

AMÉLIORATION DES PERFORMANCES DES SLCI

CENTRALE INERTIELLE

1 Présentation

Une centrale inertielle est un système de navigation entièrement autonome muni en général de trois gyroscopes, de trois accéléromètres et d'un ordinateur qui permet à un engin mobile de connaître en temps réel sa position et sa vitesse dans l'espace.

Le système étudié ici est destiné à effectuer des tests dynamique et statique sur des équipements inertiels embarqués dans tout type de véhicules (terrestres, marins, aériens et spatial). Le sujet proposé concerne un testeur pouvant recevoir une enceinte pressurisée et régulée en température (c'est-à-dire climatisée) à l'intérieur de laquelle est installé l'équipement inertielle.

Ce testeur est en fait un robot constitué par conséquent d'une partie opérative représentée sur la FIGURE 1 et d'une partie commande munie d'un pupitre et d'un écran de contrôle. La partie opérative est munie de deux axes pilotés par la partie commande et assurant un asservissement en mode vitesse et en mode position, de façon synchronisée ou indépendante, sur ces deux axes (en robotique de manière simplifiée, on nomme « axe », pour axe numérique, chaque degré de mobilité de la partie opérative, asservi en vitesse et en position).

Sur la FIGURE 1, on peut voir le premier axe toujours horizontal (l'axe θ) actionné par deux motoréducteurs M1 et M'1 et le deuxième axe normal au plan du plateau circulaire (l'axe φ) actionné par un motoréducteur M2.

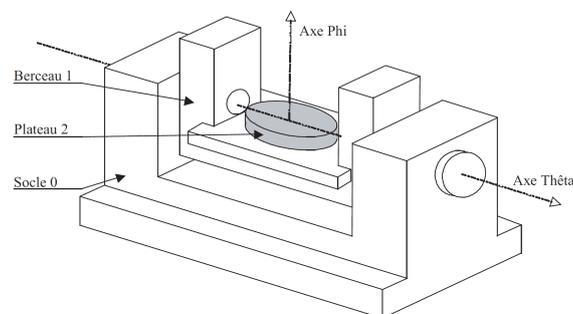


FIGURE 1 – Partie opérative du testeur

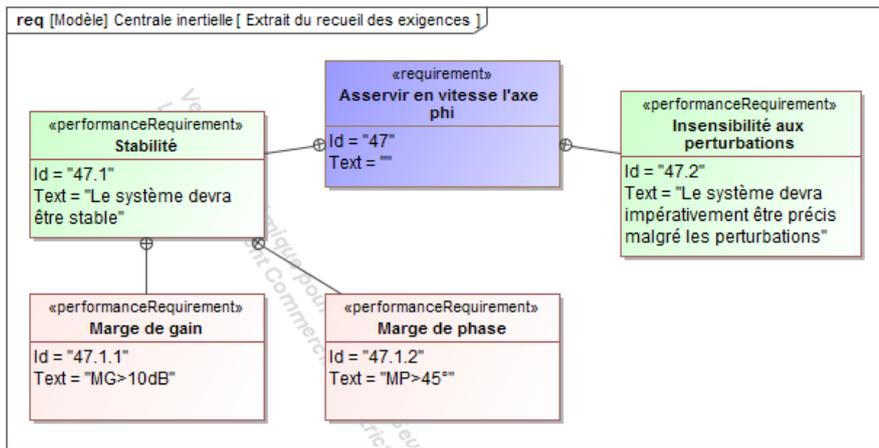


FIGURE 2 – Extrait du recueil des exigences

Objectif

Valider les performances de la boucle d’asservissement en vitesse de l’axe φ (voir FIGURE 2). Le principe retenu pour l’asservissement en position et en vitesse de cet axe est décrit sur la FIGURE 3.

2 Modélisation

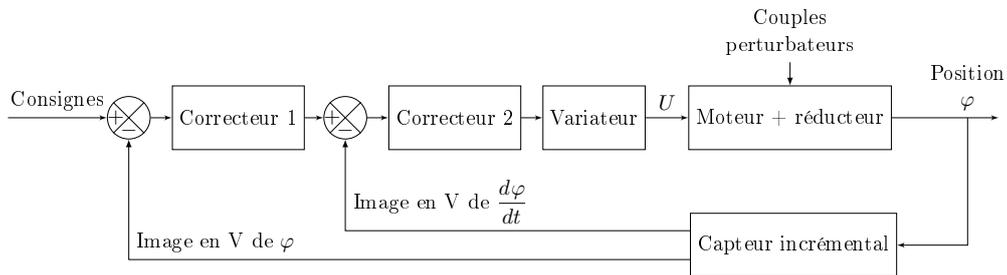


FIGURE 3 – Schéma-blocs fonctionnel de l’asservissement de l’axe φ .

La modélisation du moteur aboutit à représenter le système selon le schéma-blocs de la FIGURE 4, où $U_c(p)$ est la tension de consigne d’alimentation du moteur, $C_r(p)$ le couple résistant perturbateur et $\Omega(p)$ la vitesse de rotation du moteur.

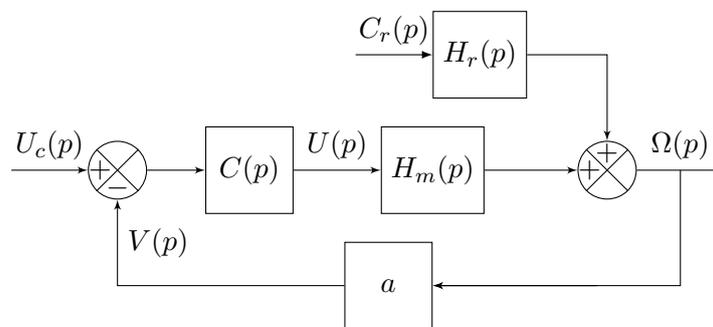


FIGURE 4 – Schéma-blocs de l’asservissement de l’axe φ .

Sur le schéma-blocs de la FIGURE 4, on a :

- $C(p)$: fonction de transfert du correcteur ;
- $H_m(p)$: fonction de transfert du moteur électrique ;
- $H_r(p) = K_r \frac{1 + 0,492p}{1 + 10,34p + 5,1p^2}$ avec $K_r = 0,37 \text{ rad.s}^{-1} \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$.

3 Travail demandé

3.1 Étude de la stabilité du système asservi non corrigé

Le moteur est représenté par la fonction de transfert $H_m(p) = \frac{0,5}{(1 + 10p)(1 + 0,5p)}$. Le gain du capteur vaut $a = 2 \text{ V.s.rad}^{-1}$.

On considère ici que le système n'est pas perturbé donc que le couple résistant perturbateur est nul, soit $C_r(p) = 0$.

On note $H_a(p)$ la fonction de transfert en boucle ouverte non corrigée (voir FIGURE 4 avec $C(p) = 1$).

Question 1 Exprimer $H_a(p)$ en fonction de $H_m(p)$. En déduire son expression numérique.

Le diagramme de Bode de $H_m(p)$ est donné sur la FIGURE 5.

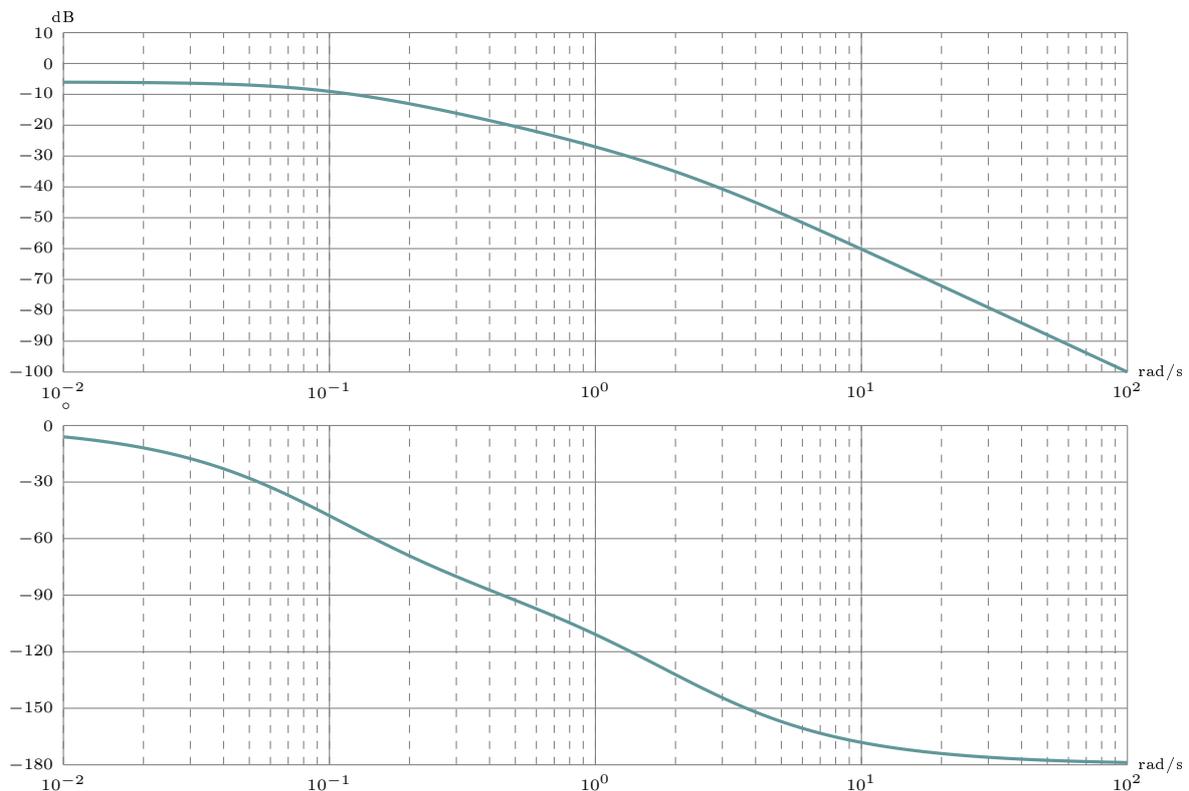


FIGURE 5 – Diagramme de Bode de $H_m(p)$

Question 2 Sur la FIGURE 5, tracer en bleu le diagramme asymptotique du gain et de la phase de la fonction de transfert $H_m(p)$, puis en rouge, celui de la fonction de transfert en boucle ouverte $H_a(p)$.

Question 3 Déterminer graphiquement les marges de gain et de phase. Le système asservi non corrigé a-t-il un niveau de stabilité suffisant vis-à-vis du Cahier des Charges ?

3.2 Sensibilité à la perturbation du système asservi non corrigé

On applique en consigne un échelon de tension d'amplitude U_{c0} permettant d'obtenir une vitesse de rotation en régime permanent de $N_0 = 2320 \text{ tr.min}^{-1}$ quand le couple résistant perturbateur est nul.

Brusquement, on applique un couple résistant perturbateur modélisable par un échelon d'amplitude $C_{r0} = -25 \text{ N.m}$. On note $N_{r0} = N_0 + N_\infty$ la nouvelle vitesse de rotation du moteur en régime permanent et l'écart $\Delta N = N_0 - N_{r0}$.

Question 4 Donner l'expression de ΔN et sa valeur numérique. Le CdC est-il vérifié ?

3.3 Étude du système asservi avec correction proportionnelle

On utilise maintenant un correcteur proportionnel de gain K_P , donc $C(p) = K_P$. On note $H_b(p)$ la fonction de transfert en boucle ouverte corrigée par le correcteur proportionnel. On considère ici que le système n'est pas perturbé donc que $C_r(p) = 0$.

Question 5 Donner l'expression de la fonction de transfert $H_b(p)$ en fonction de K_P .

On appelle MG la marge de gain et M_φ la marge de phase du système asservi.

Question 6 Évaluer la valeur de K_P pour que la marge de phase soit voisine de la valeur limite du CdC. Sur la FIGURE 5, tracer en vert les courbes réelles pour cette valeur de K_P . Que vaut la marge de gain ?

3.4 Étude de la sensibilité aux perturbations du système asservi avec correction proportionnelle

Question 7 Donner l'expression de ΔN en réponse à un échelon de perturbation d'amplitude C_{r0} . Le CdC peut-il être vérifié ? Ce type de correcteur est-il suffisant ?

3.5 Étude du système asservi avec correction proportionnelle et intégrale

À partir d'un système proportionnel de gain K_i^* et d'un système intégrateur de gain K_i , placés en parallèle, on réalise un correcteur proportionnel intégral.

Question 8 Faire un schéma et montrer que la fonction de transfert du correcteur proportionnel intégral est de la forme : $C(p) = K \frac{1 + Tp}{p}$.

Question 9 Sur votre feuille, tracer le diagramme asymptotique de Bode de ce correcteur seul. Compléter avec l'allure des courbes réelles. Indiquer toutes ses valeurs caractéristiques (les pentes des asymptotes et la pulsation, le gain, la phase au point de cassure).

On note $H_c(p)$ la fonction de transfert en boucle ouverte corrigée par le correcteur proportionnel et intégral. On considère ici que le système n'est pas perturbé, donc que $C_r(p) = 0$.

Question 10 Donner l'expression de $H_c(p)$ en fonction de K et T notamment.



Remarque

Les questions suivantes sont hors-programme.

À l'aide d'un logiciel de simulation, on obtient un réseau de 4 courbes qui sont les lieux de transfert dans le plan de Black de la fonction de transfert en boucle ouverte corrigée par le correcteur proportionnel et intégral pour quelques valeurs de K et de T (voir FIGURE 6).

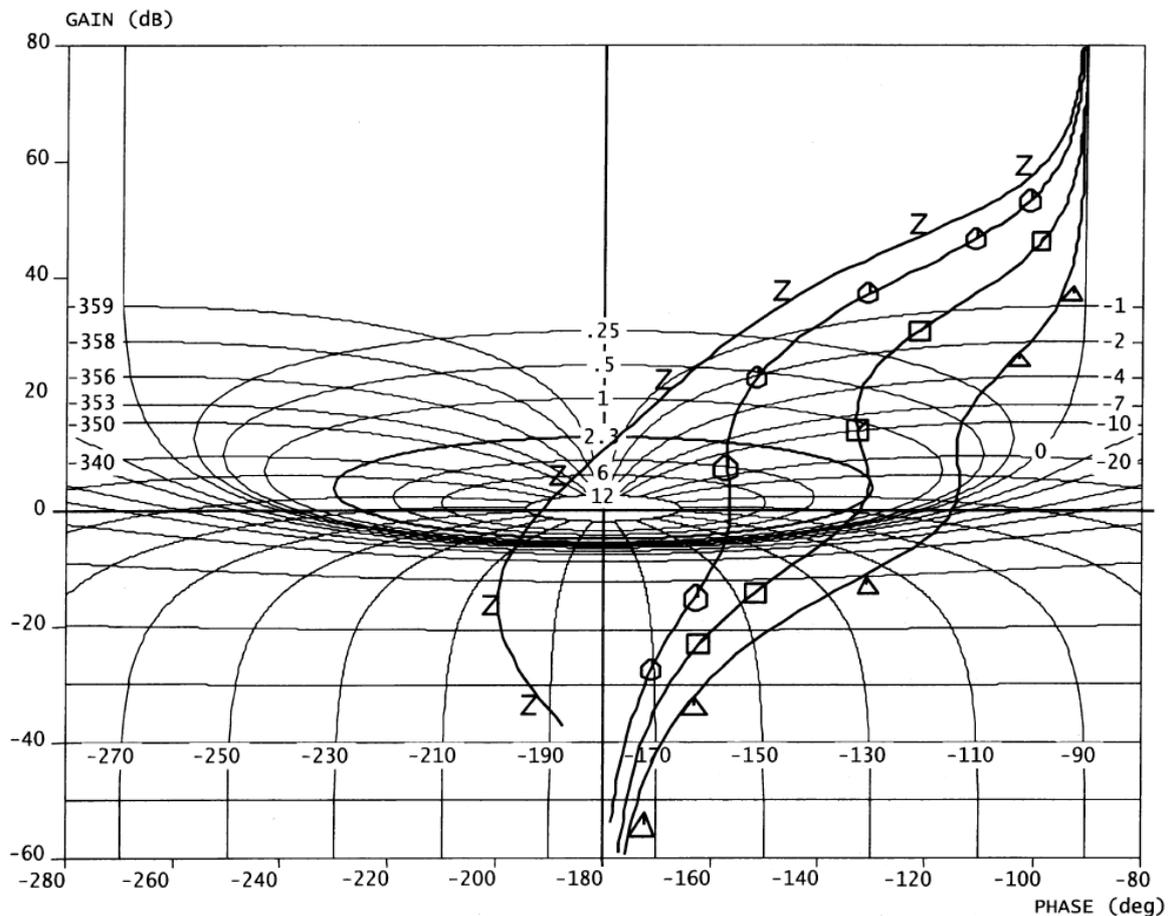


FIGURE 6 – Réponse fréquentielle de $H_c(p)$ en BO (lieu de Black)

Chaque courbe correspond à un couple de valeur de K et de T différent selon le tableau suivant :

Courbe	1	2	3	4
Repère	z	O	□	Δ
K	10	10	4	1
T (s)	0,1	1	2,5	5

Question 11 Déterminer, pour chacun des 4 cas :

- une évaluation de la marge de gain ;
- une évaluation de la marge de phase ;
- si le système asservi est stable ou instable en boucle fermée selon le critère du revers dans le plan de Bode.

Question 12 Le niveau de stabilité demandé dans le CdC est-il atteint ? Dans quel(s) cas ? S'il existe au moins 2 possibilités, choisir le cas le plus favorable en terme de rapidité. Justifier.

Question 13 Le système asservi avec correction proportionnelle et intégrale est-il encore sensible à la perturbation en échelon ? Justifier.