

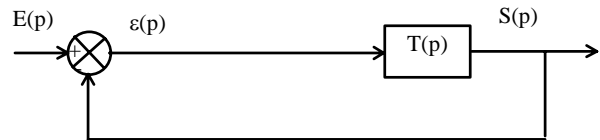
I - NOTION DE CORRECTION DES SYSTEMES ASSERVIS

A. Présentation

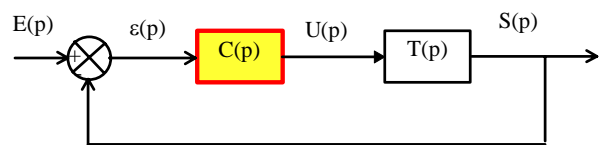
1. Présentation

Nous avons vus dans les chapitres précédants que les systèmes asservis pouvaient présenter des défauts, une précision insuffisante, une stabilité trop relative (voire une instabilité), un temps de réaction trop lent, un dépassement trop important, au regard d'un cahier des charges. Il est donc souvent nécessaire d'intégrer dans le système asservi un réseau correcteur dont l'objectif est d'améliorer ces un ou plusieurs de ces différents paramètres sans bien sur le faire au détriment des autres.

Soit un système défini par le schéma bloc ci-contre.



Si l'on souhaite améliorer les caractéristiques de précision stabilité, rapidité du système il est nécessaire d'introduire dans la boucle de commande un correcteur.



Les correcteurs doivent permettre de réaliser le meilleur compromis entre précision, stabilité et rapidité du système étudié.

B. Principaux réseaux correcteurs

1. Correcteur Proportionnel, P

a) Principe

Ce correcteur élémentaire est le correcteur de base, il agit principalement sur le gain du système asservi, il permet donc améliorer notablement la précision.

Dans le cas d'un correcteur proportionnel, la loi de commande corrigée $u(t)$ est proportionnelle à l'écart $\varepsilon(t)$:

$$u(t) = K_p \cdot \varepsilon(t).$$

La fonction de transfert du correcteur est donc : $C(p) = \frac{U(p)}{\varepsilon(p)} = K_p$

Pour les parties commande électroniques, la réalisation de ce type de correcteur à base d'amplificateurs opérationnels est simple (attention à la saturation des amplis).

b) Effet

Nous avons vus (Cf. stabilité et précision des S.A) que l'effet d'une augmentation du gain entraîne un diminution de l'erreur statique, rend le système plus rapide mais augmente l'instabilité du système.

2. Correcteur Proportionnel - Intégrateur, P.I.

a) Intégrateur pur

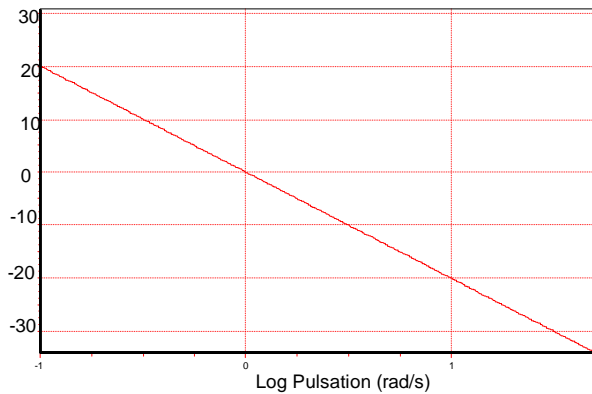
Pour un intégrateur pur la loi de commande $u(t)$ est de la forme : $u(t) = \frac{1}{T_i} \int_0^t \varepsilon(u) \cdot du$

la fonction de transfert d'un correcteur pur est $C(p) = \frac{1}{T_i \cdot p}$

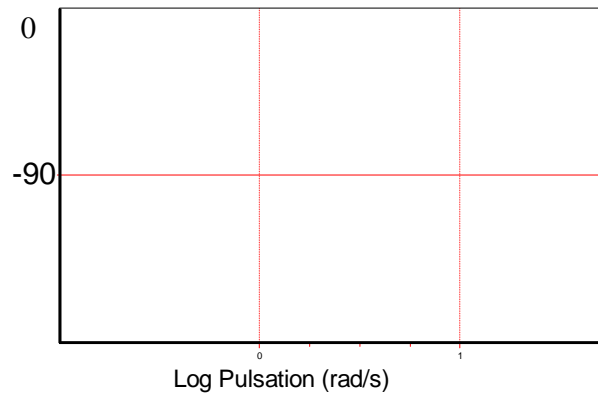
Ce type de correcteur n'est pas réalisable avec un réseau passif (circuit RC) mais une bonne approximation peut être réalisée avec un montage intégrateur à base d'amplificateurs opérationnels.

(1) Diagrammes de Bode

module



phase



(2) Effet

L'intérêt principal de ce correcteur est d'ajouter dans la chaîne de commande une intégration, nous avons que la présence d'une intégration dans la FTBO, annuler l'erreur statique pour une entrée en échelon. L'intérêt principal de ce type de correcteur est donc d'améliorer la précision, il introduit malheureusement un déphasage de -90° et risque de rendre le système instable (diminution de la marge de phase).

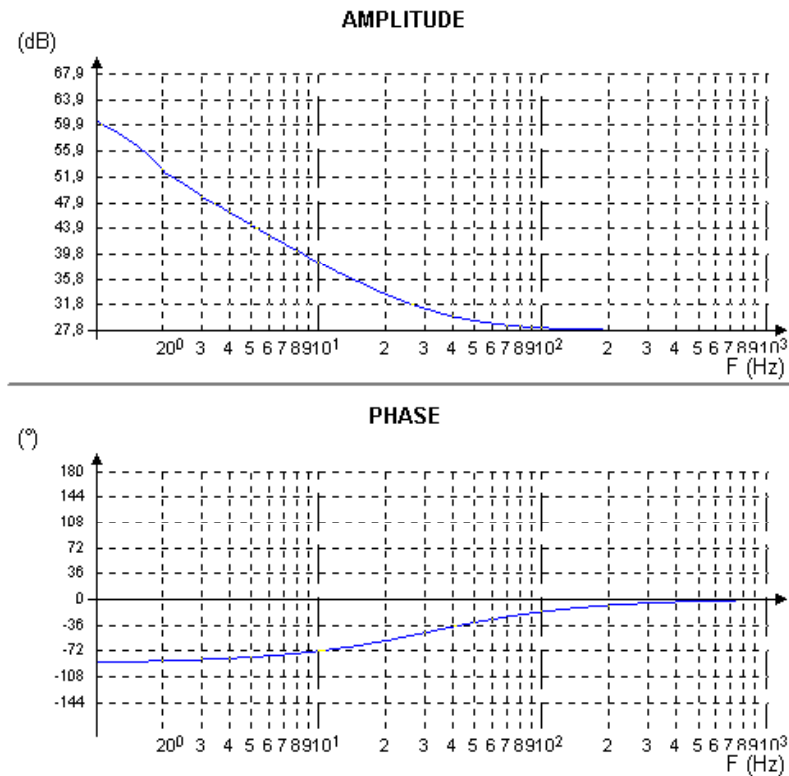
b) Correcteur P.I.

Le correcteur Intégrateur est en général associé au correcteur proportionnel et la loi de commande corrigée est

de la forme : $u(t) = K_p \left(\varepsilon(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t \varepsilon(u) du \right)$. La fonction de transfert du correcteur est donc :

$$C(p) = K_p \frac{1 + T_i \cdot p}{T_i \cdot p}$$

(1) Diagrammes de Bode d'un correcteur P.I



(2) *Effet*

Effet statique (régime permanent): annule l'erreur statique (cf. précision des systèmes effet d'une intégration)

Effet dynamique (régime transitoire) : augmente le temps de réponse (système moins rapide), et augmente l'instabilité (introduit un déphasage supplémentaire de -90°).

(3) *Réglage du correcteur*

Principe : on place le correcteur de telle sorte que le déphasage positif soit effectif avant la pulsation de résonance du système non corrigé de manière à ne pas rendre le système instable,

Une autre solution consiste à simplifier « mathématiquement » le pole dominant par le numérateur du correcteur P.I.

3. **Correcteur Proportionnel Dérivateur, PD**

a) **Dérivateur pur**

La loi de commande est de la forme $u(t) = T_d \frac{d\varepsilon(t)}{dt}$, la fonction de transfert est donc $C(p) = T_d \cdot p$.

Ce type de correcteur est purement théorique, un système physique ne peut pas avoir un numérateur de degré supérieur au dénominateur.

Le correcteur approchant permettant d'avoir un effet dérivé est un correcteur de la forme

$$C(p) = \frac{T_d \cdot p}{1 + \tau \cdot p} \text{ avec } \tau = \frac{T_d}{N} \text{ et } N \text{ entier} > 1$$

b) **Correcteur P.D**

La loi du correcteur PD est donc $C(p) = K_p \frac{T_d \cdot p}{1 + \tau \cdot p}$

(1) *effet*

Effet statique : (entrée en échelon ou évolution constante) le système n'intervenant que sur la dérivée de l'erreur, en régime permanent si l'erreur est constante, le dérivateur n'a aucun effet.

Effet dynamique: l'intérêt principal de la correction dérivée est son effet stabilisant, elle s'oppose aux grandes variations de l'erreur (donc aux oscillations), elle permet donc de stabiliser le système et d'améliorer le temps de réponse.

(2) *Réglage :*

La constante de dérivation doit permettre d'agir (apporter une phase positive) avant la résonance du système non corrigé.

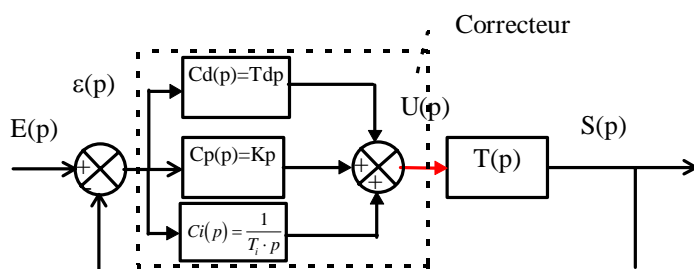
4. **Correcteur proportionnel Intégrateur Dérivateur PID**

a) **Principe**

L'intérêt du correcteur PID est d'intégrer les effets positifs des trois correcteurs précédents. la détermination des coefficients K_p , T_i , T_d du correcteur PID permet d'améliorer à la fois la précision (T_d et K_p) la stabilité (T_d) et la rapidité (T_d , K_p).

Le réglage d'un PID est en général assez complexe, des méthodes pratiques de réglages permettent d'obtenir des bons résultats.

(1) *Structure d'un correcteur PID*



(2) *Diagramme de Bode*

diagramme d'amplitude

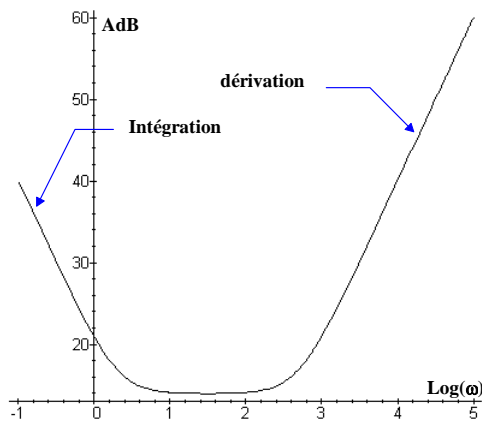
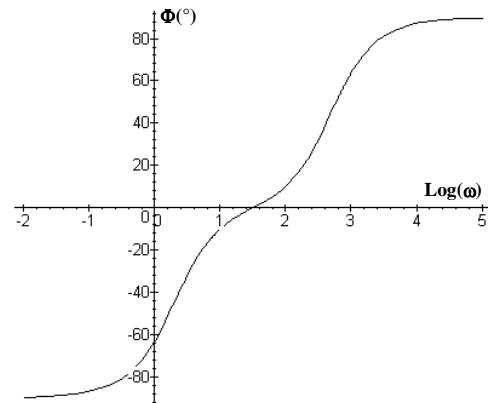


diagramme des phases



(3) Effet

On voit sur les diagrammes de Bode que le correcteur P.I.D se comporte pour le basses fréquences comme un intégrateur donc le système sera précis d'un point de vue statique, aux hautes fréquences l'avance de phase est de $+90^\circ$ donc une amélioration de la stabilité

(4) Réglage du correcteur P.I.D

L'objectif du réglage est de placer le correcteur de telle sorte que, autour de la pulsation de résonance du système non corrigé, l'avance de phase soit positive et suffisante pour ne pas rendre le système instable. Il n'y a pas de réelle méthode analytique permettant de calculer les composantes du correcteur, par contre des méthodes pratiques permettent une évaluation correcte des coefficients du correcteur.

5. Correcteur à avance de phase

a) principe

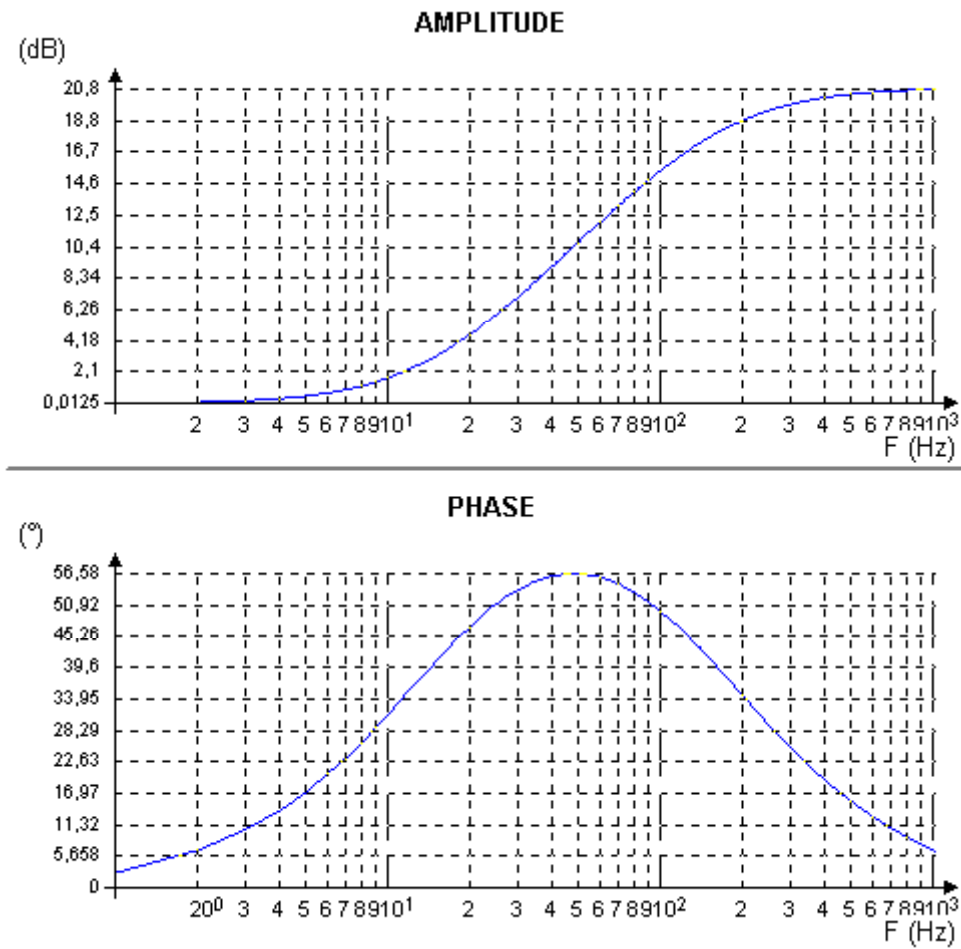
Un correcteur à avance de phase est e la forme

$$C(p) = \frac{1 + a\tau \cdot p}{1 + \tau \cdot p} \text{ avec } a > 1$$

L'intérêt de ce type de correcteur est de peu modifier le comportement du système aux basses et hautes fréquences mais de rajouter une phase positive autour du point critique de fonctionnement. (résonance)

Ce type de correcteur se comporte autour du point critique comme un correcteur dérivé. Il permet d'améliorer la stabilité sans changer les autres paramètres.

(1) Diagrammes de Bode



Le déphasage maximal est obtenu pour la pulsation :

$$\omega_m = \frac{1}{\tau\sqrt{a}}$$

Le déphasage maximal correspond à :

$$\sin \varphi_m = \frac{a-1}{a+1}$$

6. Méthode pratique de réglage d'un correcteur P, P.I ou P.I.D - Méthode de Ziegler Nichols

(i) Principe

Les correcteurs PI et P.I.D sont parmi les correcteurs analogiques les plus utilisés. Le problème principal réside dans la détermination des coefficients Kp, Ti, Td du correcteur. Plusieurs méthodes expérimentales ont été développées pour déterminer ces coefficients

La méthode développée par Ziegler et Nichols n'est utilisable que si le système étudié supporte les dépassements.

La méthode consiste à augmenter progressivement le gain d'un correcteur proportionnel pur jusqu'à la juste oscillation. On relève alors le gain limite (Klim) correspondant et la pulsation des oscillations ω_{osc} .

À partir des ces valeurs Ziegler et Nichols proposent des valeurs permettant le réglage des correcteurs P, P.I et P.I.D

Correcteur	P	P.I	P.I.D
Kp	$0.5 \cdot K_{lim}$	$0.45 \cdot K_{lim}$	$0.6 \cdot K_{lim}$
Ti	∞	$0.83 \cdot T_{osc}$	$0.5 \cdot T_{osc}$
Td	0	0	$0.125 \cdot T_{osc}$

Correcteur à avance de phase, 5
Correcteur P.D, 3
Correcteur P.I., 2
correcteur PID, 4
Correcteur Proportionnel, 1

Correcteur Proportionnel - Intégrateur, 1
Correcteur Proportionnel Dérivateur, 3
Correcteur proportionnel Intégrateur Dérivateur, 4
Notion de correction, 1
Ziegler Nichols, 5