■ La fréquence d'échantillonnage est choisie en fonction de la bande passante du procédé continu. Ceci conduit à des fréquences d'échantillonnage beaucoup plus basses que l'approche numérique/analogique.

■ Possibilité d'une synthèse directe des algorithmes de commande adaptés aux modèles discrets.

■ Utilisation intelligente du calculateur car l'augmentation de la période d'échantillonnage permet d'utiliser la capacité de calcul pour la mise en œuvre d'algorithmes intelligents mais plus complexe qu'un PID.

IV . Critères de bonne régulation

♠ L'objectif d'un régulateur est de minimiser l'écart entre la sortie d'un procédé et une valeur de consigne désirée.

♠ Cet écart peut être dû, soit à un changement de consigne, soit à des perturbations agissant sur le procédé.

♠ Pour choisir un bon réglage, il faut utiliser un **critère** qui prend en compte à la fois l'amplitude maximale de l'écart, et la durée nécessaire pour qu'il s'annule après une perturbation ou un changement de consigne.

♠ **Cette bonne régulation peut être assurée par l'un des critères suivants :**

- **Critère 1.** Réponse apériodique : Dépassement = 0%.
- **Critère 2.** Réponse oscillante : Dépassement = 20%.

- **Optimisation:** Ces critères sont basés sur la minimisation de l'erreur $\varepsilon(t)$ c'est-à-dire minimisation de l'aire hachurée de la figure 6

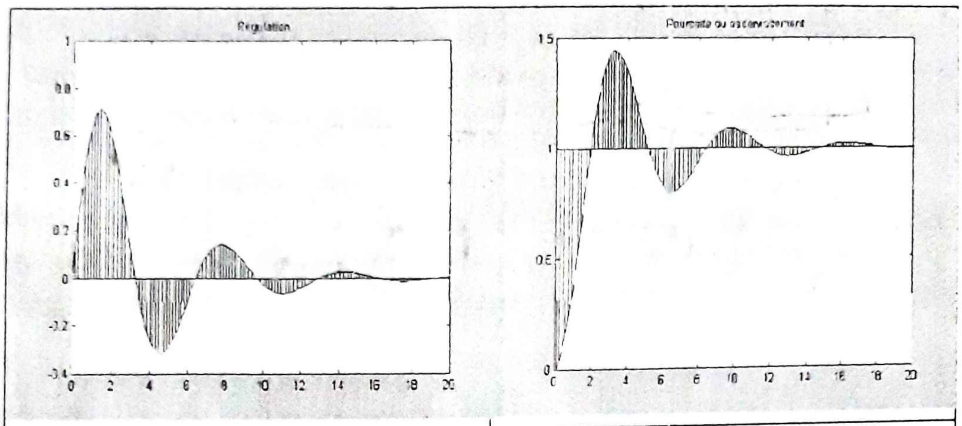


Figure 6. *Optimisation de l'erreur*

- **Critère 3.** ISE : Integral of the Squared Error

$$J = \int_0^{+\infty} \varepsilon^2(t).dt$$

- **Critère 4.** IAE : Integral of the Absolute value Error

$$J = \int_0^{+\infty} |\varepsilon(t)|.dt$$

- **Critère 5.** ITSE : Integral of Time multiplied of the Squared Error

$$J = \int_0^{+\infty} t.\varepsilon^2(t).dt$$

- **Critère 6.** ITAE : Integral of Time multiplied of the Absolute value Error

$$J = \int_0^{+\infty} t.|\varepsilon(t)|.dt$$

Chapitre 2

Le Régulateur PID

rapidité précision.

I . Introduction

Le régulateur à trois actions: Proportionnelle, Intégrale et dérivée, ou brièvement **PID** occupe une position dominante à l'échelle industrielle. Ce succès peut être justifié par les raisons suivantes :

- Leur efficacité est confirmée aussi bien par la théorie de commande pour plusieurs classes de procédés que par un grand nombre d'applications.
- Leur simplicité d'utilisation par des théoriciens que par des praticiens.
- Leur facilité de mise en œuvre aussi bien par des constituants analogiques que par des constituants numériques.

II . Rôles de différentes actions

On considère la structure de commande de la figure 1.

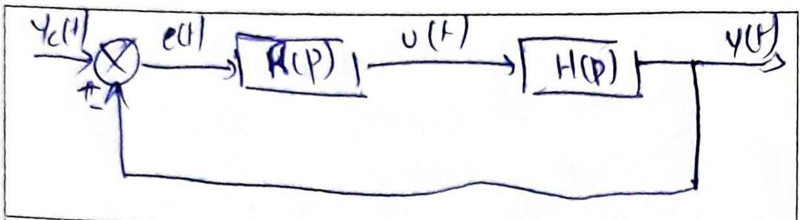


Figure 1. Schéma fonctionnel d'une boucle de régulation

où

- *$yc(t)$: la consigne*
- *$e(t)$: l'erreur entre la consigne et la sortie*
- *$u(t)$: la commande*
- *$y(t)$: la sortie*
- *$H(p)$: la fonction de transfert du procédé*
- *$R(p)$: la fonction de transfert du régulateur*

La fonction de transfert de régulateur **PID** est donnée par :

$$\boxed{R(p) = K_p\left(1 + \frac{1}{T_i p} + T_d p\right)}$$

K_p : Gain proportionnel

T_i : Constante du temps d'intégration

T_d : Constante du Temps de la dérivée

La loi de commande u(t) est donnée par:

$$u(t) = K_p\left(e(t) + \frac{1}{T_i}\int e(t)dt + T_d\frac{de(t)}{dt}\right)$$

Exercice 2

Ku

II .1. Action Proportionnelle : P → rapidité.

L'action proportionnelle corrige de manière instantanée, donc rapide tout écart de la grandeur à régler. De plus, elle permet de vaincre l'inertie du système

Afin de diminuer l'erreur statique et rendre le système plus rapide, on augmente le gain proportionnel. Mais, on est limité par la stabilité du système

Le régulateur P est utilisé lorsqu'on désire régler un paramètre dont la précision n'est pas importante : régler le niveau d'eau dans un bac de stockage

II .2. Action Intégrale : I → précision.

L'action intégrale complète l'action proportionnelle. Elle permet d'annuler l'erreur statique (régime permanent)

Afin de rendre le système plus dynamique, on diminue la constante intégrale. Mais, ceci provoque l'augmentation de déphasage ce qui provoque l'instabilité en boucle fermée.

L'action intégrale est utilisée lorsqu'on désire avoir une erreur statique nulle en régime permanent.

II .2. Action Dérivée : D → stabilité

L'action dérivée compense les inerties, accélère la réponse du système et améliore la stabilité de la boucle.
Mais elle augmente l'amortissement qui conduit à des oscillations lors d'une perturbation ou d'un changement de consigne.

L'action D est utilisée dans l'industrie pour le réglage des variables lentes (réglage de température par exemple).
Elle n'est pas recommandée pour le réglage d'une variable bruitée ou trop dynamique (pression).

Remarque

La réalisation de l'action dérivée n'est pas possible dans la pratique.

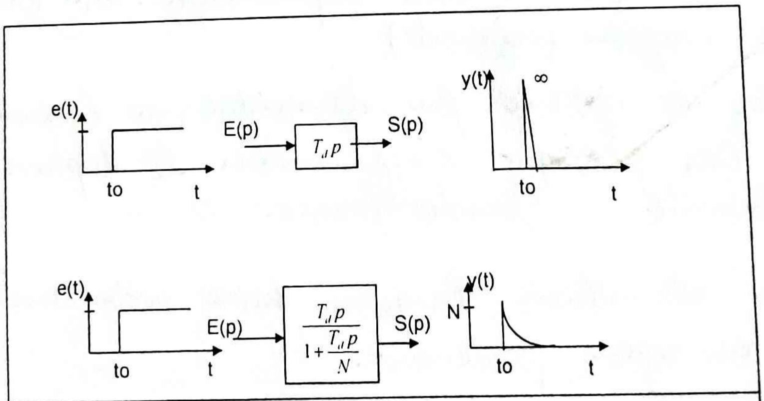


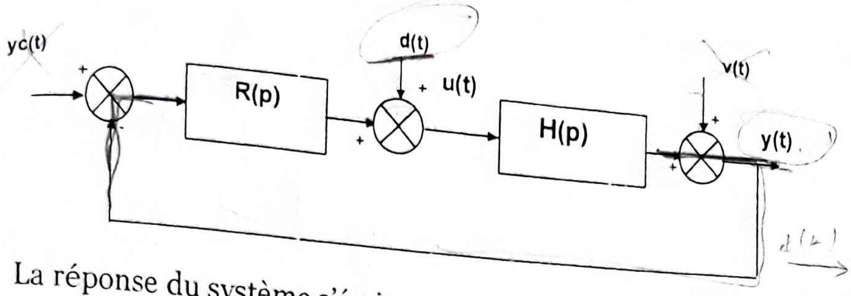
Figure 2. Action dérivée

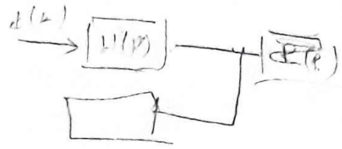
Pour résoudre ce problème, on utilise un module de dérivée filtrée : $R(p)=\frac{T_d p}{1+\frac{T_d p}{N}}$

Le réglage de la constante de filtrage permet d'amortir et de limiter la sortie du régulateur.

III . Fonction de transfert du système

On considère le schéma blocs de la figure suivante :





La réponse du système s'écrit :

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

Cette relation fait apparaître les fonctions de transfert suivantes :

- Consigne/Sortie $\quad G(p) = \frac{Y(p)}{Y_c(p)} = \frac{R(p)\,H(p)}{1+R(p)H(p)}$

- Perturbation D/Sortie $\quad \frac{Y(p)}{D(p)} = \frac{H(p)}{1+R(p)H(p)} = \frac{H(p)}{1+R(p)H(p)}$

- Perturbation V/Sortie $\quad S(p) = \frac{Y(p)}{V(p)} = \frac{1}{1+R(p)H(p)}$

S est appelée fonction de sensibilité perturbation /sortie

III .1. Fonction de transfert de régulateur PID

La fonction de transfert de base de régulateur **PID** est donnée soit par :

$$R(p) = K_p\left(1+\frac{1}{T_i p}+T_d p\right) \quad \text{ou} \quad R(p) = \frac{U(p)}{E(p)} = K_p\left(1+\frac{1}{T_i p}+\frac{T_d\,p}{1+\frac{T_d}{N}p}\right)$$

en remplaçant l'expression de *R(p)* dans les fonctions de transfert en boucle fermée et perturbation /sortie, nous obtenons ;

$$G(p)=\frac{K_p\left(1+T_i p+T_i T_d p^2\right)H(p)}{H(p)K_p\left(1+T_i p+T_i T_d p^2\right)+T_i p}$$

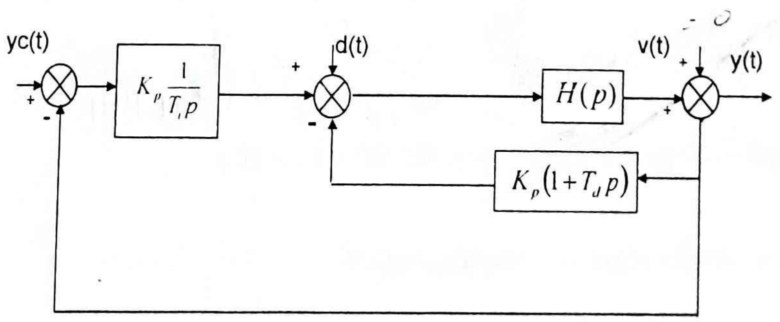
poursuite

$$S(p)=\frac{T_i p}{H(p)K_p\left(1+T_i p+T_i T_d p^2\right)+T_i p}$$

régulation

Il est facile de remarquer que ce régulateur introduit deux zéros dans la fonction de transfert *G(p)* et par conséquent ces zéros affectent le comportement en asservissement de la boucle (réponses aux changements de consigne), ils peuvent en particulier introduire des dépassements importants et non souhaités lors des ces changements. Cependant, ces zéros n'apparaissent pas dans *S(p)* et par conséquent ils n'affectent pas le comportement en régulation.

Pour surmonter ce problème dans le cas de poursuite, il faut modifier la structure de régulateur **PID**. Cette modification consiste à prendre les actions proportionnelle et dérivée sur la mesure seule.



La fonction de transfert est donnée par :

$$G(p)=\frac{K_p\ H(p)}{H(p)\,k_p\left(1+T_i p+T_i T_d p^2\right)+T_i p}$$

On remarque qu'il n'y a pas d'introduction des zéros dans la fonction de transfert. Cette solution supprime les pics de commande lors de changements de consigne, mais la réponse devient plus lente.