

Régulation PID par les méthodes empiriques

1. Introduction à la synthèse des régulateurs PID et objectif du TP

Les systèmes asservis peuvent présenter quelques contre performances : une précision permanente insuffisante, une marge de stabilité trop faible (voire une instabilité), un temps de réponse trop élevé, un dépassement trop important, au regard des spécifications d'un cahier des charges. Il est donc souvent nécessaire d'intégrer dans la boucle un organe appelé correcteur (Régulateur) dont l'objectif est d'améliorer les performances de la boucle fermée.

Le régulateur le plus répandu est le régulateur 'Proportionnel, Intégral, Dérivateur' ou **PID**. Compte tenu de sa simplicité et de sa performance, Il est de ce fait utilisé sur la grande majorité des installations industrielles.

L'emplacement usuel du régulateur dans une boucle est situé dans la chaîne d'action, juste après le comparateur comme le montre la figure suivante :

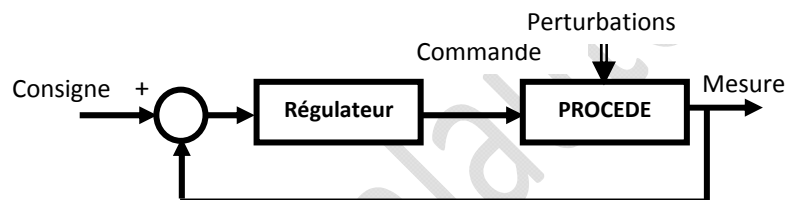


Figure 1

Son principal rôle est de satisfaire les spécifications de performances qui dans tous les cas, elles traduisent les performances relatives à la **stabilité**, à la **précision** et à la **rapidité** : Temps de réponse, dépassement transitoire, marges de stabilité (marge de gain ou marge de phase), précision permanente,... etc.

L'objectif du TP est de s'initier au dimensionnement des paramètres du régulateur par quelques méthodes dites empiriques, c'est-à-dire par des méthodes basées sur des essais expérimentaux dont nous donnerons un aperçu sur la démarche à suivre pour la mise en œuvre (voir annexe). On rappelle que ces méthodes ne nécessitent pas la connaissance de la fonction de transfert du procédé, ce qui constitue l'un des points forts de ces méthodes.

2. Présentation de la maquette d'expérimentation

On dispose d'une part d'une maquette permettant de simuler des systèmes dynamiques d'ordre 1,2 et 3 représentant le procédé et d'autre part d'un régulateur PID de structure dite mixte :

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

Les paramètres K_p , T_i et T_d sont ajustables manuellement. L'action intégrale $\frac{1}{T_i p}$ et l'action dérivée $T_d p$ peuvent être annulées par deux boutons de type On/Off.

On dispose également d'un ensemble d'instruments d'expérimentation : GBF, Oscilloscope,...

Remarque : L'étage réalisant la fonction de comparaison est incorporé dans le boîtier du régulateur.

3. Manipulations

On propose de déterminer les paramètres du régulateur PID en appliquant les méthodes exposées en annexe.

3.1 Méthode de Ziegler&Nichols (Méthode du pompage)

- Réaliser le montage conformément à la figure 1
- Annuler les actions intégrale (I) et Dérivée (D) et faire varier l'action proportionnelle (P) par l'intermédiaire de K_p jusqu'à l'obtention de la limite de stabilité de la boucle (oscillations entretenues).
- Relever le gain K_p et la période d'oscillation T_c .
- Compléter le tableau suivant :

Réglage des paramètres			
Régulateur	K_p	T_i	T_d
P : $R(p) = K_p$		*	*
PI : $R(p) = K_p(1 + \frac{1}{T_i p})$			*
PID : $R(p) = K_p(1 + T_d p + \frac{1}{T_i p})$			

- Afficher ces valeurs sur la maquette et évaluer les performances transitoires (temps de montée et dépassement indiciel), ainsi que l'erreur statique, à partir de la réponse indicielle. Compléter le tableau suivant :

Régulateur	Dépassement indiciel	Temps de montée	Erreur statique
P			
PI			
PID			

3.2 Méthode de Ziegler&Nichols (Méthode basée sur la réponse indicielle du procédé)

La réponse indicielle du procédé est donnée en annexe, obtenue expérimentalement en appliquant une commande de 1 volt à l'entrée. Sur cette courbe, on trace la tangente au "point d'inflexion".

- Compléter le tableau suivant :

T_u	T_a	$r = T_u/T_a$

- Compléter le tableau suivant en utilisant le tableau de recommandation de Ziegler&Nichols:

Réglage des paramètres			
Régulateur	K_p	T_i	T_d
P : $R(p) = K_p$		*	*
PI : $R(p) = K_p(1 + \frac{1}{T_i p})$			*
PID : $R(p) = K_p(1 + T_d p + \frac{1}{T_i p})$			

- Réaliser le montage conformément à la figure 1
- Afficher ces valeurs sur la maquette et évaluer les performances transitoires (temps de montée et dépassement indiciel), ainsi que l'erreur statique, à partir de la réponse indicielle. Compléter le tableau suivant :

Régulateur	Dépassement indiciel	Temps de montée	Erreur statique
P			
PI			
PID			

- Conclure sur les performances obtenues par les deux méthodes de **Ziegler&Nichols**.

3.3 Méthode de réglabilité (Méthode basée sur la réponse indicielle du procédé)

- A partir de la connaissance du rapport de réglabilité r , déterminer le régulateur qui convient et compléter le tableau suivant en utilisant le tableau de recommandation relative à cette méthode:

Réglage des paramètres			
Régulateur	K_p	T_i	T_d
PID : $R(p) = K_p(1 + T_d p + \frac{1}{T_i p})$			

- Réaliser le montage conformément à la figure 1
- Afficher ces valeurs sur la maquette et évaluer les performances transitoires (temps de montée et dépassement indiciel), ainsi que l'erreur statique, à partir de la réponse indicielle. Compléter le tableau suivant :

Régulateur	Dépassement indiciel	Temps de montée	Erreur statique

3.4 Méthode de réglage en ligne

- Réaliser le montage conformément à la figure 1
- Suivre la procédure d'expérimentation comme il est expliqué en annexe.
- Avec les valeurs retenues définitivement pour le régulateur PID, évaluer les performances transitoires (temps de montée et dépassement indiciel), ainsi que l'erreur statique, à partir de la réponse indicelle. Compléter le tableau suivant :

Régulateur	Dépassement indiciel	Temps de montée	Erreur statique

3.5 Conclusion générale

- Compléter le tableau suivant :

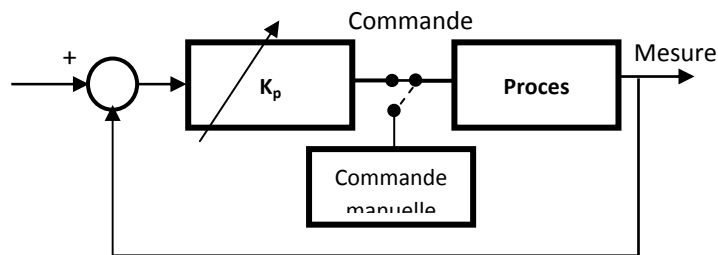
Méthode de réglage	Dépassement indiciel	Temps de montée	Erreur statique
Ziegler&Nichols (1)			
Ziegler&Nichols (2)			
Méthode de réglabilité			
Méthode de réglage en ligne			

- Formuler une conclusion générale sur les performances obtenues par ces différentes méthodes.

ANNEXE

1) Méthode de Ziegler&Nichols en boucle fermée (Méthode de pompage).

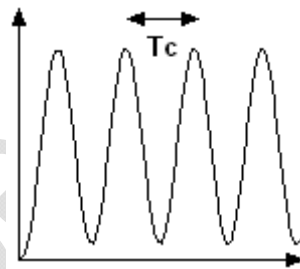
a- Mode opératoire



- Le régulateur est en mode automatique avec une faible valeur de K_p . Les actions I et D sont inhibées en mettant sur la position off.
- On augmente progressivement le gain K_p du correcteur proportionnel agissant seul jusqu'à l'obtention de la juste oscillation de la boucle (pompage).

b- Exploitation du résultat de pompage de la boucle

On relève le gain limite (K_{pc}) conduisant au pompage de la boucle et la période des oscillations T_c correspondant à ce fonctionnement à partir de n'importe quel point d'observation (sortie du régulateur, sortie du procédé..).



c- Réglage du régulateur PID

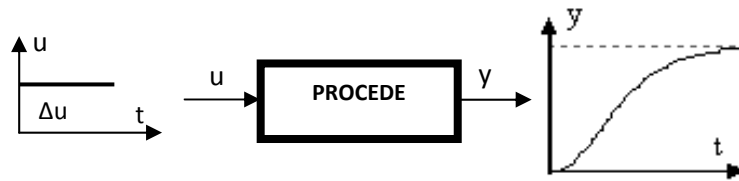
Ziegler & Nichols proposent de calculer les paramètres du régulateur choisi à l'aide des recommandations suivantes :

Réglage des paramètres			
Régulateur	K_p	T_i	T_d
P : $R(p) = K_p$	$0.5 K_{pc}$	*	*
PI : $R(p) = K_p(1 + \frac{1}{T_i p})$	$0.45 K_{pc}$	$0.83 T_c$	*
PID : $R(p) = K_p(1 + T_d p + \frac{1}{T_i p})$	$0.6 K_{pc}$	$0.5 T_c$	$0.125 T_c$

2) Méthode de Ziegler&Nichols en boucle ouverte.

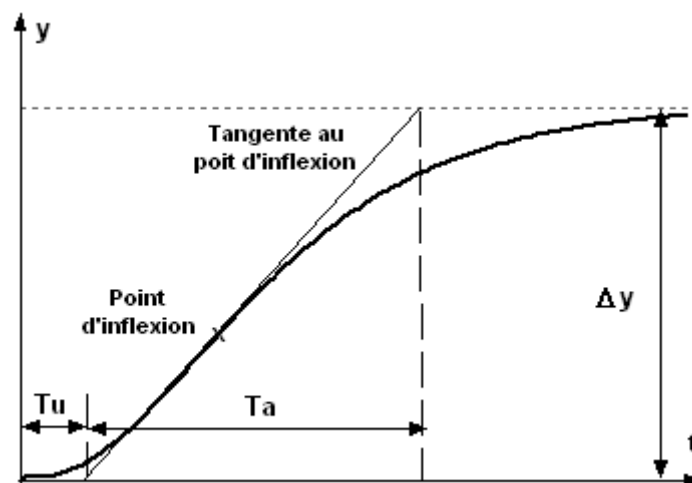
a- Mode opératoire

On enregistre la réponse indicielle du procédé seul.



b- Exploitation de la réponse indicielle

Sur l'enregistrement de la réponse indicielle, on trace le mieux possible la tangente au point d'inflexion Q de la courbe. On mesure ensuite le temps T_u correspondant au point d'intersection entre l'axe des abscisses et la tangente ainsi que le temps T_a « temps de montée de la tangente ».



K étant le gain statique du système : $\frac{\Delta y}{\Delta u}$ en régime statique

c- Réglage du régulateur PID

Ziegler&Nichols proposent de calculer les paramètres du régulateur P, PI ou PID à l'aide des recommandations suivantes:

Réglage des paramètres			
Régulateur	K_p	T_i	T_d
P : $R(p) = K_p$	$\frac{T_a}{T_u} \frac{1}{K}$	*	*
PI : $R(p) = K_p(1 + \frac{1}{T_i p})$	$\frac{T_a}{T_u} \frac{0.9}{K}$	$\frac{3.33}{T_u}$	*
PID : $R(p) = K_p(1 + T_d p + \frac{1}{T_i p})$	$\frac{T_a}{T_u} \frac{1.2}{K}$	$\frac{2.0}{T_u}$	$\frac{0.5}{T_u}$

3) Méthode empirique : Méthode de la réglabilité.

Les méthodes précédentes peuvent conduire à des réponses en boucle fermée très oscillante, ce qui est particulièrement gênant lors des changements de consigne.

La présente méthode dite de réglabilité constitue une version adoucie des réglages précédents. Elle est basée sur la réponse indicielle du système (en boucle ouverte : pas de régulateur).

Le mode opératoire et l'exploitation de la réponse indicielle sont ceux de la deuxième méthode de Ziegler & Nichols.

Les paramètres du régulateur sont déterminés en fonction du « coefficient de réglabilité » défini par le rapport :

$$r = \frac{T_u}{T_a}$$

Il s'agit du même rapport qui intervient dans la deuxième méthode de Ziegler & Nichols basée sur la réponse indicielle. Il traduit l'importance du retard T_u par rapport à la constante de temps T_a .

Le tableau suivant fournit des relations empiriques pour calculer les coefficients du régulateur et déterminer son type selon le rapport r :

r	K_p	T_i	T_d
0.05 à 0.1	$\frac{5}{K}$	T_a	0
0.1 à 0.2	$\frac{0.5}{K r}$	T_a	0
0.2 à 0.5	$\frac{0.5 (1+0.5r)}{K r}$	$T_a (1 + 0.5 r)$	$T_a \frac{0.5r}{0.5r + 1}$
Au delà	PID non recommandé		

Remarque : dans les propositions ci-dessus K représente le gain statique du procédé.

4) Méthode de réglage en ligne.

La présente méthode permet de régler les paramètres du régulateur PID un à un en plusieurs étapes. Elle suppose sous entendu la disponibilité du système et la possibilité de le soumettre à plusieurs tests. Dans cette démarche, la connaissance de la structure du régulateur n'est pas indispensable.

a- Mode opératoire :

Le mode opératoire est décrit par les étapes suivantes :

- Réaliser la boucle fermée.
- Inhiber l'action intégrale et dérivée (Position Off)
- Mettre le gain K_p au minimum
- Appliquer une consigne et observer la réponse indicielle. Comme le gain K_p est au minimum, la réponse sera très amortie.

- Faire augmenter le gain K_p pas à pas jusqu'à l'obtention d'une réponse nettement oscillante (amortie). On note K_{pu} la valeur de K_p pour laquelle la réponse a été obtenue (Ultimate gain).
- Mettre $K_p = K_{pu}/2$
- Réaliser la même opération avec T_i en la réduisant jusqu'à l'obtention d'une réponse oscillatoire. Soit T_{iu} la valeur retenue.
- Mettre $T_i = 2T_{iu}$
- Procéder de même pour T_d en l'augmentant progressivement jusqu'à l'obtention d'une réponse oscillatoire. Soit T_{du} la valeur retenue.
- Mettre $T_d = T_{du} / 3$.

www.specialautom.net