

# ORDRE DES INGÉNIEURS DU QUÉBEC

SESSION DE NOVEMBRE 2019

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)

La figure 1 montre le schéma d'un moteur pilotant une charge modélisée comme suit :

$$J_1 \frac{d^2 \varphi_1(t)}{dt^2} + k(\varphi_1(t) - \varphi_2(t)) = K_I I(t)$$

$$J_2 \frac{d^2 \varphi_2(t)}{dt^2} + k(\varphi_2(t) - \varphi_1(t)) = T_d(t)$$

avec

$\varphi_2$  : angle de l'inertie  $J_2$

$\varphi_1$  : angle de l'inertie  $J_1$

$\omega_2$  : vitesse angulaire de l'inertie  $J_2$

$\omega_1$  : vitesse angulaire de l'inertie  $J_1$

$k$  : raideur en rotation entre l'inertie  $J_1$  et l'inertie  $J_2$

$K_I$  : constante de couple du moteur

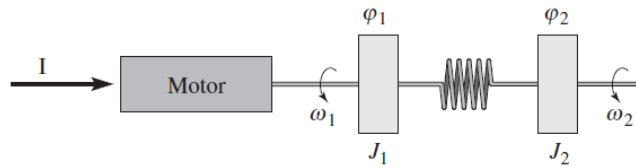


Figure 1.

### Questions :

1 – Pour  $T_d = 0$  , déterminer l'expression de la fonction de transfert  $\varphi_2(s)/I(s)$  (10 points).

2– Pour  $I = 0$  , déterminer l'expression de la fonction de transfert  $\varphi_2(s)/T_d(s)$  (10 points).

## QUESTION 2 (20 pts)

On considère la commande d'un système asservi

$$H(s) = \frac{1}{s+2}$$

avec un compensateur de la forme

$$C(s) = K \frac{s+a}{s}$$

On spécifie un polynôme caractéristique de la boucle fermée :  $s^2+8s+33.6$

Questions :

1 – Déterminer la fonction de transfert en boucle fermée  $\frac{e(s)}{r(s)}$  (5 points)

2 – Pour la spécification, démontrer que la boucle fermée est stable et l'erreur finale est nulle pour une consigne de type échelon. (5 points)

3 – Calculer les paramètres  $K$  et  $a$  qui répondent aux spécifications (10 points).

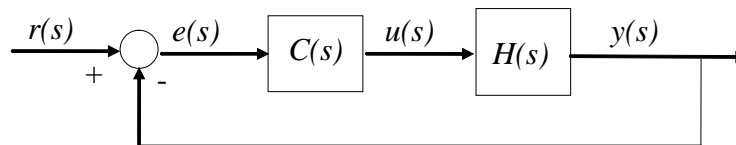


Figure 2.

### QUESTION 3 (20 pts)

Le schéma blocs détaillé de commande d'un mécanisme électromécanique d'entrée  $T_d(s)$  et de sortie  $X_1(s)$  est montré sur la Figure 3.

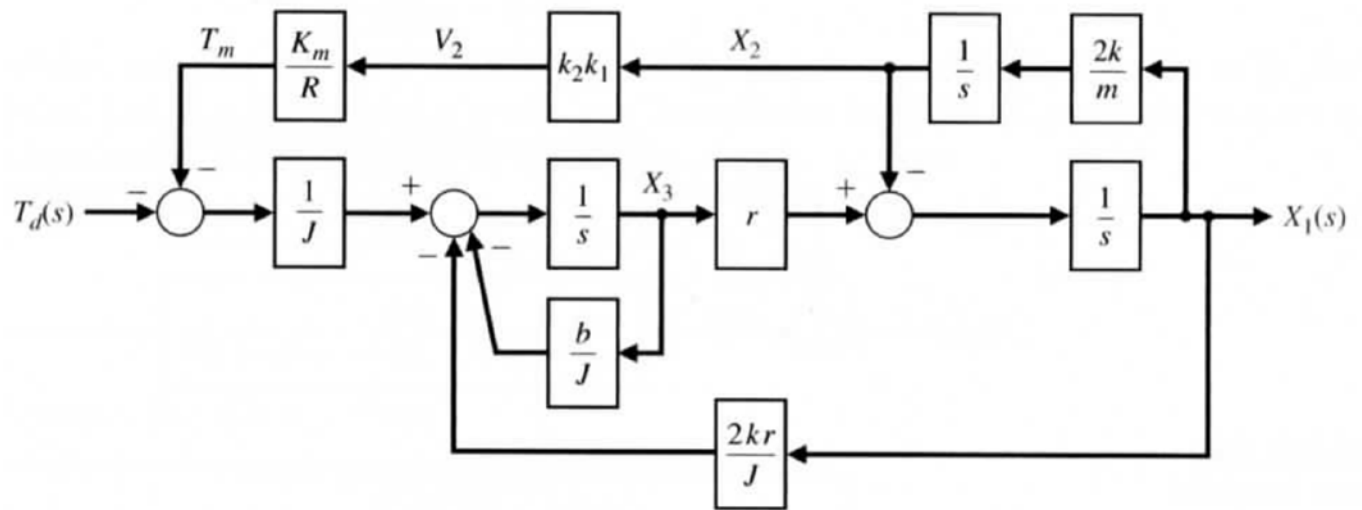


Figure 3.

Question :

1 – Exprimer la fonction de transfert  $X_1(s) / T_d(s)$  (20 points)

## QUESTION 4 (20 pts)

On considère la commande d'un système asservi

$$H(s) = K \frac{s-20}{s^2+5s-50}$$

Le tracé des racines en fonction de  $K$  est représenté sur la figure 4.

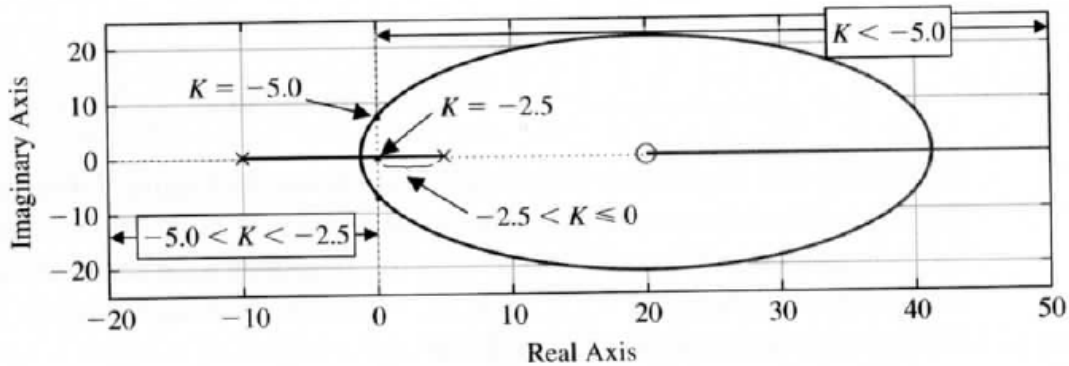


Figure 4.

### Question :

- 1 – Calculer les pôles en boucle ouverte. Le système est-il stable en boucle ouverte ? (5 points)
- 1 – Pour quelle plage de valeur de  $K$ , le système en boucle fermée est stable ? (5 points)
- 3 – Pour quelle valeur du gain  $K$  la boucle fermée présente une oscillation non amortie. Calculer la pulsation (en rad/s) de l'oscillation. (10 points).

## QUESTION 5 (20 pts)

La figure 5 présente le tracé de Bode du système en boucle ouverte

$$L(s) = \frac{K(s + 1)}{s(2 + s)(2 + 3s)}$$

avec le gain de boucle  $K=8$ .

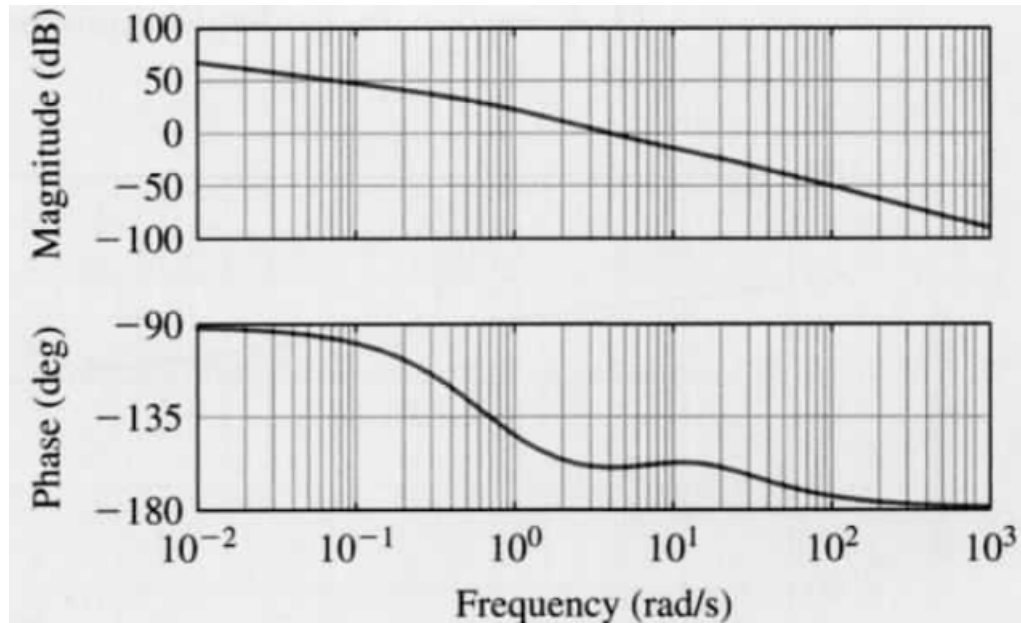


Figure 5.

### Questions :

- 1 – Est-ce que le gain à 0 rad/s est inférieur à 100 dB ? (5 points)
- 2 – Le système est-il stable en boucle ouverte ? (5 points)
- 3 – Avec la réponse en fréquence, estimer la marge de gain. (5 points)
- 4 – Avec la réponse en fréquence, peut-on dire que la marge de phase est supérieure à 45 degrés ? (5 points)