

ORDRE DES INGÉNIEURS DU QUÉBEC

SESSION DE NOVEMBRE 2018

Toute documentation permise
Calculatrices : modèles autorisés seulement
Durée de l'examen : 3 heures

16-MC-A3 Analyse des systèmes et régulation

Question 1 (20 pts)

Un diagramme schématique d'un quart de véhicule avec un système d'amortissement actif est montré sur la figure 1. L'actionneur exerce une force F entre la roue et le châssis en se basant sur une rétroaction de la distance entre le châssis et le centre de la roue. Soit x_b , x_w et x_r qui représentent la position du châssis, de la roue et de la route depuis leurs positions d'équilibre. Un modèle simple du système est donné par

$$m_b \ddot{x}_b = F \quad (1)$$

$$m_w \ddot{x}_w = -F + k_t(x_r - x_w) \quad (2)$$

$$\ddot{x}_b = \frac{d\dot{x}_b}{dt}, \quad (3)$$

$$\dot{x}_b = \frac{dx_b}{dt}, \quad (4)$$

$$\ddot{x}_w = \frac{d\dot{x}_w}{dt}, \quad (5)$$

$$\dot{x}_w = \frac{dx_w}{dt}, \quad (6)$$

où m_b est un quart de la masse du châssis, m_w est la masse effective de la roue incluant les freins et le système de suspension et k_t est la raideur du pneu. L'amortisseur actif peut être réglé, avec k et c deux paramètres à adapter, pour simuler un amortisseur conventionnel :

$$F = k(x_w - x_b) + c(\dot{x}_w - \dot{x}_b) \quad (7)$$

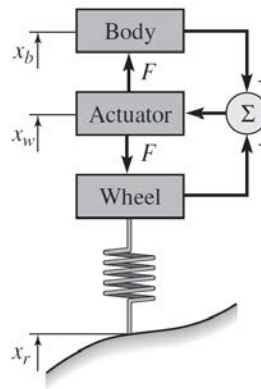


Figure 1.

Questions :

1- Déterminer les 7 transformées de Laplace des relations numérotées de (1) à (7) en considérant les conditions initiales nulles (5 points).

2 – Dessiner le schéma-bloc détaillé du système de suspension active d'entrée x_r , et avec les variables F , \dot{x}_b , \dot{x}_w , x_b et x_w . (15 points).

QUESTION 2 (20 pts)

Considérer la dynamique latérale d'un avion décrite dans le schéma bloc ci-dessous (Figure 2).

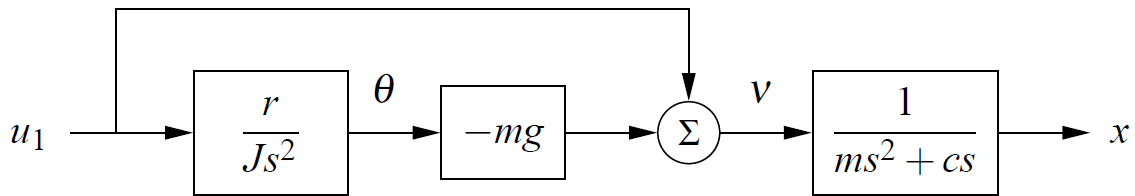


Figure 2.

Questions :

1 – Utiliser le schéma bloc pour calculer la fonction de transfert de $u_I(s)$ à $\Theta(s)$ (10 points)

2 – Utiliser le schéma bloc pour calculer la fonction de transfert de $u_I(s)$ à $x(s)$ (10 points)

QUESTION 3 (20 pts)

On considère le problème de maintenir la vitesse d'un véhicule avec un régulateur de vitesse. La fonction de transfert de la dynamique linéarisé du véhicule est

$$P(s) = \frac{b}{s+a}$$

avec $a=0.0101$ et $b=1.3203$.

comme la boucle ouverte est trop lente, il est naturel de spécifier une dynamique en boucle fermée plus rapide en spécifiant que la dynamique de la boucle fermée soit celle d'un second ordre avec un coefficient d'amortissement $\zeta=1$ et une fréquence naturelle non-amortie $\omega_0=0.2$ rad/s.

La figure 3 présente le schéma bloc du système en boucle fermée avec un correcteur PID idéal. Dans ce problème, seulement un contrôleur PI est considéré, ainsi $k_d=0$.

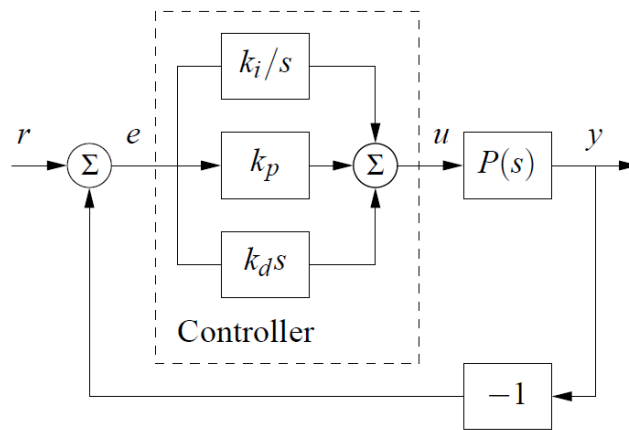


Figure 3.

Questions :

- 1 – Déterminer le polynôme caractéristique requis pour le système en boucle fermée (5 points)
- 2 – Déterminer le polynôme caractéristique du système en boucle fermée avec un correcteur PI (5 points)
- 3- Déterminer les valeurs des paramètres de controleur k_p et k_i . (10 points).

QUESTION 4 (20 pts)

Considérer la dynamique d'un système en équilibre montré sur la Figure 4.

Si on suppose que θ et $\dot{\theta}$ sont petits, l'approximation linéarisée entre la position p et la force F est décrite par la fonction de transfert suivante

$$H_{pF} = \frac{J_t s^2 - mgl}{s^2 ((M_t J_t - m^2 l^2) s^2 - M_t mgl)}$$

On utilise les paramètres pour le système correspondant approximativement à un humain en équilibre sur la plateforme avec $m=80$ Kg, $M_t=10$ Kg, $J_t=100$ Kg m²/s², $l= 1$ m, $g=9.8$ m/s².

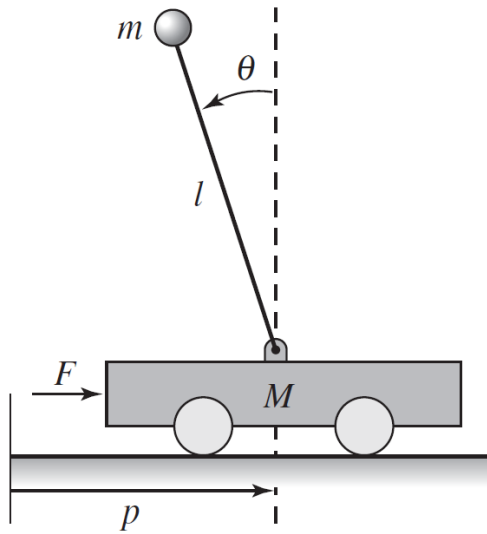


Figure 4.

Questions :

- 1 – Calculer les valeurs des pôles et les zéros du système en boucle ouverte. (5 points).
- 2 – Dessiner le diagramme des pôles et des zéros de H_{pf} . (5 points).
- 3 – En utilisant la méthode du Lieu d'Evans prédire la stabilité du système en boucle fermée avec un retour proportionnel. (10 points).

QUESTION 5 (20 points)

La figure 5 représente le trace de Bode et de Nyquist d'un avion.

Le système est stable en boucle ouverte.

Le système a une marge de phase de 68 degrés.

Le système a une marge de gain de 6.2.

Le système compensé, $KG(s)$ avec K un gain, est mis en boucle fermée négative.

Questions :

- 1- Déterminer si le système en boucle fermée avec $K=+1$ est stable? (5 points)
- 2- Déterminer si le système en boucle fermée avec $K=+7$ est stable ? (5 points)
- 3- Déterminer si le système en boucle fermée avec $K=+6$ est stable ? (5 points)
- 4- Déterminer si le système en boucle fermée avec $K = -0.001$ (gain négatif) est stable ? (5 points)

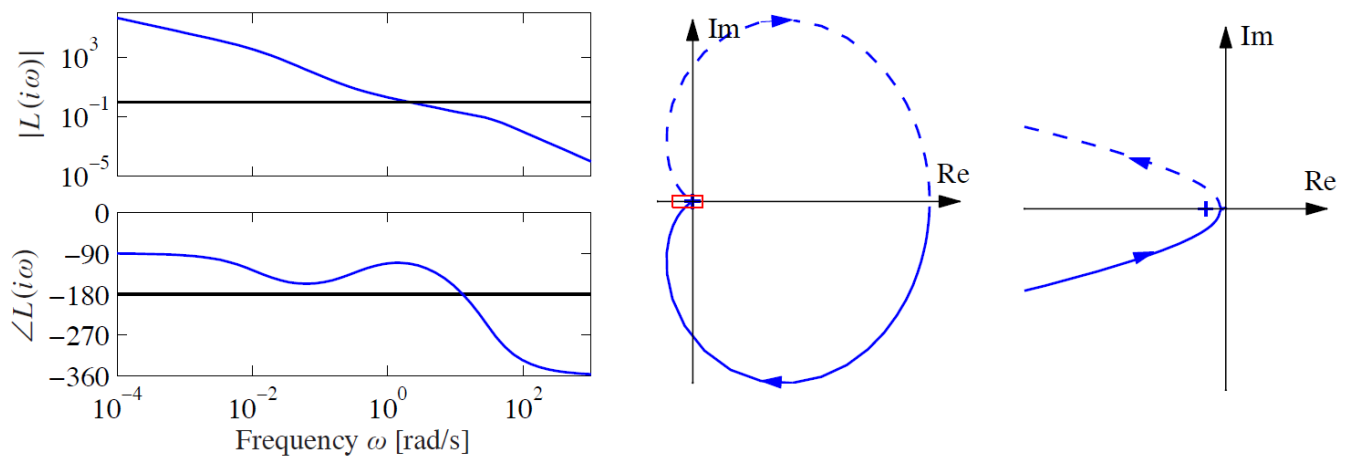


Figure 5.