

TD4 - Précision et Stabilité :

Etude d'une cellule d'assemblage pour avion Falcon (d'après PSI E3A 2015)

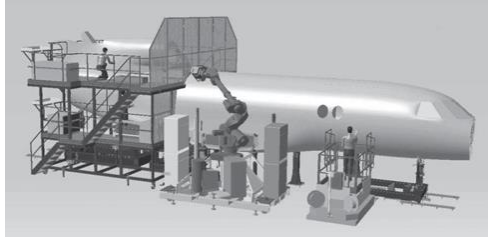


Figure 1 : Vue générale CAO de la cellule d'assemblage en cours de travail

Présentation du système étudié

Dans un contexte mondial de plus en plus concurrentiel, la société DASSAULT doit en permanence améliorer les procédés de production de ses avions.

Une des étapes importantes de la réalisation d'un avion est l'assemblage de sa structure. Comme le montre la Figure 2, la structure d'un avion est composée de plusieurs éléments devant être assemblés entre eux pour donner la structure finale de l'appareil.



Figure 2 : FALCON 7X et vue éclatée des différents sous-ensembles d'un FALCON 7X

Afin de répondre à des exigences de qualité croissantes et permettre une amélioration de sa productivité, la société DASSAULT développe en permanence de nouveaux moyens d'assemblage des éléments de structure. La cellule d'assemblage permet d'assister les opérateurs dans la réalisation des tâches d'assemblage.

L'assemblage complet (rivetage) correspond à une succession d'opérations à répéter pour chacun des points de fixations :

- mise en place des éléments à assembler
- perçage des éléments
- dépose d'un rivet
- pose d'une bague déformable
- serrage du rivet par déformation de la bague

Ces opérations devant être répétées un très grand nombre de fois (environ 300 heures d'opérations d'assemblages sur un avion) : le gain de productivité apporté par la cellule est important.

De plus, l'utilisation d'un robot permet de diminuer le nombre d'opérations de montage / démontage des éléments à assembler (comparativement à un travail manuel) ce qui permet un gain de travail supplémentaire.

Le support de cette étude, la cellule d'assemblage, permet la réalisation de l'assemblage du tronçon central du fuselage du Falcon 7X. La Figure 3 présente l'extrémité du robot en cours de travail sur ce tronçon central (composé des tronçons 1 et 2).

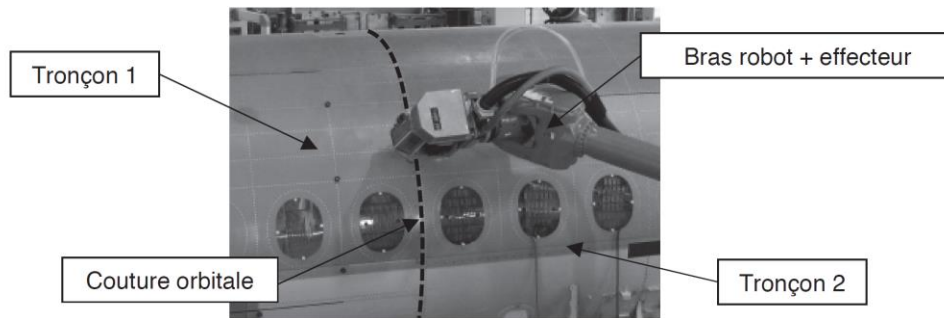


Figure 3 : Structure de Falcon 7X en cours d'assemblage par la cellule

Description structurelle de la cellule d'assemblage

La cellule est composée de plusieurs sous-ensembles fonctionnels :

- un pupitre de commande permettant de piloter et paramétrer la cellule
- une plateforme permettant d'assurer la liaison au bâti et le positionnement des autres sous-ensembles
- un robot six axes de marque ABB équipé d'un effecteur, cet effecteur intègre les outils nécessaires à l'assemblage
- un magasin de stockage des rivets
- une unité d'aspiration des copeaux

Etude de la sélection des fixations

L'objectif de ce TD est de valider les choix effectués par la société pour le sous-ensemble de sélection des fixations de la cellule (Exigence 1.2).

Les équations caractéristiques du moteur à courant continu sont rappelées ci-après (les conditions de Heaviside sont respectées) :

$$u(t) = e(t) + L \cdot \frac{di(t)}{dt} + R \cdot i(t)$$

$$e(t) = K_E \cdot \omega_m(t) \text{ et } C_m(t) = K_C \cdot i(t)$$

$$J_{eq} \cdot \frac{d\omega_m(t)}{dt} + f \cdot \omega_m(t) = C_m(t) + C_R(t)$$

Avec :

- $u(t)$: tension moteur
- $i(t)$: courant moteur
- $e(t)$: force contre-électromotrice
- $\omega_m(t)$: vitesse de rotation moteur
- $C_m(t)$: couple moteur
- $C_R(t)$: couple résistant modélisant l'action de pesanteur

Exigence	Critères	Niveaux
1.2 Déplacer le chariot	Stabilité • Marge de gain • Marge de phase	$M_G = 6 \text{ dB mini}$ $M_\varphi = 45^\circ \text{ mini}$
	Précision • Erreur statique r_s par rapport à une consigne de vitesse constante.	nulle
	Rapidité • Temps de réponse à 5 % en réponse à une consigne échelon.	$Tr_{5\%} = 0,1 \text{ s maxi}$

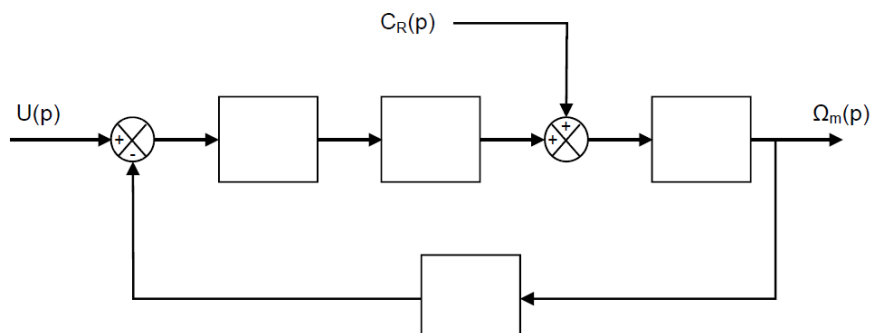
Vitesse nominale (N)	Couple nominal (C_{nom})	Courant nominal (I_{nom})	Courant maxi (I_{max})	Tension nominale (U_{nom})	Inductance (L)	Résistance de l'induit (R)	Coefficient de frottement visqueux (f)	Constante de couple (K_C)	Constante de fœem (K_E)
3000 tr.min ⁻¹	3 Nm	4,8 A	30 A	400 V	9 mH	3 ohms	$0,2 \cdot 10^{-2} \text{ Nm.s.rad}^{-1}$	$1,3 \text{ Nm.A}^{-1}$	$1,3 \text{ V. (rad.s}^{-1})^{-1}$

On notera λ le rapport de réduction du réducteur et R_p le rayon de la poulie.

Modèle de connaissance du moteur à courant continu

L'objectif de cette partie est d'établir un modèle de la motorisation de l'axe afin de simuler un déplacement.

Q1 : A partir des équations du moteur à courant continu, compléter le schéma bloc ci-dessous.



Q2 : En considérant $C_R(p) = 0$, déterminer la fonction de transfert $H_M(p) = \frac{\Omega_m(p)}{U(p)}$ sous sa forme canonique.

Q3 : Montrer que la fonction de transfert $H_M(p)$ peut se mettre sous la forme simplifiée :

$$H_M(p) = \frac{K_C}{K_c \cdot K_e + R \cdot J_{eq} \cdot p + L \cdot J_{eq} \cdot p^2}$$

Justifier la réponse. Pour cette question, la valeur numérique de J_{eq} considérée sera $J_{eq} = 7.10^{-3} \text{ kg.m}^2$.

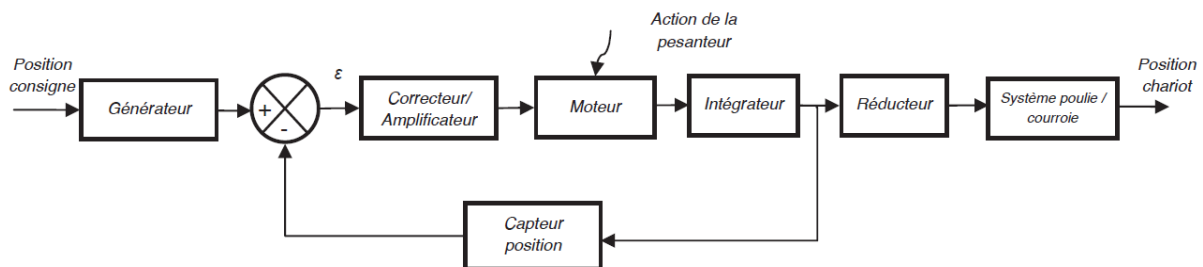
Q4 : Montrer qu'avec l'expression simplifiée $H_M(p)$ peut s'écrire sous la forme

$$H_M(p) = \frac{K'_C}{(1+T_e \cdot p) \cdot (1+T_M \cdot p)} \quad (\text{avec } T_E < T_M).$$

Cette expression sera maintenant utilisée pour la simulation numérique.

Étude de l'asservissement en position de l'axe

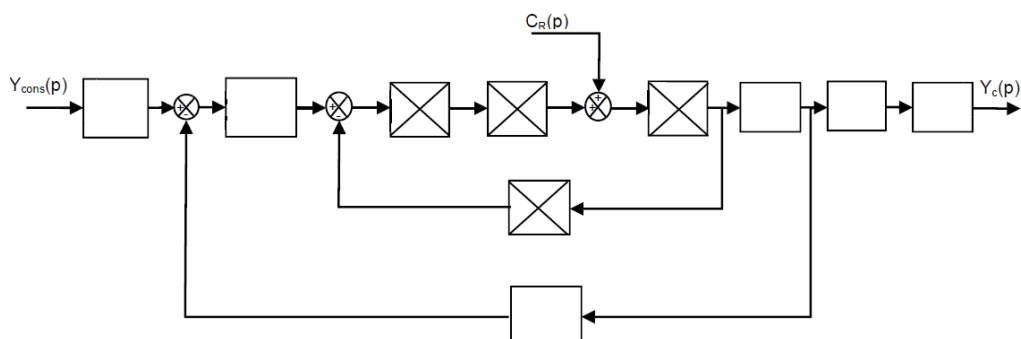
La partie précédente a permis de déterminer un modèle du moteur. La suite de l'étude va permettre, par simulation, de déterminer les réglages nécessaires de l'axe vis-à-vis du cahier des charges. La figure ci-dessous après présente le principe de l'asservissement de l'axe du chariot :



Les grandeurs caractéristiques des blocs de l'asservissement de l'axe chariot sont données dans le tableau ci-dessous :

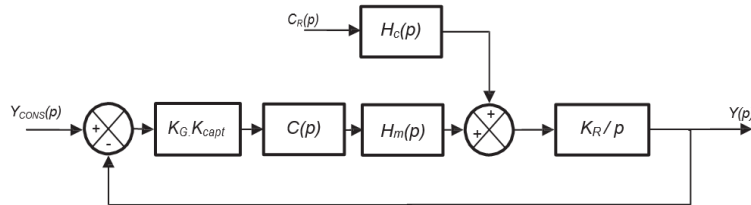
Générateur	K_G	À déterminer
Capteur de position	K_{capt}	$5.10^{-3} \text{ V.rad}^{-1}$
Correcteur amplificateur	$C(p)$	Variable, voir énoncé

Q5 : Compléter le schéma bloc de l'asservissement de l'axe ci-dessous :



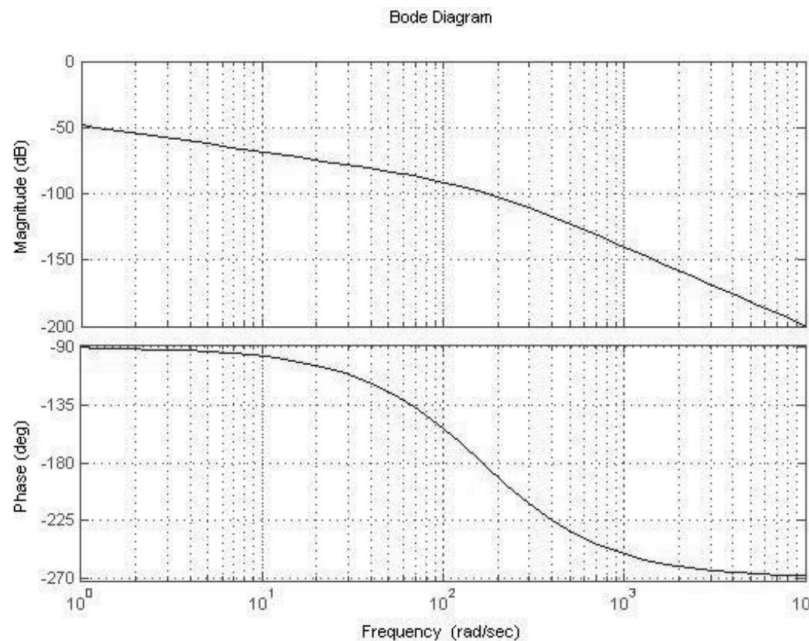
Q6 : Quelle doit être la valeur de K_G pour assurer un asservissement correct (c'est à dire l'écart doit être nul si la position de l'axe est identique à la consigne) ?

Afin de faciliter les calculs, le schéma bloc à retour unitaire est donné ci-dessous. Le couple résistant C_R dû à l'action de pesanteur est supposé constant.



$$\text{Avec } H_M(p) = \frac{K_m}{(1+T_E \cdot p)(1+T_M \cdot p)} ; H_c(p) = \frac{(R+L \cdot p) \cdot K}{(1+T_E \cdot p)(1+T_M \cdot p)} ; C_R(p) = \frac{C_0}{p}$$

Le diagramme de Bode de la fonction de transfert en boucle ouverte HBO(p) est donné ci-après. Le tracé est donné pour $C(p) = 1$.



Q7 : Le système est-il stable ? Justifier la réponse.

Le couple résistant est un couple constant C_0 qui traduit l'action mécanique de pesanteur subie par l'ensemble mobile.

Q8 : Justifier que si $C(p) = 1$, l'exigence fonctionnelle liée à la précision (erreur nulle) ne peut être respectée. Proposer une forme générale de fonction de transfert pour ce correcteur permettant de satisfaire à cette exigence fonctionnelle.

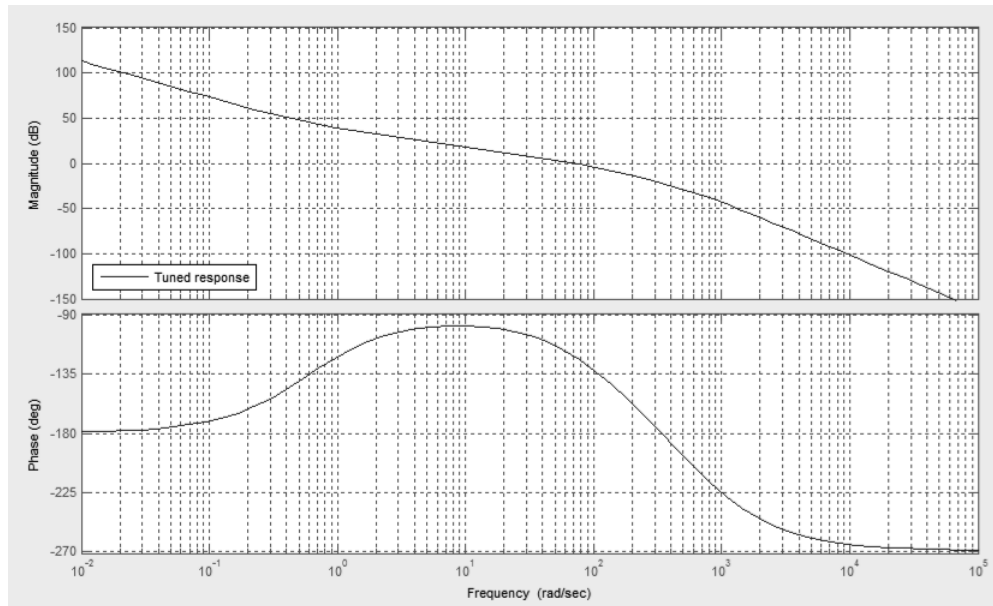
Afin de répondre totalement au cahier des charges, l'utilisation d'un correcteur proportionnel intégral dérivé est retenue. En effet, la commande de l'axe intègre directement ce type de correcteur.

Dans la suite du problème, le correcteur $C(p)$ sera de la forme : $C(p) = K_I \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot p}\right) \cdot (1 + T_D \cdot p)$

Le réglage des coefficients a été fait par simulation numérique.

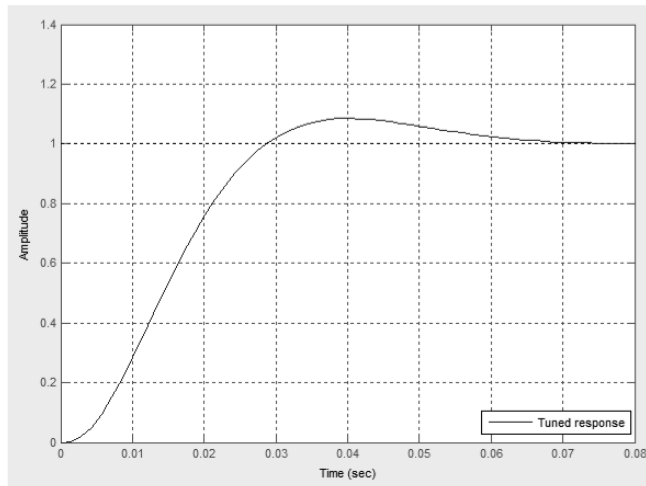
Q9 : Ce nouveau correcteur permet-il de respecter l'exigence fonctionnelle liée à la précision ? Justifier la réponse par un calcul littéral.

Le diagramme de Bode de la nouvelle fonction de transfert en boucle ouverte $H'BO(p)$ est donné ci-dessous.



Q10 : À partir du diagramme de Bode, conclure sur l'exigence fonctionnelle liée à la stabilité. Les constructions graphiques permettant la justification de la réponse devront apparaître.

Afin de vérifier maintenant le critère de rapidité, la réponse temporelle de l'axe à un échelon de position de 1 m est tracée ci-dessous.



Q11 : Conclure sur la conformité au cahier des charges du système ainsi réglé.