Chapitre 4

Commande avec Modèle Interne (IMC)

1

I . Introduction

Cette technique de commande se distingue aussi bien par sa simplicité de mise en œuvre que par ses propriétés de robustesse. Ces avantages rendent cette technique très intéressante d'un point de vue pratique.

I I. Principe du régulateur IMC

2

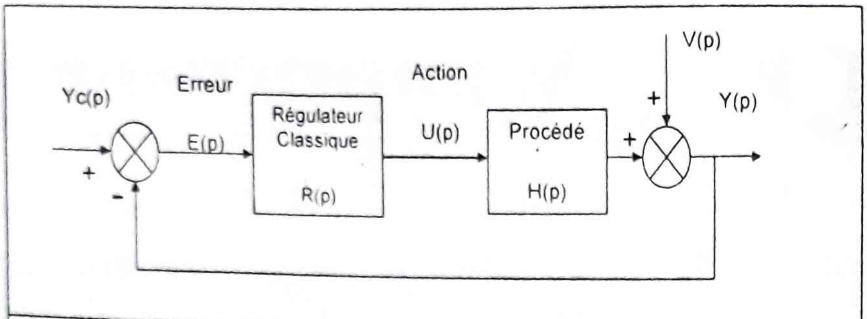


Figure 1. Principe de la régulation classique

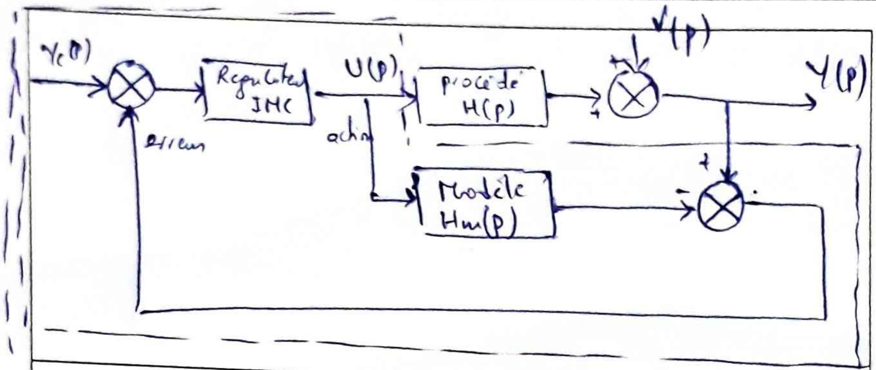


Figure 2. Principe de la régulation IMC

La partie hachurée de la figure 2 présente la structure du régulateur *IMC*. Elle comprend le **régulateur** *Q(p)* et le modèle du procédé $H_m(p)$. Il est facile de remarquer que si le modèle $H_m(p)$ **est parfait**, c'est-à-dire $H_m(p)=H(p)$, alors le régulateur $Q(p)$ est égal à l'inverse du modèle $H_m(p)$.

H(p) doit être stable.

Le transfert entre la sortie et la consigne (figure 2), est donné par :

$$Y(p)=\frac{Q(p).H(p)}{1+Q(p).(H(p)-H_m(p))}Y_c(p)+\frac{1-Q(p).H_m(p)}{1+Q(p).(H(p)-H_m(p))}V(p)$$

Dans le cas de régulation classique (figure 1), ce transfert est égal :

$$Y(p)=\frac{R(p).H(p)}{1+R(p).H(p)}Y_c(p)-\frac{1}{1+R(p).H(p)}V(p)$$

⚠ IMC seulement pour système stable.

Nous pouvons déduire la relation entre les régulateurs $R(p)$ et $Q(p)$:

$$R(p) = \frac{Q(p)}{1 - Q(p)H_m(p)}$$

$$Q(p) = \frac{R(p)}{1 + R(p)\,H_m(p)}$$

Dans le cas où le modèle $H_m(p)$ est parfait, c'est-à-dire $H_m(p)=H(p)$, on peut écrire :

$$F(p) = Q(p)H(p)\,[Y_c(p) + (1 - Q(p)H_m(p)Y(p)) .$$

Cette relation exprime un premier point fort de la structure IMC car elle montre que le système peut être vu en boucle ouverte. Par conséquent la stabilité de l'ensemble procédé et régulateur ~~petit~~ peut être formulée comme suit :

Si Le procédé $H(p)$ est stable et si le modèle $H_m(p)$ est parfait, alors le système contrôlé par la structure IMC est stable si et seulement si le régulateur $Q(p)$ est stable.

III. Méthodologie de réglage

La synthèse d'un régulateur IMC dans le cas continu comporte les étapes suivantes :

Etape 1: le modèle du procédé est factorisé en 2 parties.

$$H_m(p) = H_1(p) * H_{NI}(p).$$

où $H_1(p)$ est la partie inversible du modèle.
$H_{NI}(p)$ " " " non inversible contenant tous les zéros à parties réelles positive et les retards.
De plus, le gain de ce transfert est pris égal à 1.

Etape 2 : Calculer $Q_0(p) = \frac{1}{H_1(p)}$.

Etape 3 : ajouter le filtre $F_0(p)$.
où $F_0(p)$ est un filtre passe-bas à gain unitaire ayant la forme suivante :

$$F_0(p) = \frac{1}{(1+T_c\,p)^n}$$

n : entier positif qui est choisi de façon à ce que $Q(p)$ soit causale et T_c indique la cte de tps désirée en BF $Q(p) = Q_0(p)\,F_0(p)$

fin IMC

Etape 4 : Determiner le regulateur classique

$$C(p) = \frac{Q(p)}{1 - Q(p)H_m(p)}.$$

Etape 5 : Determiner les parametres des PID à savoir K_p, T_i et T_d.

7

Exercice

Déterminer le Régulateur IMC pour un système de premier ordre avec retard ainsi que son équivalent classique.

$$H_m(p) = \frac{Ke^{-\tau p}}{1+Tp}$$

Sachant qu'on peut approximer le retard par la formule de Padé:

$$e^{-\tau p} \approx \frac{1 - \frac{\tau}{2}p}{1 + \frac{\tau}{2}p}$$

Etape 1.

$$H_m(p) = \frac{k\left(1 - \frac{\tau}{2}p\right)}{(1+Tp)\left(1+\frac{\tau}{2}p\right)} \quad ; \quad H_m(p) = H_I(p) * H_{NI}(p).$$

$$H_I(p) = \frac{k}{(1+Tp)\left(1+\frac{\tau}{2}p\right)}$$

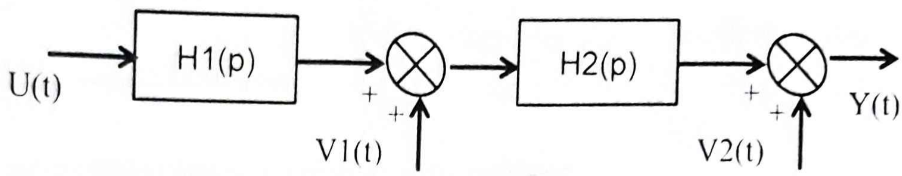
$$H_{NI}(p) = 1 - \frac{\tau}{2}p$$ (voir annexe).

Régulation cascade

2 en série, le 1er plus rapide que le 2ième

Domaine d'application

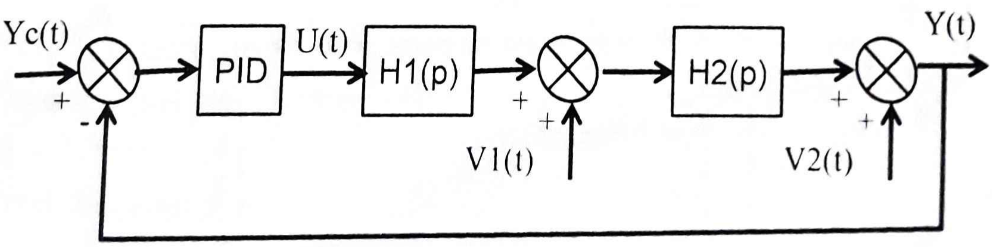
La régulation cascade est envisagée uniquement dans le cas d'un procédé constitué par deux systèmes en série, et dont le premier est plus rapide que le deuxième.



H1(p) est plus rapide que H2(p)

Limite de la régulation classique

la régulation classique consiste à boucler la sortie de ces deux systèmes sur la consigne.



si une perturbation V1(t) affecte la première boucle dite **boucle interne**, il faut attendre que l'effet de cette perturbation affecte la sortie du deuxième système avant que le régulateur annule son effet.

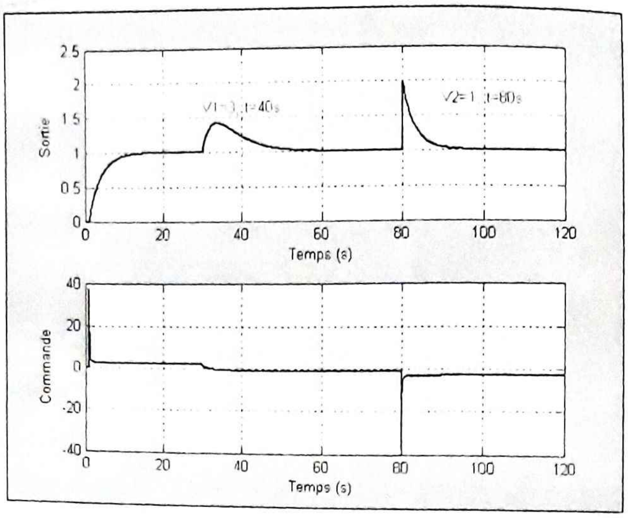
Limite de la régulation classique: Exemple

$$H_1(p) = \frac{1}{1+p} \qquad H_2(p) = \frac{1}{1+5p}$$

PID : Compensation de pôles

$$K_p = 2.4 \quad T_i = 6 \quad T_d = 0.8333$$

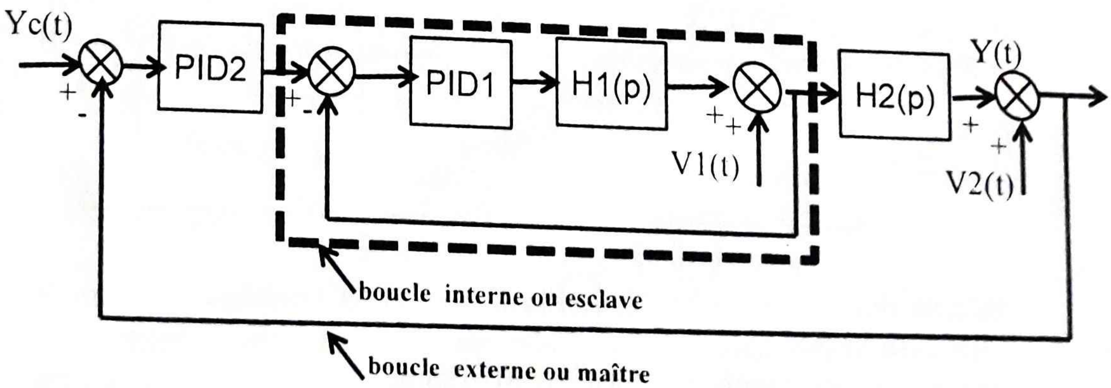
$$T_c = 5$$



Si une perturbation V1(t) affecte la première boucle dite **boucle interne**, il faut attendre que l'effet de cette perturbation affecte la sortie du deuxième système avant que le régulateur annule son effet.

Solution : Régulation cascade

- Pour surmonter ce problème, l'idée est donc de compenser plus rapidement cette perturbation V1 en construisant une deuxième boucle interne.
- Ceci est réalisé au prix d'une mesure (soit un capteur) et d'un régulateur supplémentaire.



Il existe des régulateurs dits **double boucle** ou bien encore **maître esclave** pour réaliser les boucles cascades.

Synthèse de régulateur cascade

La synthèse de régulateur doit respecter la démarche suivante:

Etape 1: Régulateur interne ou esclave

- ouvrir la boucle externe ou maître

-. Utiliser une methode classique pour la synthèse du régulateur (modèle approximatif, en ligne, direct). On peut se limiter à un régulateur P.

Etape 2: Régulateur externe ou maître

- Supposer que le transfert de la boucle interne est égale à 1.

-. Utiliser une methode classique pour la synthese du régulateur (modèle approximatif, en ligne, direct).

Régulation cascade

$$H_1(p) = \frac{1}{1+p}$$

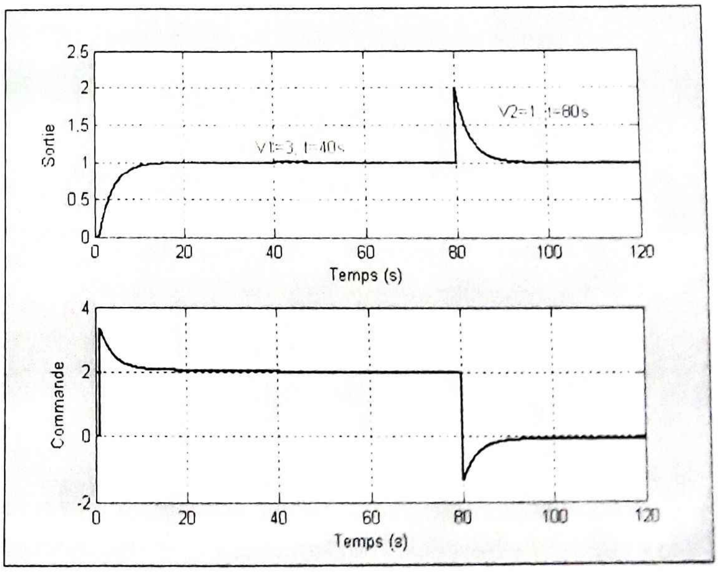
$$H_2(p) = \frac{1}{1+5p}$$

PID 1:

$$K_p = 20$$

PID 2: Compensation de pôles

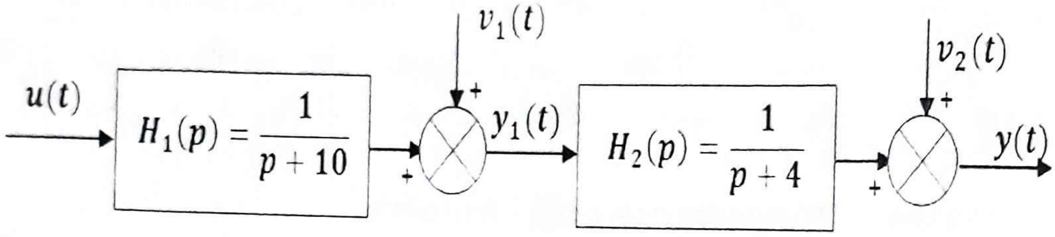
$$K_p = 3.3333 \qquad T_i = 5$$



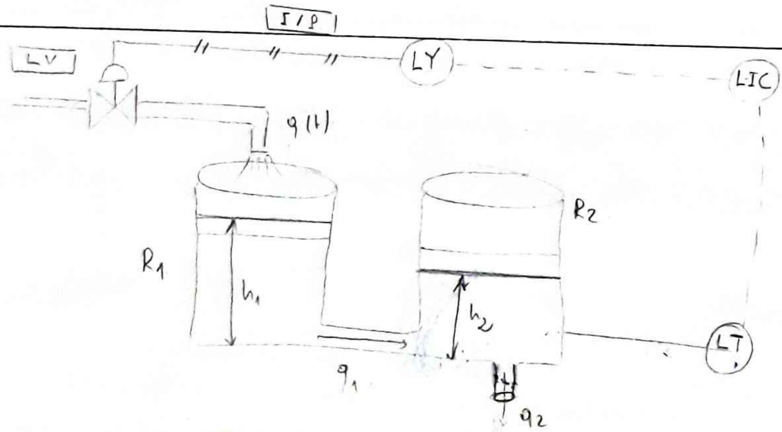
Si une perturbation V1(t) affecte la première boucle dite **boucle interne**, le régulateur P à annuler l'effet de cette perturbation

Exercice

·Etudier, en justifiant la réponse, la possibilité d'appliquer une régulation cascade pour les procédés en supposant que la sortie y_1 est accessible dans les deux cas.



On peut appliquer la régulation cascade car $\tau_1 = \frac{1}{10} < \tau_2 = \frac{1}{4}$ (le procédé 1 est plus rapide que 2).



q : débit d'alimentation
q_1 : débit de sortie de R_1 et d'alimentation de R_2
q_2 : débit de sortie de R_2
h_1 hauteur de liquide ds R_1
h_2 " " ds R_2
S_1 : section de R_1
S_2 : " " R_2

Procédé de régulation de niveau.

Les volumes V_1 et V_2 sont régis par les équations suivantes

$$\frac{dV_1}{dt} = q - q_1 \qquad \text{où} \quad V_2 = S_2 h_2$$
$$\frac{dV_2}{dt} = q_1 - q_2 \qquad V_1 = S_1 h_1.$$

On suppose que les 2 débits q_1 et q_2 sont définis comme suit :

$$q_1 = \frac{h_1 - h_2}{A_1}.$$
$$q_2 = \frac{h_2}{A_2} \quad \text{où } A_1, A_2 \text{ sont 2 ctes connues.}$$

avec $A_1 = \frac{5}{3}$ $A_2 = 1$ $S_1 = 0{,}3$ et $S_2 = 0{,}4$.