

Réglages des paramètres :

$$\text{Gain de commande : } G_r = \frac{1}{G_s \left(\frac{\theta_d}{\theta}\right)^n}$$

$$\text{Gains de bouclage : } G_{ai} = -C_i^n \left(\frac{\theta}{\theta_d} - 1\right)^i$$

$$G_a = \left\{\frac{\theta_d}{\theta}\right\}^{-n}$$

9.39 AVANTAGES D'UNE RÉGULATION NUMÉRIQUE

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.

Parmi les principaux avantages de la régulation par modèle interne de référence par rapport au PID, nous retiendrons :

- 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.
- Sa robustesse, sur des changements de point de fonctionnement imposés par la fabrication, la stabilité n'est pas modifiée.
- Sa transparence vis-à-vis de l'utilisateur (opérateur) ou il apparaît sous la forme d'un classique régulateur.
- Facilité de réglage, car après identification, sans aucun calcul, on affiche directement les paramètres caractéristiques du procédé.

Remarque : Pour améliorer la stabilité et le comportement global d'un procédé il est possible d'ajouter à ces correcteurs numériques une régulation en boucle ouverte. (Régulation mixte).

Régulation des procédés multivariables

10.1 Définition d'un procédé multivariable.....	289
10.2 Exemples de procédés multivariables.....	291
10.3 Régulation des procédés multivariables.....	293
10.4 Objectifs d'une régulation multivariable.....	293
10.5 Découpleur.....	294
10.6 Mise au point d'une régulation multivariable.....	296

NOTATIONS UTILISÉES DANS LE CHAPITRE 10

$C, C_{(p)}$: Signal de consigne.
$D_{(p)}$: Fonction de transfert désirée.
E_1, E_2	: Signal d'entrée du sommateur.
FF	: Entrée Feedforward du correcteur.
G_1, G_2	: Gain de bouclage.
$G_{(p)}$: Fonction de transfert du compensateur de temps mort ou du correcteur.
G_{ai}, G_{ai}	: Gain de bouclage.
G_r	: Gain du régulateur ou de commande.
G_s	: Gain statique du procédé.
$H_{r(p)}$: Fonction de transfert réglante du procédé.
K	: Gain du compensateur de temps mort.
M, $M_{(t)}$: Signal de mesure.
$\hat{M}, \hat{M}_{(p)}$: Mesure estimée.
M_c	: Mesure compensée.
M_i	: Mesure intermédiaire.
n	: Ordre du filtre.
p	: Opérateur Laplacien.
$P_{(t)}$: Signal de sortie du module proportionnel.
$R_{(p)}$: Fonction de transfert du régulateur ou correcteur.
S, $S_{(t)}$: Sortie du régulateur ou correcteur.
t	: Variable temps.
te	: Temps d'établissement.
to	: Origine des temps.
T_i	: Temps d'action intégrale.
T_d	: Temps d'action dérivée.
T1	: Constante de temps du C.T.M.
T2	: Temps mort du C.T.M.
U, $U_{(t)}$: Signal de commande du correcteur.
$X_{(p)}$: Écart mesure consigne.
$\hat{X}, \hat{X}_{n(p)}$: État estimé.
$\varepsilon, \varepsilon_{(p)}$: Différence entre la sortie modèle et sortie procédé.
θ	: Constante de temps.
θ_d	: Constante de temps désirée.
τ	: Temps mort ou retard.

Nous avons, dans ce qui précède, étudié uniquement la régulation de procédés monovariables. Ce chapitre définit un procédé multivariable et expose d'une façon simplifiée la mise en œuvre d'une régulation multivariable.

Rappelons que si chaque grandeur réglante agit uniquement sur une grandeur réglée, tout ce passe comme si l'on avait des boucles monovariables indépendantes les unes des autres.

Quelquefois il n'y a pas cette indépendance et l'action d'une grandeur réglante modifie plusieurs grandeurs réglées : on dit alors, que le procédé est multivariable.

Dans l'industrie la pratique la plus courante consiste, sur un procédé, à juxtaposer plusieurs boucles de régulation du type PID même si le procédé est multivariable.

Ceci est justifié par les remarques suivantes :

- Le mode de régulation PID a fait ces preuves.
- Le matériel analogique se trouvant sur le marché est uniquement adapté à la régulation PID.
- Les nouvelles techniques nécessitent l'acquisition de compétences différentes.
- La fiabilité du matériel numérique en milieu industriel n'est pas toujours suffisante...

Malgré tout on constate, du fait des progrès technologiques accomplis sur les systèmes numériques en matière de fiabilité, en souplesse d'utilisation et avec le désir toujours croissant d'améliorer le rendement d'une installation, que la régulation multivariable tend à se développer.

10.1 DÉFINITION D'UN PROCÉDÉ MULTIVARIABLE

Un procédé est dit multivariable s'il possède plusieurs grandeurs d'entrées (Grandeurs réglantes) et plusieurs grandeurs de sorties (Grandeurs à régler) et, si, toute variation faite sur une des entrées provoque une variation de plusieurs sorties.

Prenons l'exemple de la douche de salle de bains : c'est un procédé multivariable. Une variation du débit d'eau chaude provoque :

- Une variation de la température.
 - Une variation du débit de sortie.
- Une variation du débit d'eau froide provoque :
- Une variation de la température.
 - Une variation du débit de sortie.
- Le schéma correspond à celui de la figure 10.1.

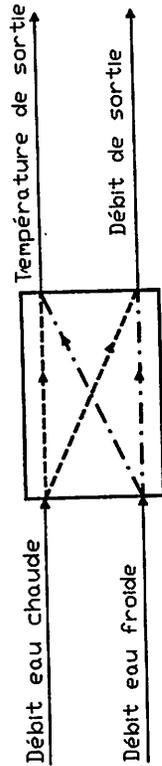


fig. 10.1 : Schéma bloc d'une douche.

Si l'on représente le schéma fonctionnel simplifié d'un procédé multivariable (fig. 10.2) piloté par deux régulateurs R_1 et R_2 , on constate que toute modification de la consigne C_1 engendre des variations sur les mesures M_1 et M_2 . De même une modification de la consigne C_2 engendre des variations sur les mesures M_2 et M_1 .

Le fait que les deux sorties (grandeurs à régler) sont modifiées sur un changement de consigne (C_1 ou C_2) est dû à l'influence des fonctions de transfert « croisées » du procédé. Les deux boucles de régulation sont couplées entre elles et de ce fait une régulation classique PID n'est pas concevable. Une des solutions consiste à mettre en place dans un système numérique de contrôle commande une régulation MULTIVARIABLE.

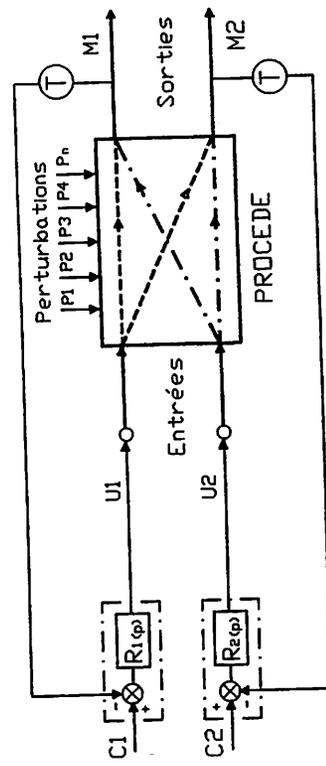


Fig. 10.2.

10.2 EXEMPLES DE PROCÉDÉS MULTIVARIABLES

Deux exemples simples de procédé sont exposés pour mettre en évidence l'aspect multivariable.

10.21 COLONNE À DISTILLER

Ce procédé industriel présente un aspect multivariable quand on observe les grandeurs de sorties telles que le débit du produit de tête et le débit du produit fond de colonne, par rapport au débit de reflux et au débit du rebouilleur (fig. 10.3).

Une variation du débit de rebouillage provoque :

- Une variation du produit de tête.
- Une variation du produit de fond.

Une variation du débit de reflux provoque :

- Une variation du produit de tête.
- Une variation du produit de fond.

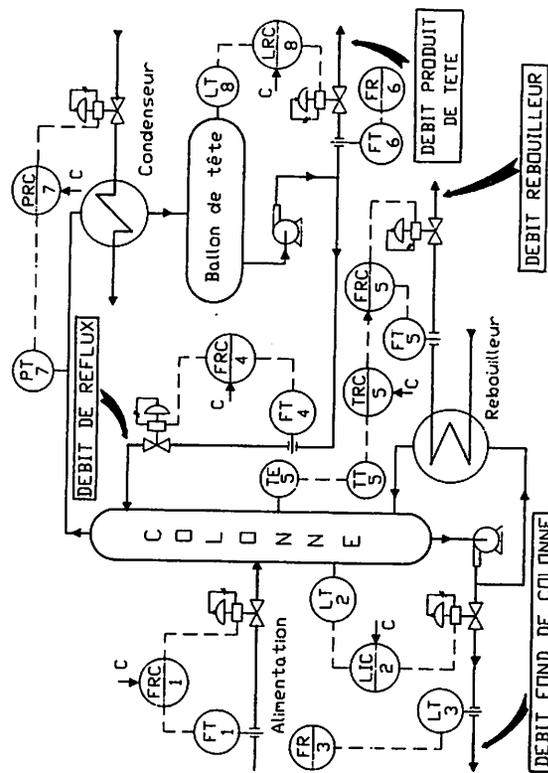


fig. 10.3 : Colonne à distiller avec régulation conventionnelle.

La figure 10.4 représente le schéma bloc de la colonne à distiller.

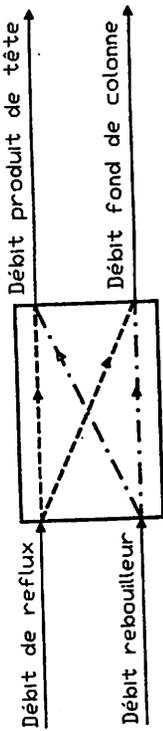


Fig. 10.4.

Ce procédé bien que multivariable est souvent réglé suivant une procédure conventionnelle comme l'indique le P.C.F. de la figure 10.3. La mise en place d'une régulation multivariable sur un système numérique prenant en compte les différentes entrées (débit de rebouillage et de reflux) et sorties (produits de tête et de fond) améliore la régulation et apporte un gain de productivité.

10.22 MÉLANGEUR

L'objectif de ce procédé est de réguler la concentration C_t du produit et le débit d'extraction Q_e , (fig. 10.5) au moyen de deux boucles simples agissant :

- L'une sur le débit eau Q_a pour régler le débit d'extraction Q_e .
- L'autre sur le débit de jus de fruits concentré Q_c pour régler la concentration C_t .

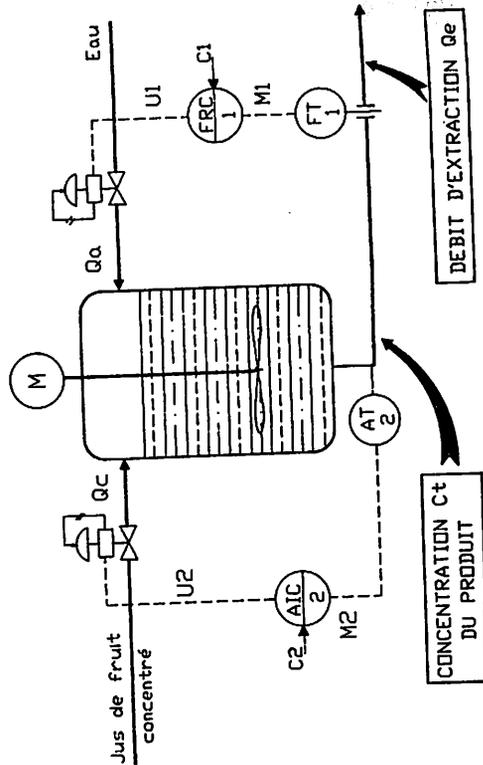


Fig. 10.5 : Mélangeur avec régulation conventionnelle.

10.3 RÉGULATION DE PROCÉDÉS MULTIVARIABLES

Considérons la régulation du mélangeur de la figure 10.5.

- Un changement de consigne du débit d'extraction, provoque une variation du débit d'eau Q_a qui entraîne une modification de la concentration C_t laquelle, à son tour, provoque une variation du débit d'extraction Q_e et ainsi de suite.
- Un changement de consigne de concentration provoque une variation du débit de jus de fruits concentré Q_c qui entraîne une modification du débit d'extraction Q_e , qui, à son tour, provoque une variation de la concentration et ainsi de suite. Ce comportement est caractéristique d'un procédé multivariable, dont la régulation serait traitée en monovariable. Son schéma fonctionnel est donné figure 10.6.

- $H_{11(p)}$ et $H_{22(p)}$: Fonctions de transfert réglantes.

- $H_{12(p)}$ et $H_{21(p)}$: Fonctions de transfert perturbatrices.

Le schéma fonctionnel montre avec ses fonctions de transfert croisées $H_{12(p)}$ et $H_{21(p)}$ qu'une modification de l'une des entrées provoque la variation des deux sorties.

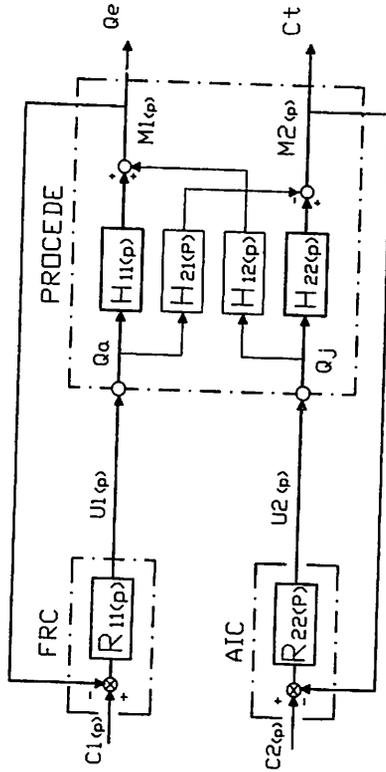


fig. 10.6 : Schéma fonctionnel du mélangeur.

Notons que dans le cas où les fonctions de transfert $H_{12(p)}$ et $H_{21(p)}$ ont très peu d'influence sur les mesures $M_{1(p)}$ et $M_{2(p)}$, une régulation monovariable peut donner satisfaction. Dans le cas contraire, la régulation monovariable ne fonctionne pas, ce qui nécessite un découpleur.

10.4 OBJECTIFS D'UNE RÉGULATION MULTIVARIABLE

Rappelons que dans une régulation monovariable les deux objectifs que l'on souhaite satisfaire sont :

- L'aspect régulation : on veut que la mesure reste égale à la consigne lorsque des perturbations se produisent sur le procédé.
- L'aspect asservissement : lorsque l'on effectue un changement de consigne on désire que la mesure rejoigne la consigne dans un temps minimal.

Dans une régulation multivariable ces deux objectifs restent valables mais un troisième est à prendre en compte ; c'est le découplage des boucles.

- L'aspect découplage : consiste à obtenir, que sur un changement de consigne celle-ci n'affecte que la mesure concernée sans modifier ou perturber les autres.

10.5 DÉCOUPLEUR

10.51 RÔLE DU DÉCOUPLEUR

Le rôle du découpleur est de rendre indépendantes les boucles de régulation.

La figure 10.7 représente le schéma fonctionnel utilisant un découpleur.

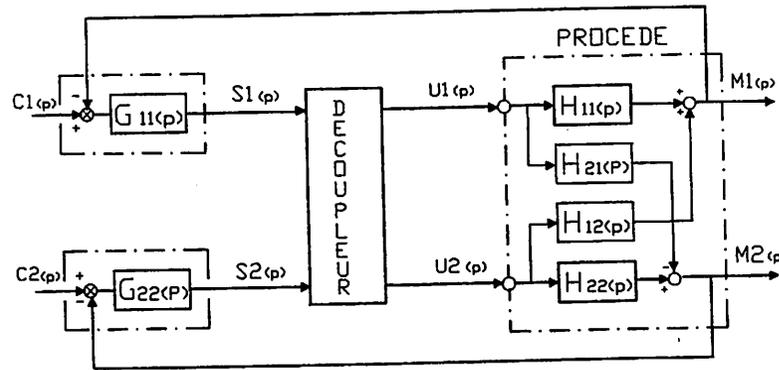


fig. 10.7 : Régulation multivariable avec découpleur.

Quand le découplage est parfait on obtient le schéma fonctionnel théorique de la figure 10.8 où il n'y a plus d'interférence d'une boucle sur l'autre. Le système est rendu monovariable grâce à la présence du découpleur.

Nota : En fait, on ne peut jamais obtenir pratiquement un découplage parfait, mais on s'en rapproche en minimisant l'influence des fonctions de transfert perturbatrices $H_{12}(p)$ et $H_{21}(p)$.

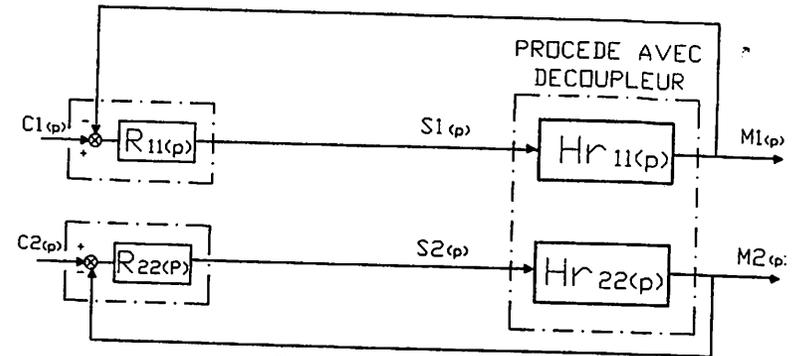


fig. 10.8 : Découplage parfait.

10.52 RECHERCHE DE LA FONCTION DE TRANSFERT DU DÉCOUPLEUR

Pour déterminer la fonction de transfert du découpleur nous adopterons une démarche pratique, basée sur le raisonnement physique et l'observation de l'évolution des signaux ; ceci évite d'employer la démonstration mathématique faisant appel au calcul matriciel.

- On souhaite qu'une variation du signal d'entrée $S_{1(p)}$ n'ait aucune incidence sur la mesure $M_{2(p)}$. Figure 10.9. Pour annuler l'effet de la fonction de transfert perturbatrice $H_{21}(p)$ sur $M_{2(p)}$, il faut réaliser dans le découpleur une correction en agissant sur le signal de commande $U_{2(p)}$. Ceci se fait à l'aide d'une fonction de transfert correctrice $D_{21}(p)$ liant $U_{2(p)}$ à $S_{1(p)}$.
- De même, une variation du signal d'entrée $S_{2(p)}$ ne doit provoquer aucune action sur la mesure $M_{1(p)}$.

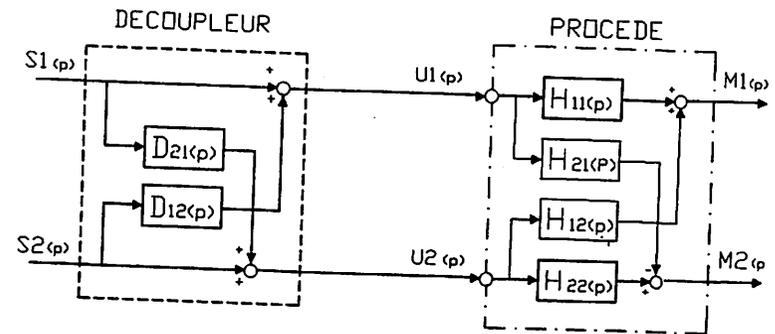


fig. 10.9 : Fonctions de transfert du découpleur et du procédé.

Pour annuler l'effet de la fonction de transfert perturbatrice $H_{12(p)}$ sur $M_{1(p)}$ il faut réaliser dans le découpleur une fonction de transfert correctrice $D_{12(p)}$ liant $U_{1(p)}$ à $S_{2(p)}$.

Le schéma fonctionnel du découpleur étant réalisé suivant la figure 10.9, il faut dans l'étape suivante déterminer l'expression des différentes fonctions de transfert qui le constituent.

Pour obtenir que $S_{1(p)}$ n'est aucune action sur $M_{2(p)}$ il faut que :

$$S_1 (H_{21} + D_{21} \cdot H_{22}) = 0$$

De même pour que $S_{2(p)}$ n'est aucune action sur $M_{1(p)}$ il faut que :

$$S_2 (D_{12} \cdot H_{11} + H_{12}) = 0$$

Ce qui donne deux équations :

$$H_{21} + D_{21} \cdot H_{22} = 0$$

$$D_{12} \cdot H_{11} + H_{12} = 0$$

$$D_{21(p)} = - \frac{H_{21(p)}}{H_{22(p)}}$$

$$D_{12(p)} = - \frac{H_{12(p)}}{H_{11(p)}}$$

et

D'où l'on déduit :

Nota : Le signe moins dans l'expression de $D_{12(p)}$ et $D_{21(p)}$ dépend du sens d'action des fonctions perturbatrices $H_{12(p)}$ et $H_{21(p)}$ sur les mesures respectives $M_{1(p)}$ et $M_{2(p)}$.

10.6 MISE AU POINT D'UNE RÉGULATION MULTIVARIABLE

Les différentes étapes à réaliser pour la mise au point de la régulation multivariable du mélangeur sont :

- Identification :
Il faut identifier au point de fonctionnement les quatre fonctions de transfert $H_{11(p)}$, $H_{21(p)}$, $H_{12(p)}$ et $H_{22(p)}$ figure 10.10. Ceci s'effectue en deux étapes :

- Recherche des fonctions de transfert $H_{11(p)}$ et $H_{21(p)}$:
Garder le signal de commande $U_{2(p)}$ constant et faire varier $U_{1(p)}$ en enregistrant les signaux de mesure $M_{1(p)}$ et $M_{2(p)}$.
- Recherche des fonctions de transfert $H_{22(p)}$ et $H_{12(p)}$:
Garder maintenant le signal de commande $U_{1(p)}$ constant et faire varier $U_{2(p)}$ en enregistrant les deux signaux de mesure $M_{1(p)}$ et $M_{2(p)}$.
- Détermination des fonctions de transfert du découpleur :
Calculer les deux fonctions $D_{12(p)}$ et $D_{21(p)}$ qui constituent le découpleur.

$$D_{12(p)} = \frac{H_{12(p)}}{H_{11(p)}} \quad \text{et} \quad D_{21(p)} = \frac{H_{21(p)}}{H_{22(p)}}$$

Note : Dans le cas où le résultat conduit à une fonction de transfert techniquement irréalisable, il faut procéder à une approximation ; ce qui veut dire pratiquement que le découplage entre les boucles ne sera pas parfait.

- Configuration ou programmation du découpleur :

La configuration ou la programmation du découpleur sur le système numérique est à réaliser selon le schéma de la figure 10.10.

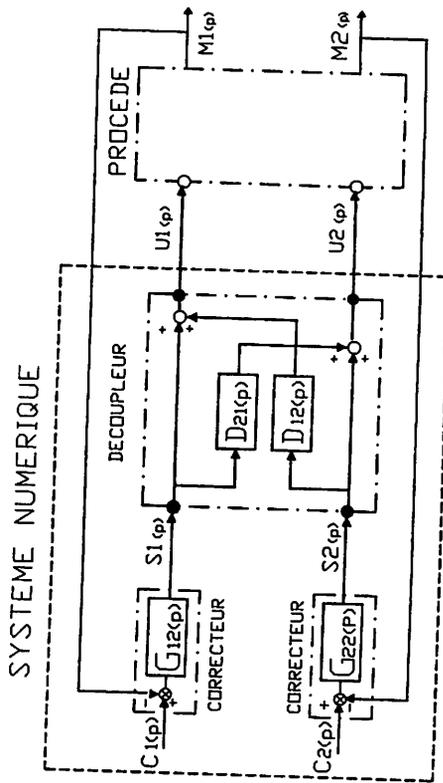


fig. 10.10 : Régulation multivariable.

- Réglage des correcteurs $G_{11(p)}$ et $G_{22(p)}$
Pour le correcteur $G_{11(p)}$ les réglages dépendent de la fonction de transfert $H_{11(p)}$ (fig. 10.11).

$$H_{r11}(p) = H_{11}(p) - \frac{H_{21}(p)}{H_{22}(p)} \cdot H_{12}(p)$$

De même, pour le correcteur $G_{22}(p)$ les réglages dépendent de la fonction de transfert $H_{r22}(p)$.

$$H_{r22}(p) = H_{22}(p) - \frac{H_{12}(p)}{H_{11}(p)} \cdot H_{21}(p)$$

Soit, on calcule les fonctions de transfert $H_{r11}(p)$ et $H_{r22}(p)$ en appliquant les formules ci-dessus, soit, ayant mis le découpleur en service on recommence une nouvelle identification de la façon suivante : $S_2(p)$ étant maintenu constant, on fait varier $S_1(p)$ et on enregistre $M_1(p)$ d'où l'on déduit les paramètres de $H_{r11}(p)$. Pour trouver les paramètres de $H_{r22}(p)$, $S_1(p)$ est maintenu constant, on fait varier $S_2(p)$ et on enregistre $M_2(p)$.

SYMBOLISATION ET INDEX

PROCEDE AVEC DECOUPLEUR

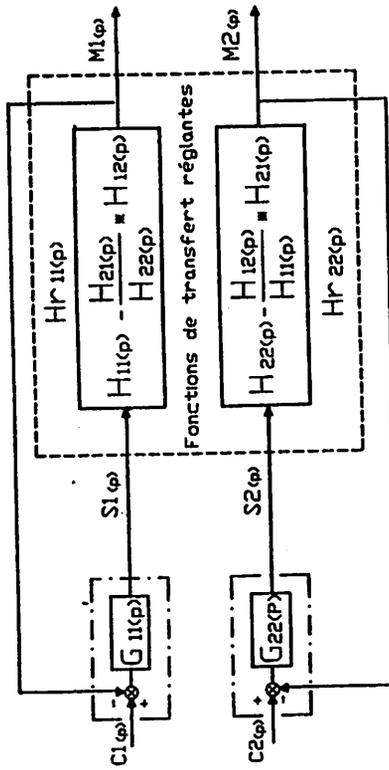


fig. 10.11 : Schéma fonctionnel équivalent.

Symbolisation

SYMBOLISATION DES LIAISONS INSTRUMENTS

	Procédé.
	Électrique.
	Pneumatique.
	Numérique.

SYMBOLISATION DES INSTRUMENTS

	Transmetteur de pression.
	Transmetteur de niveau.
	Transmetteur de débit.
	Analyseur.
	Convertisseur de fréquence.
	Indicateur de température.
	Analyseur indicateur.

	Indicateur de pression.
	Enregistreur de température.
	Enregistrement de débit.
	Convertisseur de température : - tension / courant. - résistance / courant.
	Opérateur, module ou relais de calcul non pilotable.
	Opérateur, module ou relais de calcul pilotable.
	Opérateur, module ou relais de calcul numérique pilotable.

I Mention de la fonction.

- Exemple :
- Σ sommateur.
 - $\sqrt{\quad}$ extracteur de racine carrée.
 - % proportionneur ou diviseur
 - \times multiplicateur.
 - A/R avance retard de phase.

	Capteur de débit : turbine, DEM, ...
	Capteur de température : sonde à résistance, couple thermo-électrique.
	Capteur de débit : diaphragme.
	Régulateur indicateur de niveau.
	Régulateur indicateur de débit.
	Régulateur indicateur de température.

	Régulateur indicateur de pression.
	Régulateur indicateur de rapport de débit.
	Régulateur indicateur d'analyse.
	Station de commande automatique manuelle.
	Vanne manuelle.
	Vanne automatique.
	Vanne de régulation avec positionneur pneumatique.
	Vanne de régulation avec positionneur électro-pneumatique.
	Moteur électrique.
	Vanne de régulation avec servomoteur électrique.
	Électrovanne.
	Pompe volumétrique.
	Pompe centrifuge.
	Agitateur.
	Échangeur thermique.

Index

- a priori (régulation), 121
- ACIA, 231
- algorithme, 218
- amortissement, 69
 - par période, 70, 97
- analogique (signal), 216, 220
- apériodique (réponse), 105
- ASCII (code), 222
- asservi (régulateur), 103
- asservissement
 - aspect, 77, 78
 - réponse en, 77
- avance retard de phase, 186
- bande proportionnelle, 16
- batch (procédé), 42
- baud, 231
- bias (décalage), 112, 124
- binaire
 - état, 217
 - mot, 220
 - pur, 220
- bit, 216, 220
- boucle externe, 103
- boucle fermée, 77, 78
 - identification en, 201, 209
- boucle interne, 102, 104
- boucle ouverte
 - identification, 197, 206
 - régulation en, 121
- bus, 216, 231
- caractéristique de débit de vanne
 - installée, 59, 60, 61
 - intrinsèque, 56, 57
 - statique d'un procédé
- cascade
 - équilibrage de, 105
 - mise au point, 104
 - régulation en, 100, 101
- coefficient d'intégration, 51
 - de réglage (vanne de régulation), 56, 57
- colonne à distiller (régulation), 291
- commande par modèle interne de référence (généralisation), 285
 - par retour d'état, 275, 276, 277
- compensateur de temps mort (C.T.M.), 253, 256, 257
 - configuration, 234
- consigne suiveuse, 9
- constante de temps, 180, 181
- correcteur
 - à stimulation interne, 266
 - CZ, 269
 - de SMITH, 253
- coupage (régulation de), 120
- cycle, 140, 147, 148
- décalage (bias), 124
- découpleur, 294, 295
- démultiplexeur, 229
- dépassement, 69
- dérivateur, 30
 - dérivée
 - action, 29, 31
 - filtrée, 84, 122, 184, 185
 - mise au point de l'action
 - sur procédé instable, 91, 95, 96
 - sur procédé stable, 87, 93, 96
 - notion de, 26
 - rôle de l'action, 83
 - sur l'écart ou sur la mesure, 32
 - temps de, 29
 - vérification de l'action dérivée d'un régulateur, 31
 - différentiel, 144
 - discontinu, 137, 139
 - discret (signal), 216
 - discrète (valeur), 217
 - EAROM, 226
 - écart
 - mesure-consigne, 8, 9, 15
 - résiduel de statisme, 79, 144
 - échelon (signal), 13, 172
 - égal pourcentage (caractéristique de vanne), 57
 - EPRM, 226
 - esclave, (régulateur), 103
 - état estimé, 140, 142
 - externe
 - boucle, 103
 - régulateur, 103
 - facteur de proportionnalité, 14
 - feedback control, 77
 - feedforward control, 121, 275
 - filtrage, 182, 183
 - floppy disk, 226, 232
 - flow sheet, 44
 - fonction de transfert, 173, 197, 266, 267
 - fourchette, 144
 - gain
 - de bouclage, 274, 276, 286
 - de boucle, 79
 - de commande, 274, 275, 286
 - régulateur, 14, 15
 - statique (procédé), 50
 - transitoire, 185
 - grandeur
 - intermédiaire, 100, 102
 - perturbatrice, 45
 - réglante, 45
 - réglée, 45
 - hardware, 224
 - hysteresis, 142, 144
 - identification, 195, 197
 - impulsion (signal), 13, 140
 - intégrale
 - action, 23, 24, 25
 - manuelle, 15
 - mise au point,
 - sur procédé instable, 91, 95, 96
 - sur procédé stable, 89, 93, 96
 - notion d', 19
 - rôle de l'action, 82
 - symbole de l'action, 23
 - temps d', 21
 - vérification de l'action, 24
 - interne

- boucle, 102, 104
- régulateur, 103
- linéaire/non linéaire
 - caractéristique de vanne, 56
 - système, 52, 53
- logique (état), 219
- maitre (régulateur), 103
- mémoire de masse, 225, 226
- menant (régulateur), 103
- mené (régulateur), 103
- mesure
 - compensée, 254, 255
 - estimée, 271, 272
 - intermédiaire, 252, 253
- mode de régulation (P, PI, PID)
 - mode de choix
 - sur procédé stable, 93
 - sur procédé instable, 95
- modèle de référence interne, 272, 273, 274, 275
- multiplexeur, 217
- multivariable (procédé), 290
- octet, 220, 226
- opérationnelle (expression), 172
- oscillation
 - convergente, 97
 - divergente, 98
 - entreteue, 97
- période
 - d'échantillonnage, 216, 217, 241
 - d'exécution de programme, 218
 - d'oscillations, 201, 209
 - de fonctionnement, 143
 - de l'algorithme, 240
 - de traitement de programme, 240
- périodique (réponse), 69
- perte de charge vanne et circuit, 58
- PIA, 231
- pilote (régulateur), 103
- plan de circulation des fluides, (P.C.F.), 44
- point de fonctionnement (d'un procédé), 54, 55
- précision (erreur de), 68
- prédictive (régulation), 121
- premier ordre (système de), 180, 181
- primaire (régulateur), 103
- procédé
 - continu, 42
 - discontinu, 42, 52
 - du $n^{\text{ème}}$ ordre, 250
 - instable (identification de), 49, 206
 - monovariabile, 46
 - multivariable, 47, 287
 - stable (identification de), 48, 187, 192, 197
- process & instrument diagram (P & ID), 44
- programmation, 234
- proportion (régulation de), 110
- proportionnelle
 - action, 15, 17
 - bande, 16
 - fonction, 14
 - mise au point
 - sur procédé instable, 91, 95, 96
 - sur procédé stable, 87, 93, 96
 - module, 15, 175
- rôle de l'action, 79, 81
- symbole de l'action, 16
- protocole, 231
- quadratique (échelle), 115, 116
- quantum, 228
- RAM, 226
- rampe (signal), 13, 172
- rangeabilité (vanne), 56, 57
- rapidité, 70
- rappor, 109
- régime
 - stable, 51
 - instable, 51
- réglages
 - à partir de l'identification, 85, 92
 - par approches successives, 85
 - par la méthode de Ziegler et Nichols, 85, 96
- régulateur, 5
- régulation
 - a posteriori (en boucle fermée), 77
 - de proportion (de rapport), 109
 - en boucle ouverte, (prédictive-a priori), 121
 - en cascade, 101
 - par retour d'état, 274
 - continue, 109, 111
- remote, 105
- REPRO, 226
- résolution, 228
- retard, 50, 51, 179, 252
- ROM, 226
- schéma fonctionnel, 173, 194
- secondaire, régulateur
- sens d'action
 - d'un régulateur, 79
 - des régulateurs d'une régulation en cascade, 104
- seuil, 140, 144
- SMITH (correcteur), 253
- software, 232
- softwiring, 234
- sommateur, 123
- split-range, 134
- stabilité, 67
- stand-by, 240
- structure
 - d'un régulateur, 33, 34, 35, 36
 - des régulateurs, 34, 35
- systèmes numériques
 - centralisés, 239
 - modulaires, 237
 - répartis, 238
- temps
 - d'établissement, 50, 70, 247
 - d'exécution d'un programme, 218
 - de cycle de calcul, 240
 - de réponse, 50
 - de traitement (blocs logiciels), 241
 - mort, 50, 51
- tout ou peu, 140, 144
- tout ou rien, 140, 141, 142
- tracking, 9
- transformée en p, 172
- UART, 231

Bibliographie

- Documentation technique CEGELEC - Z. Bailey.
- Documentations techniques C.O.R.E.C.I., Eurotherm, T.C.S.
- DESHPANDE et ASH. — *Elements of computer process control*. I.S.A.
- DINDELEUX (D.). — *Technique de la régulation industrielle*. Eyrolles.
- DORF (R.-C.). — *Les Variables d'état dans l'analyse et la synthèse de la commande*. Dunod.
- FAËS (Y.). — *Commande des processus industriels par ordinateur*. Masson.
- GILLES (J.-C.), DECAULNE (P.), PELEGRIN (M.). — *Dynamique de la commande linéaire*. Dunod.
- GILLES (J.-C.), DECAULNE (P.), PELEGRIN (M.). — *Théorie et calcul des asservissements linéaires*. Dunod.
- LILEN (H.). — *Du microprocesseur au micro-ordinateur*. Éditions Radio.
- LIPTAK (B.). — *Instrumentation in the processing industries*.
- MERISSE (J.-P.). — *Thèse ingénieur en automatisme*. C.N.A.M.
- MILSANT (F.). — *Asservissements linéaires*. Eyrolles.
- NASLING (P.). — *Les Régimes variables dans les systèmes linéaires et non linéaires*. Dunod.
- Normes I.S.A. et A.F.N.O.R.
- PRUDHOMME (R.). — *Automatique*, tome I. Masson & C^o.
- ROLF ISERMAN. — *Digital Control Systems*. Springer-Verlag.
- SEVELY (Y.). — *Systèmes et asservissements linéaires échantillonnés*. Dunod.
- TOCCI et LASKOWSKY. — *Microprocesseurs et micro-ordinateurs*. Eyrolles.