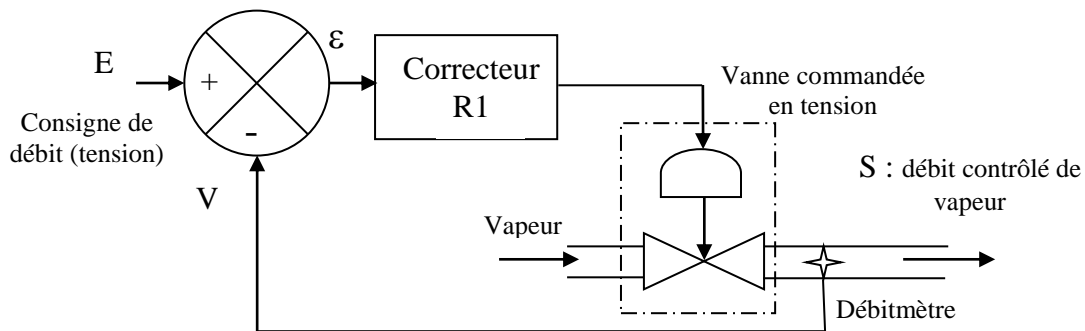


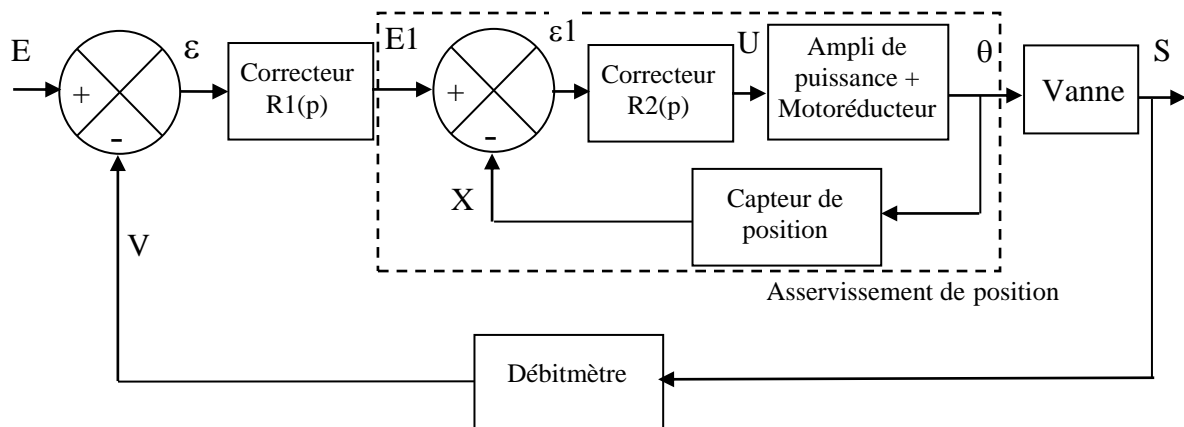
## Régulation débit échangeur

Dans un système échangeur de chaleur, le circuit primaire véhicule de la vapeur dont on va chercher à réguler le débit.

Le schéma de principe est le suivant :



Le schéma-bloc équivalent :



Les éléments de la boucle sont les suivants :

- Une vanne rotative dont la fonction de transfert :  $\frac{S}{\theta} = \frac{4}{1+0,4p}$

(S = débit de sortie, en l/s/rad et  $\theta$  = position angulaire de l'arbre d'entrée de la vanne, en rad)

- Un débitmètre qui délivre une tension V; sa fonction de transfert :  $\frac{V}{S} = 4$  (son temps de réponse est négligé)

- La vanne est entraînée en rotation par un motoréducteur (moteur à courant continu à aimants permanents + réducteur), asservi en position.

On va chercher à définir et à régler :

- le correcteur  $R_2(p)$  de la boucle secondaire d'asservissement de position.
- le correcteur  $R_1(p)$  de la boucle principale d'asservissement de débit.

## 1) Boucle secondaire d'asservissement de position

### 1.1) Etude de la boucle ouverte non corrigée : $R(p)=1$

Une identification expérimentale a permis de trouver :  $\frac{\theta}{U} = \frac{K_1}{p(1 + \tau_1 p)}$

avec :  $K_1 = 1 \text{ rad/V}$  et  $\tau_1 = 0,5\text{s}$

Le gain du capteur de position :  $G_c = 2 \text{ V/rad}$

a) Tracer l'allure asymptotique des lieux de Bode en boucle ouverte non corrigée (gain et

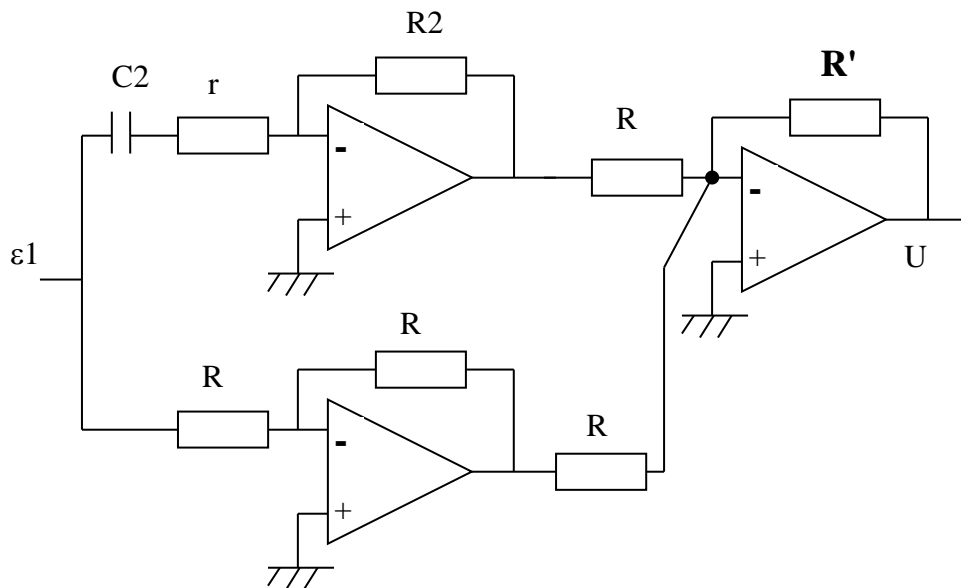
phase) :  $\frac{X}{E_1} = \frac{K_1 G_c}{p(1 + \tau_1 p)}$

b) Calculer en dB le gain en boucle ouverte à la pulsation :  $\omega_1 = \frac{1}{\tau_1}$

c) Quel est l'ordre de grandeur de la marge de phase  $M_{\phi 1}$  avant correction ? Vue cette valeur de marge de phase, que peut-on dire de l'allure de la réponse indicielle transitoire de la boucle fermée de position (sans calcul) ?

### 1.2) Correcteur proposé

On propose d'utiliser le correcteur analogique suivant :



a) Donner le schéma bloc équivalent de ce montage.

b) En déduire la fonction de transfert  $R_2(p) = \frac{U}{\varepsilon_1}$  du correcteur.

On notera :  $T_2 = (r + R_2) C_2$      $\theta = r C_2$     et     $G' = R'/R$

c) Tracer l'allure asymptotique des lieux de Bode de ce correcteur (gain et phase).

d) Quel est le type de ce correcteur? Quel est son rôle dans une boucle d'asservissement ?

### 1.3) Réglage du correcteur

a) On propose de choisir :  $T_2 = \tau_1$  et  $\theta = \tau_1/10$ . Dans ces conditions, et pour  $G' = 1$ , donner l'expression simplifiée de la fonction de transfert en boucle ouverte puis tracer les courbes asymptotiques de Bode en gain et en phase de la boucle ouverte corrigée.

b) Calculer (en dB) le gain de la boucle ouverte à la pulsation :  $\omega_1 = \frac{1}{\tau_1}$

c) Quel est l'ordre de grandeur de la marge de phase  $M_{\phi 2}$  avec cette correction ?  
(on garde ici  $G' = 1$ )

d) Calculer la fonction de transfert de la boucle fermée corrigée ( $\theta/E_1$ ) **en fonction de  $G'$**  (on conserve les réglages précédents de  $T_2$  et  $\theta$ ).

Calculer  $G'$  ( $= G'_1$ ) de façon à ce que l'amortissement en boucle fermée soit égal à "1".

Pour cette valeur de  $G' = G'_1$  indiquer (sans calcul) : l'allure de la réponse indicielle transitoire de la boucle fermée de position et la façon dont la marge de phase a évolué entre les réglages  $G' = 1$  puis  $G' = G'_1$

On rappelle la forme standard d'une fonction passe-bas d'ordre 2 : 
$$\frac{K}{\frac{p^2}{\omega_0^2} + \frac{2Z}{\omega_0} p + 1}$$

### 2) Boucle principale d'asservissement de débit

L'asservissement de position est réglé de façon à ce que la fonction de transfert en boucle

fermée :  $\frac{\theta}{E_1} = \frac{0,5}{(1 + 0,1p)^2}$ . On rappelle que les fonctions de transfert de la vanne et du

débitmètre ont été données en début de texte.

a) Tracer l'allure asymptotique des lieux de Bode en gain et en phase en boucle ouverte ( $V/E$ ) pour  $R_1(p) = 1$ . Sur la courbe de gain, donner les valeurs numériques : du gain statique et de la position de l'asymptote à  $\omega = 10$  rad/s. On précise qu'à ce point de cassure ( $\omega = 10$ ) la courbe est environ 6 dB en dessous de l'asymptote.

Quelle est la valeur numérique de  $\omega$  (notée  $\omega_0$ ) pour laquelle le gain en boucle ouverte est de 0 dB ? Calculer l'argument de la boucle ouverte à cette pulsation  $\omega_0$ . En déduire la valeur de la marge de phase. Conclusion sur la stabilité de la boucle fermée ?

b) On propose d'utiliser un correcteur de fonction de transfert approchée :

$R_1(p) = G \left( \frac{1 + T_1 p}{T_1 p} \right) (1 + T_2 p)$ . Quel est le type de ce correcteur ? Quel est son rôle ? Donner

l'allure asymptotique des lieux de Bode en gain et en phase de ce correcteur (**attention :  $T_1 > T_2$** ).

c) Proposer un choix (simple) des valeurs numériques de  $T_1$  et  $T_2$  puis déterminer la valeur de  $G$  permettant d'assurer une marge de phase pour la boucle principale de débit d'au moins  $45^\circ$ . Justifier ce choix.

**d)** Avec le réglage précédent, quelles sont les valeurs de l'erreur de position et de l'erreur de vitesse (pour une rampe unitaire) de la boucle principale de débit ?