NOM : PRENOM : ISIMA

Examen final d'Automatique

ISIMA 1ère année

Epreuve de R. AUFRERE, M. CHEMINAT et C. TILMANT

Mardi 18 juin 2013

Première session d'examen (Durée : 2h)

Calculatrice et feuille A4 manuscrite recto-verso autorisées

Sujet : 6 pages. Vous devez obligatoirement rendre votre sujet avec votre copie en précisant bien vos nom et prénom.

1 QCM (5 points)

Pour cet exercice, vous devez cocher la réponse qui peut s'appliquer. Les bonnes réponses vous donnent +0,5 pts, **les mauvaises réponses -0,5 pts**. La note obtenue à ce QCM ne sera prise en compte que si elle est positive. N'oubliez pas de joindre ce QCM à votre copie en précisant bien votre nom.

1.1 Système d'ordre 1

En considérant le système suivant $T_1(p) = \frac{12}{3p+2}$.

1) Quelle est la valeur du gain statique de ce système en boucle ouverte ?

- ☐ 12
- ☐ 4
- ☐ 6
- ☐ 1

2) Pour une entrée en échelon unitaire, au bout de quel temps le signal de sortie vaut 63% de sa valeur finale ?

- ☐ 3s
- ☐ 1,5s
- ☐ 2s
- ☐ 1s

3) Quelle est la valeur du gain statique de ce système en boucle fermée en considérant un retour unitaire ?

- ☐ 6/7
- ☐ 4
- ☐ 7/6
- ☐ 1/4

4) Quelle est la valeur de l'erreur de position (erreur statique d'ordre 1) de ce système en boucle fermée ?

- ☐ 1/6
- ☐ 1/7
- ☐ 7/6
- ☐ 3

1.2 Système d'ordre 2

En considérant le système suivant $T_2(p) = \frac{2}{2+0,1p+\frac{p^2}{18}}$

5) Quelles sont les valeurs des coefficients K (gain statique), ξ (coefficient d'amortissement) et ω_n (pulsation propre) de ce système ?

☐ $K = 2$, $\xi = 0.707$ et $\omega_n = 4.24$ rad/s
☐ $K = 1$, $\xi = 0.21$ et $\omega_n = 4.24$ rad/s
☐ $K = 1$, $\xi = 0.15$ et $\omega_n = 6$ rad/s
☐ $K = 2$, $\xi = 0.21$ et $\omega_n = 6$ rad/s

En considérant le système suivant $T_3(p) = \frac{1}{p(p+1)}$

6) Ce système est :

☐ Stable en boucle ouverte et stable en boucle fermée
☐ Stable en boucle ouverte et instable en boucle fermée
☐ Instable en boucle ouverte et stable en boucle fermée
☐ Instable en boucle ouverte et instable en boucle fermée

7) En considérant toujours le système $T_3(p)$ et pour une entrée en échelon unitaire, la valeur finale du signal de sortie tend :

☐ en BO, vers l'entrée car le gain est 1
☐ en BF, vers l'infini
☐ en BF, vers 1
☐ en BF, vers 0.5

1.3 Système d'ordre n

8) Pour quelles valeurs de K_1, le système suivant $T_4(p) = \frac{14p+5}{3p^3+12p^2+4p+K_1}$ est stable en boucle ouverte ?

☐ $3 < K1 < 26$
☐ $-3 < K1 < 18$
☐ $0 < K1 < 8$
☐ $0 < K1 < 16$

9) Quelle valeur de K_c permet de mettre le système suivant $T_5(p) = \frac{2}{p^3+2p^2+10p+4}$ en situation de pompage en boucle fermée ?

☐ $K_c = 0$
☐ $K_c = 8$
☐ $K_c = 10$
☐ $K_c = 12$

1.4 Correcteur

10) Quel type de correcteur correspond au système suivant $T_6(p) = \frac{K(1+a\tau p)}{1+\tau p}$ avec $a > 1$?

☐ PID
☐ Proportionnel
☐ avance de phase
☐ retard de phase

2 Problème : Asservissement de vitesse d'un laminoir (15 points)

De nombreuses parties peuvent être traitées de façon indépendante.

2.1 Modélisation

Le synoptique d'un système Ward-Léonard, destiné à entraîner à vitesse constante les rouleaux d'un laminoir, est représenté sur le schéma de la figure 1.

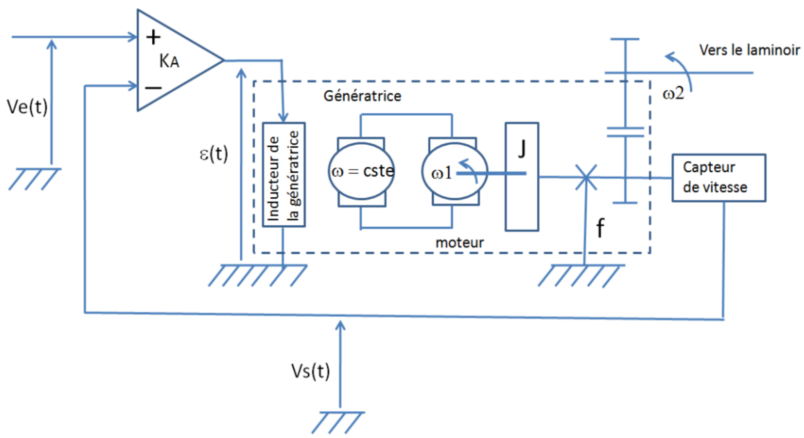

FIGURE 1 – Schéma de principe du processus

Le système se décompose en 4 parties :

- un amplificateur de puissance à entrée différentielle de gain en tension K_A,
- un moteur à courant continu utilisé en génératrice,
- un moteur à courant continu qui entraîne les rouleaux du laminoir,
- un capteur de vitesse constitué d'une dynamo tachymétrique de constante λ.

La modélisation de l'ensemble génératrice-moteur qui représente la relation entre la vitesse des rouleaux ω_2 et la tension d'entrée $\epsilon(t)$ est équivalente à une fonction de transfert du 2^{me} ordre caractérisée par le produit de 2 fonctions de transfert du premier ordre avec les paramètres suivants :

- un gain statique K_m et 2 constantes de temps $T_1 = 2s$ et $T_2 = 18s$.

La grandeur de sortie de l'asservissement sera la tension de la dynamo tachymétrique $v_s(t)$.

1) Reproduire sur votre copie et compléter le diagramme fonctionnel de la figure 2.

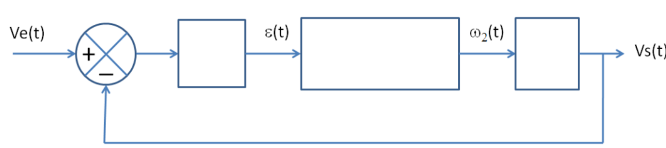

FIGURE 2 – Diagramme fonctionnel du processus

2.2 Etude du processus

2.2.1 Fonction de transfert en boucle ouverte

2) Montrer que la fonction de transfert en boucle ouverte peut se mettre sous la forme :

$$T(p) = \frac{K_0}{1 + 2\xi_0 T_0 p + T_0^2 p^2}$$

3) Etablir les expressions des constantes T_0, ξ_0 et K_0 de manière littérale en fonction des caractéristiques du système.

4) Déterminer les valeurs numériques de T_0 et ξ_0.

5) Est-ce que ce système est stable en boucle ouverte ?

6) Quels sont l'ordre et la nature des pôles et des zéros de ce système en boucle ouverte ?

2.2.2 Fonction de transfert en boucle fermée

7) Montrer que la fonction de transfert en boucle fermée peut se mettre sous la forme :

$$F(p) = \frac{K_F}{1 + 2\xi_F T_F p + T_F^2 p^2}$$

8) Etablir les expressions des constantes T_F, ξ_F et K_F de manière littérale en fonction des constantes T_0, ξ_0 et K_0.

9) Déterminer la valeur de K_0 conduisant à un facteur d'amortissement $\xi_F = 1$. Dans toute la suite du problème, K_0 gardera cette valeur.

10) Donner alors les nouvelles expressions de $T(p)$ et $F(p)$.

2.3 Commande par asservissement

11) Donner la réponse harmonique de l'ensemble du système en boucle ouverte ainsi que l'expression de son module et de son argment.

12) Si $K_0 = \frac{16}{9}$, donner sur votre copie les valeurs manquantes du tableau de la figure 3.

$\omega(rad/s)$	0.01	0.03	0.05	0.08	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1	2	3
$\lvert T(j\omega)\rvert(db)$	4.8	3.9		0	-1.4	-7.1	-14.4	-19.6		-27.2	-38.5	-45.3
$\varphi(T(j\omega))(\circ)$	-11.3	-31.8		-64.3	-72.2	-96.3	-120.7	-135		-150.4	-164.4	-169.5

FIGURE 3 – Valeurs du module et de l'argument de $T(j\omega)$ en fonction de ω

13) Tracer, sur la page 6 du sujet, le diagramme de Black correspondant à ce système.

14) Indiquer les marges de gain M_g et de phase M_φ sur le diagramme de Black et donner leurs valeurs.

15) Est-ce que ce système est stable en boucle fermée ? Justifier votre réponse.

16) A partir de l'abaque de Black (lecture graphique), déterminer les valeurs du gain en dB et de la phase en degrés de la fonction de transfert en boucle fermée pour la pulsation $\omega = 0,1 rad/s$.

2.3.1 Erreur stationnaire

17) Déterminer la réponse $v_s(t)$ de l'asservissement à un échelon unitaire sachant que la transformée inverse de Laplace de $\frac{1}{p(1+Tp)^2}$ est égale à $1 - (1 + \frac{t}{T})e^{-\frac{t}{T}}$. Ne pas oublier que $\xi_F = 1$.

2.4 Mise en place d'un correcteur

Afin d'améliorer les performances de l'asservissement, un réseau correcteur $C(p)$ est inséré dans la chaîne d'action.

2.4.1 Correcteur P

Afin d'améliorer la précision statique du système, un correcteur proportionnel est introduit dans la chaîne de contrôle du moteur. Ce correcteur, de fonction de transfert $C(p) = K_c$, est matérialisé par un amplificateur.

18) Quelle valeur de K_c permet de maintenir une marge de phase égale à 45° ?

2.4.2 Autre correcteur

19) Déterminer algébriquement la fonction de transfert $C(p)$ d'un autre correcteur sachant que nous souhaitons obtenir une fonction de transfert finale en boucle fermée égale à :

$$F_1(p) = \frac{1}{(1 + T_x p)^2}$$

20) Tracer la représentation asymptotique de Bode du module de $C(p)$ (sans faire d'application numérique) dans le cas où $T_x << T_1$.

21) Calculer l'erreur de position (erreur statique d'ordre 1).

22) Montrer que ce type de régulateur permet de compenser les pôles et les zéros du système initial et préciser l'inconvénient de ce type de compensation.

23) Ce correcteur est-il réalisable physiquement ?

FIGURE 4 – Diagramme de Black de $T(p)$