ORDRE DES INGÉNIEURS DU QUÉBEC SESSION DE

NOVEMBRE 2024

Note au sujet de la propriété intellectuelle des modèles d'examen de l'Ordre des ingénieurs du Québec

Les modèles d'examen se trouvant sur le site internet de l'Ordre des ingénieurs du Québec sont la propriété exclusive de l'Ordre et leur utilisation est strictement limitée à des fins académiques et personnelles. Toute reproduction, distribution ou utilisation commerciale non autorisée de ces modèles constitue une violation de la propriété intellectuelle et est strictement interdite. L'Ordre se réserve le droit de prendre toutes les mesures légales appropriées contre toute utilisation non autorisée de ses modèles d'examen.

Toute documentation permise
Calculatrices : modèles autorisés seulement
Durée de l'examen : 3 heures
Nombre de questions : 4

23-CH-A6 Dynamique et commande des processus

Aucun point ne sera attribué pour une réponse sans justifications adéquates (explications ou calculs).

1- Diagramme fonctionnel et fonction de transfert [25 points]

La figure 1 présente le diagramme fonctionnel d'un asservissement par modèle interne. Déterminez la fonction de transfert $Y(s)/R(s)$. Votre solution doit montrer les manipulations et substitutions requises pour simplifier le diagramme.

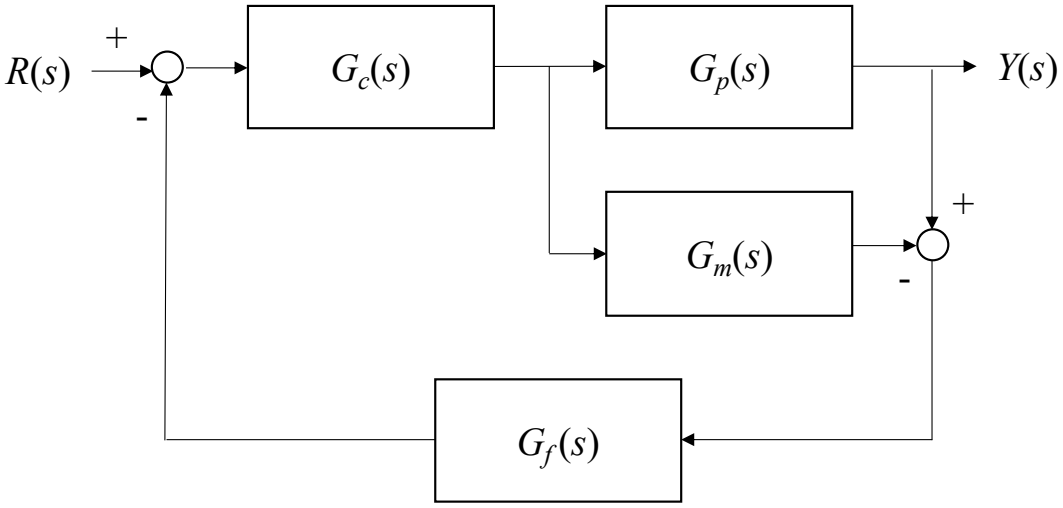

Figure 1. Diagramme fonctionnel d'un asservissement par modèle interne.

2- Réglage de régulateurs PI [25 points]

La figure 2 présente

- la réponse temporelle d'un débit d'eau y_1 à un échelon sur l'ouverture de la valve de contrôle u_1;
- la réponse temporelle du niveau de liquide y_2 dans un réservoir par rapport à la vitesse de la pompe de décharge u_2 à la sortie du réservoir.

Il s'agit de deux procédés indépendants sans interaction.

a) Déterminez le type de la fonction de transfert de chacun de ces procédés. [3 points]

b) Identifiez les paramètres de chacune des fonctions de transfert. Donnez les unités des paramètres. [8 pts]

c) Calculez les réglages du régulateur PI (forme parallèle) pour ces fonctions de transfert à l'aide des équations de la méthode IMC (voir l'Annexe A) en utilisant $T_c = 5$ dans les deux cas. Donnez les unités des paramètres. [12 pts]

d) Si l'asservissement de niveau est stable, quelle sera la valeur de la vitesse de la pompe en régime permanent à la suite d'un échelon de consigne de 40 à 60 % sur le niveau de liquide. [2 pts]

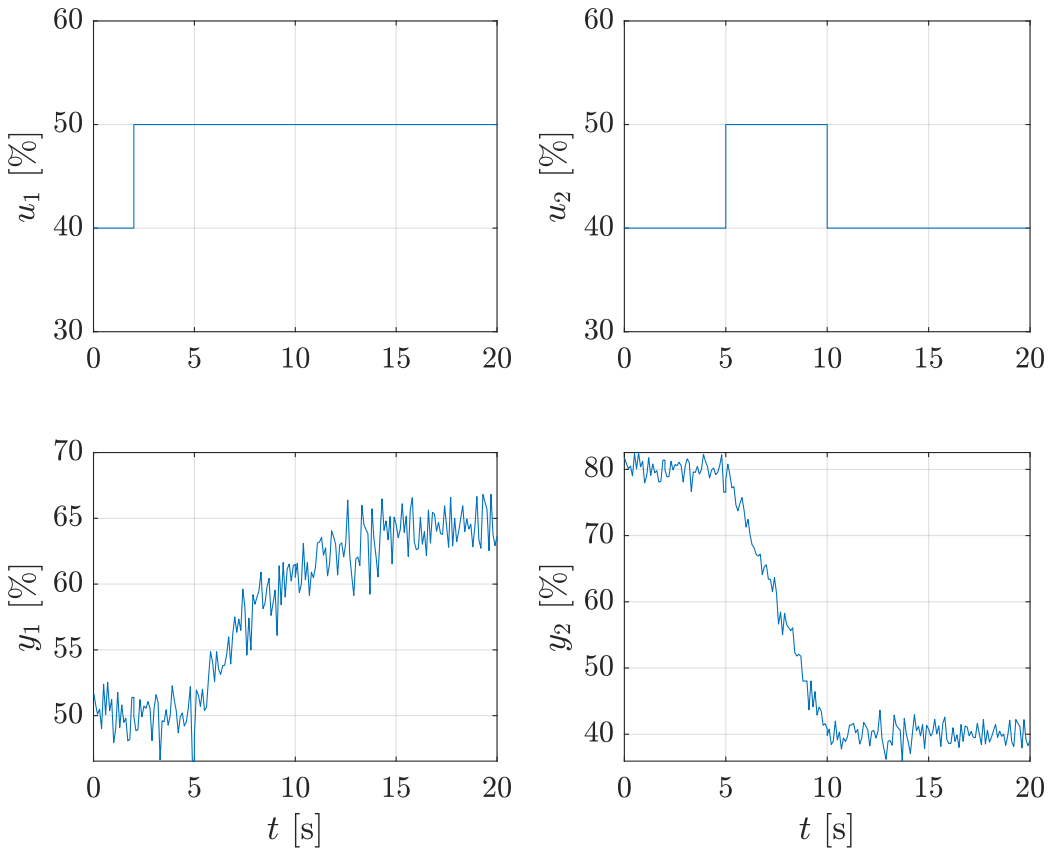

Figure 2. Réponses temporelles pour 2 procédés indépendants.

3- Modélisation d'un procédé [25 points]

Un réservoir parfaitement mélangé de volume utile $v_r = 5$ m^3 alimente par débordement un long tuyau de longueur $l_t = 100$ m et de section $a_t = 0{,}06$ m^2. Le débit d'alimentation de solution au réservoir $\dot{v}_a = 200$ m^3/h est égale en tout temps au débit de décharge $\dot{v}_d$ du tuyau. Le procédé est initialement en régime stationnaire. Les concentrations initiales de solution alimentée au réservoir et à la sortie du tuyau sont respectivement $u_0 = y_0 = 2$ kg/m^3.

a) Déterminez la fonction de transfert entre la concentration de la solution alimentée au réservoir $U(s)$ et celle à la sortie du tuyau $Y(s)$. [20 pts]

b) La concentration alimentée au réservoir passe soudainement de 2 à $2{,}5$ kg/m^3. Calculez la concentration à la sortie du tuyau après 198 s. [5 pts]

4- Analyse de la réponse d'un asservissement [25 points]

La figure 3, où $\varepsilon(s) = R(s) - Y(s)$, représente le diagramme fonctionnel d'un régulateur PI utilisé pour l'asservissement stable d'un procédé dont la fonction de transfert est $G_p(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{10}{s}\, e^{-2s}$

a) Le procédé est initialement au repos. Pour un changement de consigne r en échelon d'une amplitude de 3 appliqué à $t = 0$ s, déterminez $\varepsilon(0), \varepsilon(2), \varepsilon(\infty), u(0), u(2), u(\infty)$, $y(0)$, $y(2)$, $y(\infty)$. Il n'est pas nécessaire de remplacer K_c et T_I par des valeurs numériques. [18 pts]

b) Y aura-t-il un dépassement sur la sortie du procédé à la suite de ce changement de consigne? [3 pts]

c) Combien la fonction de transfert de la boucle fermée $\frac{Y(s)}{R(s)}$ possède-t-elle d'intégrateur(s) (facteur(s) $\frac{1}{s}$)? [4 pts]

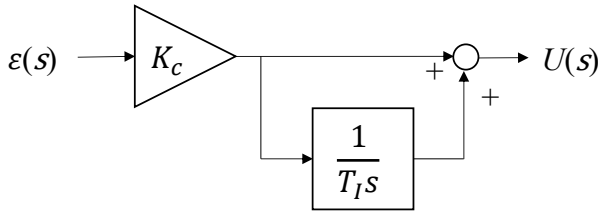

Figure 3. Diagramme fonctionne d'un régulateur PI.

Annexe A : Formules de réglage par la méthode IMC pour les régulateurs PI (forme parallèle)

Cas	Modèle	$K_c K$	T_I	T_D
A	$\frac{K}{Ts+1}$	$\frac{T}{T_c}$	T	-
B	$\frac{K}{(T_1 s+1)(T_2 s+1)}$	$\frac{T_1+T_2}{T_c}$	T_1+T_2	$\frac{T_1 T_2}{T_1+T_2}$
C	$\frac{K}{T^2 s^2+2\zeta T s+1}$	$\frac{2\zeta T}{T_c+\beta}$	$2\zeta T$	$\frac{T}{2\zeta}$
E	$\frac{K}{s}$	$\frac{2}{T_c}$	$2T_c$	-
F	$\frac{K}{s(Ts+1)}$	$\frac{2T_c+T}{T_c^2}$	$2T_c+T$	$\frac{2T_c T}{2T_c+T}$
G	$\frac{Ke^{-\theta s}}{Ts+1}$	$\frac{T}{T_c+\theta}$	T	-