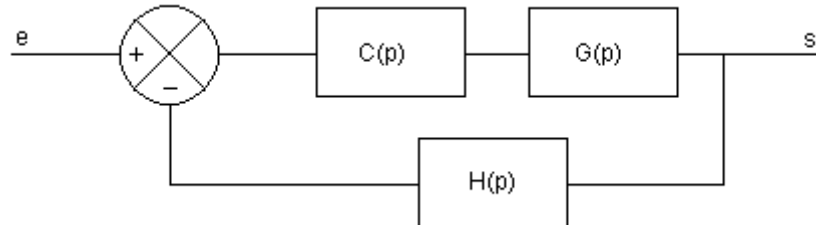


# Cours d'asservissement

Sans le savoir, les conducteurs d'automobile, les motards... effectuent un asservissement de position, pour ne pas quitter la route. Même en ligne droite, on ne peut pas rouler les yeux bandés, du fait que la précision de la direction n'est pas absolue.

« Plus la voiture est à droite, plus il faut tourner le volant à gauche, et vice-versa »

Le schéma général d'un asservissement est le suivant :



C : Correcteur

G : Processus

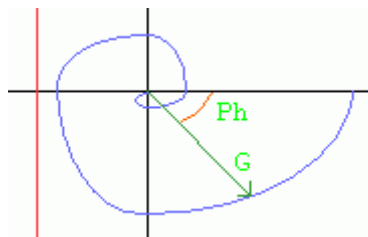
H : Retour

Si système est stable :

En régime sinusoïdal permanent :  $s(p) / e(p) = CG / (1 + CGH)$  avec  $p = jw$

Pour qu'un asservissement soit rapide et stable, il faut que l'ensemble CGH présente un retard de  $120^\circ$  pour un gain de 1 (0dB), et que pour un déphasage de  $-180^\circ$ , le gain soit inférieur à 70%, en boucle ouverte.

La théorie simplifiée de Nyquist dit : « Stable si à droite du point (-1,0) »



Si entrée  $e = E \cos(wt)$ , et le feedback  $s = E [\alpha \cos(wt) + \beta \sin(wt)]$ , je pense que si  $\alpha$  est supérieur à  $-1$ , quelque soient  $w$  et  $\beta$ , alors le système sera stable. Donc pour moi, la frontière est la **droite**  $x = -1$ .

Si le retard est inférieur à  $120^\circ$ , il se peut que le système soit moins rapide. Un simple filtre passe bas, situé au retour, ajoute un retard et paradoxalement, il rend le système plus rapide : Quand la sortie du processus atteint la consigne, le filtre dit « non ! Il faut encore évoluer, car la consigne n'est pas atteinte ».

Si ce retard est compris entre  $130^\circ$  et  $170^\circ$ , le système sera moins stable. Et il sera instable à partir de  $180^\circ$ .

Un moteur peut être contrôlé avec une PWM :

- soit en tension (rapport cyclique) avec ou sans correction PID
- soit en courant (asservissement TOR) avec une correction PID.

P veut dire « Proportionnel » :

Plus l'écart de vitesse est important, plus on lui fournit de la puissance.

D veut dire « Dérivée » :

Plus le moteur ralentit, plus on lui en fournit (= inertie).

I veut dire « Intégrale » :

Plus l'écart de vitesse est important, plus on augmente (ou diminue) progressivement la force.

L'effet « dérivée » permet l'anticipation.

Pour ignorer les changements brutaux de la consigne, on peut placer le correcteur proportionnel-dérivée dans la chaîne de retour, et un correcteur PI après le soustracteur.

Pour un moteur contrôlé en courant, au repos, un courant compris entre  $-I_0$  et  $I_0$  (couple résistant), n'aura aucun effet. Ce qui peut engendrer des courts dépassements de vitesse, plus importants que prévu.

Si le système a une erreur en régime permanent, il faut si possible mettre un correcteur intégral ou PI, juste après le soustracteur, en sachant que ces correcteurs augmentent le retard. Supposons qu'il existe une erreur en régime permanent, alors la sortie de l'intégrateur évolue, donc le régime n'est pas permanent, ce qui prouve que l'hypothèse de départ est fautive, donc l'erreur en régime permanent est nulle.

Si le feedback n'est pas stable (ex sortie d'alternateur), on peut réduire les fréquences indésirables avec un passe bas ou un effet « Intégrale ».

Pour les systèmes présentant un retard pur important (systèmes thermiques...), on peut faire une 'intégration par paliers', c'est à dire imposer une puissance, puis attendre, puis comparer la grandeur de sortie à la consigne, puis augmenter ou diminuer la puissance, puis attendre, puis comparer...

Le retard pur permet d'utiliser un contacteur grâce à un seul seuil et des temporisations. Mais la nouveauté, ce sont les thermostats (allumé ou éteint) avec PID...

Pour faire un chariot qui suit un fil alimenté ou une bande blanche sur fond noir, le plus simple est d'utiliser un moteur gauche et un moteur droit. Il s'agit alors d'un processus intégrateur. Alors que si on met une direction contrôlée en vitesse, le processus est un double intégrateur ( $2 \times 90^\circ$ ), donc instable.

Pour les processus dont le retard est compris entre  $130^\circ$  et  $180^\circ$ , on peut utiliser un correcteur proportionnel-dérivée ou à avance de phase, pour ne pas trop amplifier les hautes fréquences (Un correcteur dérivée ne peut pas être utilisé, car le système n'est pas bouclé en statique). On peut aussi additionner la sortie à un signal intermédiaire, pour le feedback, ou faire deux boucles imbriquées... On peut aussi augmenter une constante de temps, comme c'est le cas des amplificateurs opérationnels.

Pour faire léviter une bille de fer, avec un électro-aimant :

Soit on contrôle la tension (la f.e.m induite étant proportionnelle à la vitesse) mais d'une part cette f.e.m est très faible, d'autre part il y a la constante  $L/R$ , qui retardera le courant donc la force.

Soit on contrôle en courant, mais la position est l'intégrale de la vitesse, et la vitesse est l'intégrale de la force...

Si la force est proportionnelle à l'écart de position, le système est instable (système masse-ressort).

Dans les 2 cas, un correcteur à avance de phase sera nécessaire.

Pour asservir la position d'un moteur, le système peut obéir à la règle suivante :  
« Plus c'est loin, plus il faut essayer d'aller vite »

Comme les derniers pas durent plus longtemps, la chute de vitesse doit y être plus grande :

$$V = at + V_0$$

En intégrant par rapport au temps :

$$X = \frac{1}{2} at^2 + V_0.t + X_0$$

En remplaçant t par son expression :

$$V^2 - V_0^2 = 2a (X - X_0)$$

(Comme  $f = ma$  : la différence de l'énergie cinétique est égale au travail de la force)

Un asservissement de position peut donc se traduire de la façon suivante :

Tq  $X < X_0$

$$F = v^2 / (X_0 - X)$$

si  $F < 80\%$

alors  $f = +100\%$

sinon  $f = -F$

Tq  $X > X_0$

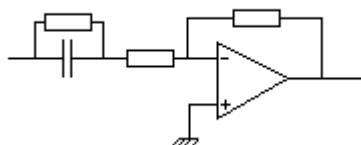
$$F = v^2 / (X - X_0)$$

si  $F < 80\%$

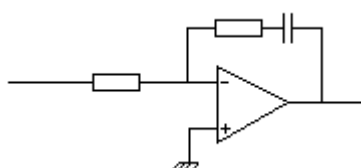
alors  $f = -100\%$

sinon  $f = F$

Correcteur à avance de phase:



Correcteur PI :



### Correcteur PID numérique :

L'effet intégral se fait par une série d'additions :

$$I = I + K_i \times \text{erreur (petit coef)}$$

Pour limiter les dépassements, on peut par exemple plafonner numériquement l'erreur.

L'effet dérivée se fait par une série de soustractions :

$$D = K_d [\text{erreur}(t) - \text{erreur}(t-1)] \text{ (grand coef)}$$

L'effet proportionnel amplifie l'erreur :

$$P = K_p \times \text{erreur}$$

$$\text{Sortie} = P + I + D.$$

### **La logique floue**

La logique traditionnelle fonctionne avec 2 états : 0 ou 1.

La logique floue a plusieurs états compris entre 0 et 1.

Un "OU" se traduira par une fonction max, ou une addition, et une division par 2.

Un "ET" se traduira par une fonction min, ou une multiplication (ex : un peu ET rien = rien)

Les processeurs flous ont des grilles 3x3 ou 5x5, sans chiffre précis, et permettent de régler une valeur de sortie, avec deux valeurs d'entrée, de façon linéaire ou non linéaire.

Ils permettent de substituer une formule mathématique, à un raisonnement approximatif.

### Freinage d'un véhicule :

Plus la voiture va vite, et plus elle est proche, plus il faut freiner.

DV	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0	1	4	9	16	25	36	49	64	81	100	121	144	169	196	225
2	0	1	2	4	8	13	18	25	32	41	50	61	72	85	98	113
3	0	0	1	3	5	8	12	16	21	27	33	40	48	56	65	75
4	0	0	1	2	4	6	9	12	16	20	25	30	36	42	49	56
5	0	0	1	2	3	5	7	10	13	16	20	24	29	34	39	45
6	0	0	1	1	3	4	6	8	11	14	17	20	24	28	33	38
7	0	0	1	1	2	4	5	7	9	12	14	17	21	24	28	32
8	0	0	0	1	2	3	4	6	8	10	13	15	18	21	25	28
9	0	0	0	1	2	3	4	5	7	9	11	13	16	19	22	25
10	0	0	0	1	2	2	4	5	6	8	10	12	14	17	20	23
11	0	0	0	1	1	2	3	4	6	7	9	11	13	15	18	20
12	0	0	0	1	1	2	3	4	5	7	8	10	12	14	16	19
13	0	0	0	1	1	2	3	4	5	6	8	9	11	13	15	17
14	0	0	0	1	1	2	3	3	5	6	7	9	10	12	14	16
15	0	0	0	1	1	2	2	3	4	5	7	8	10	11	13	15
16	0	0	0	1	1	2	2	3	4	5	6	8	9	11	12	14

Remarque : Dans cet exemple, il manque la ligne 0 et la colonne 16.

### Fuzzification :

Un tachymètre, branché sur un convertisseur analogique/numérique, donne la valeur hexa \$0540 :

- colonne N°5
- Appartenance de 75% à la colonne 5 (complément de \$40)
- Appartenance de 25% à la colonne 6 (\$40)

Un piezzo, branché sur un timer, donne la valeur \$0140 :

- ligne N°1
- Appartenance de 75% à la ligne 1
- Appartenance de 25% à la ligne 2

### Méthode min & moyenne pondérée :

Appartenance de 75% à la case 5-1

Appartenance de 25% à la case 5-2

Appartenance de 25% à la case 6-1

Appartenance de 25% à la case 6-2

$$\text{Freinage} = (\$BF \times 25 + \$40 \times 13 + \$40 \times 36 + \$40 \times 18) / \$17F = 24\%$$

### Produit & moyenne pondérée :

$\$BF \times \$BF = \$8E81$  arrondi à  $\$8F00$  :

$\$8F/\$100 =$  Appartenance de 56% à la case 5-1

$\$BF \times \$40 = \$2FC0$  arrondi à  $\$3000$  :

$\$30/\$100 =$  Appartenance de 19% à la case 5-2

$\$40 \times \$BF = \$2FC0$  arrondi à  $\$3000$  :

$\$30/\$100 =$  Appartenance de 19% à la case 6-1

$\$40 \times \$40 = \$1000$  :

$\$10/\$100 =$  Appartenance de 6% à la case 6-2

Somme des coefficients :

$$(\$FF - v)(\$FF - d) + (\$FF - v)d + v(\$FF - d) + vd = \$FE01 = 99,2\%$$

$$\text{Freinage} = (\$8F \times 25 + \$30 \times 13 + \$30 \times 36 + \$10 \times 18)/256 = 24\%$$