

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
—
PARIS

(11) N° de publication :
(À n'utiliser que pour les
commandes de reproduction).

2 512 985

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21) **N° 81 17533**

(54) Procédé d'identification du modèle d'une enceinte thermique et application à la régulation d'une enceinte thermique.

(51) Classification internationale (Int. Cl. 3). G 05 D 23/30; G 01 K 17/00; G 05 B 15/00.

(22) Date de dépôt..... 11 septembre 1981.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du public de la demande B.O.P.I. — « Listes » n° 11 du 18-3-1983.

(71) Déposant : LA TELEMECANIQUE ELECTRIQUE, société anonyme. — FR.

(72) Invention de : Jean-Claude Aucel et Jean Louis Testud.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Cabinet Moutard,
35, av. Victor-Hugo, 78190 Voisins-Le-Bretonneux.

- 1 -

Procédé d'identification du modèle d'une enceinte thermique et application à la régulation d'une enceinte thermique.

La présente invention concerne un procédé d'identification du modèle d'une enceinte à réguler et son application à la régulation d'une enceinte thermique.

5 Il est connu dans les régulations d'utiliser des régulateurs analogiques notamment proportionnel intégral dérivé P.I.D. qui ont l'inconvénient de devoir être réglés chaque fois que 10 l'on change de point de fonctionnement. Ces réglages sont de plus en général longs, peu précis et doivent faire appel à des spécialistes.

Il est également connu par la demande de brevet FR 2 372 466 déposée au nom d'ALSTHOM ATLANTIQUE de réaliser une régulation utilisant un modèle de représentation du processus à 15 commander, mais ici ce modèle est réalisé analogiquement et ne peut être qu'une approximation de la représentation du processus. De plus ce modèle est utilisé avec un régulateur P.I. analogique.

20 Un premier but de l'invention est de réaliser un procédé d'identification d'un modèle numérique de représentation d'une enceinte thermique, qui soit valable quel que soit le point de fonctionnement de l'enceinte.

25 Un deuxième but de l'invention est la réalisation d'un régulateur numérique utilisant le modèle de représentation de l'enceinte et admettant des désadaptations du modèle par

- 2 -

rapport à la réaction de l'enceinte aux actions appliquées par le régulateur.

Un troisième but de l'invention est d'automatiser l'identification et le réglage optimal du régulateur.

Suivant l'invention le procédé d'identification du modèle comprend les phases suivantes :

10 - détermination approximative du temps de réponse de l'enceinte par mesure et enregistrement de la réponse en température de l'enceinte à un échelon de puissance,

- élaboration d'un signal d'identification constitué d'une multiplicité de créneaux aléatoires de hauteur et de largeur, comprise entre une limite inférieure et une limite supérieure en rapport avec le temps de réponse du four, variant de façon aléatoire,

20 - mesure par échantillonnage, calcul et mise en mémoire de la réponse impulsionale de l'enceinte au signal d'identification pour chaque créneau,

- calcul du modèle de représentation de l'enceinte à partir des réponses impulsionales mémorisées.

Suivant une deuxième caractéristique de l'invention, le procédé identifie un modèle constitué :

30 - par l'enregistrement dans une première série de mémoires d'une première multiplicité de premières valeurs déterminées après échantillonnage à des intervalles de temps constants, lesdites valeurs étant représentatives de la réponse impulsionale de l'enceinte en fonction du temps 35 pour une température de fonctionnement donnée, lesdites valeurs étant rangées à des adresses correspondant au rang de l'échantillonnage,

- 3 -

- par l'enregistrement dans une deuxième série de mémoires d'une deuxième multiplicité de valeurs représentatives de la variation du gain des réponses impulsionales en fonction de la température de fonctionnement, lesdites deuxièmes 5 valeurs étant rangées à des adresses correspondant aux différentes températures de fonctionnement,

- par l'enregistrement dans une troisième série de mémoires d'une troisième multiplicité de valeurs représentatives de 10 la variation de la période d'échantillonnage en fonction des différentes températures de fonctionnement, à des adresses correspondant aux températures.

Suivant une troisième caractéristique de l'invention, le 15 procédé est appliqué à la régulation d'une enceinte comprenant de façon connue un élément de mesure 4 de la variable à réguler, un élément de régulation 5 élaborant à partir des valeurs de variables et du point de consigne l'action à imposer à l'enceinte, un organe de commande 11 20 agissant sur l'enceinte en réponse au signal d'action caractérisé en ce que l'élément de régulation élabore le signal de commande par un premier ensemble d'algorithme qui tient compte de la mesure de la sortie de l'enceinte, calcule le comportement futur souhaité en fonction du temps de réponse 25 souhaité du système bouclé, estime grâce au modèle l'évolution future de la sortie et ajuste les commandes futures, applique la première commande, mesure et compare avec les valeurs estimées la mesure pour appliquer la commande suivante en cas d'adaptation ou effectue un nouveau calcul, 30 une nouvelle estimation et un nouvel ajustement avant d'appliquer la nouvelle première commande.

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description faite en référence aux dessins annexés dans lesquels :

35

La figure 1 représente une régulation constituant l'état de la technique.

- 4 -

La figure 2 est une vue schématique du dispositif de mise en oeuvre de l'invention.

5 La figure 3 est un graphique des courbes représentatives des réponses impulsionales permettant de constituer le modèle.

10 Les figures 4, 5, 6 représentent les courbes représentatives du modèle de représentation de l'enceinte.

La figure 7 est une variante de réalisation de la régulation.

15 La figure 1 représente un procédé de régulation d'une enceinte thermique utilisant de façon connue en soi, un élément de mesure 4 constitué par un thermocouple ou capteur de température, un élément de calcul 5 élaborant à partir des valeurs de la température d'enceinte θ_e et du point de 20 consigne θ_c le signal de commande W à appliquer à un organe de commande 11 agissant sur le processus à réguler. L'enceinte thermique, comporte une enceinte calorifugée 1, un actionneur ou une résistance électrique 3 et une charge 2 constituée par les objets que l'on veut chauffer. Dans ce 25 type de réalisation classique l'élément de calcul 5 comprenait un comparateur 7 qui élaborait un signal d'écart entre la valeur de consigne et la valeur mesurée et un régulateur autonome P.I.D. à action proportionnelle intégrale et dérivée qui élaborait un signal de commande W analogique à 30 partir du signal d'écart.

Toutefois ces régulateurs qui fonctionnent correctement pour un point de fonctionnement donné, nécessitent des réglages fastidieux et délicats chaque fois que l'on veut 35 changer de point de fonctionnement.

De plus, lorsque l'on applique ce type de régulateur à une

- 5 -

enceinte dont les caractéristiques évoluent dans le temps, non seulement en fonction de son entrée mais aussi en fonction d'autres facteurs tels que par exemple pour un four, les fuites thermiques, la puissance rayonnée par les 5 résistances, les coefficients d'absorption des parois ; il est nécessaire d'effectuer des réglages fréquents des paramètres. Ces inconvénients et bien d'autres sont évités par le dispositif de l'invention comme nous le verrons dans la suite de la description.

10

Le dispositif de régulation qui va être décrit à titre d'exemple en se référant à la figure 2 sert à réguler la température d'un four ou enceinte thermique. Ce dispositif comprend comme précédemment une enceinte 1, une résistance 15 électrique de chauffage branchée à un dispositif de commande fournissant la puissance, ce dispositif pouvant être un organe de commande connu en soi, une charge 2 et un thermocouple 4 pour mesurer la température de l'enceinte. La sortie de ce thermocouple 61 est reliée à l'entrée d'un 20 convertisseur analogique-numérique 51 qui est relié à une ligne bus d'entrée 55 d'un microprocesseur 53. Le microprocesseur est relié par une première ligne bus d'entrée-sortie 57 à des mémoires externes 54 et par une deuxième ligne bus 58 à une face avant 81 comportant un clavier de touches 82, 25 un élément d'affichage 83 et une prise de dialogue 84 qui peut être reliée par un câble de liaison entrée-sortie 91 représenté en pointillé à une console 10. Le rôle de la liaison 91 avec la console sera expliqué par la suite. Le microprocesseur ou microsystème est relié par une ligne bus 30 de sortie 56 à l'entrée d'un convertisseur numérique analogique 52 dont la sortie est branchée par la ligne 62 à l'entrée du gradateur 11. Le microprocesseur peut également comprendre au moins une entrée tout ou rien 59 reliée par un contact 60, servant à signaler par exemple, l'ouverture de 35 la porte du four, à une source de tension V.

Le dispositif est utilisé en deux phases, une première dite

- 6 -

d'identification et une deuxième dite de commande.

Le dispositif est utilisé dans la deuxième phase dite de commande, sans la liaison 91 avec la console 10. Au début de 5 cette phase les mémoires 54 sont chargées par un modèle interne de représentation de l'enceinte constitué par un premier ensemble de valeurs stockées dans un premier bloc de mémoires, cet ensemble de valeurs étant les coefficients représentatifs de la courbe de réponse impulsionale de 10 l'enceinte, pris à des intervalles de temps donnés, définissant les adresses de stockage de ces premières valeurs ; un deuxième ensemble de valeurs représentatives de la courbe de variation du gain G des réponses impulsionales pour différentes températures de fonctionnement θ_j , définissant les 15 adresses de ces deuxièmes valeurs ; un troisième ensemble de valeurs représentatives de la courbe de variation des périodes d'échantillonnages T permettant le même nombre de points de définition que pour les premières valeurs, pour différentes températures θ_j , définissant les adresses de ces 20 troisièmes valeurs. Ces deux dernières courbes permettent par deux homothéties ou par d'autres transformations mathématiques appliquées à la première courbe, de reconstituer par calcul toutes les courbes de réponse impulsionale de l'enceinte en fonction des différentes températures de 25 fonctionnement comprises entre une température de fonctionnement maximum et une température minimum, et d'obtenir ainsi une représentation du modèle mathématique du processus en boucle ouverte.

30 On utilise ensuite ce modèle stocké dans les mémoires 54 avec un modèle de référence donnant le comportement souhaité du système bouclé pour déterminer par calcul la succession de signaux de commande à appliquer au gradateur, en fonction du temps de réponse souhaité pour le système bouclé de la 35 température de consigne à atteindre, et de la température de départ qui est celle mesurée dans l'enceinte par le thermocouple 4 ou un capteur de température. Le microprocesseur ou

- 7 -

microsystème contient un programme qui élabore en fonction des contraintes que l'on veut imposer au système (temps de réponse bouclé, gradient de température à ne pas dépasser, etc...) une stratégie de commande qu'il va appliquer au 5 modèle en boucle ouverte et à l'enceinte. Du modèle en boucle ouverte il recevra la température que doit atteindre l'enceinte et de l'enceinte il recevra la température mesurée. La comparaison de ces deux températures permet au microprocesseur de modifier si besoin sa stratégie de 10 commande dans le cas d'une désadaptation.

Les algorithmes utilisés pour élaborer la stratégie de commande sont bien connus des automaticiens et seront expliqués plus loin.

15

Les signaux de commande W sont envoyés sous forme numérique par le bus 56 au convertisseur numérique analogique qui transmet un signal de commande analogique à l'organe de commande 11. La température de l'enceinte évoluant en 20 réponse au signal de commande est mesurée par un thermocouple et transmise sous forme analogique à un convertisseur analogique-numérique qui transmet au bus d'entrée 55 un signal numérique. Les touches 82 et l'affichage 83 permettent en entrée de faire prendre en compte par le microprocesseur la température de consigne à atteindre et le temps 25 de réponse souhaité pour le système bouclé, et les contraintes à imposer à l'enceinte qui peuvent être de niveau (valeur à ne pas dépasser), ou de gradient (contrainte sur les incrémentations). L'affichage permet entre autre, de 30 visualiser en sortie, la température du four.

Pour pouvoir utiliser le dispositif dans la phase dite de commande il est nécessaire de procéder lors de la mise en route du régulateur à une première phase dite d'identification. Cette phase d'identification consiste à élaborer le 35 modèle mathématique de représentation de l'enceinte du processus en boucle ouverte.

- 8 -

On choisit de représenter le modèle par la réponse impulsionale de l'enceinte. Pour obtenir cette réponse impulsionale on procède en quatre phases.

5 La première phase consiste en la détermination approximative du temps de réponse de l'enceinte. Pour cela la console envoie un signal en forme d'échelon à l'enceinte et enregistre et stocke en mémoire la courbe de réponse de l'enceinte aux stimuli envoyés par la console. Puis la 10 console calcule, par exemple, par la méthode de Naslin ou la méthode de la pente à l'origine, le temps de réponse du processus en boucle ouverte et passe à la deuxième phase.

Dans la deuxième phase, la console élabore un protocole 15 d'identification. Ce protocole consiste en une succession de créneaux de largeur variable et de hauteur variable dont les largeurs restent comprises entre une largeur maximale et une largeur minimale qui sont en relation avec le temps de réponse de l'enceinte. Ceci afin d'éviter d'envoyer à 20 l'enceinte des signaux d'excitation provoquant une réponse non significative pour la modélisation de l'enceinte. La console détermine également la période d'échantillonnage (T) en fonction du temps de réponse (τ) de l'enceinte et du nombre (N) de points souhaités pour la réponse impulsionale- 25 le. La période d'échantillonnage T est calculée de façon que $N \times T > \tau$ tout en respectant le théorème de Shannon pour le choix de T .

Une fois le protocole élaboré, la console passe à la 30 troisième phase qui permet la constitution du modèle. Pour cela la console applique le protocole d'identification qui consiste en une succession de créneaux à l'enceinte qui, par échantillonnage, enregistre en mémoire les réponses au protocole et effectue les calculs pour déterminer la réponse 35 impulsuelle de l'enceinte.

Pour effectuer ces calculs la console utilise un algorithme

- 9 -

d'identification tel que :

$$h_i^M(n+1) = h_i^M(n) - \frac{\lambda \varepsilon(n) e(n-i)}{E_n^T E_n}$$

5 avec $\varepsilon(n) = S_M(n) - S_O(n) = \sum_{i=1}^N [h_i^M(n) - h_i^O(n)] e_{n-i}$

$h_i^O(n)$ = i^{ème} coefficient de la réponse impulsionnelle de l'enceinte

SM : sortie modèle

10 SO : sortie objet

$$0 < \lambda < 2$$

$$E_n^T = [e_{n-1}, e_{n-2}, \dots, e_{n-N}] \text{ et } E_n = \begin{bmatrix} e_{n-1} \\ e_{n-2} \\ \vdots \\ e_{n-i} \\ \vdots \\ e_{n-N} \end{bmatrix}$$

15 E_n est le vecteur entrée constitué par les valeurs des entrées aux instants d'échantillonnage n-1, n-2....n-N.

20 $\varepsilon(n)$ est égal à la différence entre la sortie du modèle à l'instant d'échantillonnage n et la sortie de l'enceinte ditie sortie objet.

λ est un coefficient dont le choix permet d'obtenir une convergence plus ou moins rapide et donc d'arriver plus ou moins rapidement à la détermination de la valeur $h_i^M(n)$ 25 représentant la i^{ème} composante du vecteur HM à l'instant d'échantillonnage n. Le vecteur HM est la représentation mathématique du modèle constitué par les coefficients de la réponse impulsionnelle du modèle de l'enceinte $HM^T = h_1^M \dots h_i^M \dots h_N^M$ pour un point de fonctionnement 30 donné.

On a donc $E_{(n)}$ donné à un instant d'échantillonnage par la console et $S_O(n)$ mesurée à l'instant d'échantillonnage n. Connaissant par les calculs précédents $h_i^M(n)$, on en déduit 35 $\varepsilon(n)$ et $h_i^M(n+1)$ et on détermine ainsi de proche en proche par une succession de mesures effectuées par échantillonnage sur le créneau appliqué à l'entrée et sur le signal récupéré

- 10 -

en sortie de l'enceinte et par une succession de calculs les composantes définissant la réponse impulsionale de l'enceinte.

5 On opère de la même manière pour une succession de créneaux dont la valeur moyenne se situe à différents niveaux correspondant à différents points de fonctionnement. On obtient ainsi une famille de vecteurs représentant une famille de courbes telles que celles représentées à la figure 3. Cette
 10 famille de courbe (HM_1, \dots, HM_u) représentant les réponses impulsionales pour différents points de fonctionnement sera paramétrée en retenant, comme représenté à la figure 6, une courbe de réponse impulsionale HM_j , donnée à une température de fonctionnement θ_j pour un certain nombre de
 15 points d'échantillonnage par les valeurs des coefficients h_{ij}^M calculés pour une période d'échantillonnage donnée et ensuite on détermine par calcul le gain de la réponse HM_j et des autres réponses impulsionales de façon à avoir les variations du gain en fonction de la température de
 20 fonctionnement comme représenté à la figure 5. Le gain $G_{\theta j} = \sum_{i=1}^N h_{ij}$. On procède de même pour la période d'échantillonnage en calculant les valeurs de la période d'échantillonnage T pour que compte tenu du temps de réponse aux différentes températures de fonctionnement $\tau_{\theta j}$ on ait
 25 toujours le même nombre de points d'échantillonnage N pour une courbe donnée. On obtient ainsi la variation de la période d'échantillonnage en fonction de la température du point de fonctionnement. La période d'échantillonnage est déterminée par $T = \frac{\tau_{\theta j}}{N}$ qui permettrait de représenter la
 30 courbe de la figure 4. Cette succession de coefficients représentant une réponse impulsionale échantillonnée pour une température de fonctionnement donnée, les variations du gain en fonction de la température et les variations de la période d'échantillonnage en fonction de la température sont
 35 stockées dans la mémoire de la console jusqu'à la fin de l'identification et transférées dans la mémoire 54 du régulateur à la fin de la phase d'identification. Cette

- 11 -

représentation paramétrée du modèle permet de reconstituer par homothétie, ou par toute autre transformation mathématique, les courbes de réponses impulsionales aux différentes températures de fonctionnement.

5

L'étape d'identification se termine par une quatrième phase de validation qui consiste à faire générer par la console un autre protocole différent du premier, à calculer par le modèle les valeurs des sorties et à vérifier que les valeurs 10 mesurées correspondent aux valeurs calculées. A la fin de cette phase, la console transfère le modèle dans le régulateur et le régulateur peut fonctionner seul pour commander l'enceinte sans que la console soit branchée.

15 Pour la régulation le microprocesseur utilise donc le modèle interne représentant le système en boucle ouverte, un modèle de référence qui représente le comportement désiré du système bouclé et un algorithme de commande permettant de calculer les commandes à appliquer à l'enceinte compte tenu 20 des commandes présentes et passées de façon qu'il y ait coïncidence entre le comportement souhaité calculé et le comportement réel du système.

Dans l'exemple considéré on a choisi comme représentation du 25 modèle de référence :

$$\text{SMR } (n+1) = \alpha \text{ SO}(n) + (1-\alpha) \text{ CONS} \quad \} \quad (2)$$

et $\text{SMR } (n+h) = \text{SMR}(n+h-1) + (1-\alpha) \text{ CONS}; h \geq 2$

30 avec $\alpha = e^{-\frac{T}{\tau_r}}$
 T période d'échantillonnage,
 τ_r temps de réponse souhaité du système,
 SMR sortie du modèle de référence,
 SO sortie objet mesurée,
 CONS consigne.

35

L'algorithme de commande est l'algorithme dual de l'identification.

- 12 -

La sortie du processus étant calculée par la formule faisant intervenir les coefficients h_i^M du modèle interne

$$SMI(n) = \sum_i e_{n-i}(n) h_i^M$$

5 Donc connaissant par la mesure $SO(n)$ à l'instant d'échantillonnage n, on calcule les sorties du modèle de référence souhaitée aux instants $n+1, n+2, \dots, n+h$ par les formules (2) dans lesquelles on connaît la sortie objet à l'instant n et la consigne à atteindre CONS.

10 On estime l'évolution future de la sortie en calculant :

$$SMIF(n+h) = H^T E_h^*$$

E_h^* est le vecteur commande composé de h commandes futures et $N-h$ commandes passées.

15 Connaissant la sortie du modèle interne futur on calcule $\varepsilon(n+h) = SMIF(n+h) - SMR(n+h)$. Les commandes futures sont ajustées de façon itérative, chaque itération se décomposant en h ajustements pour satisfaire les h points de coïncidence souhaités, en commençant par le plus éloigné dans le futur.
 20 Cet ajustement se fait, pour chacune des composantes du vecteur commande futur, en chacun des points de coïncidence suivant l'algorithme

$$e_j^* = e_j - \frac{\lambda \varepsilon(n+h-i+1) h_j^M}{H^T \cdot H^M}$$

25 avec j variant de 1 à $h-i+1$
 i variant de 1 à h
 λ coefficient de relaxation
 e_j = valeur de la $j^{\text{ème}}$ commande future obtenue soit à
 30 l'itération précédente, soit par décalage pour la
 lère itération
 e_j^* prenant la place de e_j à l'itération suivante
 h_j^M = coefficient du modèle interne
 $\varepsilon(n+h-i+1)$ = écart prédit à l'instant n au
 35 $h-i+1$ point de coïncidence.

On applique la première commande à l'enceinte, cette

- 13 -

commande provoquant une sortie SO (n+1). Connaissant SO (n+1) on comparera avec la sortie prédictive et on réitérera le calcul dans le cas d'un écart, dans le cas de la coïncidence on applique la commande future calculée. Les 5 opérations se sont donc déroulées de la façon suivante : mesure de la sortie du processus, calcul du comportement futur souhaité, estimation de l'évolution future de la sortie, ajustement des commandes futures, application de la première commande, mesure, comparaison avec les valeurs estimées et nouvelle phase de calcul en cas de désadaptation, sinon on applique les valeurs du premier calcul.

La figure 7 représente une variante de régulation utilisant le principe connu de régulation en cascade des résistances de chauffage et de l'enceinte. Cette variante ayant pour but d'améliorer les performances thermiques de l'enceinte et de protéger les résistances de chauffage.

Dans la figure 7 on retrouve les éléments du dispositif de la figure 2 avec les mêmes références ; mais, dans le micro-processeur 53, on a rajouté une deuxième entrée constituée par le bus d'entrée 123 qui est relié par un convertisseur analogique numérique 122 à un thermocouple 12 mesurant la température de la résistance de chauffage du four électrique. Cette deuxième entrée est utilisée par le micro-processeur pour calculer les commandes W à appliquer au gradateur en fonction de la commande e déterminée de la façon décrite ci-dessus et de la température de la résistance de chauffage TRA.

30

Pour cela le microprocesseur utilise l'algorithme suivant, mais tout autre algorithme peut être utilisé.

$$W_{(n)} = W_{(n-1)} + GP \left[\varepsilon_{(n)} - \varepsilon_{(n-1)} \right] + GI \cdot T \cdot \varepsilon_{(n-1)}$$

35 avec $\varepsilon_{(n)} = e_{(n)} - TRA_{(n)}$

$e_{(n)}$: consigne température résistance

- 14 -

Dans cette variante chaque fois que le microprocesseur a déterminé la valeur e_n à appliquer comme précédemment on calcule la valeur $w_{(n)}$ qui sera appliquée à la commande de la résistance chauffante. Cet algorithme est la réalisation 5 numérique d'un régulateur P.I. (proportionnel, intégral) dont le gain proportionnel est GP et le gain intégral GI ; T représente la période d'échantillonnage.

Cette variante permet de tenir compte du décalage existant 10 entre la montée en température des résistances chauffantes et la montée en température de l'enceinte du four, et d'éviter de soumettre les résistances chauffantes à des contraintes pouvant entraîner leur destruction.

15 Il va de soi que toute variante ou modification apportée aux dispositifs et procédés décrits, à la portée de l'homme de l'art, font également partie de l'esprit de l'invention.

- 15 -

Revendications de brevet.

1. Procédé d'identification du modèle mathématique d'une
enceinte thermique,

5 caractérisé en ce qu'il comprend les phases suivantes :

- détermination approximative du temps de réponse de
l'enceinte par mesure et enregistrement de la réponse en
température de l'enceinte à un échelon de puissance,

10

- élaboration d'un signal d'identification constitué d'une
multiplicité de créneaux aléatoires de hauteur et de
largeur, comprise entre une limite inférieure et une limite
supérieure en rapport avec le temps de réponse du four,

15 variant de façon aléatoire,

- mesure par échantillonnage, calcul et mise en mémoire de
la réponse impulsionale de l'enceinte au signal d'identifi-
cation pour chaque créneau,

20

- calcul du modèle de représentation de l'enceinte à partir
des réponses impulsionales mémorisées.

2. Procédé selon la revendication 1,

25 caractérisé en ce que le modèle de représentation de
l'enceinte est constitué :

- par l'enregistrement dans une première série de mémoires
d'une première multiplicité de premières valeurs détermi-
30 nées après échantillonnage à des intervalles de temps
constants, lesdites valeurs étant représentatives de la
réponse impulsionale de l'enceinte en fonction du temps,
lesdites valeurs étant rangées à des adresses correspondant
au rang de l'échantillonnage,

35

- par l'enregistrement dans une deuxième série de mémoires
d'une deuxième multiplicité de valeurs représentatives de la

- 16 -

variation du gain des réponses impulsionales en fonction de la température de fonctionnement, lesdites deuxièmes valeurs étant rangées à des adresses correspondant aux différentes températures de fonctionnement,

5

- par l'enregistrement dans une troisième série de mémoires d'une troisième multiplicité de valeurs représentatives de la variation de la période d'échantillonnage en fonction des différentes températures de fonctionnement, à des adresses 10 correspondant aux températures.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce qu'il comprend une phase de validation et de contrôle du modèle consistant à appliquer des signaux 15 d'action à l'enceinte, à calculer au moyen du modèle la réponse aux signaux de l'enceinte, et à comparer la réponse calculée avec la réponse mesurée.

4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, 20 caractérisé en ce que le calcul de la réponse impulsionnelle et du modèle est élaboré par une console qui utilise un algorithme d'identification tel que

$$h_i^M(n+1) = h_i^M(n) - \frac{\lambda e(n)e(n-i)}{E^T(n) E(n)}$$

25

5. Application du procédé d'identification du modèle d'une enceinte à la régulation de l'enceinte comprenant de façon connue un élément de mesure 4 de la variable à réguler, un élément de régulation 5 élaborant à partir des valeurs de 30 variables et du point de consigne l'action à imposer à l'enceinte, un organe de commande 11 agissant sur l'enceinte en réponse au signal d'action, caractérisée en ce que l'élément de régulation élabore le signal de commande par un premier ensemble d'algorithme qui 35 tient compte de la mesure de la sortie de l'enceinte, calcule le comportement futur souhaité en fonction du temps de réponse souhaité du système bouclé, estime grâce au

- 17 -

modèle l'évolution future de la sortie et ajuste les commandes futures, applique la première commande, mesure et compare avec les valeurs estimées la mesure pour appliquer la commande suivante en cas d'adaptation ou effectue un nouveau calcul, une nouvelle estimation et un nouvel ajustement avant d'appliquer la nouvelle première commande.

6. Application du procédé selon la revendication 5, caractérisée en ce que l'élément de régulation est constitué par un microprocesseur ou un microsystème relié pour les entrées à un convertisseur analogique digital recevant le signal d'au moins un capteur de température, pour la sortie du signal de commande ainsi qu'à des mémoires de stockage du modèle mathématique.

15

7. Application du procédé d'identification du modèle d'un processus à la régulation selon la revendication 6, caractérisée en ce que le microprocesseur ou microsystème est relié lors de l'identification du modèle à une console incorporée ou non élaborant le modèle et venant charger les mémoires de stockage du régulateur avec le modèle.

8. Application du procédé selon la revendication 6 à la régulation avec double boucle, caractérisée en ce qu'un deuxième capteur mesure un paramètre de l'actionneur et fournit un signal au microprocesseur ou microsystème utilisé par un deuxième algorithme qui calcule les commandes à appliquer à l'actionneur en fonction du paramètre mesuré de cet actionneur et des commandes calculées par le premier ensemble d'algorithmes.

9. Application du procédé selon la revendication 5, caractérisée en ce que le premier ensemble d'algorithmes est constitué par

35

$$\text{SMR}(n+h) = \alpha \text{SMR}(n+h-1) + (1 - \alpha) \text{CONS}$$

- 18 -

avec $\alpha = e^{-\frac{T}{\tau_r}}$

et $SMR(n+1) = \alpha SO + (1 - \alpha) CONS$

5 $e_j^* = e_j - \frac{\lambda \varepsilon_{(n+h-i+1)} h_j^M}{HM^T HM}$

avec $\varepsilon_{(n+h-i+1)} = SMIF_{(n+h-i+1)} - SMR_{(n+h-i+1)}$

$SMIF_{(n+h)} = HM^T E_h^*$

10

10. Application du procédé selon la revendication 8, caractérisée en ce que le deuxième algorithme peut être un algorithme P.I. numérique de la forme

15 $W_{(n)} = W_{(n-1)} + GP \left[\varepsilon_{(n)} - \varepsilon_{(n-1)} \right] + GI.T.\varepsilon_{(n-1)}$

avec $\varepsilon_{(n)} = e_{(n)} - TRA_{(n)}$

GP : Action proportionnelle

20 GI : Action intégrale

1/3

FIG. 1

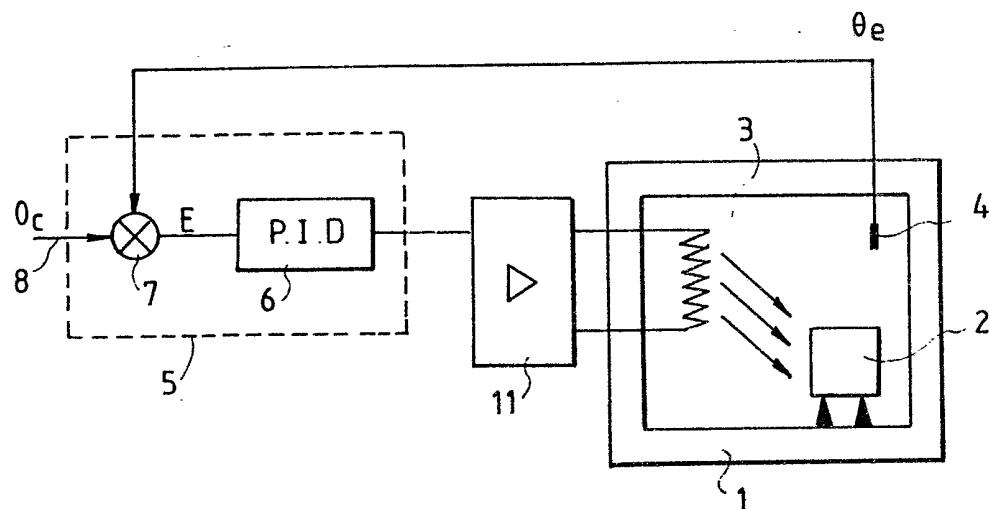


FIG. 2

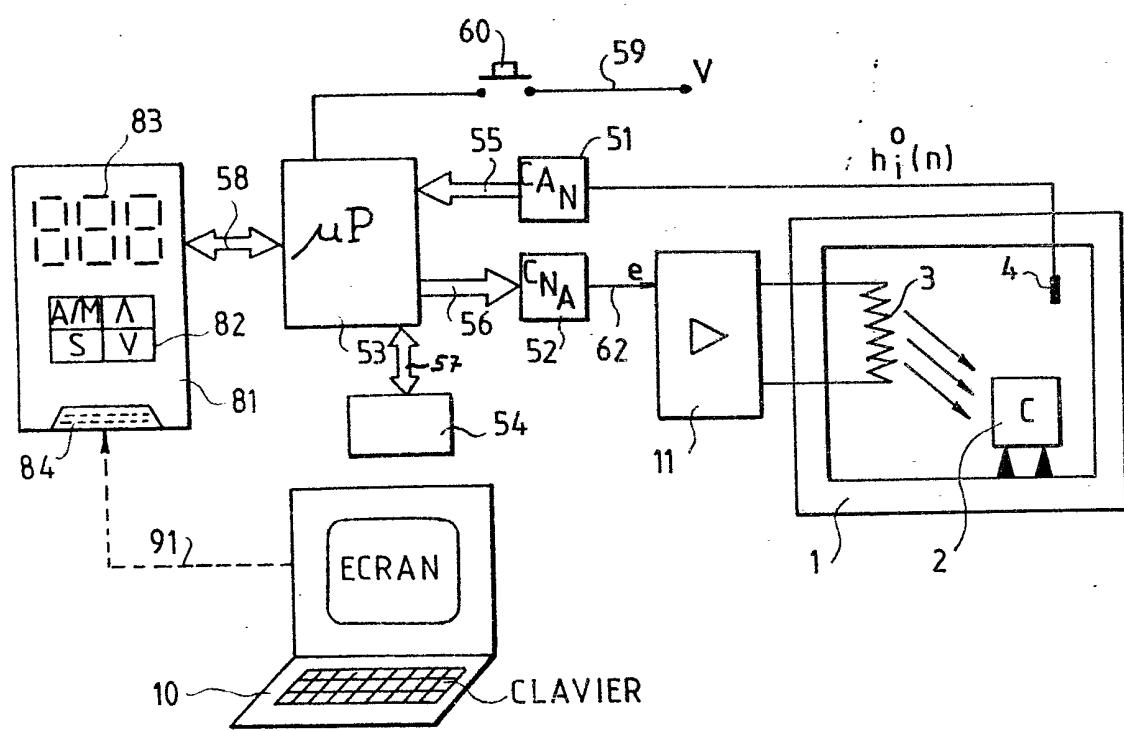
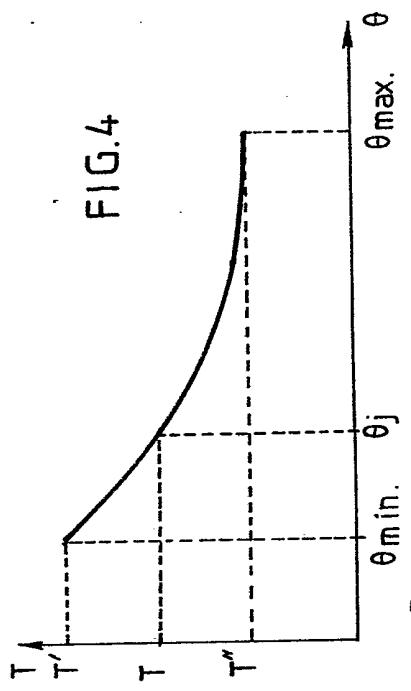


FIG. 4



2/3

FIG. 5

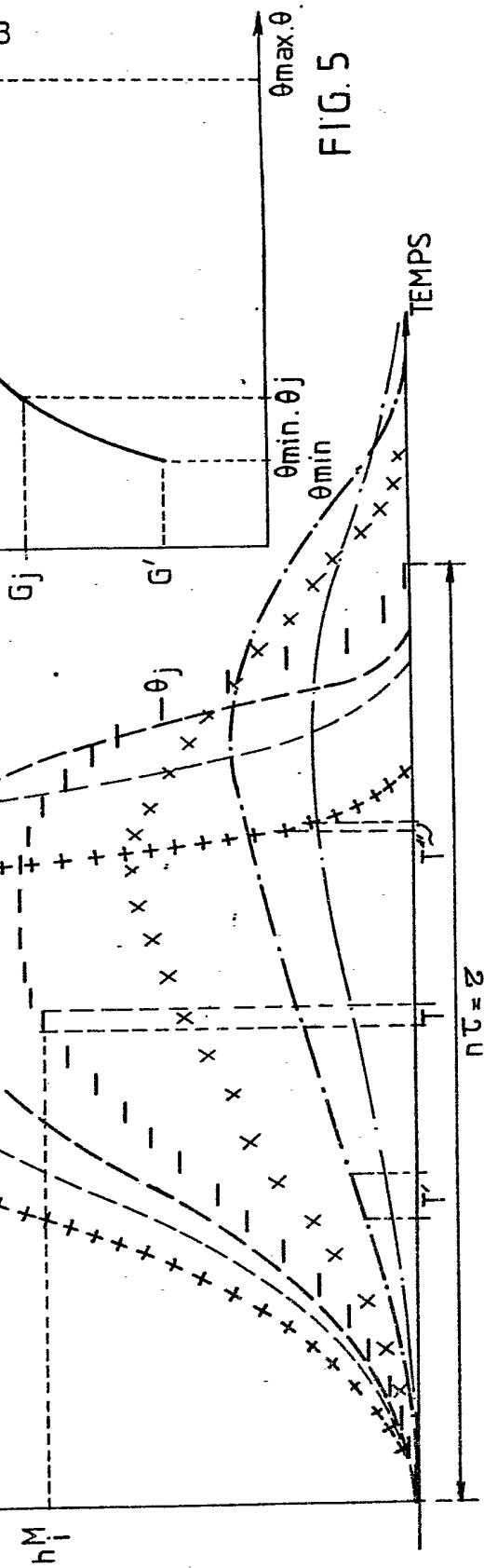
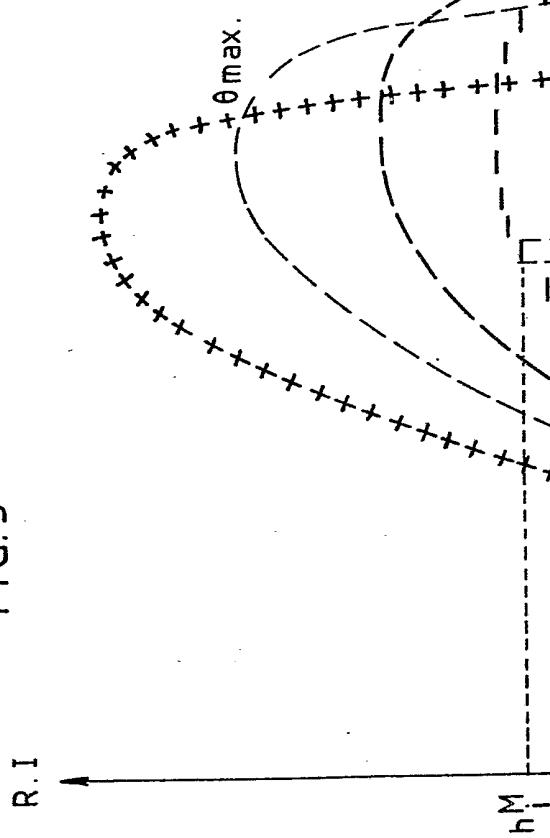
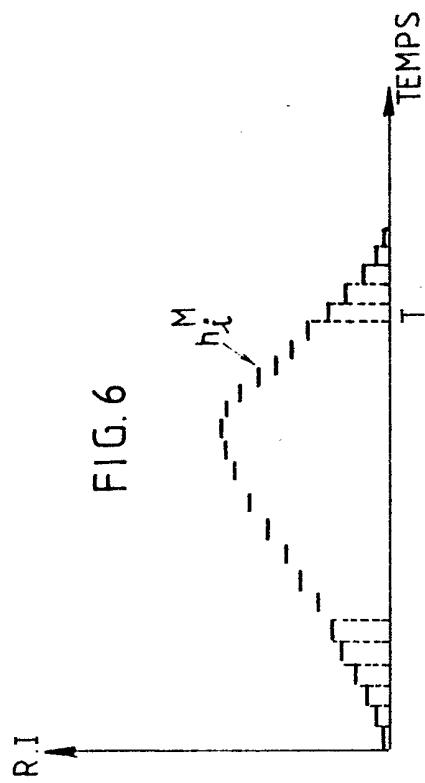


FIG. 3



3 / 3

**FIG. 7**