

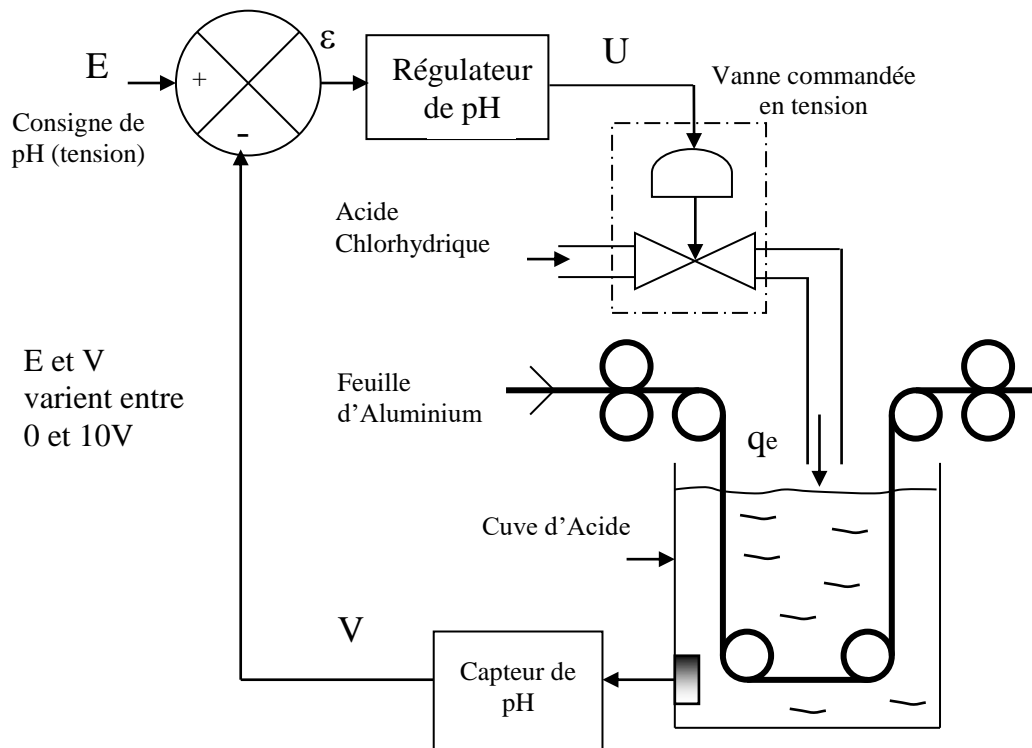
Régulation de pH

Lors de la fabrication de condensateurs, il est nécessaire de procéder à une attaque, par de l'acide chlorhydrique, de plaques d'aluminium qui les composent.

Les bobines d'aluminium se déroulent dans une cuve d'acide. Divers paramètres tels que vitesse de défilement de l'aluminium, variations de température,... peuvent modifier la consommation en acide de la machine ; cela a pour conséquence de faire varier le « pH » de la solution, et de modifier l'attaque de la plaque.

On rappelle que le pH indique l'état acide ou basique d'une solution. Un pH inférieur à 7 correspond à une solution acide.

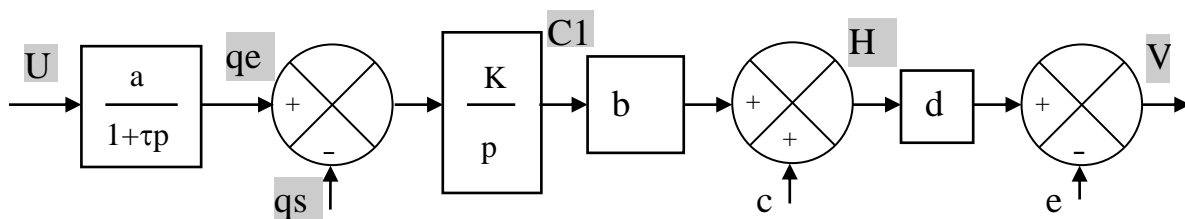
Le problème posé est donc de maintenir le pH constant. Ceci est réalisé par une boucle de régulation comportant une consigne en tension E constante, un capteur de pH délivrant une tension de sortie V , et un régulateur de pH agissant sur une vanne asservie en position. Cette vanne règle le débit d'entrée q_e de l'acide chlorhydrique.



La réaction chimique consomme en permanence de l'acide chlorhydrique ; cette consommation d'acide peut varier légèrement autour de la valeur moyenne : $q_s = 1 \text{ kg/heure}$

1) Analyse en boucle ouverte

Une identification en boucle ouverte a permis de déterminer le schéma-bloc suivant :



Les valeurs numériques :

a	τ	K	b	c	d	e
0,5	0,5s	$2 \cdot 10^{-4}$	$-7 \cdot 10^{-2}$	1,2	100	73

Les coefficients : a, τ , K, b, c, d, e sont des constantes.

Les variables sont :

U = tension de commande de la vanne asservie en position

q_e = débit d'entrée d'acide

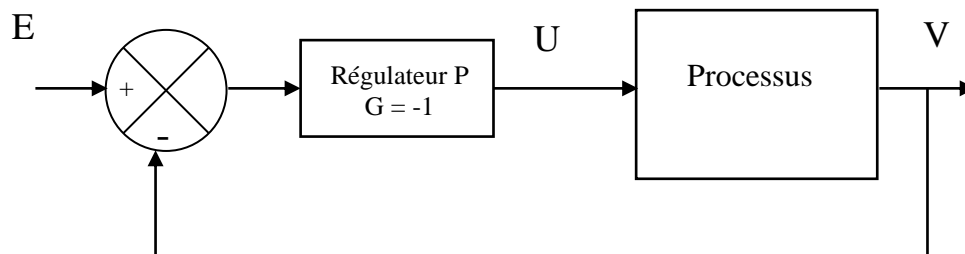
q_s = consommation d'acide (perturbation). Valeur moyenne : $q_s = 1 \text{ kg/h}$

C_1 = concentration d'acide par litre de solution (en g/l)

H = le pH de la solution qui doit rester constant si la consigne E est constante

V = la tension de sortie du capteur de pH

- 1.1) A partir de ce schéma-bloc donner l'expression en régime permanent de la tension V en fonction de la concentration C_1 et des constantes : b, c, d, e
- 1.2) Le point moyen de fonctionnement correspond à une concentration : $C_1 = 6 \text{ g/l}$. Pour cette concentration, quelles sont les valeurs de H (pH) et de la tension de sortie V ? Faire l'application numérique.
- 1.3) Si, en régime permanent : $q_e = 3 \text{ kg/h}$ et $q_s = \text{constante} = 1 \text{ kg/h}$, alors la concentration C_1 évolue suivant une rampe croissante. Quelle est la pente de cette rampe ? Quelle est la variation de C_1 pendant 600s ?
(on peut résoudre cette question en considérant un échelon de position $q_e - q_s$ à l'entrée du "bloc" intégrateur K/p).
- 1.4) Pour élaborer U, on utilise un régulateur proportionnel de gain (-1) pour éliminer l'inversion de phase provenant du coefficient b :



Ne sont pas représentés sur ce schéma :

- les décalages "c" et "e"
- la perturbation q_s

Tracer les lieux de Bode asymptotiques de la boucle ouverte : $\frac{\Delta V}{\Delta E} = \frac{-aKbd}{p(1+\tau p)}$

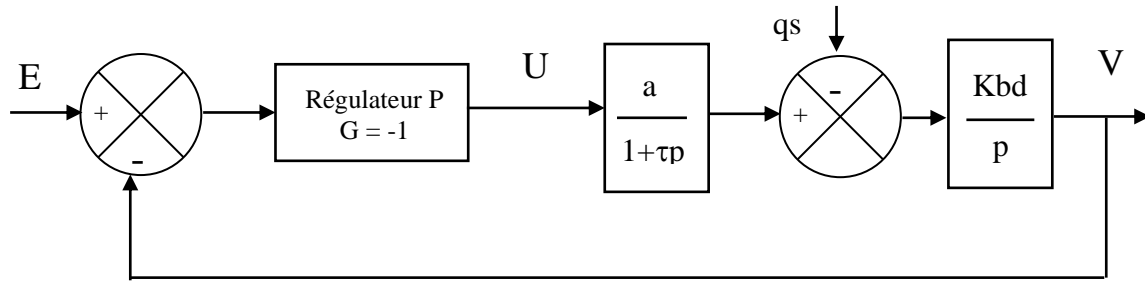
Calculer le gain en boucle ouverte à la pulsation : $\omega = 1/\tau$

En déduire (sans calcul) la valeur de la marge de phase M_ϕ

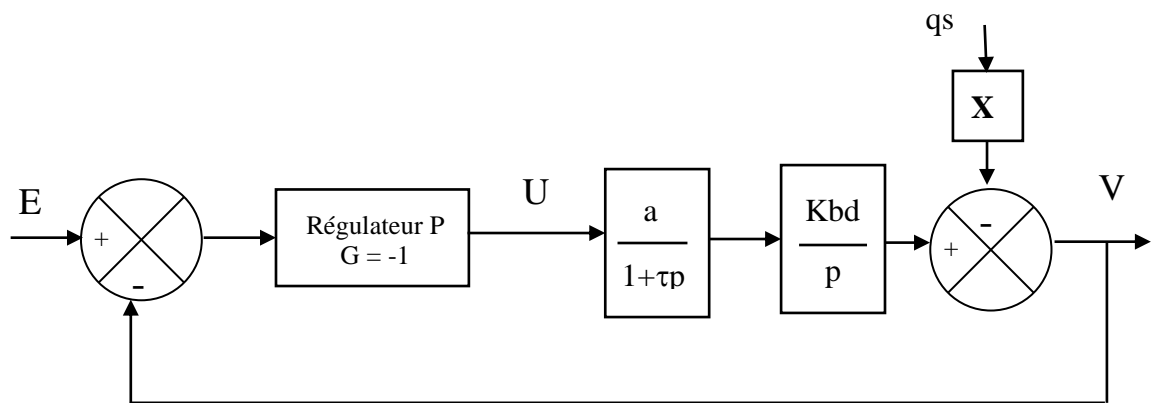
La boucle fermée est-elle stable ?

2) Effet de la perturbation en boucle fermée

La boucle fermée avec perturbation (q_s) peut être représentée ainsi :



2.1) Montrer que le schéma-bloc ci-dessus peut être mis sous la forme suivante :



Donner l'expression de la fonction de transfert $X(p)$.

2.2) En posant : $E = 0$, calculer littéralement la fonction de transfert en boucle fermée :

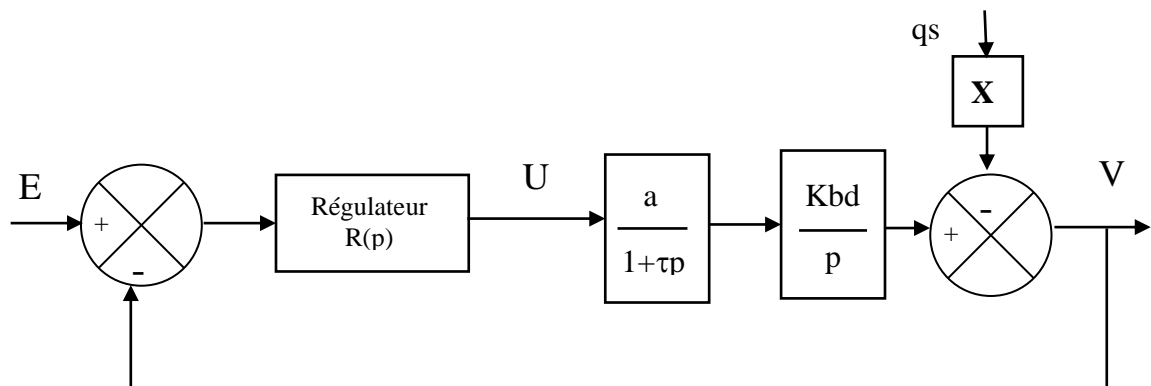
$$\frac{V}{q_s}(p)$$

Quel est son gain statique (calcul littéral, puis application numérique) ?

En déduire l'augmentation de V lorsque q_s augmente de 0,1kg/l

3) Etude de la boucle fermée corrigée

On va chercher à éliminer l'effet de la perturbation. Pour cela, on propose d'utiliser le régulateur $R(p)$ suivant :



avec :
$$R(p) = -G \frac{(1 + T_1 p)^2}{T_1' p (1 + \theta p)}$$

3.1) Quel est le type de ce régulateur ? Expliquez.

3.2) On propose de choisir : $T_1 = \tau$, $T_1' = 10^{-4} \text{s}$ et $\theta = \tau/100$

Dans ces conditions, donner la fonction de transfert en boucle **ouverte** corrigée ($\frac{V}{E}(p)$ pour : $q_s = 0$) et tracer les lieux de Bode correspondant.

Pour : $G = 1$, calculer le module de la fonction de transfert en boucle ouverte à la pulsation : $\omega = 2 \text{rad/s}$ (**on confondra courbe et asymptote**).

Calculer G de façon à assurer la marge de phase maximale. Quelle est sa valeur ?

3.3) Pour $E = 0$, calculer la fonction de transfert en boucle fermée : $\frac{V}{q_s}(p)$

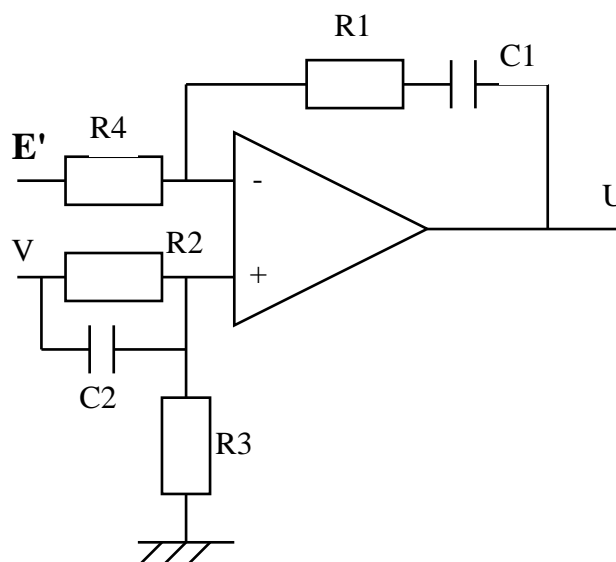
On suppose que :
$$X(p) = \frac{-14 \cdot 10^{-4}}{p}$$

Quel est son gain statique ?

En déduire la variation de V lorsque q_s varie.

4) Etude du régulateur

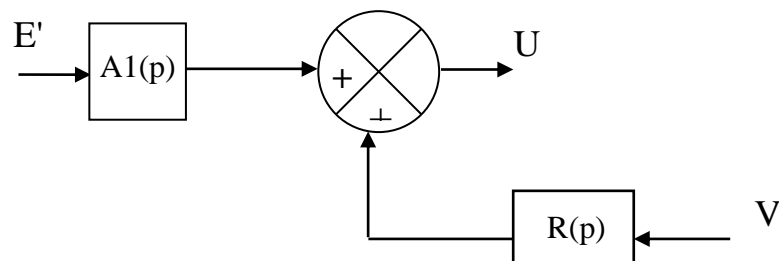
Pour réaliser les fonctions additionneur-soustracteur et régulateur, on propose le montage suivant :



4.1) Calculer les fonctions de transfert :

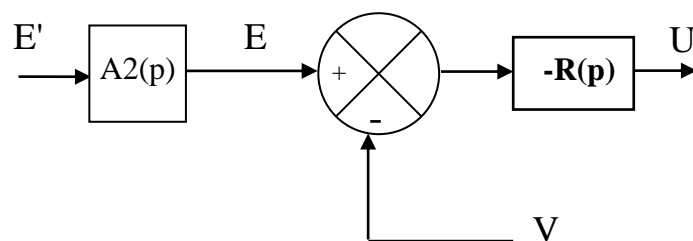
$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{U}{V}(p) \quad \text{pour : } E' = 0 \\ \frac{U}{E'}(p) \quad \text{pour : } V = 0 \end{array} \right. \quad \text{On notera : } \left\{ \begin{array}{l} T_1 = R2.C2 = (R1 + R4).C1 \\ T'_1 / 10 = R4.C1 \\ T = R1.C1 \\ \theta = \frac{R2.R3.C2}{R2 + R3} \\ G = \frac{10.R3}{R2 + R3} \end{array} \right.$$

4.2) En superposant l'effet des deux entrées E' et V, montrer que le schéma-bloc équivalent est le suivant :



Donner l'expression de A1(p).

4.3) Mettre le schéma-bloc précédent sous la forme :



Calculer la fonction de transfert A2(p). Quelle doit être la valeur de la variable E' pour que la consigne effective E de la boucle de régulation soit de 5 Volts, en supposant que G = 4 ?