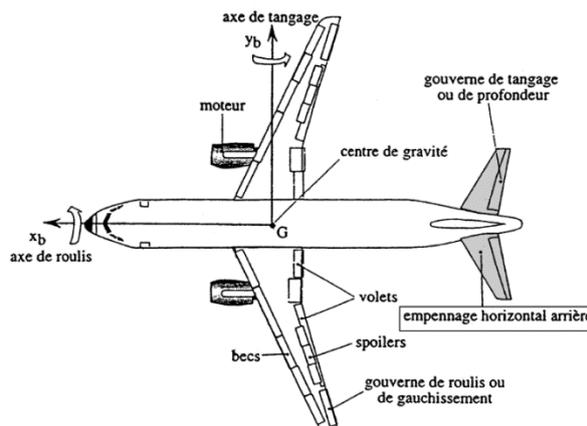


FS1 : Permettre au pilote de piloter en toute sécurité l'avion.
...

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.

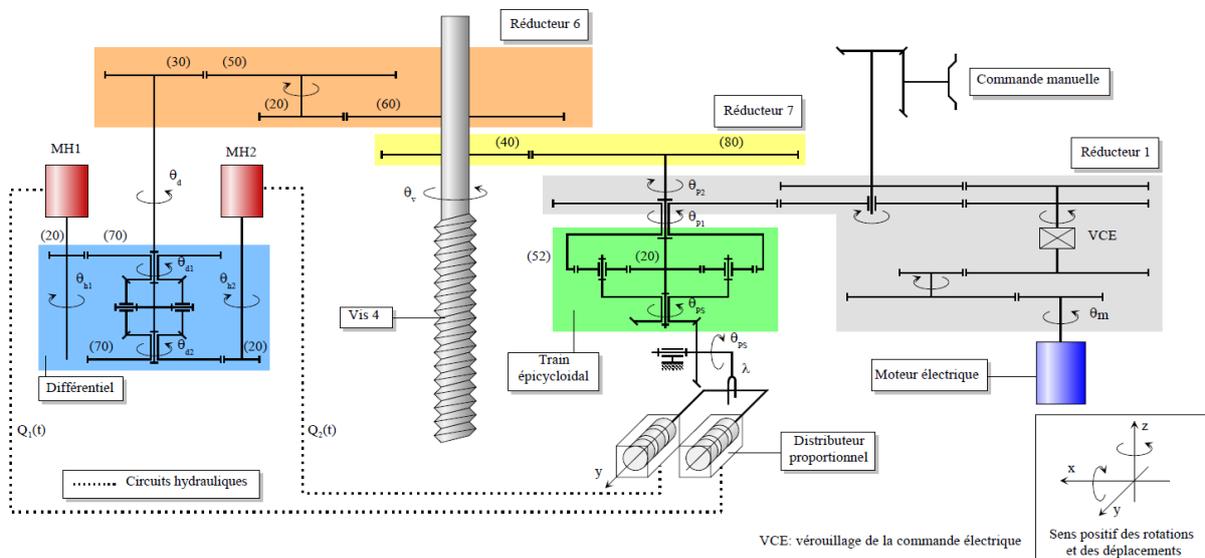
Afin de répondre aux exigences de fiabilité qui stipulent, en particulier, que le PHR doit pouvoir fonctionner durant 10^9 FH (Fly Hour) sans subir de défaillance, un certain nombre de composants de la chaîne de commande du PHR sont doublés ou triplés suivant les cas.



D'autre part, toujours pas soucis de sécurité, le PHR peut être commandé :

- Soit automatiquement par ordinateur de bord qui détermine, à partir des paramètres du vol, la valeur optimale de l'angle β que doivent 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 ci-dessous présente le schéma de principe de la chaîne d'énergie à partir de la génération de la commande par le calculateur ou le pilote jusqu'au 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 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 comparée à la rotation de commande des distributeurs à l'aide du train épicycloïdal, qui joue ici le rôle d'un comparateur.

Dernière mise à jour	Précision des systèmes asservis	Denis DEFAUCHY
11/10/2017		TD2

Schéma bloc du système

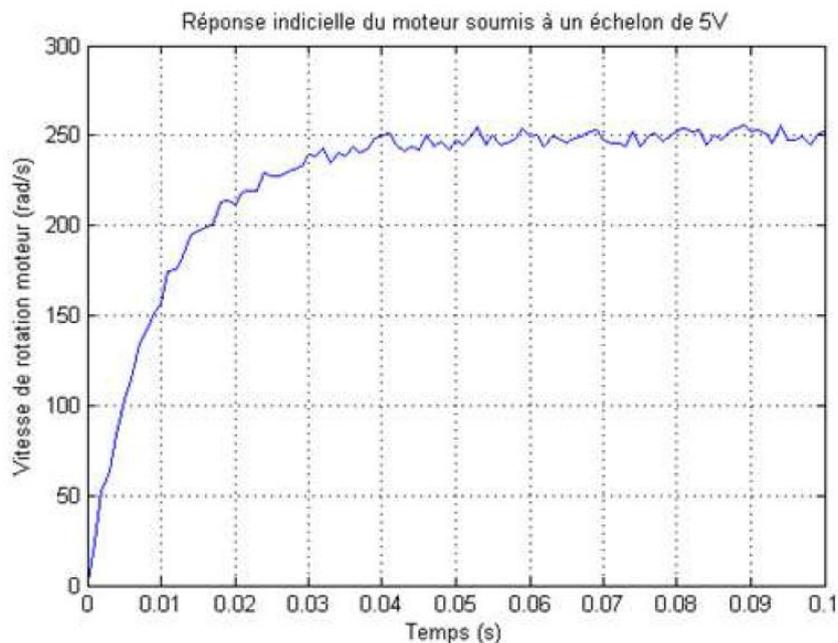
Dans la suite, on ne s'intéresse qu'à la partie génération de commande du PHR. D'une consigne angulaire automatique ou manuelle transformée en tension u_e , on obtient la rotation $\theta_{p_1}(t)$ à l'aide de l'asservissement étudié. Vient ensuite une partie non étudiée ayant pour rôle d'imposer cette consigne au PHR afin d'annuler l'écart angulaire entre $\theta_{p_1}(t)$ en consigne et $\theta_{p_2}(t)$ obtenu réellement.

La boucle d'asservissement en position angulaire du moteur électrique étudiée 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 $\varepsilon_1(t)$ est ensuite corrigé et amplifié par un bloc correcteur + amplificateur qui 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 $\theta_{p_1}(t)$, sortie de cet asservissement.

Question 1: Construire le schéma bloc fonctionnel de cet asservissement.

Etude du moteur

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



Dernière mise à jour 11/10/2017	Précision des systèmes asservis	Denis DEFAUCHY
		TD2

Question 2: Identifier la réponse en justifiant le modèle retenu et la/les technique(s) utilisée(s) pour déterminer les paramètres que vous explicitez.

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

(1)	$u(t) = e(t) + Ri(t)$
(2)	$e(t) = k_e \omega_m(t)$
(3)	$c_m(t) = J_e \frac{d\omega_m(t)}{dt}$
(4)	$c_m(t) = k_a i(t)$

Résistance de l'induit	$R = 1 \Omega$
Inertie équivalente ramenée sur l'arbre moteur	$J_e = 4.10^{-6} \text{ kg.m}^2$
Constante de force contre électromotrice	$k_e = 0,02 \text{ V/(rad.s}^{-1}\text{)}$
Constante de couple	$k_a = 0,02 \text{ Nm.A}^{-1}$

Question 3: 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 $\frac{1}{p}$ multipliée par une fonction de transfert d'un premier ordre de gain statique k_m et de constante de temps τ_m .

Question 4: Donner les expressions littérales de k_m et τ_m .

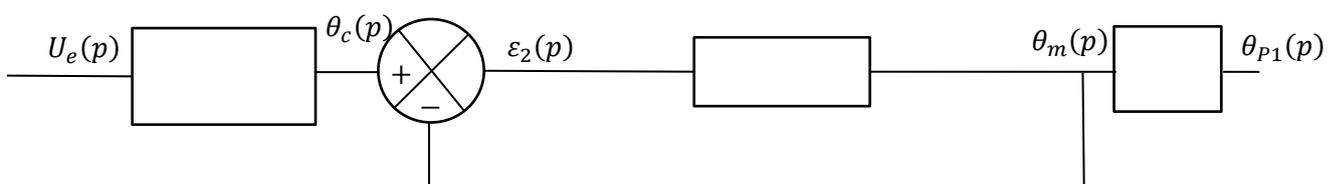
Question 5: Application numérique : calculer k_m et τ_m en précisant les unités.

Fonction de transfert du système

Les fonctions de transfert de différents éléments sont précisés :

- Correcteur + Amplificateur : Gain K_1
- Capteur potentiométrique : Gain K_2
- Réducteur 1 : Gain R_1
- Réducteur 2 : Gain R_2

Question 6: Compléter le schéma bloc suivant afin qu'il soit équivalent à l'asservissement étudié et vérifier que votre solution est correcte



Dernière mise à jour 11/10/2017	Précision des systèmes asservis	Denis DEFAUCHY
		TD2

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

Question 7: Déterminer la fonction de transfert en boucle ouverte $T(p) = \frac{\theta_m(p)}{\varepsilon_2(p)}$, la mettre sous la forme $T(p) = \frac{K_{BO}}{p(1+\tau_m p)}$ et en déduire l'expression du gain de boucle K_{BO} et préciser son unité.

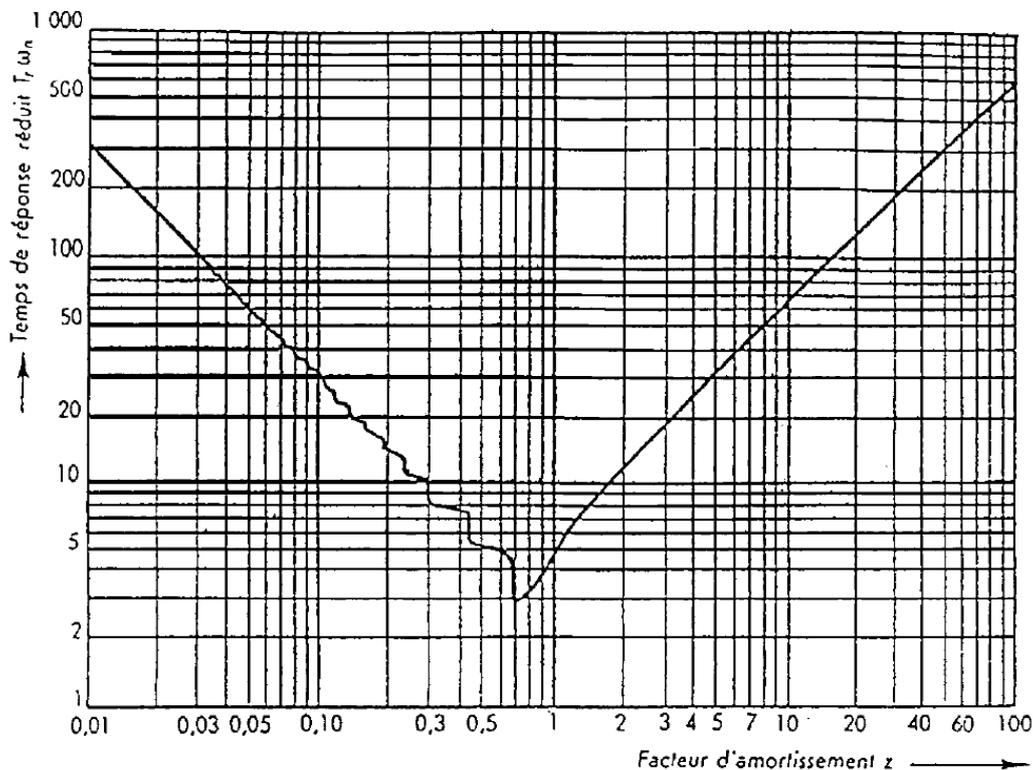
Question 8: Déterminer la fonction de transfert $F(p) = \frac{\theta_{P1}(p)}{U_e(p)}$. Montrer qu'elle peut se mettre sous la forme d'un système du second ordre. On notera K_{BF} le gain statique, z le coefficient d'amortissement et ω_0 la pulsation propre.

Question 9: 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 .

Performance de rapidité

Question 10: Déterminer la valeur du gain de boucle K_{BO} de telle sorte que la réponse θ_{P1} à une entrée en tension u_e de type échelon soit la plus rapide possible sans toutefois produire de dépassement.

Question 11: Déterminer le temps de réponse à 5% du système et conclure vis-à-vis du cahier des charges.



Abaque $T_r \cdot \omega_n = f(z)$

Dernière mise à jour	Précision des systèmes asservis	Denis DEFAUCHY
11/10/2017		TD2

Détermination des différents gains du système

On cherche dans cette partie à déterminer :

- Le gain du réducteur R_2 : connaissant le nombre de tours que fait la vis en sortie du système, on va remonter au nombre de tours sur l'axe moteur, et donc au rapport de réduction pour imposer un nombre de 10 tours sur le capteur
- Le gain du capteur K_2 d'après ses données
- Le gain K_1 du correcteur qui permettra de respecter le critère de réponse la plus rapide sans dépassement du système

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

Question 12: Déterminer le nombre de tours N_v maximal que peut faire la vis

La vis est entraînée en rotation par un réducteur dont le rapport de réduction vaut $\frac{\theta_{P2}}{\theta_v} = \frac{1}{5}$.

Question 13: Déterminer le nombre de tours N_{P2} que va faire l'arbre d'entrée du train épicycloïdal 52.

Question 14: L'asservissement ayant pour but d'annuler l'écart entre θ_{P2} et θ_{P1} , en déduire le nombre de tour N_{P1} que doit pouvoir faire le second arbre d'entrée du train épicycloïdal 52

Question 15: En déduire le nombre de tours 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 V.

Question 16: 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.

Question 17: Déterminer le gain K_2 du capteur potentiométrique.

Question 18: En déduire le gain K_1 du régulateur connaissant la valeur de K_{BO} fixée question 10.

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

Performance de précision

Question 19: Déterminer l'erreur statique du système entre la consigne angulaire moteur θ_c et l'angle moteur obtenu θ_m . Le système est-il précis ? Conclure vis-à-vis du cahier des charges

Question 20: Déterminer l'erreur de traînage entre la consigne angulaire moteur θ_c et l'angle moteur obtenu θ_m et conclure vis-à-vis du cahier des charges.