

Programme:

chap 2: Asservissements

- chap 2.1: structure d'un asservissement
- chap 2.2: Asservissements analogiques
- chap 2.3: Asservissements numériques

Documentation:

Etude et mise au point des boucles de régulation (BHALY).

RÉGULATION ET ASSERVISSEMENT.

1 RÉGULATION MANUELLE.

1.1 RÉGULATION MANUELLE DE TEMPÉRATURE D'UN MOTEUR EN CELLULE D'ESSAI.

1.1.1 mise en situation

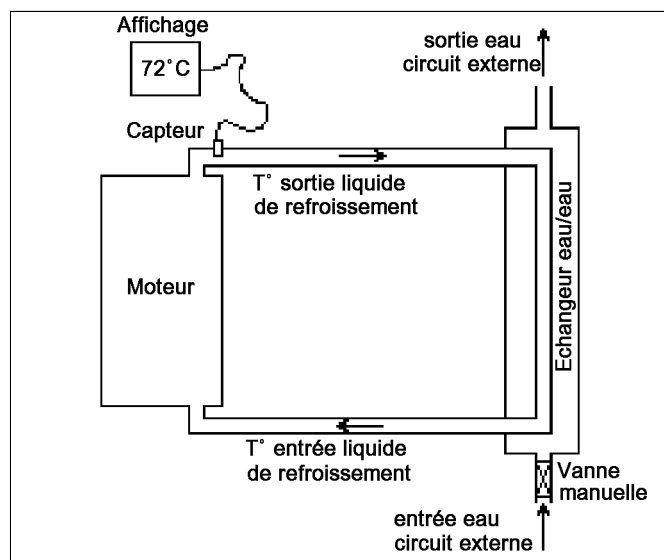


fig 1

Paramètres influençant la température du liquide en sortie moteur:

- la quantité de chaleur apportée par la combustion (variable suivant les phases de fonctionnement)
- la température du liquide en entrée du moteur

Paramètres influençant la température du liquide en entrée moteur:

- la température de liquide à l'entrée de l'échangeur
- le débit d'eau dans l'échangeur

conclusion:

- **Nous pouvons régler la température du liquide en sortie du moteur en réglant le débit d'eau par la vanne manuelle.**

1.1.2 mode opératoire de réglage

L'opérateur **observe** la température à l'affichage et **agit** sur la vanne **en fonction** de cette température pour obtenir la **température désirée**.

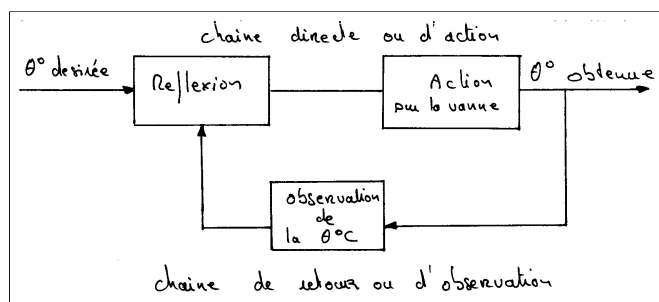


fig 2

1.1.3 températures obtenues

(où est démontrée l'influence du caractère sur les qualités d'une régulation).

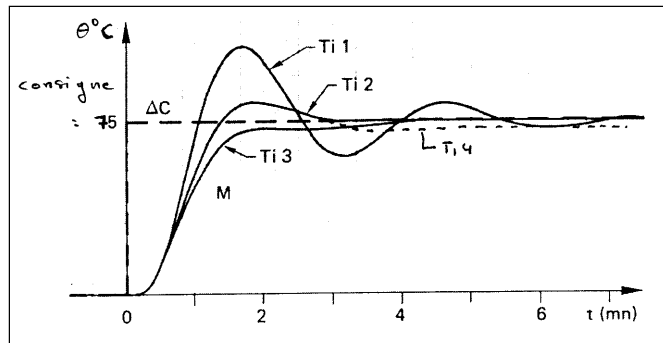


fig 3

Courbe Ti3:

- opérateur calme (peut être trop calme!)
- la vanne est fermée puis ouverte progressivement pour atteindre la température de consigne.
- la température monte **lentement**, ne **dépasse pas** la valeur de consigne, mais n'atteint la température de consigne qu'après **un grand temps**.

Courbe Ti1:

- opérateur fébrile
- la vanne reste fermée trop longtemps, puis trop ouverte trop longtemps, puis trop fermée.....
- la température monte **rapidement**, mais **dépasse** la valeur de consigne **plusieurs fois** et se stabilise au bout d'un **grand temps**.

Courbe Ti2:

- opérateur calme, compétent et expérimenté.
- la vanne reste fermée puis ouverte progressivement, puis refermée doucement.
- la température monte **relativement vite**, **dépasse un peu** la température de consigne et se **stabilise rapidement**.

Courbe Ti4:

- même opérateur que précédemment mais dans un mauvais jour
- même comportement que Ti2 mais **moins précis** en final.

1.2 CONCLUSIONS

De ces quatre courbes on peut tirer les notions importantes de:

- rapidité
- précision
- consigne

2 RÉGULATION AUTOMATIQUE.

2.1 RÉGULATION AUTOMATIQUE DE TEMPÉRATURE D'UN MOTEUR EN CELLULE D'ESSAI.

2.1.1 mise en situation.

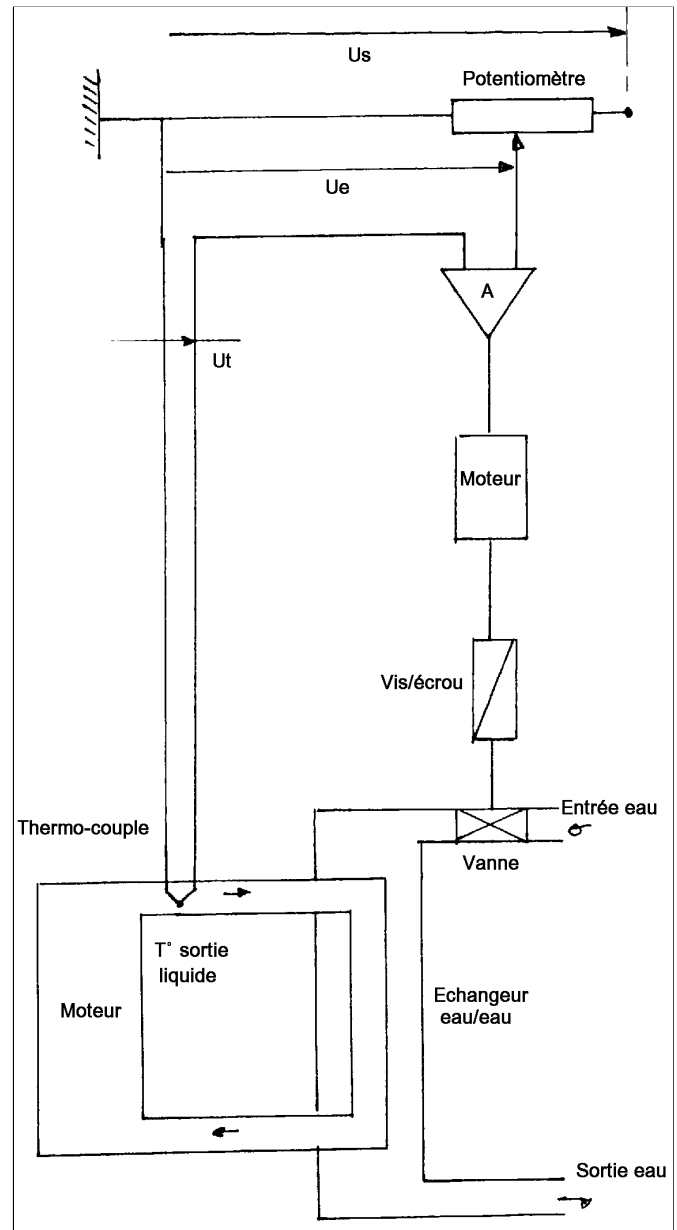


fig 4

le thermocouple fournit une tension fonction de la température.

2.1.2 fonctionnement.

Le thermocouple donne une tension U_t qui est comparée par l'ampli opérationnel à U_e .

U_e est réglée par le potentiomètre (consigne).

- Si la **température** du liquide sortie moteur **diminue** alors $U_t < U_e$, l'amplificateur délivre un signal, le moteur tourne et **ferme la vanne**.
- Si la **température** du liquide sortie moteur **augmente** alors $U_t > U_e$, l'amplificateur délivre un signal inverse, le moteur tourne et **ouvre la vanne**.

2.1.3 Schéma bloc fonctionnel.

Il faut d'abord rechercher les grandeurs véhiculées.

- **Grandeur d'entrée:** température de consigne, exprimée par le potentiomètre par une tension U_e .
- **Grandeur de sortie (T_s):** température réelle du liquide de refroidissement exprimée par le thermocouple par une tension U_t

Remarque: Ces deux grandeurs sont comparées, elles doivent être homogènes (température, tension).

- **Grandeurs intermédiaires:**
 - $T\theta$ en rd: déplacement du moteur
 - L en m: déplacement de la vis (et de la vanne)
 - Q_v en m^3/s : débit d'eau dans l'échangeur

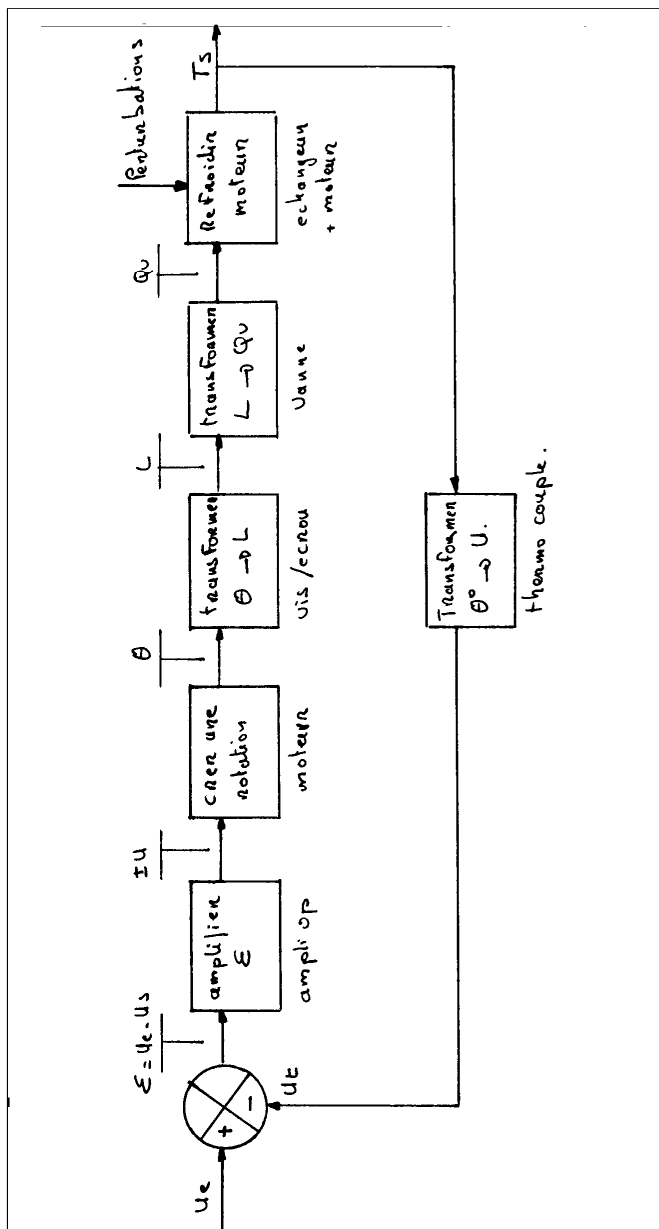


fig 5

- **Autres dénominations:**
 - T_s : grandeur réglée
 - Q_v : grandeur réglante
 - Perturbations: grandeurs perturbatrices

2.1.4 Courbes des températures obtenues en sortie.

Suivant les qualités propres à la régulation, les courbes seront variables (comme dans le cas de la régulation manuelle).

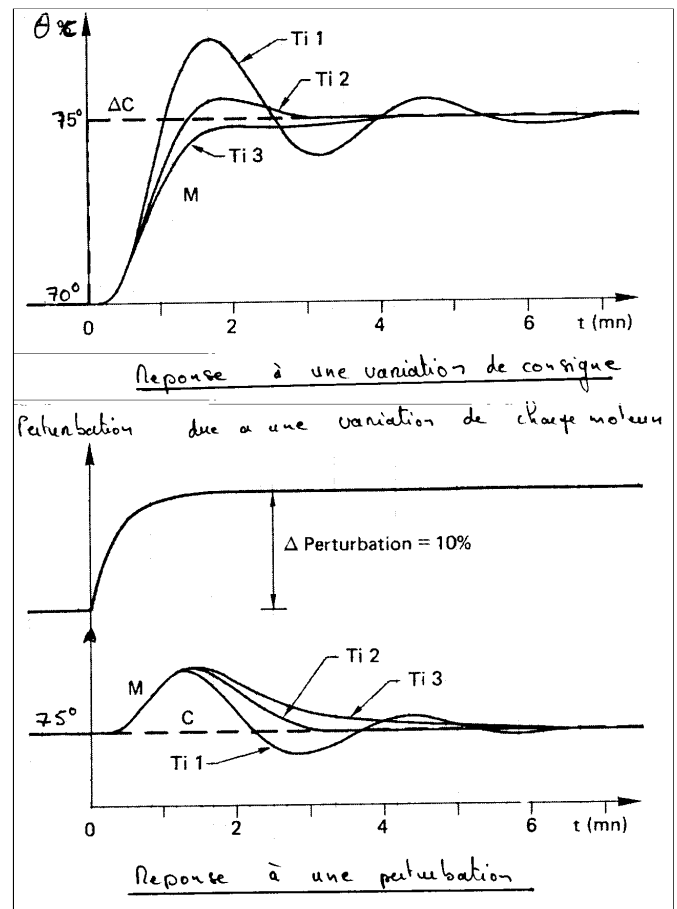


fig 6

3 GÉNÉRALISATION DES NOTIONS TIRÉES DES EXEMPLES.

3.1 DÉFINITIONS

Un système est dit asservi si:

- à une grandeur d'entrée donnée, constante ou variable on fait correspondre une sortie qui suit la grandeur d'entrée.
- si la grandeur d'entrée varie ou si le système est soumis à des perturbations, celui ci corrige de lui même la grandeur de sortie.

3.1.1 Schéma fonctionnel.

D'une façon générale un système asservi peut se mettre sous la forme suivante:

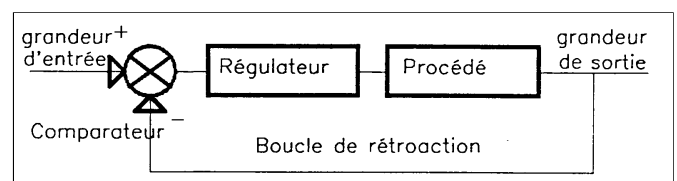


fig 7

3.1.2 Les qualités d'un bon système automatique

sont:

- La précision,
- la rapidité,
- la stabilité.

C'est ,en général, le régulateur qui permet d'atteindre les performances désirées.

3.2 CLASSIFICATION DES SYSTÈMES ASSERVIS.

3.2.1 Systèmes dits "régulateurs".

L'entrée consigne est constante ou évolue par paliers.

Ex: Régulation de température d'un local.

3.2.2 Systèmes dits "asservis" ou "suiveurs".

L'entrée n'est pas constante et suit une grandeur physique.

Ex: Asservissement de vitesse d'un bras de robot.

3.3 REPRÉSENTATION GRAPHIQUE D'UN SYSTÈME ASSERVI.

Un système asservi peut être représenté par un ensemble de blocs fonctionnels mis en relation par des lignes qui transportent les différentes grandeurs physiques manipulées.

Les symboles principaux sont:

3.3.1 le bloc fonctionnel:

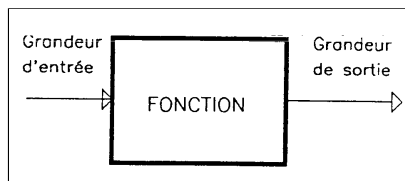


fig 8

Exemples:

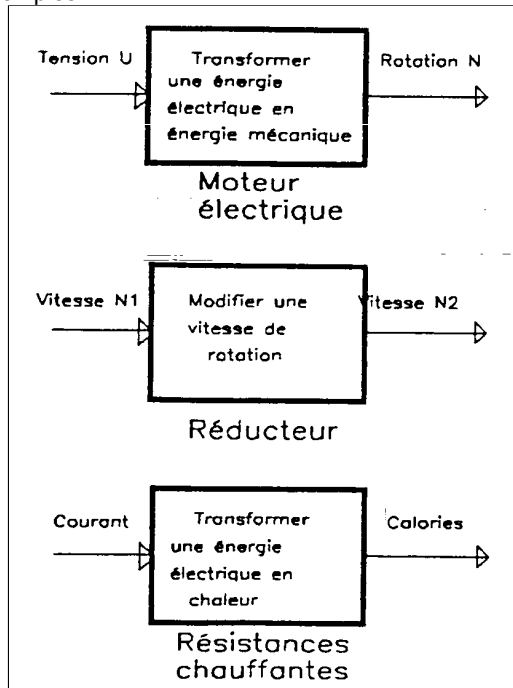


fig 9

3.3.2 Le comparateur.

Le comparateur est un élément qui reçoit deux grandeurs de même nature et qui fabrique la différence de leur valeur.

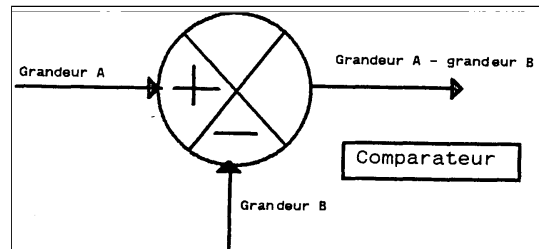


fig 10

Exemple:

- Si A et B sont des grandeurs "TENSIONS" appelées U_a et U_b , alors la sortie du comparateur donnera:

Erreur = $U_a - U_b$

3.3.3 Diagramme fonctionnel.

Un système asservi codifié avec ces symboles pourra avoir l'allure

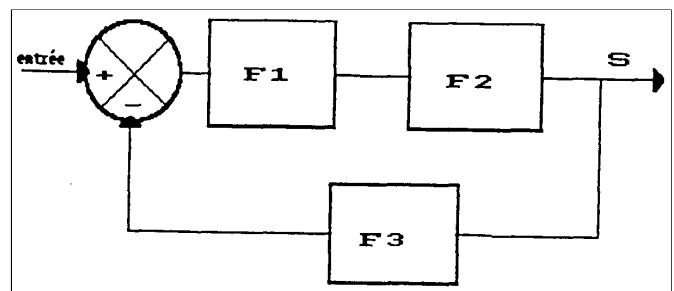


fig 11

Les rectangles renferment une relation entre la grandeur à leur entrée et la grandeur à leur sortie. Cette relation caractérise le système. Elle porte le nom de: **Fonction de transfert ou transmittance.**

$s = F(e)$.

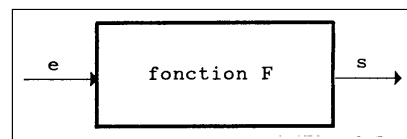


fig 12

Les lignes entre les rectangles (ou boîtes noires) véhiculent les grandeurs associées.

Elles se rencontrent aux points appelés **points de branchement**.

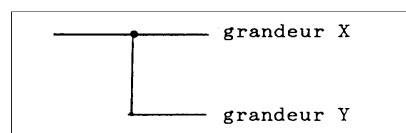


fig 13

4 ENTRÉES TYPIQUES D'UN SYSTÈME ASSERVI.

Ces entrées sont les signaux "Erreur" qui vont du comparateur vers le régulateur. Elles peuvent être issues d'une variation de sortie (suite à une perturbation) ou d'une variation de consigne.

4.1 L'ÉCHELON

Il correspond à une variation brusque, pour aboutir à une valeur constante indépendante du temps.

La variation d'amplitude se représente en fonction du temps par la relation: $E(t) = a$.

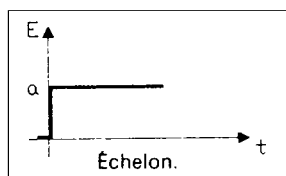


fig 14

En pratique on écrit: **E = a**

Exemple:

- Variation d'une grandeur de sortie suite à une perturbation constante et durable
- variation de consigne.

4.2 L'IMPULSION

Il s'agit d'une variation brutale de courte durée, observée par exemple à la sortie d'un régulateur à action dérivée, dont l'entrée est soumise à un échelon.

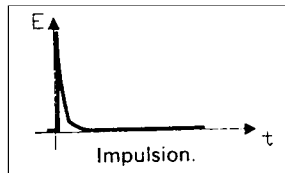


fig 15

Exemple:

- variation de sortie suite à une perturbation temporaire (choc mécanique, parasite électrique).

4.3 LA RAMPE

Ce signal varie proportionnellement au temps. La vitesse de cette variation est appelée pente.

$$E = a \times t$$

La pente a s'exprime en amplitude par unité de temps. (mA/mn, Volt/mn, %/s, etc...).

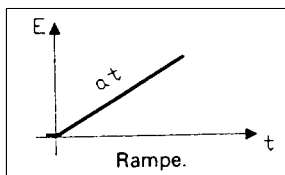


fig 16

4.4 LA SOLLICITATION SINUSOÏDALE.

Ce signal varie selon une loi sinusoïdale:

$$E = a \sin(\omega t + \Phi)$$

avec:

$$\omega = \frac{1}{T}$$

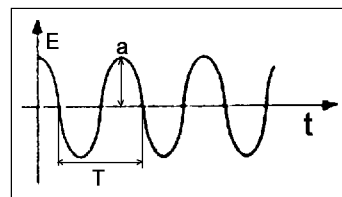


fig 17

Cette sollicitation est utilisée pour vérifier la réponse en fréquence d'un asservissement.

5 CRITÈRES DE PERFORMANCE D'UNE RÉGULATION

5.1 LA STABILITÉ.

5.1.1 Définition

Le système constitué du procédé et de la boucle de régulation est dit stable, si soumis à une variation de consigne, la mesure retrouve un état stable.

Dans le cas contraire le système est dit instable.

Pour un système stable, k temps écoulé pour retrouver la stabilité constitue le régime transitoire.

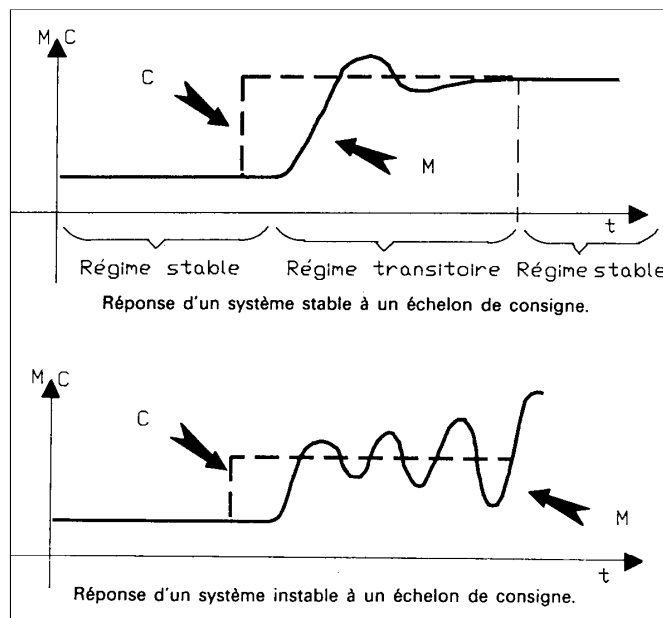


fig 18

5.2 LA PRÉCISION

5.2.1 Définition

Elle est définie à partir de l'erreur statique e en régime stable, comme le montre la figure

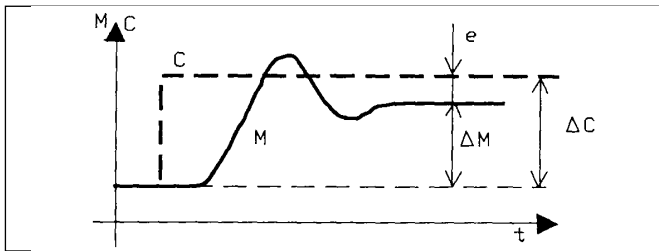


fig 19

- Erreur de précision (%) = $(e / \Delta C) \times 100$

e et ΔC sont mesurées dans les mêmes unités (mm, % ou unité physique).

5.3 L'AMORTISSEMENT

5.3.1 Définition

Il est défini par l'allure de la réponse. Les différents types de réponses sont représentés:

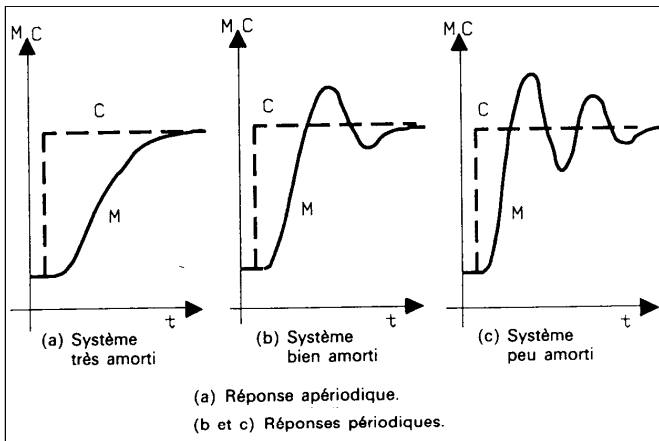


fig 20

Dans le cas de la figure 21; l'amortissement s'exprime généralement de deux façons.

- Amortissement par période = $D2/D1$.
- Dépassement (%) = $(D1/\Delta M) \times 100$

$D1$ et $D2$, ΔM sont exprimés par les mêmes unités (mm, %, unité physique).

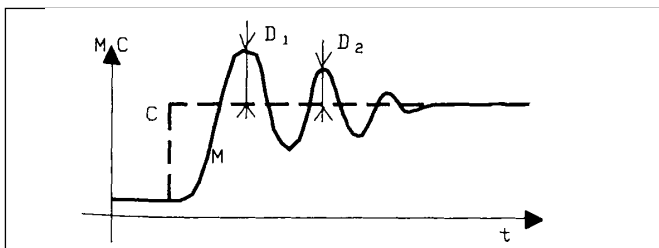


fig 21

5.3.2 Exemple:

Pour $D1 = 5^\circ \text{C}$ (degré Celsius)

$D2 = 2^\circ \text{C}$

$\Delta M = 10^\circ \text{C}$

- L'amortissement par période est: $2/5 = 0,4$
- Le dépassement est: $(5/10) \times 100 = 50 \%$

5.4 LA RAPIDITÉ

5.4.1 Définition

Elle traduit pratiquement la durée du transitoire. Plus précisément, elle s'exprime par le temps de réponse t_e ou temps d'établissement, qui est le temps mis par la mesure pour atteindre sa valeur définitive à $\pm 5 \%$ de sa variation tout en se maintenant dans cette zone des $\pm 5 \%$.

- Rapidité = temps de réponse (t_e)

Les figures 22(a) et 22(b) représentent des réponses oscillatoires amorties, t_e correspond au temps mis pour atteindre 95 % ou 105 % de la valeur finale de ΔM .

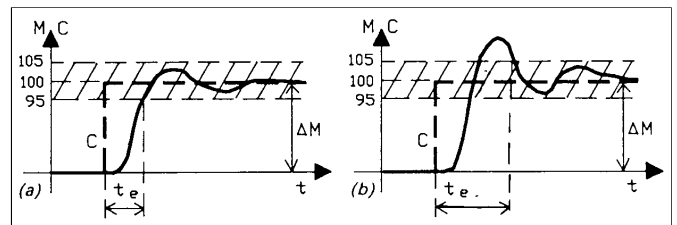


fig 22

La figure 23 illustre le cas d'une réponse apériodique, t_e correspond au temps mis pour atteindre les 95 % de ΔM

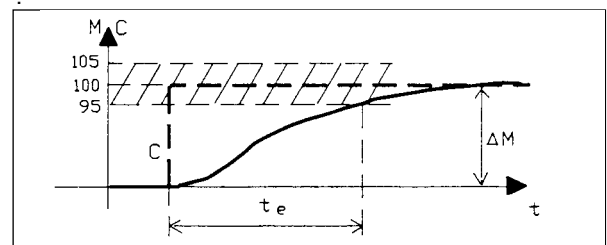


fig 23

5.4.2 Exemple:

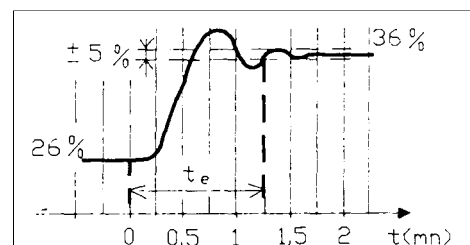


fig 24

Sur la courbe fig24 on relève:

- Mesure initiale = 26 %
- Mesure finale = 36 %
- d'où $\Delta M = 10 \%$
- $5\% \text{ de } \Delta M = 5 \%.10 = 0,5\%$

La zone à l'intérieur de laquelle on considère la mesure comme établie, est délimitée par deux traits situés à:

- $36 + 0,5 = 36,5 \%$

et à:

- $36 - 0,5 = 35,5 \%$

On relève $t_e = 1,25 \text{ mn}$

5.5 CONCLUSIONS SUR LES PERFORMANCES

Précision, amortissement, rapidité, permettent d'exprimer les performances d'une régulation.

En règle générale, on cherche à obtenir un temps de réponse t_e faible et un amortissement par période faible.

On peut retenir le chiffre de 15 % comme valeur moyenne acceptable de dépassement.

Insistons sur le fait que si la mise au point de la régulation est effectuée à partir d'une réponse due à des changements de consigne, c'est généralement à des variations de grandeurs perturbatrices que la régulation est soumise. La théorie montre que si la stabilité qui est la condition indispensable, est assurée dans le premier cas, elle le sera dans le seconde mais l'allure du transitoire sera différente.

6 LES PROCÉDÉS ET LEURS RÉPONSES

6.1 LES PROCÉDÉS STABLES (OU NATURELLEMENT STABLES)

Considérons le niveau N d'un bac (fig25).

Le débit de sortie Q_s est fonction du niveau N .

$$Q_s = K \sqrt{N}$$

Si N est constant, ceci implique que Q_s est égal à Q_e

A l'instant t_0 provoquons un échelon de vanne, le niveau monte dans le bac ce qui provoque l'augmentation du débit de sortie Q_s . Ce phénomène se prolonge jusqu'à ce que le niveau soit tel qu'il provoque un débit Q_s de nouveau égal à Q_e .

On constate donc que suite à une variation de la grandeur réglante Q_e , la grandeur réglée N retrouve un nouvel état d'équilibre N_1 . Le procédé est dit stable.

Insistons sur le fait qu'il s'agit bien du procédé seul puisque nous sommes en boucle ouverte.

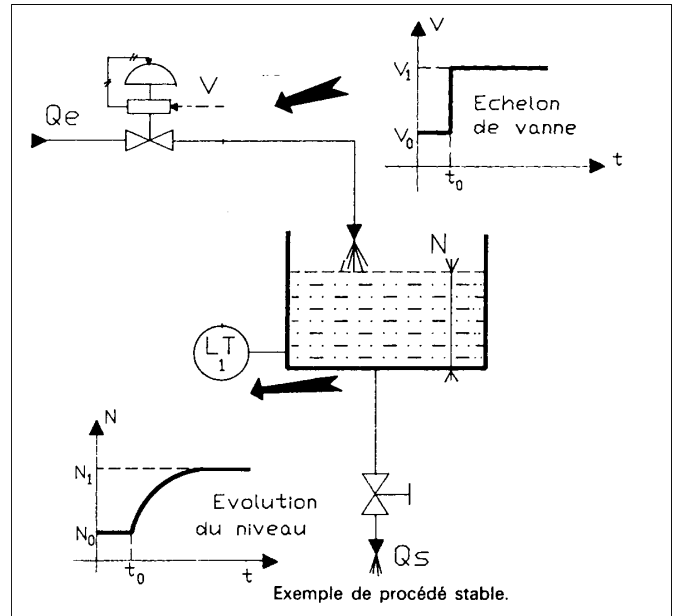


fig 25

6.2 LES PROCÉDÉS INSTABLES (OU INTÉGRATEUR)

Modifions le procédé précédent en remplaçant l'écoulement naturel par un écoulement forcé, obtenu par une pompe de débit Q_s constant (fig26)

En répétant l'essai précédent, on observe que cette fois le niveau ne se stabilise pas. Le procédé est dit instable.

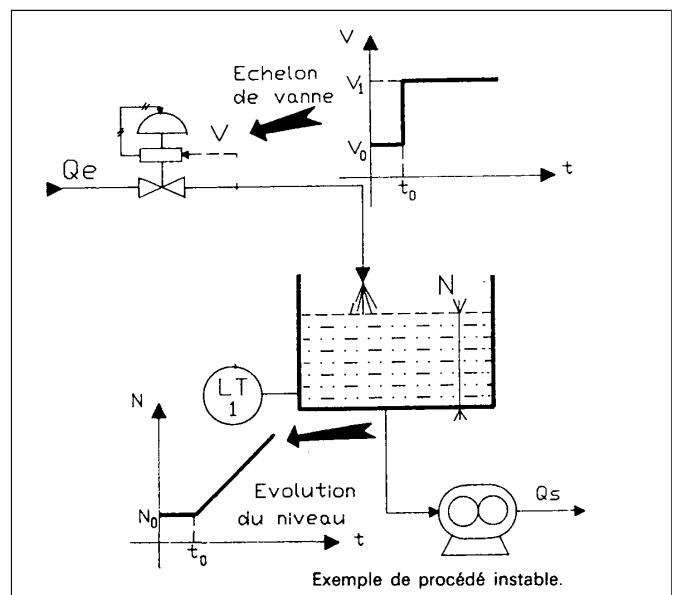


fig 26

6.3 PARAMÈTRES DE LA RÉPONSE D'UN PROCÉDÉ.

Nous avons précédemment observé la réponse d'un procédé pour déterminer s'il était stable ou instable. Dans ce paragraphe, nous allons déterminer les paramètres caractéristiques du procédé à partir de cette même réponse. La connaissance de ces paramètres aide à la mise au point de la boucle de régulation.

6.3.1 Procédé stable

La réponse à un échelon est donnée par la figure 28.

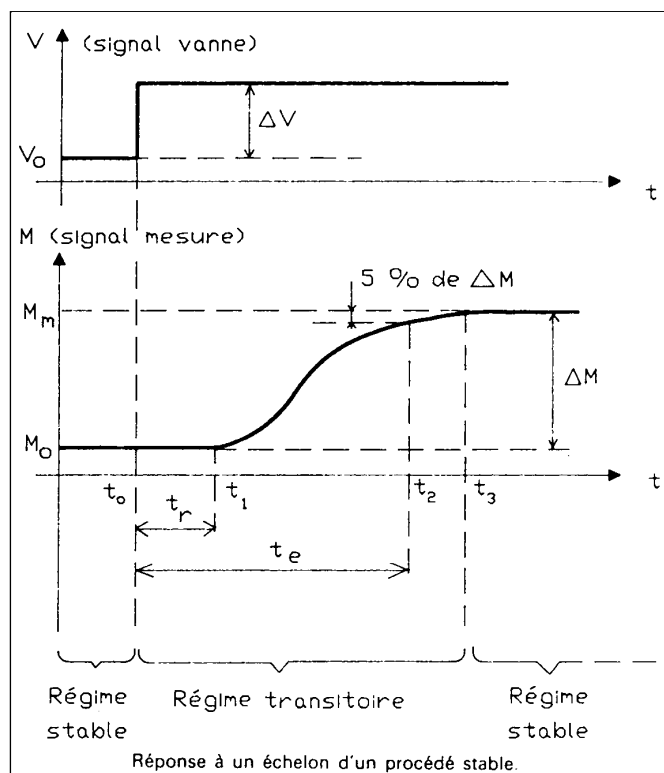


fig 28

Cette forme en S est la réponse type d'un procédé stable. Le régime transitoire (ou simplement transitoire) est l'intervalle de temps entre l'instant t_0 d'origine de l'échelon et l'instant t_3 où la mesure atteint sa valeur finale M_n ...

La réponse à un échelon est caractérisée par les paramètres du tableau:

Paramètres de la réponse à un échelon d'un procédé stable.

Paramètres	Appellation	Définition
t_r	Temps mort ou retard pur.	Intervalle de temps entre l'application de l'échelon et le début d'évolution de la mesure: $t_r = t_1 - t_0$
t_e	Temps de réponse ou d'établissement.	Intervalle de temps entre l'application de l'échelon et le temps où la mesure atteint les 95 % de sa valeur finale M_n . On considère que ce temps est pratiquement égal à la durée du régime transitoire: $t_e = t_2 - t_0$
G_s	Gain statique.	Rapport entre la variation de mesure ΔM et la variation du signal vanne ΔV correspondant.

6.3.2 Procédé instable

La réponse à un échelon est donnée par la figure 29

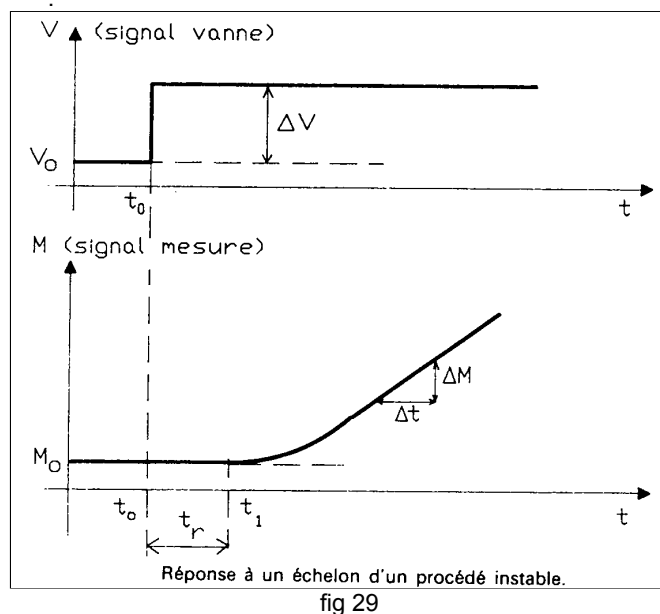


fig 29

Les paramètres qui caractérisent cette réponse sont donnés par le tableau:

Paramètres de la réponse à un échelon d'un procédé instable.

Paramètres	Appellation	Définition
t_r	Temps mort ou retard pur.	Intervalle de temps entre l'application de l'échelon et le début d'évolution de la mesure: $t_r = t_1 - t_0$
K	Coefficient d'intégration.	Coefficient caractéristique du procédé. $K = (M/(\Delta t \times \Delta V))$ unité de K en l/mn ou l/s

6.4 DIFFÉRENTES RÉPONSES D'UN PROCÉDÉ STABLE.

6.4.1 Exemple:

Vitesse d'un moteur électrique à courant continu.

$$\omega_s = f(U_e)$$

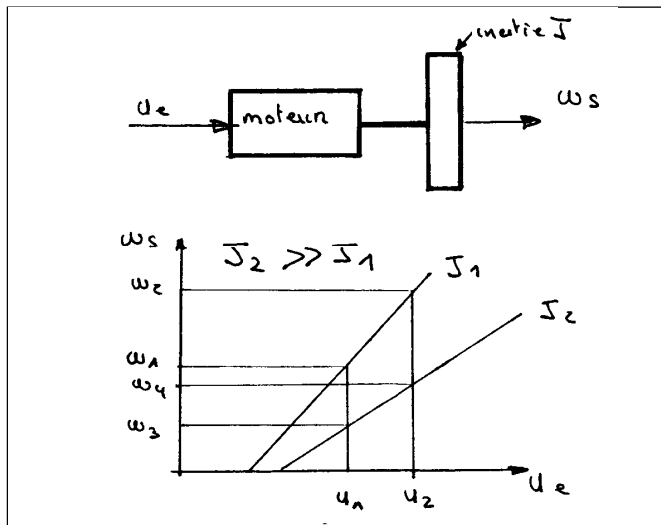


fig 30

➤ Réponse à une variation de tension de type échelon:

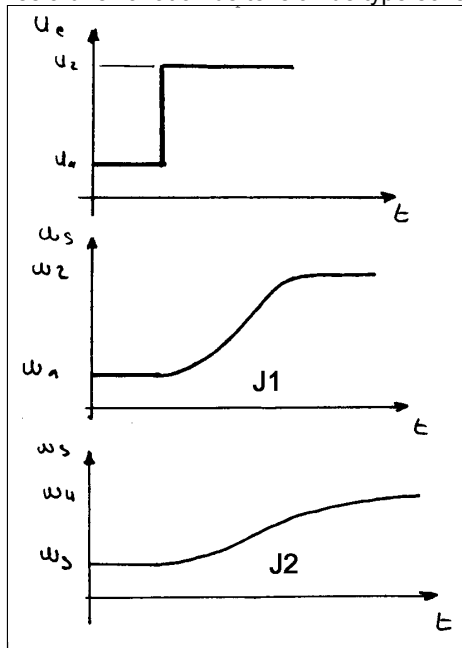


fig 31

avec J2:

- l'écart est moins important
- la pente est moins importante
- le temps de réponse est plus important

6.5 CONCLUSIONS

Il est nécessaire de prévoir des régulateurs adaptés à chaque procédé car ceux-ci ont leur propre réponse à une sollicitation.

l'adaptation se fait par les correcteurs P.I.D.

7 LES PARAMÈTRES INFLUENÇANT LES PERFORMANCES.

7.1 LES CORRECTEURS P.I.D

7.1.1 Action proportionnelle.

7.1.1.1 Généralités

La majorité des instruments (transmetteur, convertisseur,...) ont leur entrée E et leur sortie S qui varient dans un rapport K constant.

$$\frac{S}{E} = K \quad \text{soit} \quad S = K \times E$$

Cette relation traduit la fonction proportionnelle, K est le facteur de proportionnalité dont l'unité dépend de celles de E et de S.

Exemple:

Soit un transmetteur de pression:

- Echelle d'entrée: 0 à 5 bars.
- Echelle de sortie: 0 à 10 Volts.
- $K = 10/5$ Volts par bar d'où $K = 2$ Volts/bar.
- La sortie s'exprime par la relation: $S = 2.E$.

Dans le cas d'un régulateur, le facteur K est appelé gain Gr du fait que les signaux d'entrée E et de sortie S s'expriment dans les mêmes unités ou en pourcentage.

La représentation graphique de la fonction proportionnelle peut s'effectuer de deux façons:

- la représentation de la sortie S d'un instrument en fonction de son entrée E.

La figure 32 représente la courbe théorique du transmetteur de l'exemple précédent.

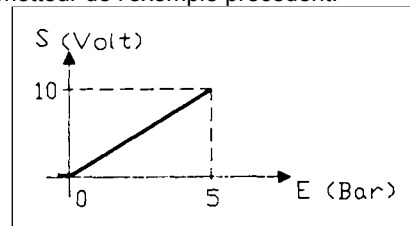


fig 32

- la représentation de l'entrée et de la sortie en fonction du temps.
 - Si on soumet l'entrée d'un instrument du type proportionnel à un signal E qui évolue en fonction du temps, la variation de sortie ΔS est à chaque instant égale à la variation d'entrée ΔE multipliée par le gain G.

La figure 33 montre la réponse d'un instrument du type proportionnel de gain $G = 2$

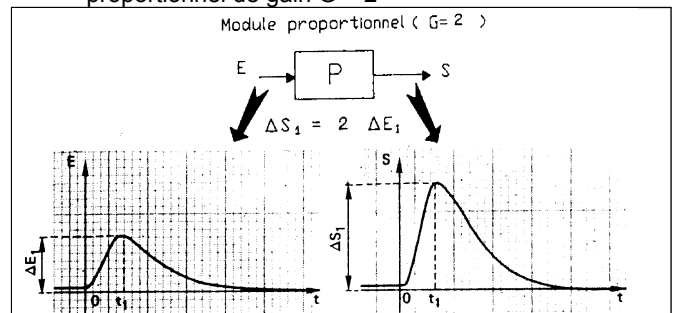


fig 33

7.1.1.2 Régulateur à action proportionnelle.

Equation

L'entrée du bloc proportionnel reçoit l'écart mesure-consigne

$$x = M - C$$

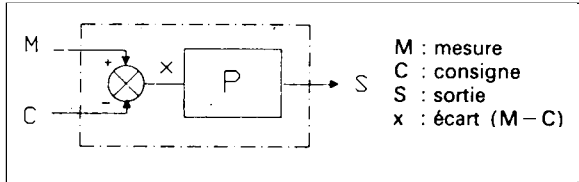


fig 34

La sortie S d'un régulateur de sens direct est donnée par la relation:

$$S = Gr (M - C) + S_0'$$

- Gr: gain du régulateur.
- S_0' = Constante réglable ou préfixée généralement à 50 % du signal de sortie.
 - S_0' correspond à la sortie du régulateur en automatique pour $M = C$.
 - Ce terme s'appelle intégrale manuelle ou centrage de bande.

Bande proportionnelle

L'action proportionnelle d'un régulateur s'exprime soit par le gain Gr soit par la bande proportionnelle BP.

Cette dernière est définie comme la variation, en pourcentage, de l'entrée du régulateur nécessaire pour que la sortie varie de 100 %.

La relation entre le gain Gr et la bande proportionnelle BP exprimée en % est:

$$BP = \frac{100}{Gr}$$

Le tableau donne la correspondance entre G, et BP %.

Gr	0	0,2	0,4	0,5	0,8	1	1,2	1,4	1,8	2	2,5	3	4	5	infini
BP%	infini	500	250	200	125	100	83,3	71,4	55,5	50	40	33,3	25	20	0

Symboles de l'action proportionnelle

Les symboles utilisés par les constructeurs pour repérer l'action proportionnelle

- Pour le gain: G, K, **Kp**, ...
- Pour la bande proportionnelle: BP, PB, XP %, P %, ...
- Lorsque S_0' est réglable, les symboles utilisés sont: MR, CB...

Réponse à un échelon

La figure 35 représente la réponse d'un régulateur P à un échelon.

Les conditions initiales sont: $M = C$ et $S = S_0'$

A l'instant t_0 un échelon d'amplitude a, est effectué sur l'entrée mesure.

La sortie du régulateur varie suivant un échelon d'amplitude $Gr \cdot a$.

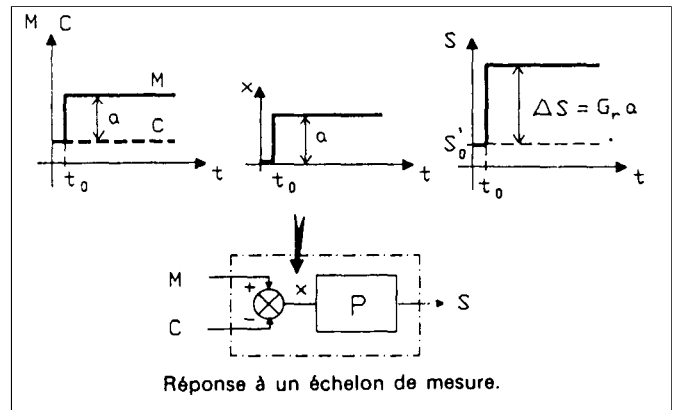


fig 35

Cette réponse montre que pour diminuer l'action proportionnelle, il faut diminuer Gr ou augmenter BP %.

Réponse à une rampe

La figure 36 représente la réponse d'un régulateur P à une rampe.

Les conditions initiales sont $M = C$ et $S = S_0'$.

A l'instant t_0 une rampe de pente a, est effectuée sur l'entrée mesure.

La sortie du régulateur varie suivant une rampe de pente égale à $Gr \cdot a$.

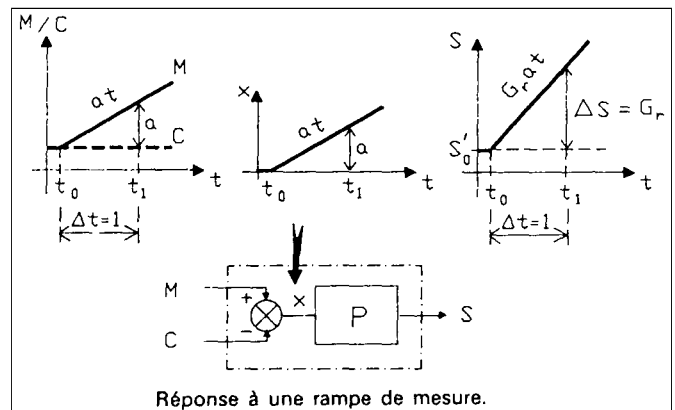


fig 36

7.1.2 Action intégrale

7.1.2.1 Notions pratiques d'intégrale

Considérons une fonction du temps $y = f(t)$, représentée par la courbe figure 37.

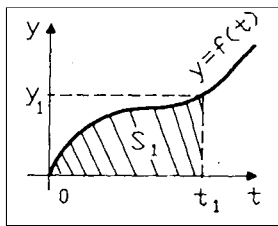


fig 37

Entre les temps 0 et t_1 la surface S_1 , délimitée par la courbe et l'axe des temps, représente l'intégrale.

Intégrale de y entre 0 et t_1 = surface S_1

Retenons que la représentation de l'intégrale est essentiellement une surface.

Considérons un intervalle de temps infiniment petit dt (fig38).

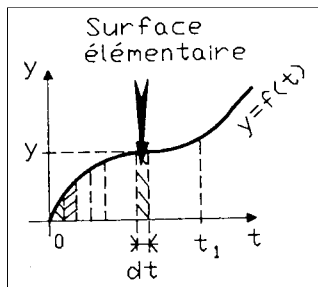


fig 38

On peut écrire:

Surface S_1 = Somme des surfaces élémentaires $y \cdot dt$.

Ou $S_1 = \int y dt$

\int est le symbole de l'intégrale. Il représente la première lettre de somme

d où: Intégrale de y s'écrit: $\int y \cdot dt$

7.1.2.2 Réponse d'un correcteur intégrateur

La sortie S d'un intégrateur est proportionnelle à l'intégrale de l'entrée.

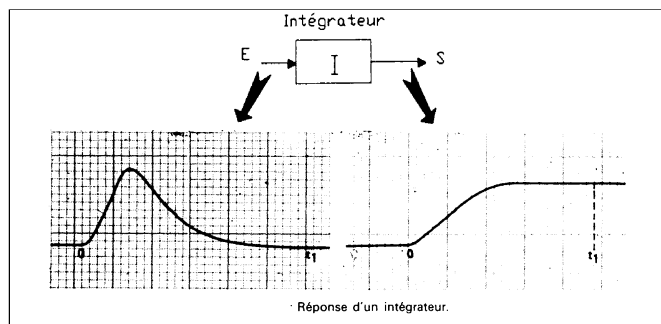


fig 39

Dans le cas de la figure 39, le signal d'entrée E est tel que la surface augmente continuellement jusqu'au temps t_1 .

La sortie représentant cette surface augmente également jusqu'au temps t_1 .

A partir de t_1 , la surface ne varie plus, la sortie est constante (effet de mémoire).

Réponse à un échelon

Dans le cas d'un signal échelon, la surface augmente proportionnellement avec le temps.

Un tel signal E à l'entrée d'un intégrateur, produit une sortie S sous forme de rampe

Pour $E = a$ on a $S = a \cdot t$

ce qui se traduit par: $\int a \cdot dt = a \cdot t$

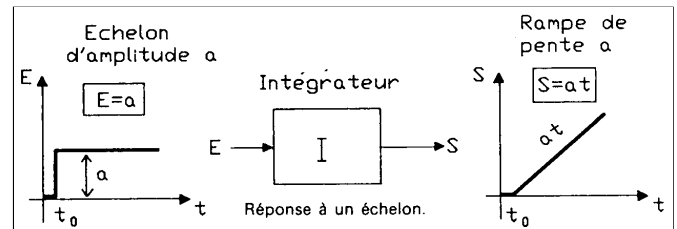


fig 40

Dosage de l'action intégrale

La sortie d'un intégrateur est proportionnelle à l'intégrale de l'entrée. En appelant K_i (n) le coefficient réglable de proportionnalité on a:

$$S = K_i \int E dt$$

Dans le cas d'une entrée échelon d'amplitude a , on obtient $S = K_i \cdot a \cdot t$

- Les grandeurs S et a sont représentées par les mêmes unités donc:

K_i est l'inverse d'un temps (l/mn ou l/s)

- K_i exprime également le nombre de fois que la sortie répète l'entrée dans l'unité de temps (mn, s).
 - La figure 41 montre que pour $t = 1$ on obtient $S = K_i \cdot a$

K_i est le nombre de répétitions par unité de temps (tr/s)

- Le dosage de l'intégrale est également exprimé par le temps T_i qui représente le temps nécessaire pour que la variation de sortie soit égale à celle de l'entrée.

T_i : temps (mn ou s)

La relation entre T_i et K_i est: $T_i = 1/K_i$

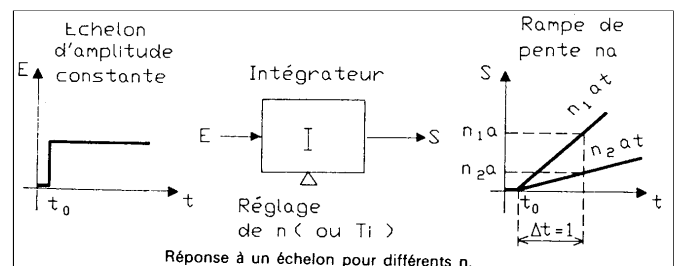


fig 41

7.1.3 Action dérivée

7.1.3.1 Notion pratique de dérivée.

La figure 42, représente la fonction $y = f(t)$.

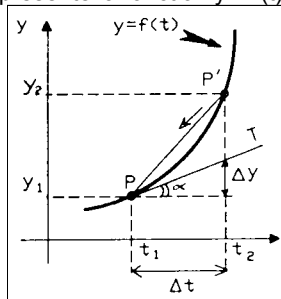


fig 42

Considérons les points P et P' de cette courbe et faisons tendre P' vers P.

Quand P' se confond avec P, la sécante PP' devient la tangente (tg) T au point P.

Cette tangente détermine un angle α avec l'axe des temps tel que:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta y}{\Delta t} \quad \text{ou} \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{dy}{dt}$$

d désigne un intervalle infiniment petit.

- Par définition la dérivée au point P est la pente de la tangente T.

Dérivée au point P = $\operatorname{tg} \alpha$ = pente de T au point P

Symbole de la dérivée: $\frac{d}{dt}$

- Valeurs particulières:

Pour $\alpha = 0^\circ$ on a $\operatorname{tg} \alpha = 0$ soit une dérivée nulle.

Pour $\alpha = 90^\circ$ on a $\operatorname{tg} \alpha = \infty$ soit une dérivée infinie.

- Retenons essentiellement que l'image de la dérivée en différents points d'une courbe est donnée par la tangente en ces points (fig 43)
- Elle exprime aussi une vitesse de variation.

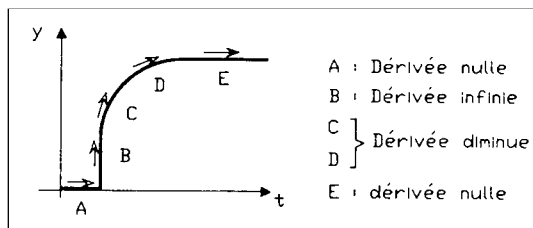


fig 43

7.1.3.2 Réponse d'un correcteur dérivateur.

La sortie d'un dérivateur est proportionnelle à la dérivée de l'entrée.

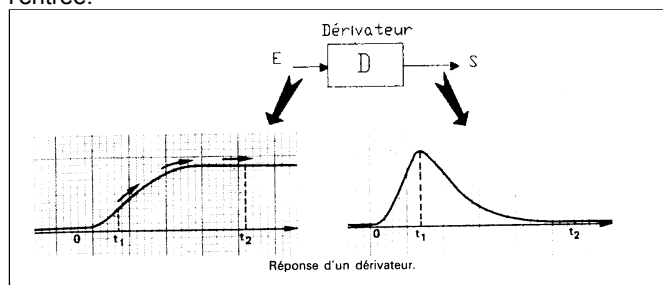


fig 44

Dans le cas de la figure 44 le signal d'entrée E est tel que la tangente est nulle à l'origine, puis augmente pour redevenir nulle au temps t_2 .

Le signal de sortie qui représente la dérivée du signal d'entrée, part d'une valeur nulle, passe par une valeur maximum (au temps t_1), puis redevient nul au temps t_2 .

En comparant la figure 44 avec la réponse de l'intégrateur de la figure 39 on constate que les allures des signaux d'entrée et sortie sont inversées, ce qui montre, pratiquement, que l'intégrale et la dérivée sont des fonctions inverses.

Réponse à une rampe

Dans le cas d'une entrée rampe, la pente de la tangente ne varie pas. La sortie du dérivateur, après une variation d'amplitude a, reste constante (fig. 45)

Donc pour: $E = a \cdot t$ on a: $S = a$

D'où $\frac{d(a \cdot t)}{dt} = a$

Ce qui se traduit par: la dérivée d'une rampe est un échelon.

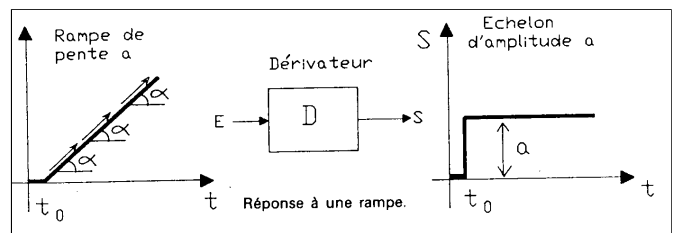


fig 45

Dosage de l'action dérivée

La sortie d'un dérivateur est proportionnelle à la dérivée de l'entrée E.

En appelant K_d le coefficient de proportionnalité:

$$S = K_d \cdot \frac{dE}{dt}$$

Dans le cas d'une entrée rampe de pente a, la sortie est $S = K_d \cdot a$

a représente une vitesse (mA/s,...).

S représente une amplitude (mA,...).

K_d représente donc un temps.

K_d s'exprime en unité de temps (mn, s)

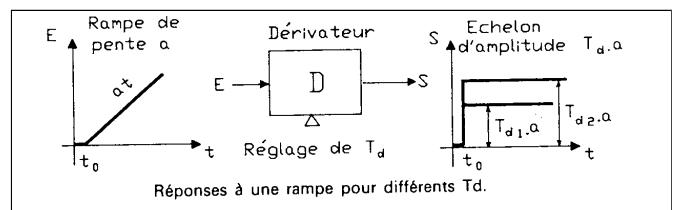


fig 46

7.2 APPROCHE INTUITIVE DU FONCTIONNEMENT DES CORRECTEURS P.I.D

7.2.1 Asservissement en position d'un chariot

7.2.1.1 Mise en situation

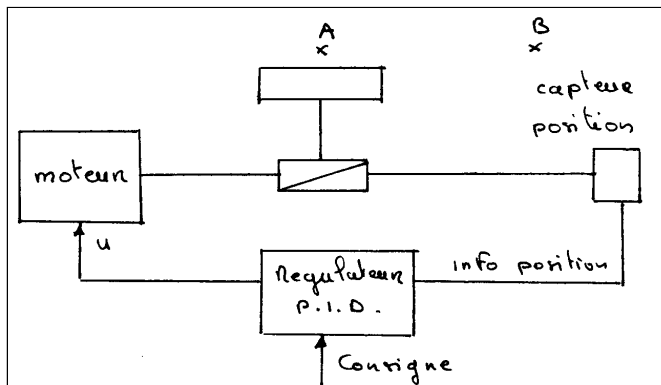


fig 47

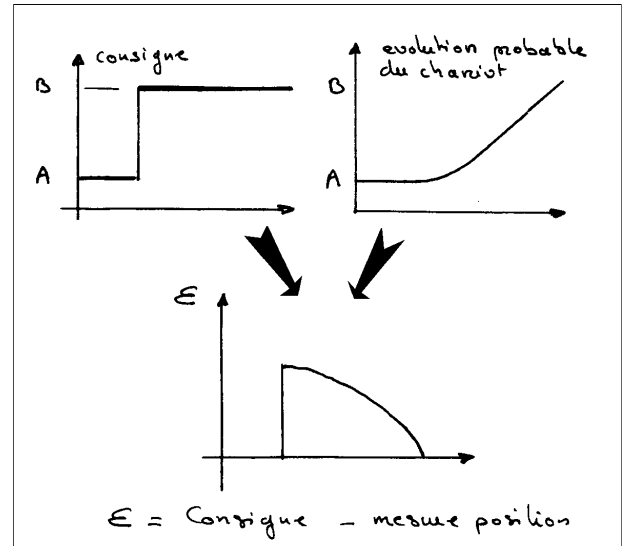


fig 50

7.2.1.2 Schéma-bloc

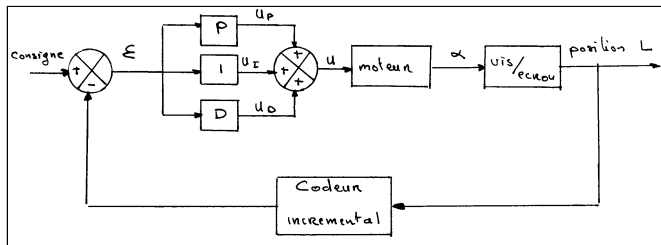


fig 48

Rappel: $U = U_p + U_i + U_d = K_p \epsilon + K_i \int \epsilon dt + K_d \frac{d\epsilon}{dt}$

7.2.1.3 Réponse du système en boucle ouverte

Ce système est un procédé instable.

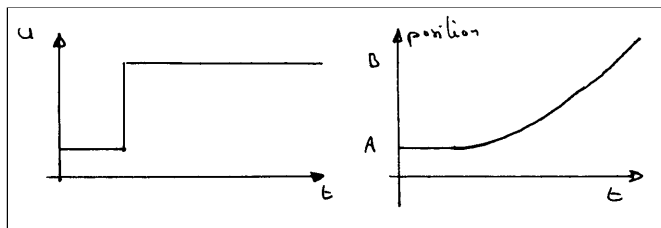


fig 49

7.2.1.4 Réponse du système en boucle fermée suite à une variation de consigne

(ou approche d'une approche)

IL s'agit d'évaluer la réponse à une **variation de consigne** demandant le déplacement du point A vers le point B.

tension fournie par le correcteur proportionnel

$$U_p = K_p \cdot \epsilon$$

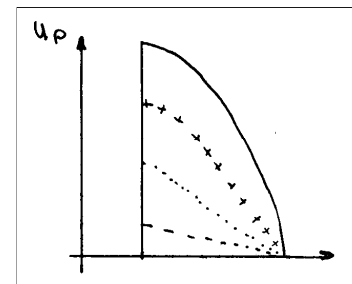


fig 51

Différentes courbes pour différents K_p .

Remarque:

Lorsque le moteur approche de la position finale B, il est de moins en moins alimenté et ne peut pas atteindre cette position B.

tension fournie par le correcteur intégrateur

$$U_i = \int \epsilon dt$$

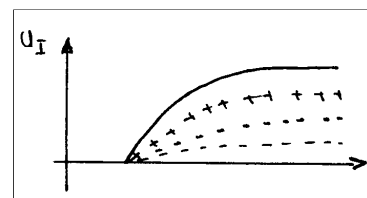


fig 52

Différentes courbes pour différents K_i .

Remarque:

Lorsque le moteur approche de la position finale B, le moteur est alimenté par U_i qui prend le relais de U_p .

Si K_i est trop important le moteur sera alimenté en fin de parcours et va dépasser la position B.

si K_i est trop faible, il n'aura pas d'effet.

tension fournie par le correcteur dérivateur

$$U_d = K_d \cdot \frac{d\epsilon}{dt}$$

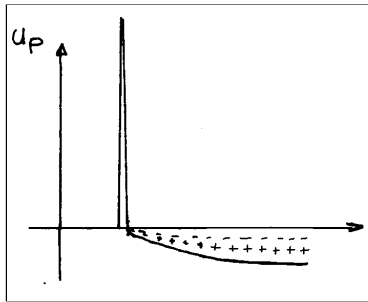


fig 53

Différentes courbes pour différents K_d .

Remarque:

Le correcteur fournit une tension supplémentaire en début de mouvement. Cette tension sert de "coup de pouce" au début de mouvement pour vaincre l'inertie. Elle permet de compenser les temps morts du procédé.

Le correcteur enlève une tension en fin de mouvement et son action s'oppose alors à l'action du correcteur intégrateur.

Il faut trouver un réglage de compromis entre les deux effets.

tension fournie au moteur

$$U_p = U_p + U_i + U_d \quad \text{obtenue par addition graphique}$$

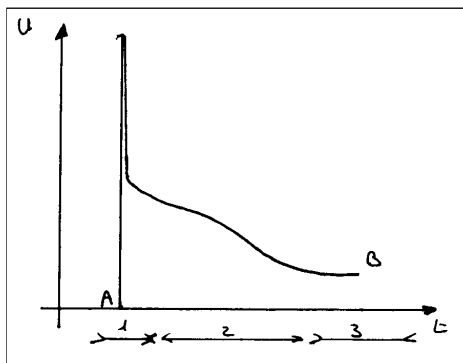


fig 54

Zone 1: l'action dérivée est prédominante

Zone 2: l'action proportionnelle est prédominante

Zone 3: l'action intégrale est prédominante

Remarque 1:

Au point B, la tension n'est pas négligeable, le moteur va donc dépasser ce point B. La suite du mouvement est trop difficile à appréhender avec cette méthode.

Remarque 2:

Les paramètres K_p , K_i , K_d étant réglables le signal de sortie U peut prendre toutes les formes possibles.

7.2.1.5 Réponse du système en boucle fermée suite à une perturbation

Nous avons vu en 6.4.1 fig30 qu'un moteur à courant continu nécessite une tension de seuil pour commencer son mouvement.

Etude de cas:

le chariot suite à un choc mécanique se déplace légèrement (fig55).

Le système à une tension de seuil de 2 volts.

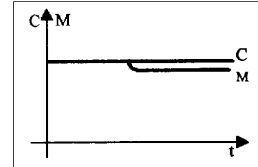


fig 55

f

Erreur mesurée

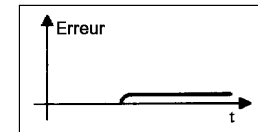


fig 56

On remarque que l'erreur $\epsilon = C - M$ est faible et constante.

Correction proportionnelle

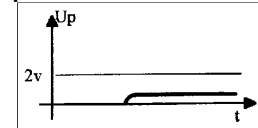


fig 57

U_p n'agit pas car elle n'atteint pas la valeur de seuil de 2V

Correction dérivée

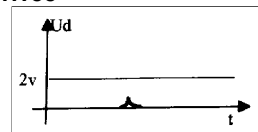


fig 58

U_d n'agit pas car elle n'atteint pas la valeur de seuil de 2V

Correction intégrale

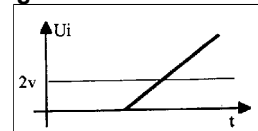


fig 59

U_i qui ne cesse de croître, sera la seule tension à pouvoir apporter la correction nécessaire.

Remarque:

Dans le cas d'un fonctionnement en régulation (consigne constante ou variant par palier) la correction intégrale s'avère indispensable.

7.2.2 Conclusions

Les paramètres K_p , K_i , K_d étant réglables le signal de sortie U peut prendre toutes les formes possibles.

Dans le cas d'un fonctionnement en régulation (consigne constante ou variant par palier) la correction intégrale s'avère indispensable.

La technique de détermination de ces coefficients est l'objet de l'annexe: **Méthode de réglage**

8 RÉALISATION TECHNIQUE DES RÉGULATEURS.

8.1 CONSTITUTION GÉNÉRALE

La figure 60 montre la constitution interne d'un régulateur. Quelle que soit la technologie, on distingue :

Les signaux:

- 1: Entrée mesure: ce signal issu du transmetteur, représente la grandeur à régler.
- 2: Consigne externe: provient d'un instrument extérieur.
- 3: Sortie: signal de commande de l'organe de réglage (vanne...)

Les blocs:

- 4: Générateur de consigne.
- 5: Module PID: en automatique, la sortie de ce bloc est celle du régulateur. La position automatique correspond au fonctionnement normal du régulateur.
- 6: Limiteur de sortie: limite le signal de sortie en position automatique à des valeurs haute et basse préfixées.
- 7: Commande manuelle: Générateur de sortie manuelle.
- 8: Détecteur d'écart entre la mesure et la consigne.

Les réglages:

- 9: Réglage de consigne interne.
- 10: Réglage des actions P, I et D.
- 11: Réglage des limites haute et basse.
- 12: Réglage de la sortie du régulateur en position manuelle.

Les sélecteurs:

- 13: Sélecteur de consigne interne ou consigne externe.
- 14: Sélecteur du sens d'action du régulateur.
- 15: Sélecteur de fonctionnement automatique ou manuel.

Les indicateurs:

- 16: Indicateur de consigne.
- 17: Indicateur de mesure.
- 18: Indicateur d'écart Mesure--Consigne.
- 19: Indicateur de sortie.

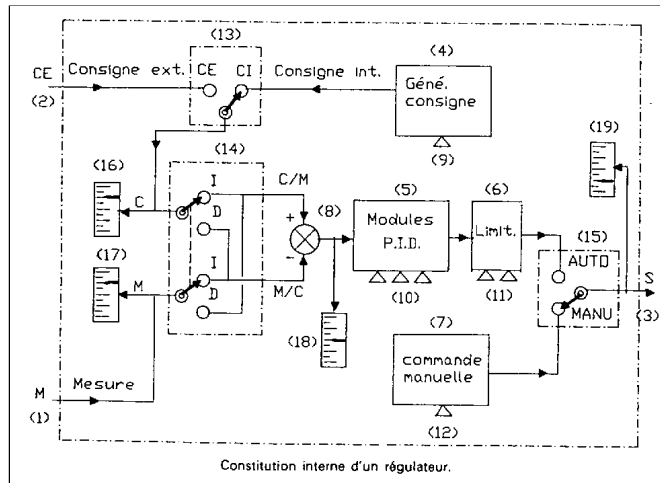


fig 60

8.2 RÉGULATEUR ÉLECTRONIQUE

Ces régulateurs utilisent une électronique analogique, à base d'amplificateurs opérationnels.

ils cèdent le pas à la technologie numérique, mais sont encore nombreux dans l'industrie.

8.2.1 Présentation d'un régulateur électronique

La figure 61 montre un exemple de réalisation où apparaissent les différents indicateurs, sélecteurs, et points de réglage correspondant au schéma de principe de la figure 60

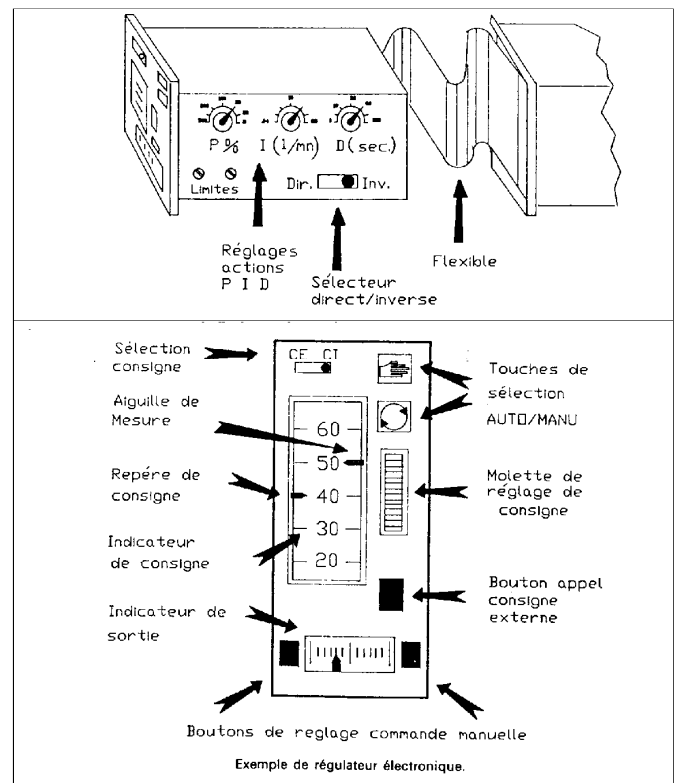


fig 61

8.2.2 Principe de réalisation

Ces régulateurs utilisent une électronique analogique, à base d'amplificateurs opérationnels.

8.2.2.1 Le comparateur

Réalisé par un montage soustracteur.
R1R4=R2R3

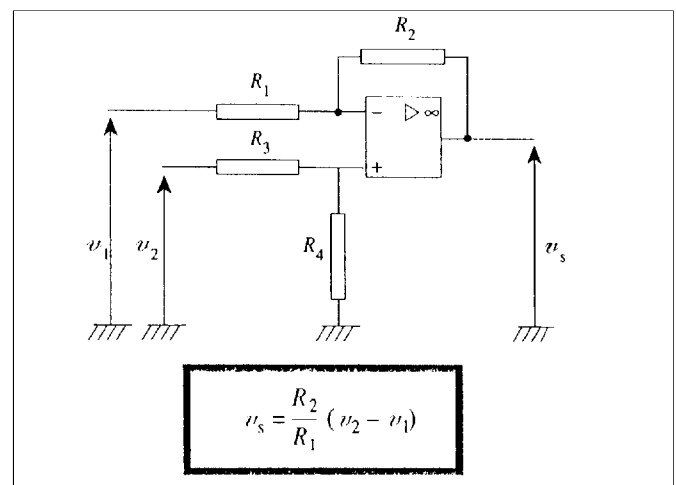


fig 62

8.2.2.2 Le correcteur proportionnel réalisé par un montage suiveur inverseur

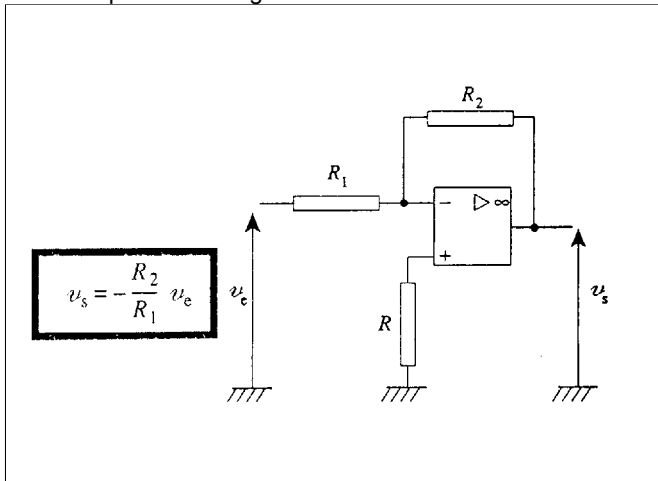


fig 63

8.2.2.5 Le correcteur PID Réalisé par une combinaison des 3 circuits précédents

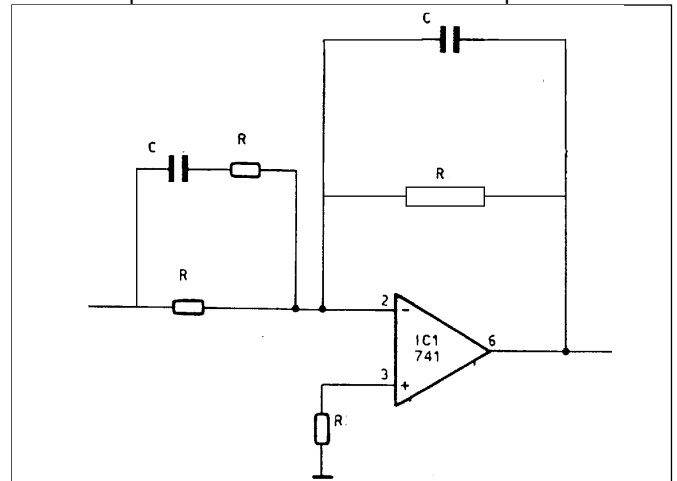


fig 66

8.2.2.3 Le correcteur dérivé Réalisé par un montage dérivateur.

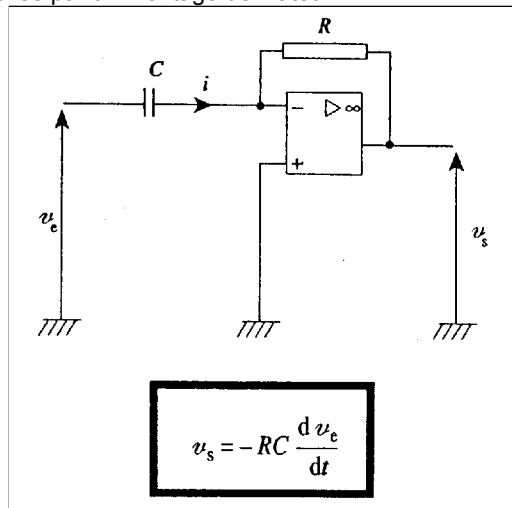


fig 64

8.2.2.4 Le correcteur intégrateur Réalisé par un montage intégrateur

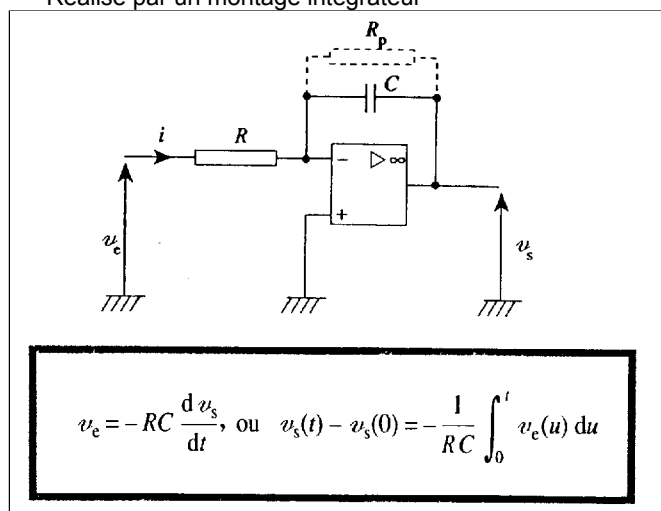


fig 65

8.3 RÉGULATEUR NUMÉRIQUE

8.3.1 Présentation d'un régulateur numérique

La différence fondamentale dans la présentation de ces régulateurs est un clavier opérateur, intégré ou indépendant (microconsole), permettant d'émettre ou de recevoir des données (fig 67).

Les régulateurs numériques se rencontrent sous différentes formes; de la plus simple, voisine de celle d'un régulateur analogique jusqu'à celle d'un régulateur multiboucle programmable.

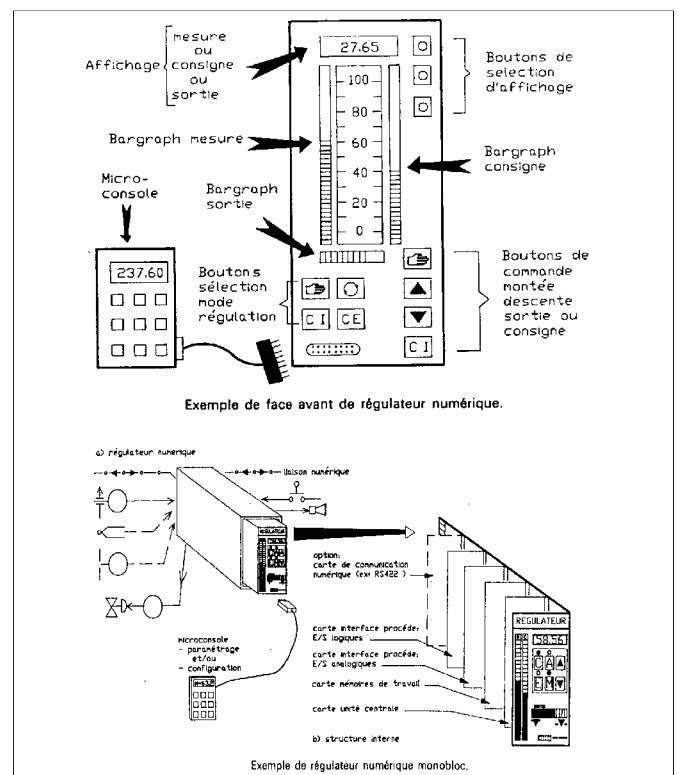


fig 67

La technologie numérique permet avec une grande souplesse, une extension des possibilités du régulateur.

Citons:

- Possibilité d'avoir plusieurs entrées.
- Traitement du signal d'entrée (extraction de racine carrée, filtrage, ...).
- Mise à l'échelle (valeur et format) des indicateurs.
- Choix du type d'alarme, soit sur la mesure, soit sur l'écart.
- Affichage précis des données
- Choix du mode de dérivée (soit sur la mesure, soit sur l'écart.)

Une liaison numérique permet de relier et de faire communiquer le régulateur avec d'autres instruments tels que: superviseur, calculateur ou autres régulateurs .

La technologie numérique permet, dans certains cas, au régulateur de calculer lui-même, les actions à afficher:

- Les régulateurs auto-adaptifs qui calculent et ajustent en permanence les paramètres de leur algorithme (PID ou autres) en fonction de l'évolution du procédé.

8.3.2 structure d'un régulateur numérique

8.3.2.1 structure du traitement numérique

La figure 68 permet de comparer la structure de traitement des signaux d'un régulateur analogique et d'un régulateur numérique.

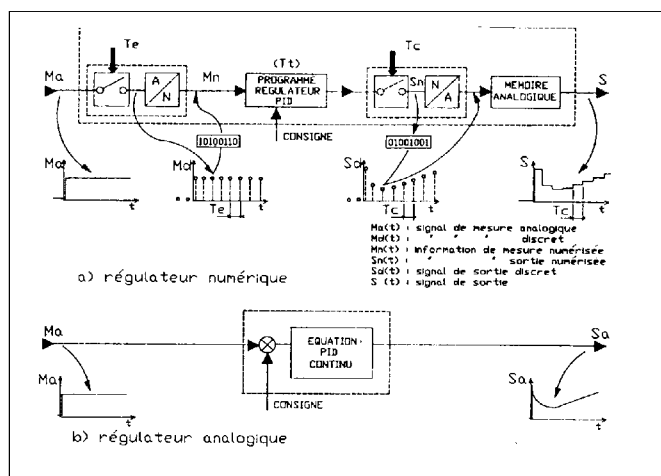


fig 68

La procédure du traitement numérique qui est celle d'un système temps réel, est la suivante:

- Après conversion analogique numérique, les valeurs numériques M_n servent au calcul répétitif du signal de sortie.
- Ce calcul est réalisé par un algorithme PID programmé.
- Les valeurs numériques de sortie S_n , résultats du calcul, sont traduites en valeurs discrètes S_d à l'aide d'un convertisseur numérique analogique CNA. Le régulateur doit commander un organe de réglage qui exige un signal continu, les valeurs discrètes S_d sont donc traitées par une mémoire analogique. Cette mémoire permet le maintien de la dernière valeur discrète pendant la période T_c , afin d'éviter le

retour à 0 de l'organe de réglage; il résulte alors un signal de sortie S en escalier pratiquement assimilable au signal analogique S_a .

- L'échantillonnage du signal d'entrée et la réactualisation du signal de sortie ne s'effectuent pas de façon synchrone; ils sont décalés au minimum d'un temps qui résulte du temps de conversion du CAN, ainsi que du temps d'exécution T , du programme du régulateur numérique (alarmes, calcul de l'écart calcul PID, ...).

8.3.2.2 Structure logicielle

Le logiciel permet suivant le cas:

- De configurer un système.
- De programmer un système.
- De configurer et programmer un système.
- Le logiciel peut être également figé (programme non modifiable), ce qui est le cas de nombreux régulateurs numériques monoblocs.

Configuration

Un système est dit configurable lorsque les différentes fonctions (régulation, calcul, ...) sont présentes sous forme de blocs logiciels stockés en mémoire morte.

L'ensemble des fonctions préprogrammées constitue une bibliothèque de blocs (fig 69).

Notons que chaque fonction est présente unitairement en mémoire morte.

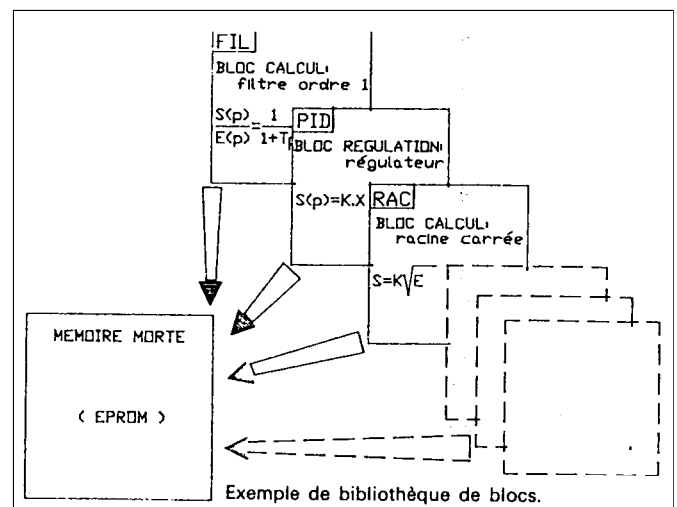


fig 69

A l'aide d'instructions spécifiques, on peut réaliser les opérations suivantes:

- Dupliquer n fois un bloc, en mémoire vive (fig70a).
- Fixer les paramètres de chaque bloc (fig70b).
- Relier la sortie d'un bloc à une ou plusieurs entrées d'autres blocs (SOFTWARE WIRING) (fig70c).

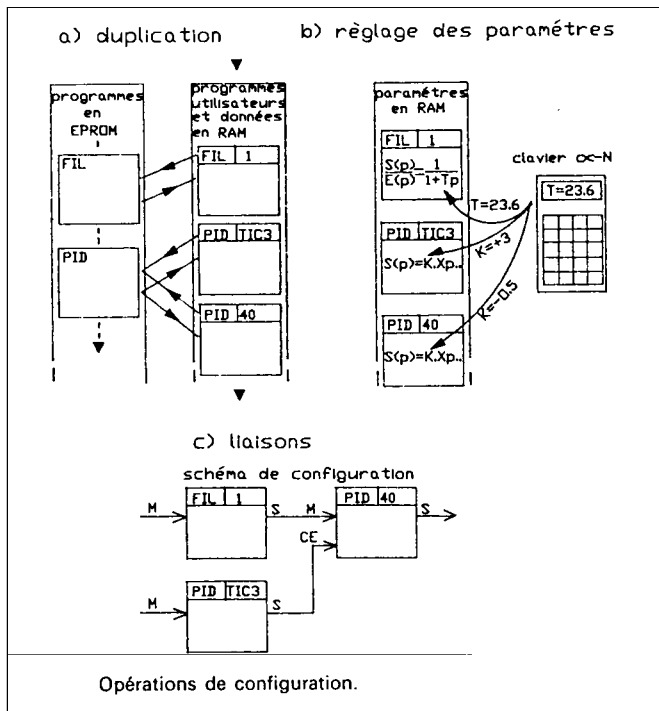


fig 70

La configuration permet de créer ou de modifier les boucles de régulation. **La mise en oeuvre d'une configuration est plus simple que l'utilisation d'un langage de programmation, mais est limitée aux fonctions existantes en bibliothèque.** La sauvegarde de tous les éléments d'une configuration est possible en mémoire de masse.

Programmation

Un système est dit programmable lorsque l'on crée des fonctions grâce à un langage évolué, ce qui nécessite de la part de l'utilisateur la connaissance du langage, de la structure logique du système et dans certains cas de la mise en oeuvre d'expressions mathématiques telles que des équations récurrentes.

La programmation permet de créer des algorithmes adaptés à une application particulière quelle que soit sa complexité. Comme pour la configuration, la sauvegarde de la programmation est possible en mémoire de masse.

8.3.3 Choix de la période de scrutation.

Les trois principaux paramètres qui interviennent sur la régulation par systèmes numériques sont :

- T_e : période d'échantillonnage déterminé par l'horloge temps réel (généralement fixe).
- T_c : temps de cycle (fixe ou modifiable).
- T_t : temps d'exécution d'un programme (exemple : algorithme régulateur).

Choix de T_c : (temps de cycle ou de scrutation sur une entrée)

l'étude suivante est menée dans le cas le plus complet d'une unité centrale menant plusieurs régulations en même temps.

en fonction du signal :

La période T_c doit être telle que le signal, exploité par le programme du calculateur, se rapproche le plus possible du signal analogique. La figure 71 montre des valeurs de T_c correctes ($T_c = T_e$) et incorrectes ($T_c = 4 \cdot T_e$).

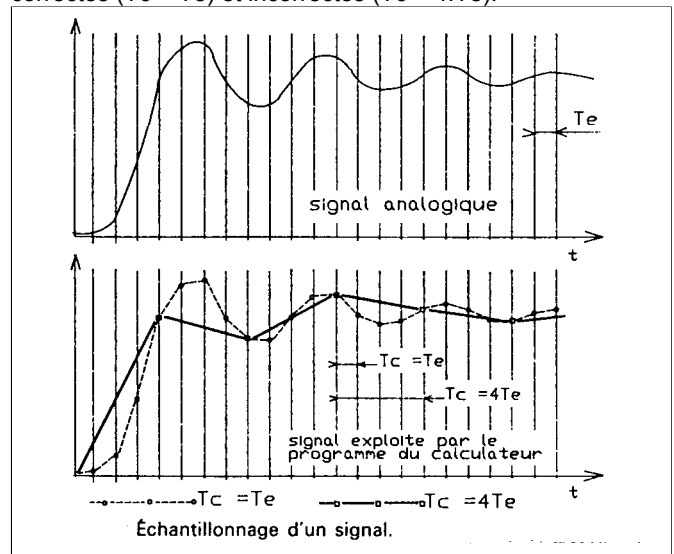


fig 71

Le choix T_c est dicté par le type de mesure à régler (évolution lente ou rapide).

Si la mesure varie rapidement, il faut un temps T_c faible, cette remarque montre que T_c doit être adapté au signal de mesure.

À titre d'indication, vérifier que la valeur de T_c est :

- inférieure à 500 ms pour une boucle rapide (ex. : débit),
- d'environ 5 s pour une boucle lente (ex. : température).

en fonction de l'unité centrale :

Il faut également vérifier que la valeur de T_c est adaptée à la charge de l'unité centrale.

La figure 8.27 montre le traitement séquentiel des blocs logiciels de régulation pour deux cas de figure : (1) $T_c = T_e$ et (2) $T_c = 2 \cdot T_e$.

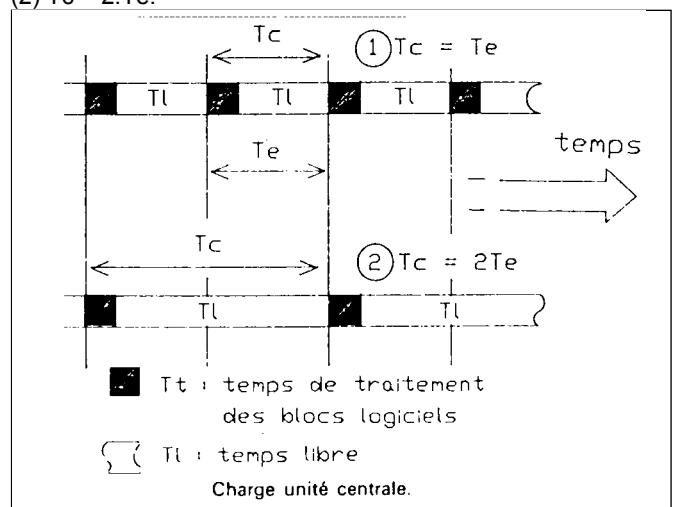


fig 72

Les temps de conversion analogique numérique et numérique analogique étant considérés comme négligeables par rapport au temps de traitement des blocs logiciels T , (ex.: 20 μ s) ne sont pas représentés.

En observant ce schéma, on constate que T_c doit être choisi le plus grand possible, ceci augmente le temps libre T_I et permet de diminuer la charge de l'unité centrale.

Conclusions sur T_c :

L'étude précédente montre que le choix de T_c est un compromis entre un T_c faible suivant la grandeur physique à régler et un T_c fort pour réduire la charge de l'unité centrale.

Dans le cas d'un régulateur assurant une seule régulation le temps de cycle doit être le plus réduit possible tout en permettant au calcul de se dérouler.

Temps de cycle > temps de calcul

8.3.4 Réalisation d'un programme PID.

```
begin
  initdrvad;
  setpolar('b');

initialisation des variables
  Kp:=0;Ki:=0;Kd:=0;
  erreurpre:=0; ecartder:=0; erreurprint:=0;

mesure:
initialisation du timer (50 ms).
  settimer(1,0,0,24);
  settimer(2,3,0,2458);
lecture de consigne
  lecons;
lecture du retour
  setchanel(1);
  retour1:=readad;
  retour:=(retour1)/409;
calcul de l'erreur
  erreur:=consigne-retour;
calcul de l'ordre proportionnel
  errpro:=Kp*erreur;
calcul de l'ordre dérivé
  errder:=Kd*(erreur-erreurpre);
  erreurpre:=erreur;
calcul de l'ordre intégral
  errint:=Ki*(erreurprint+erreur);
  erreurprint:=erreurprint+erreur;
calcul de l'ordre total
  ordre:=errpro+errder+errint;
mise en conformité de l'ordre total
  ordre1:=2048-(205*ordre);
  if ordre1>4095 then ordre1:=4095;
  if ordre1<0 then ordre1:=0;
  ordre2:=round(ordre1);
affectation de l'ordre total
  setda2(ordre2);
lecture de la fin de cycle sur le timer
  repeat until testbit(7)=0;
  goto mesure;

fin:
end.
```

8.3.5 Critique d'une régulation numérique.

Les avantages:

- L'avantage fondamental d'utiliser un système numérique pour la régulation des procédés industriels, réside dans le fait que les fonctions de régulation sont définies par configuration ou par programme. La structure de ces configurations, (algorithmes de commande) peut être modifiée facilement et rapidement pour améliorer la régulation, au fur et à mesure que la connaissance du procédé s'accroît.
- Les signaux numériques se prêtent bien aux calculs, sont peu sensibles aux bruits et faciles à mémoriser.
- Les calculs sont plus précis qu'en analogique, la précision ne se dégrade pas.
- L'intégration de fonctions analogiques en tant que logiciels a permis de réduire les coûts d'équipement et de câblage.
- L'intégration de nouvelles fonctions est possible par programmation.
- Les instruments numériques offrent une souplesse et une rapidité de réglage importantes.
- Les lignes de communications numériques permettent le transport d'un grand nombre de données à distance, ce qui rend possible la supervision centralisée.
- De nouvelles fonctions inexistantes en analogique sont aujourd'hui réalisables (ex.: PID auto-adaptatif).
- **De nouveaux types de régulation: les régulations par modèle interne de référence qui ont les avantages suivants par rapport au PID:**
 - **L'obtention de réponses sans dépassement en temps minimal.**
 - **La maîtrise de la trajectoire de la mesure que l'on peut accélérer en fonctionnement normal ou ralentir lors des périodes de démarrage automatique.**

Les inconvénients:

- La mise en oeuvre nécessite de nouvelles compétences pour l'utilisateur.
- Dans la mise au point des boucles de régulation numériques, il faut tenir compte de nouveaux paramètres tels que les temps T_e et T_c .

9 REPRÉSENTATION GRAPHIQUE DE LA RÉPONSE D'UN PROCÉDÉ SUITE À UNE ÉTUDE HARMONIQUE.

9.1 GÉNÉRALITÉS

On appelle étude harmonique la sollicitation d'un procédé par une entrée de type sinusoïdale de fréquence variable.

La représentation graphique permet de mettre en évidence les points caractéristiques d'une réponse à une sollicitation sinusoïdale qui sont :

- Le rapport des amplitudes entre le signal de sortie et le signal d'entrée.
 - $A = \left| \frac{\text{signal de sortie}}{\text{signal d'entrée}} \right|$
- Le déphasage entre le signal de sortie et le signal d'entrée.

On peut réaliser cette étude harmonique pour une fonction de la chaîne d'asservissement ou pour l'ensemble de la chaîne.

Exemple: Asservissement de position d'un moteur.

Signal d'entrée: Consigne

signal de sortie: Valeur réelle de position

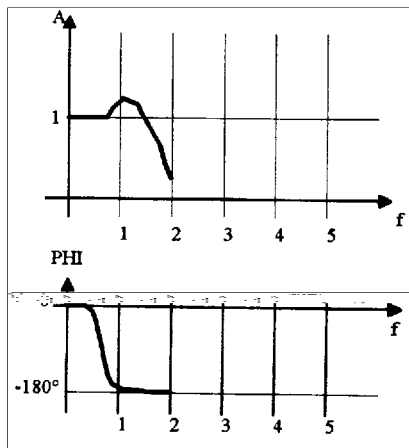


fig 73

9.2 PLAN DE BODE:

Une représentation habituelle de l'étude harmonique est le plan de BODE où les valeurs de fréquence et de gain sont exprimées en échelle logarithmique.

Le rapport d'amplitude exprimé en logarithme s'appelle le gain (dB).

Correspondance Rapport d'amplification/Gain:

Gain $G = 20 \log A$ (en dB)

G(dB)	-40	-20	-6	0	6	20	40
A	1/10	1/10	1/2	1	2	10	100
	0						

L'échelle logarithmique permet:

- un tassement de la représentation pour les hautes fréquences.
- une détermination plus aisée du gain total d'une chaîne
 - le gain total d'une chaîne est le produit des gains de chaque composant ce qui revient à faire une somme en échelle logarithmique.
 - $\log k_1 \cdot k_2 = \log k_1 + \log k_2$

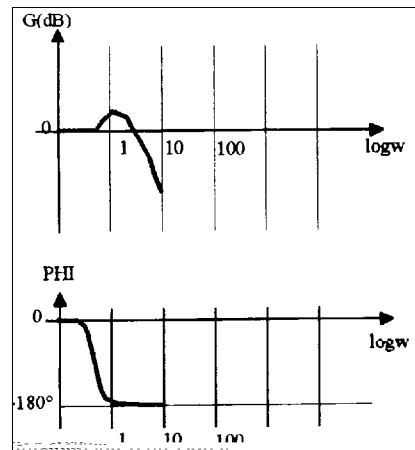


fig 74

9.3 RÉPONSES DES DIFFÉRENTS CORRECTEURS À UNE SOLICITATION SINUSOÏDALE.

9.3.1 Correcteur proportionnel

si le correcteur est un correcteur proportionnel pur:

- Le rapport d'amplification (qui est fonction de la valeur K_p) est constant quelle que soit la fréquence.
- Le déphasage est nul quelle que soit la fréquence

9.3.2 Correcteur dérivé

si le correcteur est un correcteur dérivé pur:

- Le rapport d'amplification est fonction de la valeur K_d .
- Le déphasage est en avance de 90°

Le correcteur dérivé est un correcteur à avance de phase.

Le correcteur dérivé se comporte comme un filtre passe-haut.

Exemple: Simupid $K_d=10$.

Fréquence	Rapport A	PHI
0,01	0	0
0,2	0,05	0
0,3	0,1	+90°
0,6	0,15	+90°
1,2	0,3	+90°
2,4	0,6	+90°
4,8	1,2	+90°

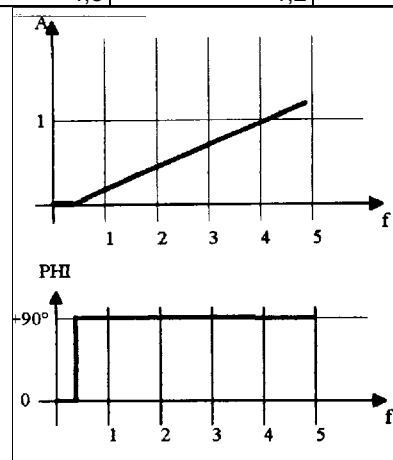


fig 75

9.3.3 Correcteur intégrateur

si le correcteur est un correcteur intégrateur pur:

- Le rapport d'amplification est fonction de la valeur K_i .
- Le déphasage est en retard de 90°

Le correcteur intégral est un correcteur à retard de phase.

Le correcteur intégrateur se comporte comme un filtre passe-bas

Exemple: Simupid $K_i=0,1$.

Fréquence	Rapport A	PHI
0,03	3,2	-90°
0,07	1,6	-90°
0,15	0,8	-90°
0,3	0,4	-90°
0,6	0,2	-90°
1,2	0,1	-90°
2,4	0	0
4,8	0	0

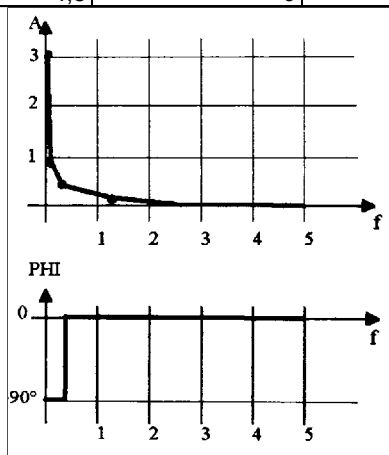


fig 76

9.3.4 Correcteur PID

Réponse en fréquence d'un correcteur PID pour un réglage donné ($K_p=0,6$, $K_i=0,013$, $K_d=4$).

on retrouve donc les caractéristiques combinées :

- intégrateur pour les basses fréquences.
- dérivateur pour les hautes fréquences
- uniquement proportionnel aux moyennes fréquences

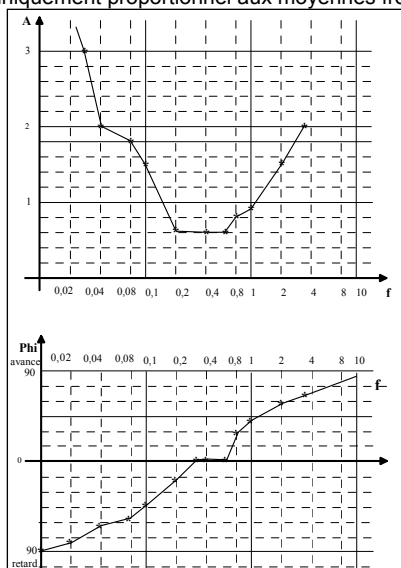


fig 77

9.4 CONCLUSIONS SUR L'ÉTUDE HARMONIQUE

L'étude harmonique d'un asservissement de position d'un moteur à courant continu résumé par les deux graphes fig78 et fig79 nous permet de tirer les conclusions suivantes:

Influences de K_d (fig78):

- K_d n'a pas d'influence à basse fréquence (Exemple: $F < 0,2\text{Hz}$), les différentes courbes sont confondues sauf lorsque $K_d=0$.

Ceci est justifié par la caractéristique du correcteur dérivateur (fig 75) qui est celle d'un filtre passe haut.

- K_d permet de retarder la fréquence où le retard apparaît.
- K_d augmente la bande de fréquence où A reste proche de 1.

Si on définit la bande passante utilisable comme la zone où A ne s'éloigne pas de $1 \pm 30\%$ (C'est le gain à 3Db).

Exemple: On passe de la bande $[0-0,15]$ à la bande $[0-0,8]$. La courbe $K_d=0$ étant exclue.

Influences de K_i (fig79):

- K_i n'a pas d'influence à haute fréquence (Exemple: $F > 0,8\text{Hz}$), les différentes courbes sont confondues.

Ceci est justifié par la caractéristique du correcteur intégrateur (fig 76) qui est celle d'un filtre passe bas.

- K_i permet un meilleur suivi de la consigne par le système donc une précision plus importante aux basses fréquences (Exemple: $F < 0,1$) car $\Phi=0$.
- Mais K_i est facteur d'instabilité aux moyennes fréquences (Exemple: $0,1 < f < 0,8$).
- Un K_i important diminue la bande passante à $\pm 30\%$.

Remarques globales:

- On remarque que le réglage d'un système régulateur n'est pas forcément le mieux adapté pour un système suiveur. Cela est fonction de la fréquence de travail.

- Sur un système suiveur il faut limiter autant que possible le K_i dès les moyennes fréquences.

Il peut être nul sur un système naturellement instable (ou intégrateur)

Il doit être faible sur un système naturellement stable.

Rappel: K_i est indispensable pour un fonctionnement en régulateur.

- Il pourrait être tentant de choisir un K_d très important sur un système suiveur mais il ne faut pas oublier que K_d amplifie les parasites.

● Réglage obtenu avec la méthode pour réglage en régulation

$K_p=0.6$ $K_d=4$ $K_i=0.013$

+ $K_p=0.6$ $K_d=0$ $K_i=0.013$

* $K_p=0.6$ $K_d=8$ $K_i=0.013$

□ $K_p=0.6$ $K_d=16$ $K_i=0.013$

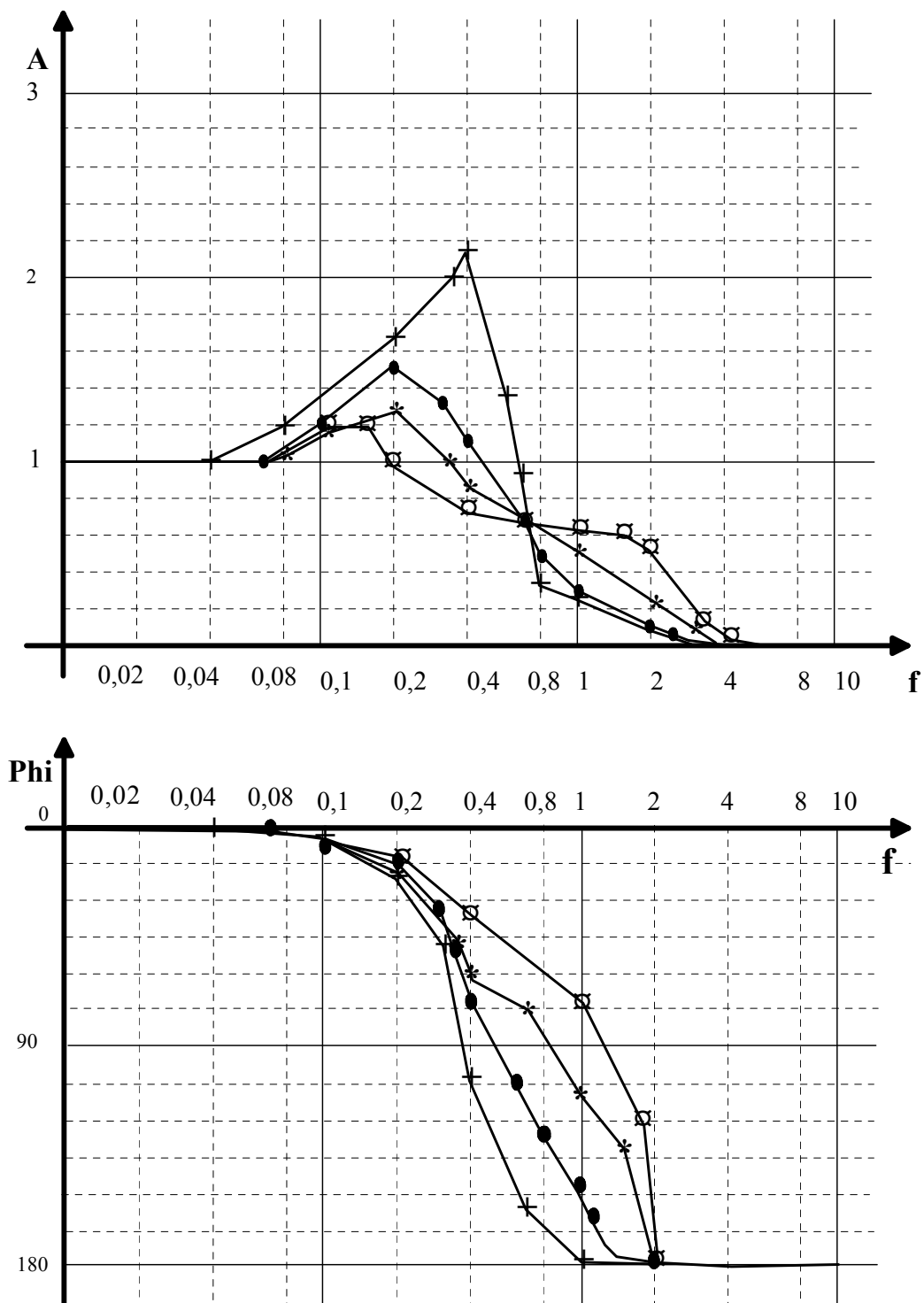


fig 78: Influence de K_d sur la réponse en fonction de la fréquence d'un système naturellement instable (ou intégrateur).
Asservissement de position d'un moteur CC (simupos).

- Réglage obtenu avec la méthode pour réglage en régulation
 $K_p=0.6 \quad K_d=4 \quad K_i=0.013$
- * $K_p=0.6 \quad K_d=4 \quad K_i=0.026$
- + $K_p=0.6 \quad K_d=4 \quad K_i=0$

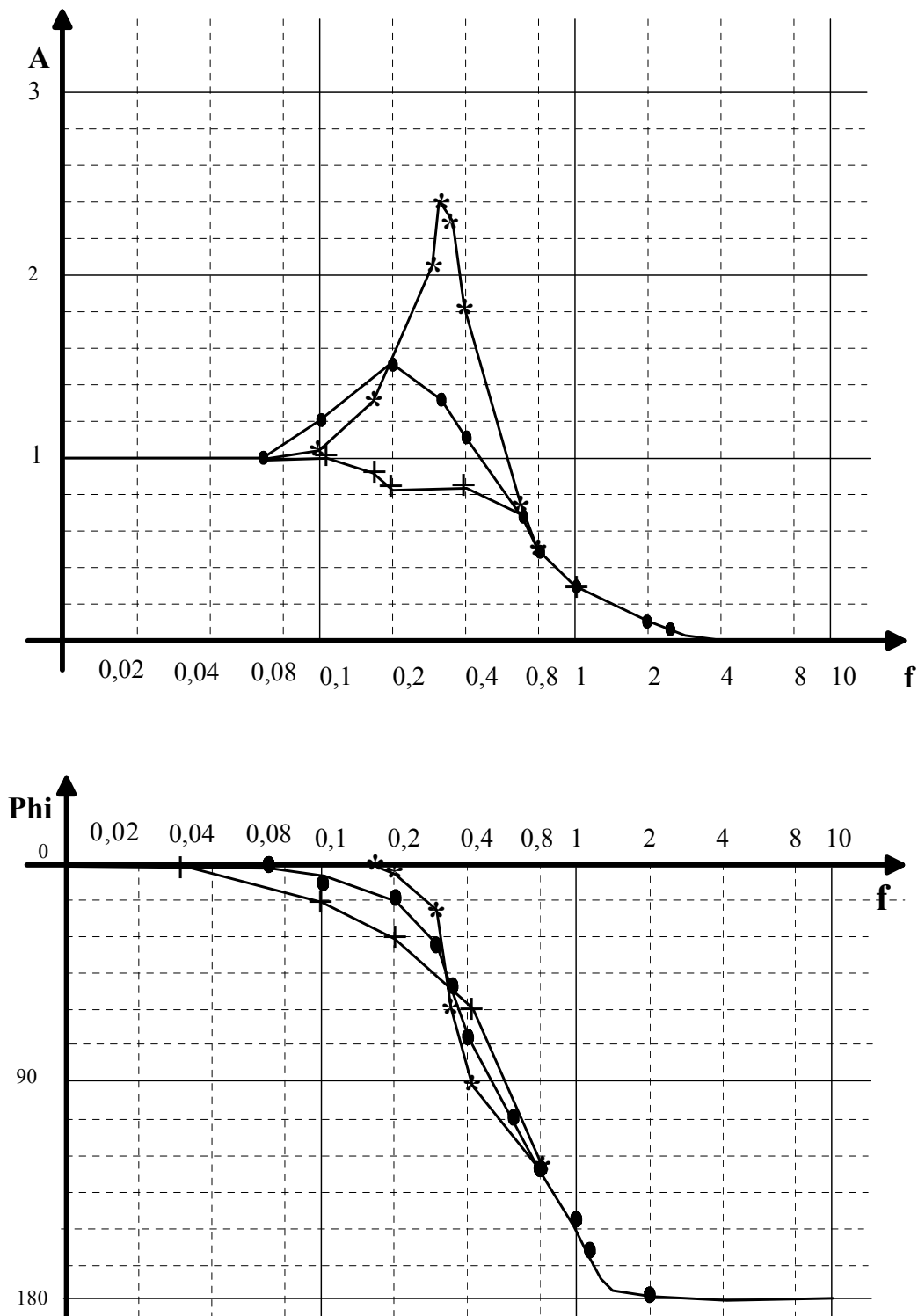


fig 79: Influence de K_i sur la réponse en fonction de la fréquence d'un système naturellement instable (ou intégrateur).
 Asservissement de position d'un moteur CC (simupos)

SOMMAIRE

1 Régulation manuelle .	page n°1
1.1 régulation manuelle de température d'un moteur en cellule d'essai.	
1.2 conclusions	
2 Régulation automatique.	page n°2
2.1 régulation automatique de température d'un moteur en cellule d'essai.	
3 Généralisation des notions tirées des exemples.	page n°3
3.1 définitions	
3.2 Classification des systèmes asservis.	
3.3 Représentation graphique d'un système asservi.	
4 Entrées typiques d'un système asservi.	page n°5
4.1 L'échelon	
4.2 L'impulsion	
4.3 La rampe	
4.4 La sollicitation sinusoïdale.	
5 Critères de performance d'une régulation	page n°5
5.1 La stabilité.	
5.2 La précision	
5.3 L'amortissement	
5.4 La rapidité	
5.5 Conclusions sur les performances	
6 Les procédés et leurs réponses	page n°7
6.1 Les procédés stables (ou naturellement stables)	
6.2 Les procédés instables (ou intégrateurs)	
6.3 Paramètres de la réponse d'un procédé.	
6.4 Différentes réponses d'un procédé stable.	
6.5 Conclusions	
7 Les paramètres influençant les performances.	page n°9
7.1 Les correcteurs P.I.D	
7.2 Approche intuitive du fonctionnement des correcteurs P.I.D	
8 Réalisation technique des régulateurs.	page n°15
8.1 Constitution générale	
8.2 Régulateur électronique	
8.3 Régulateur numérique	
9 Représentation de la réponse d'un procédé suite à une étude harmonique.	page n°20
9.1 généralités	
9.2 plan de BODE:	
9.3 Réponses des différents correcteurs à une sollicitation sinusoïdale.	
9.4 Conclusions sur l'étude harmonique	