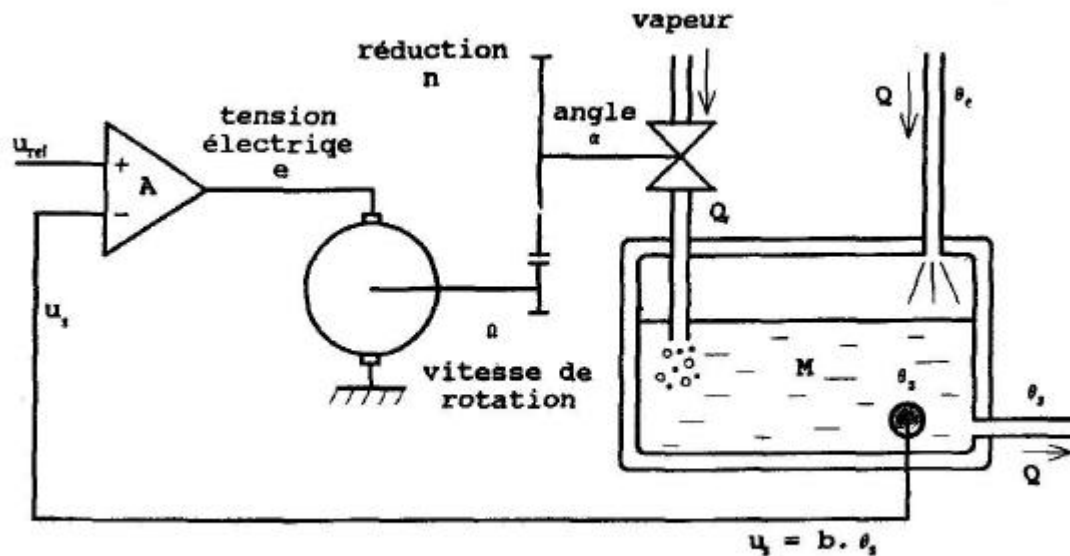


---

 TD 10  
 RÉGULATION DE TEMPÉRATURE
 

---

On s'intéresse dans ce problème à la régulation de température d'un flux liquide par convection. La régulation est réalisée par mélange du liquide avec un flux de vapeur dans un réservoir de retenue.



Le liquide à réchauffer entre dans le réservoir avec le débit  $Q$  et la température  $\theta_e$ . La vapeur entre dans le réservoir avec le débit  $Q_v$ . Le liquide sort du réservoir avec le débit  $Q$  (on néglige  $Q_v$  devant  $Q$ ) et la température  $\theta_s$ . Le mélange étant supposé parfait et instantané, la température du liquide à l'intérieur du réservoir est  $\theta_s$ .

Le rôle du régulateur consiste à maintenir constante la température de sortie  $\theta_s$  du liquide par l'intermédiaire de  $Q_v$ , malgré les variations de la température d'entrée  $\theta_e$ .

La température de sortie est mesurée par un capteur thermoélectrique qui donne une image de  $\theta_s$  sous forme de tension électrique:  $u_s = b \cdot \theta_s$ .

Le débit de vapeur est ajusté par la position angulaire  $\alpha$  d'une vanne de réglage,  $Q_v = K_1 \cdot \alpha$ , elle-même pilotée par un ensemble amplificateur-moteur-réducteur, fonction de l'écart entre une tension de consigne  $u_{ref}$  et  $u_s$ .

Les caractéristiques du système sont:

Débit de passage du liquide:  $Q = 10 \text{ kg/s}$ .

Chaleur spécifique du liquide:  $C = 2.10^3 \text{ Joules/kg.deg}$ .

Masse de retenue liquide:  $M = 40 \text{ kg}$ .

Vanne d'admission:  $Q_v = K_1 \cdot \alpha$

Flux énergétique dû à la vapeur:  $q_v = K_2 \cdot Q_v$

Moteur à commande par l'induit:

avec  $K_1 = 10 \text{ m}^3/\text{s/rad}$  et  $\alpha_{max} = 1 \text{ rad}$ .

avec  $K_2 = 10^5 \text{ Joules/m}^3$ .

constante de couple  $k = 0,4 \text{ N.m/A}$ ,

induit: inductance négligeable, résistance  $r = 160\Omega$ ,

inertie totale ramenée sur l'arbre moteur  $J = 10^{-3} \text{ kg.m}^2$

les frottements mécaniques sont négligeables.

Coefficient de réduction:  $n=250$ .

Coefficient thermoélectrique de mesure:  $b = 0,01 \text{ V/deg}$ .

## 1 Mise en équations

Expliquer brièvement le principe de la régulation.

### 3.4 Régime permanent

En régime permanent, quelle doit être la valeur de consigne  $u_{\text{ref}}$  pour obtenir une température de sortie de  $60^\circ$ ?

### 3.5 Conservation de l'énergie

Ecrire l'équation de bilan énergétique du réservoir (la variation d'énergie instantanée du réservoir est égale à la somme des flux d'énergie qui entrent moins la somme de ceux qui sortent).

Rappels:

- La variation instantanée d'énergie d'une masse  $M$  à la température  $\theta$ , dont la chaleur spécifique est  $C$  est égale à:  

$$M \cdot C \cdot \frac{d\theta}{dt}$$
- Le flux énergétique dû à un débit  $Q$  de liquide, dont la chaleur spécifique est  $C$  et dont la température est  $\theta$ , est:  

$$Q \cdot C \cdot \theta$$

### 3.6 Butée de la vanne

En écrivant l'équation précédente en régime permanent, montrer que le dispositif permet le maintien de  $\theta_s$  à  $60^\circ$  avec  $\alpha \leq 1$  radian (limite mécanique de la vanne), tant que  $\theta_e \geq 10^\circ$ .

### 3.7 Équations de la commande de vanne

Ecrire les équations mécanique et électrique de la commande de vanne. Pour cette question, on considère le sous-système dont l'entrée est  $e$  et la sortie est  $\alpha$ .

Donner la fonction de transfert du bloc  $\alpha(p)/e(p)$ .

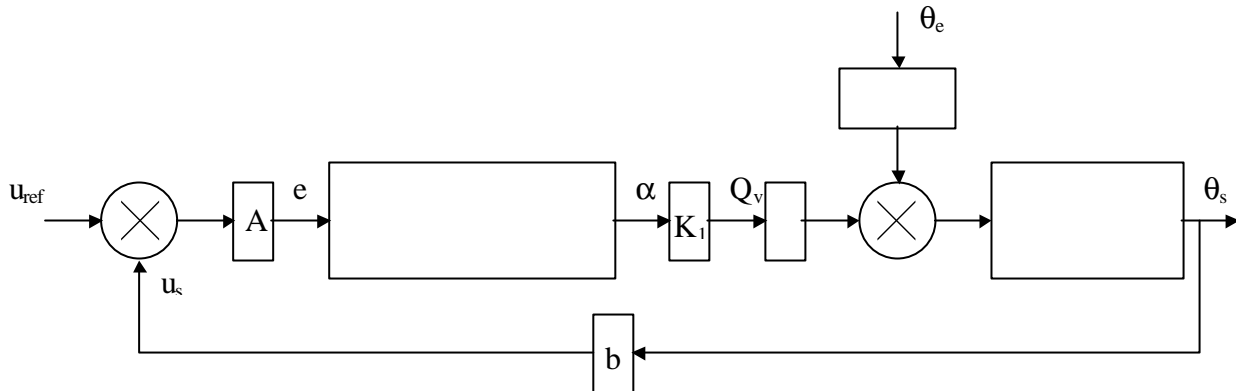
### 3.8 Équations complètes

Résumer l'ensemble des équations de Laplace du système. Distinguer celles du régime statique et celles du régime dynamique.

## 4 Fonction de transfert.

### 4.1 Diagramme fonctionnel

Compléter le diagramme fonctionnel du système:



### 4.2 Fonction de transfert

On considère uniquement l'entrée principale  $u_{ref}$ . Transformer le diagramme fonctionnel ci-dessus pour obtenir un retour unitaire.

Montrer que la fonction de transfert en boucle ouverte du système est du type:

$$T(p) = K_s \cdot G(p) = \frac{K_s}{p \cdot (1 + t_1 p) \cdot (1 + t_2 p)}$$

Donner les expressions littérales du gain statique et des constantes de temps en fonction de A,  $K_1$ ,  $K_2$ , k, b, n, r, J, M, C et Q.

Quelle est la dimension de  $t_1$  et  $t_2$  ?

Montrer que  $K_s$  a pour dimension  $[s^{-1}]$ . Expliquer qualitativement pourquoi il en est ainsi.

### 4.3 Application numérique

Donner les valeurs numériques, éventuellement fonctions de A, de  $K_s$ ,  $t_1$  et  $t_2$ .

## 5 Réglage du gain statique

Dans la suite on étudie:  $G(p) = \frac{1}{p \cdot (1 + p) \cdot (1 + 4p)}$  avec  $K_s = 5 \cdot 10^{-3} \cdot A$

### 5.1 Représentation dans le plan de Bode

Tracer l'allure de G(p) dans le plan de Bode.

### 5.2 Réglage du gain statique dans le plan de Black

Tracer précisément (calcul d'une dizaine de points) G(p) dans le plan de Black à l'échelle de l'abaque de Nichols (feuille jointe).

Régler le gain statique du système pour obtenir une surtension en boucle fermée de +3 dB. Quelle est la valeur du gain statique obtenue? Quelle est la valeur de A correspondante?