

⑫

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

⑳ Numéro de dépôt: **87400342.9**

⑤① Int. Cl.: **F 02 D 41/14, F 02 D 41/26, F 02 D 41/34**

㉑ Date de dépôt: **17.02.87**

③① Priorité: **25.02.86 FR 8602557**

⑦① Demandeur: **REGIE NATIONALE DES USINES RENAULT, Boîte postale 103 8-10 avenue Emile Zola, F-92109 Boulogne-Billancourt (FR)**

④③ Date de publication de la demande: **09.09.87**
Bulletin 87/37

⑦② Inventeur: **Lefebvre, Rémi, 38 bis, rue Henri Litolff, F-92700 Colombes (FR)**
Inventeur: **Prampolini, Francis, 122-125, rue de Massy, F-92160 Antony (FR)**

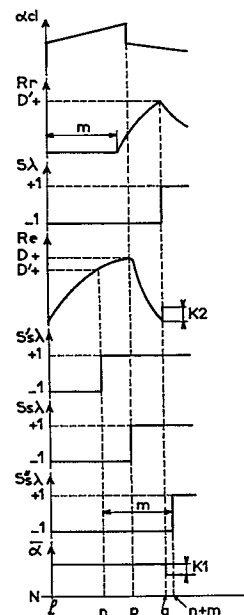
⑥④ Etats contractants désignés: **AT CH DE GB IT LI SE**

⑤④ **Procédé et système d'injection électronique à régulation par sonde lambda pour moteur à combustion interne.**

⑤⑦ Suivant ce procédé, le calculateur électronique détermine le temps d'ouverture (T_i) de l'injecteur à partir d'un temps nominal (T_{in}) fonction de paramètres de fonctionnement du moteur et d'un terme (α_{cl}) de correction proportionnelle et intégrale fonction de l'état du signal de la sonde (λ).

Plus particulièrement, on effectue une estimation prédictive (Re) de richesse des gaz d'échappement à partir de paramètres de fonctionnement du moteur et du retard pur (m), déterminée expérimentalement, entre l'injecteur (2) et la sonde (12), on élabore au moins un signal de sonde simulé ($Ss\lambda$) à partir de ladite estimation prédictive de richesse, on élabore ledit terme de correction (α_{cl}) à partir du signal de sonde simulé ($Ss\lambda$) et on modifié périodiquement ledit terme de correction (α_{cl}) en réponse à la détection d'une différence entre l'état du signal de sonde mesuré ($S\lambda$) et l'état d'un signal de sonde simulé retardé ($S's\lambda$).

Application aux véhicules à moteur à combustion interne.



EP 0 236 207 A1

L'invention concerne un procédé et un système d'injection électronique à régulation par sonde λ pour moteur à combustion interne, du type comportant au moins un injecteur dont le temps d'ouverture est commandé par un
5 calculateur électronique en fonction de paramètres de fonctionnement du moteur et de l'état de la sonde λ .

La sonde λ est un capteur dont la tension de sortie peut basculer entre un niveau haut (mélange riche) et un niveau bas (mélange pauvre) situés de part et d'autre
10 d'un seuil correspondant au rapport stoechiométrique (richesse "1"). Le signal de sortie de la sonde λ est mis en forme dans le calculateur électronique d'injection et l'information logique qui en résulte est un signal rectangulaire auquel, par convention, on attribue la valeur "+1"
15 lorsqu'il est au niveau haut et la valeur "-1" lorsqu'il est au niveau bas.

La régulation adaptée à ce genre d'information est la superposition d'une régulation du type proportionnel et d'une régulation du type intégral. La correction proportionnelle permet d'accroître la fréquence de régulation,
20 tandis que la correction intégrale permet plus particulièrement de passer d'un point de fonctionnement à un autre adapté différemment en richesse, c'est-à-dire de faire face à une désadaptation de richesse.

La régulation en boucle fermée de l'injection au moyen d'une sonde λ est essentiellement utilisée lorsque le système d'échappement du moteur est équipé d'un catalyseur destiné à réduire les émissions de composants indésirables (polluants) des gaz d'échappement. En effet, cette
30 régulation permet d'asservir la richesse du mélange air/carburant admis dans le moteur autour de la valeur $\lambda = 1$, ce qui est une condition indispensable à la combustion satisfaisante des composants toxiques par le catalyseur.

Le bon fonctionnement de ce dernier nécessite
35 donc une régulation du mélange qui soit précise et présente la plus faible inertie possible. En d'autres termes, une fréquence de régulation ou de basculement de la sonde élevée favorise un fonctionnement efficace du catalyseur.

A cet effet, différentes solutions ont été proposées pour optimiser les termes de correction proportionnelle et intégrale et, malgré leur efficacité certaine, ces solutions se heurtent à certaines limites.

5 L'invention propose un procédé et un système d'injection à régulation par sonde λ qui se différencient fondamentalement des solutions traditionnelles tout en permettant d'accroître sensiblement la fréquence de régulation. En outre, l'invention peut être combinée avec certaines de
10 ces solutions traditionnelles pour accroître encore l'efficacité de la régulation.

Les buts de l'invention sont atteints au moyen d'un procédé de dosage du carburant fourni à un moteur à combustion interne par au moins un injecteur commandé par un
15 calculateur électronique associé à une sonde délivrant un signal susceptible de prendre l'un ou l'autre de deux états fonctions de la composition des gaz d'échappement, suivant lequel le calculateur électronique détermine le temps d'ouverture de l'injecteur à partir d'un temps nominal fonction
20 de paramètres de fonctionnement du moteur et d'un terme de correction proportionnelle et intégrale fonction du signal de la sonde, caractérisé en ce qu'on effectue une estimation prédictive de richesse des gaz d'échappement à partir de paramètres de fonctionnement du moteur et du retard pur,
25 déterminé expérimentalement, entre l'injecteur et la sonde, on élabore au moins un signal de sonde simulé à partir de ladite estimation prédictive de richesse, on élabore ledit terme de correction à partir du signal de sonde simulé et on modifie périodiquement ledit terme de correction en
30 réponse à la détection d'une différence entre l'état du signal de sonde mesuré et l'état d'un signal de sonde simulé retardé.

Suivant une caractéristique, on élabore un premier signal de sonde simulé par comparaison de l'estima-
35 tion prédictive de richesse avec des premiers seuils haut et bas égaux respectivement aux seuils haut et bas de changement d'état de la sonde, on obtient le signal de sonde simulé

retardé par un décalage temporel dudit premier signal égal
audit retard pur, on élabore un second signal de sonde simulé
par comparaison de l'estimation prédictive de richesse avec
des seconds seuils haut et bas supérieurs respectivement
5 aux premiers seuils haut et bas, et on élabore ledit terme
de correction à partir du second signal de sonde simulé.

Suivant une autre caractéristique, on élabore
un terme de référence représentatif de la correction à appor-
ter audit temps nominal pour obtenir un état de la sonde
10 représentatif de la richesse "1" et on calcule une valeur
brute estimée de richesse en fonction de la différence
entre le terme de correction et le terme de référence.

L'invention a également pour objet un système
d'injection électronique pour la mise en oeuvre du procédé
15 défini ci-dessus, comprenant au moins un injecteur de carbu-
rant côté admission du moteur, une sonde sensible à la compo-
sition des gaz d'échappement, des capteurs de mesure de pa-
ramètres de fonctionnement du moteur et un calculateur élec-
tronique qui commande le temps d'ouverture de l'injecteur
20 en fonction desdits paramètres et du signal de sortie de
ladite sonde, caractérisé en ce que ledit système comprend
une mémoire morte de valeur numérique de retard pur
adressable par le calculateur en fonction de la pression
d'air à l'admission du moteur.

25 D'autres caractéristiques et avantages de
l'invention ressortiront de la description qui va suivre
d'un mode de sa réalisation donné uniquement à titre d'exemple
et illustré par les dessins annexés sur lesquels :

30 La figure 1 est un schéma-bloc d'un système
d'injection pour la mise en oeuvre du procédé suivant l'in-
vention.

La figure 2 est un schéma fonctionnel illus-
trant la régulation prédictive en boucle fermée du procédé
suivant l'invention.

35 La figure 3 est un organigramme illustrant
le programme d'initialisation du calculateur d'injection.

La figure 4 est un organigramme de fonctionnement du calculateur d'injection pour la mise en oeuvre du procédé de l'invention.

La figure 5 est un chronogramme montrant, en fonction du nombre N de demi-tours moteur, l'évolution d'un certain nombre de signaux représentatifs du fonctionnement du système d'injection suivant l'invention.

Les figures 6 à 8 sont des graphiques montrant respectivement l'efficacité d'un pot catalyseur et l'analyse spectrale de la période moteur sans et avec le procédé de l'invention.

Le schéma-bloc de la figure 1 montre un moteur à combustion interne à allumage commandé 1 équipé d'un injecteur 2 côté admission 3 et d'un catalyseur 4 d'épuration de gaz d'échappement côté échappement 5.

L'injecteur 2 est commandé par un microcalculateur programmé 6 par l'intermédiaire d'un circuit de puissance 7. Le microcalculateur 6 détermine le temps nominal T_{in} d'ouverture de l'injecteur 2 en fonction de la pression d'air mesurée par un capteur de pression 8 placé côté admission 3 et de la vitesse de rotation du moteur. Cette dernière information est délivrée par un capteur 9 devant lequel défilent les dents d'une cible 10 solidaire en rotation du vilebrequin du moteur. La cible 10 peut également être pourvue d'un ou plusieurs accidents placés dans une position angulaire prédéterminée pour fournir une information de position angulaire par l'intermédiaire du capteur 9, ou une deuxième cible associée à un capteur supplémentaire peuvent être prévus à cet effet.

Le temps nominal T_{in} peut être corrigé par le microcalculateur 6 en fonction d'autres informations telles que la température de l'air atmosphérique, la température de l'eau de refroidissement du moteur, etc.... qu'il reçoit éventuellement sur des entrées auxiliaires 11.

Le temps nominal T_{in} est également corrigé à partir de l'information délivrée par une sonde λ 12 disposée côté échappement 5, entre le moteur 1 et le catalyseur 4. Le signal de sortie de la sonde λ est mis en forme

dans le microcalculateur 6 et il présente alors l'allure du signal S_λ de la figure 5. Ce signal S_λ contient une information sur la teneur en oxygène résiduel des gaz d'échappement, et également sur le rapport momentané d'air et de carburant du mélange aspiré par le moteur. Les niveaux haut et bas de ce signal S_λ , auxquels sont affectées respectivement des valeurs numériques "+1" et "-1", correspondent à des richesses respectivement supérieure et inférieure au rapport stoechiométrique (richesse "1").

Comme on le verra dans la suite, l'état de la sonde λ n'est pas l'image instantanée de la richesse du mélange admis dans le moteur car il existe un retard pur entre l'injecteur 2 et la sonde λ 12. Ce retard pur, déterminé expérimentalement, est stocké sous forme de valeurs numériques dans une mémoire morte 13 adressable par le calculateur 6 en fonction de la pression d'air à l'admission du moteur. La mémoire morte 13 peut être interne ou externe au calculateur 6.

On considèrera dans la suite que l'ensemble décrit à la figure 1 concerne un moteur à quatre cylindres comportant un seul injecteur s'ouvrant pendant un temps T_i à chaque demi-tour du moteur. Cependant, il doit être compris que l'invention n'est nullement limitée à cet exemple spécifique et s'applique à tout type de moteur à allumage commandé, quel que soit le nombre d'injecteurs et de cylindres qui l'équipent. De même, les paramètres de calcul du temps nominal T_{in} d'ouverture de l'injecteur 2 sont donnés uniquement à titre d'exemples et l'on peut, entre autres, utiliser un capteur de débit d'air au lieu du capteur de pression 8 côté admission 3. Dans ce cas, la mémoire 13 contenant les valeurs numériques de retard pur est adressée en fonction du débit d'air au lieu de la pression.

Le temps T_i d'ouverture de l'injecteur 2 calculé par le microcalculateur 6 est donné par la formule suivante :

$$T_i = T_{in} \left(1 + \frac{\alpha c_1}{K} \right) + T_{i0} \quad (1) \quad \text{où}$$

- T_{in} représente le temps nominal d'ouverture calculé de manière classique en fonction des paramètres principaux et auxiliaires de fonctionnement du moteur mentionnés plus haut ;

5 - T_{io} est le temps nécessaire pour que l'injecteur commence à débiter après son excitation par le circuit de puissance 7 ;

- α_{cl} est le terme de correction ou coefficient de régulation par sonde λ ;

10 - K est un coefficient de valeur prédéterminée en fonction de la dynamique désirée sur la correction de T_{in} .

Dans le cas d'un microcalculateur 8 bits, on peut prendre $K = 256$ et α_{cl} peut varier entre 0 et 15 256, sa valeur nominale étant 128. Par conséquent, la formule (1) peut s'écrire :

$$T_i = T_{in} \left(1 + \frac{\alpha_{cl}}{256} \right) + T_{io},$$

20 le terme $1 + \frac{\alpha_{cl}}{256}$ pouvant varier entre la valeur 1 ($\alpha_{cl} = 0$) et la valeur 2 ($\alpha_{cl} = 256$), la valeur nominale étant de 1,5 ($\alpha_{cl} = 128$).

25 Le coefficient α_{cl} détermine les corrections proportionnelle et intégrale et est généralement exprimé par la formule :

$$\alpha_{cl}(n) = \alpha_{cl}(n-1) - H(S\lambda(n) - S\lambda(n-1)) - GS\lambda(n) \quad (2)$$

où :

30 - n représente le nombre de demi-tours effectués par le moteur depuis le dernier basculement de la sonde λ_{12} ;

- H est un coefficient fixe ou variable déterminant l'amplitude de la correction proportionnelle ;

- G est un coefficient fixe ou variable déterminant le gain de la correction intégrale.

35 En variante, le gain de la correction intégrale peut être une fonction croissante du délai écoulé depuis le dernier basculement de la sonde 12, par exemple une fonction parabolique si α_{cl} est de la forme suivante :

$\alpha_{cl}(n) = \alpha_{cl}(n-1) - H(S\lambda(n) - S\lambda(n-1)) - nGS\lambda(n)$ (3)
 où G est alors un coefficient fixe prédéterminé intervenant dans la détermination du gain de la correction intégrale.

L'invention se distingue des solutions rappelés ci-dessus de détermination du terme de correction α_{cl} par le fait qu'à cet effet elle ne fait pas appel directement au signal de sonde mesuré $S\lambda$, mais à un signal de sonde simulé $Ss\lambda$.

Le procédé suivant l'invention est en effet basé sur le fait que le temps d'injection T_i est réglé à partir d'une estimation de richesse et que l'observation du signal de sonde mesuré $S\lambda$ sert à réajuster périodiquement cette estimation. Ceci permet de s'affranchir du retard pur entre l'injecteur et la sonde et, donc, de ce pas attendre son basculement pour effectuer la correction proportionnelle, ce qui a pour conséquence d'augmenter la fréquence d'oscillation de richesse.

Si l'on pose en effet que $\bar{\alpha}$ est la valeur de α_{cl} pour laquelle le temps d'injection conduit à un mélange de richesse 1, soit $T_i(\bar{\alpha}) = T_i \text{ richesse } 1$, on peut écrire :

$$T_i(\alpha_{cl}) - T_i(\bar{\alpha}) = \Delta T_i / T_i \text{ richesse } 1 \cdot \alpha_{cl} - \bar{\alpha} \quad (4)$$

Compte tenu de la fonction de transfert entre l'injecteur et la sonde λ , on a :

$$\frac{\Delta \text{Richesse}}{\text{Richesse } 1} = \frac{e^{-np}}{1 + \tau_p} \cdot \Delta T_i / T_i \text{ richesse } 1 \quad (5)$$

Par conséquent, le terme

$$\beta(n) = \frac{\alpha(n) - \bar{\alpha}(n)}{1 + \tau_p}$$

est représentatif de l'écart de richesse par rapport à la richesse 1 au niveau de la sonde λ à l'instant $n + m + 1$, m représentant le retard pur entre l'injecteur et la sonde.

Le procédé de régulation prédictive en boucle fermée mettant en oeuvre ce concept sera maintenant décrit en se reportant au schéma fonctionnel de la figure 2.

Les blocs 13 et 14 représentent les valeurs

initiales de α_{cl} et $\bar{\alpha}$ et l'on effectue en 15 la différence $\alpha_{cl} - \bar{\alpha}$. Le bloc 16 représente un filtrage passe-bas à la sortie duquel on obtient le terme $\beta = (\alpha_{cl} - \bar{\alpha})$.

Le bloc 17 représente l'ensemble du système de la figure 1 et comporte notamment comme grandeur le temps d'injection T_i et la position angulaire Θ_m du moteur dont est déduit le nombre n de demi-tours moteur qui se sont écoulés depuis le dernier basculement de la sonde. Les grandeurs de sortie du bloc 17 sont la pression mesurée P et le signal de sonde mesuré $S\lambda$. Le bloc 18 représente un filtrage passe-bas de la pression P et l'on effectue en 19 la différence $P - \bar{P}$. Cette différence est multipliée par le coefficient K' en 20, le terme $K'(P - \bar{P})$ étant positif en accélération et négatif en décélération, et permettant de prendre en compte les problèmes de mouillage des parois du collecteur d'admission par le carburant. On effectue en 21 la différence $\beta - K'(P - \bar{P})$ et l'on retranche en 22 de cette différence le terme $K_2 [S\lambda(n) - S\lambda(n-1)]$. On obtient donc en 22 une grandeur Re qui constitue une estimation de richesse non retardée au niveau des gaz d'échappement.

Le bloc 23 représente l'hystérésis de la sonde λ et reconstitue à l'instant n (demi-tour n) un signal de sonde simulé $S^s\lambda$ qui est une estimation prédictive de ce que sera le signal de sonde mesuré $S\lambda$ à l'instant $n + m + 1$.

Par ailleurs, le bloc 24 représente la détermination du retard pur m en fonction de la pression d'air P mesurée à l'admission du moteur. Le bloc 25 représente un retard pur m apporté sur le signal $S^s\lambda(n)$, correspondant à une fonction de transfert $e^{-\frac{K''}{N}P}$, et l'on effectue en 26 la différence entre le signal de sonde simulé $S^s\lambda(n)$ et le signal de sonde mesuré $S\lambda(n)$. Cette différence est multipliée par le coefficient K_2 en 27 pour être réinjectée en 22 comme expliqué précédemment. Par ailleurs, cette même différence $S^s\lambda(n) - S\lambda(n)$ est multipliée par K_1 en 28 pour être réinjectée en 15.

Comme le montre la figure 5, un écart entre le signal de sonde simulé $S^s\lambda(n)$ et le signal de sonde

mesuré $S \lambda (n)$ a pour cause une mauvaise estimation, donc une erreur, sur le terme $\bar{\alpha}$ (α_{cl} est connu), qui est donc corrigée par l'intermédiaire du coefficient K1 (correction intégrale), et a pour conséquence une erreur sur le calcul
 5 d'estimation de richesse en cours qui est corrigée par l'intermédiaire du coefficient K2 (correction intégrale).

La correction proportionnelle et intégrale sur le coefficient α_{cl} est effectuée à partir d'un deuxième signal de sonde simulé $Ss \lambda (n)$ élaboré par le bloc 29
 10 à partir de l'estimation de richesse non retardée Re . Ce bloc 29 possède une hystérésis plus importante que le bloc 23, ce qui permet des basculements plus francs de la sonde 12 puisque les excursions de richesse se trouvent amplifiées. Les blocs 30 et 31 représentent respectivement les
 15 corrections intégrale et proportionnelle et la différence obtenue en 32 représente le terme $\Delta \alpha_{cl}$ qui est retranché en 33 du α_{cl} initial. On obtient donc à la sortie de 33 le terme α_{cl} qui est injecté en 15 avec le terme $\bar{\alpha}$ résultant de la différence effectuée en 34 entre le $\bar{\alpha}$ initial
 20 (bloc 14) et le $\Delta \bar{\alpha}$ calculé (bloc 28)..

La figure 4 est un organigramme de fonctionnement du calculateur 6 qui permet de mettre en oeuvre le schéma d'asservissement de la figure 2. La figure 3 est un organigramme d'un programme d'initialisation qui se déroule
 25 lors du démarrage du moteur.

Dès réception d'une instruction d'initialisation (étape 40), le calculateur 6 charge une valeur prédéterminée XX dans un compteur CPT qui décompte les demi-tours moteur (étape 41). L'étape suivante 42 consiste à émettre
 30 un drapeau de valeur 0, puis on fixe les valeurs initiales de $\bar{\alpha}$ et α_{cl} à l'étape 43 ($\bar{\alpha} = \alpha_{cl} = 128$) et de β et Re à l'étape 44 ($\beta = Re = 0$). L'étape 45 représente la fin du programme d'initialisation.

Le déroulement du programme principal de la
 35 figure 4 sera maintenant décrit en se référant également au chronogramme de la figure 5. Ce programme se déroule à chaque détection du passage du moteur par une position

angulaire prédéterminée, par exemple le passage d'un piston par le point mort haut (étape 50). L'étape suivante 51 est un test pour déterminer si le moteur est ou non encore dans sa phase de démarrage. Si tel est le cas, le compteur CPT n'a pas encore été décompté et le drapeau fixé à l'étape 42 du programme d'initialisation est toujours à 0. La réponse négative au test 51 conduit alors à l'étape 52 où le terme de correction α_{cl} est calculé de manière classique à partir du signal de sonde mesuré $S\lambda(n)$:

$\alpha_{cl} = \alpha_{cl} - G1S\lambda(n) - H1(S\lambda(n) - S\lambda(n-1))$. A l'étape suivante 53, on calcule le terme de référence $\bar{\alpha}$:

$$\bar{\alpha} = \bar{\alpha} + x(\alpha_{cl} - \bar{\alpha})$$

où x est un coefficient de valeur fixe prédéterminée.

L'étape 54 qui suit consiste à donner au signal de sonde simulé $S^*s\lambda(n)$ la valeur que présente le signal de sonde mesuré $S\lambda(n)$ au nième demi-tour.

Si, comme cela sera expliqué par la suite, la phase de démarrage du moteur est terminée et celui-ci a effectué un nombre de demi-tours au moins égal à celui XX fixé dans le compteur CPT à l'étape 41 du programme d'initialisation, la valeur du drapeau s'est trouvée fixée à 1 et la réponse au test 52 est positive. A l'étape 55 on donne alors au signal de sonde simulé retardé $S^*s\lambda(n)$ la valeur que présentait le signal de sonde simulé non retardé $S^*s\lambda(n-m)$ ----- m demi-tours plus tôt. Ceci peut être visualisé sur la figure 5 où l'on constate que le signal $S^*s\lambda$ est décalé par rapport au signal $S^*s\lambda$ du retard pur m fonction de la pression P . On calcule ensuite à l'étape 56 le terme de référence $\bar{\alpha}$:

$\alpha(n) = \alpha(n-1) + K1(S^*s\lambda(n) - S\lambda(n))$.

Les étapes 54 et 56 conduisent toutes deux à l'étape 57 de calcul du terme β :

$$\beta(n) = \beta(n-1) + k[\bar{\alpha}_{cl}(n-1) - \bar{\alpha}(n) - \beta(n-1)]$$

où k est un coefficient de valeur fixe prédéterminée. On effectue ensuite en 58 un filtrage passe-bas sur la pression mesurée; $\bar{P} = \bar{P} + x'(P - \bar{P})$ où x' est un coefficient de valeur fixe prédéterminée.

L'étape suivante 59 est le calcul de l'estimation prédictive de richesse non retardée Re :

$$Re = \beta(n) - K'(P - \bar{P}) - K2 \sqrt{S's} \lambda(n) - S \lambda(n)7.$$

L'étape 59 est suivie d'une série de tests

5 pour comparer l'estimation de richesse Re à des seuils $D+$ et $D-$ d'une part et $D'+$ et $D'-$ d'autre part. Les seuils $D+$ et $D-$ sont symétriques par rapport à la richesse 1, de même que les seuils $D'+$ et $D'-$ qui sont supérieurs aux seuils $D+$ et $D-$ respectivement. Pour des raisons de commodité, seuls les seuils $D+$ et $D'+$ ont été représentés sur la figure 5, ce qui correspond à un fonctionnement en mélange riche, mais on peut en déduire immédiatement les différents signaux qui seraient obtenus en cas de fonctionnement en mélange pauvre par comparaison de la richesse estimée Re avec les seuils $D-$ et $D'-$.

15 Le premier test 60 qui suit l'étape 59 consiste à comparer Re au seuil $D+$. Si Re est supérieur ou égal à $D+$, on fixe au signal $Ss \lambda(n)$ la valeur +1 (étape 61). Dans le cas contraire, on passe au test 62 où l'on compare Re au seuil $D-$. Si Re est inférieur ou égal à $D-$, on fixe au signal $Ss \lambda(n)$ la valeur -1 (étape 63). Les étapes 61 et 63 ou une réponse négative au test 62 conduisent au test 64 où l'on compare Re au seuil $D'+$. Si la réponse à ce test est positive, on fixe au signal $S's \lambda(n)$ la valeur +1 (étape 65), tandis que dans le cas contraire on passe au test 66 où l'on compare Re au seuil $D'-$. Si la réponse à ce test est positive, on fixe au signal $S's \lambda(n)$ la valeur -1 (étape 67). Les étapes 65 et 67, ainsi qu'une réponse négative au test 66, conduisent au test 68. Dans le cas d'une réponse négative aux tests 60 et 62, $Ss \lambda(n)$ conserve la valeur qu'il avait à l'instant $n-1$ et, de même, dans le cas d'une réponse négative aux tests 64 et 66, $S's \lambda(n)$ conserve la valeur qu'il avait à l'instant $n-1$.

35 Le test 68 porte sur la valeur du drapeau. Si l'on est toujours en phase de démarrage du moteur, le drapeau a toujours la valeur 0 fixée à l'étape 42 du programme d'initialisation et la réponse au test 68 est négative et conduit à un test 69 concernant le contenu du compteur CPT initialisé à la valeur XX à l'étape 41 du programme d'initialisation. Dans la phase de démarrage, le contenu du compteur CPT n'a toujours pas été ramené à 0 et la réponse négative au test

40

69 conduit à l'étape 70 où l'on décrémente d'une unité le compteur CPT.

L'étape suivante 71 consiste à calculer le temps d'injection en utilisant le terme de correction

5 α_{cl} calculé à l'étape 52 :

$$T_i = T_{in} \left(1 + \frac{\alpha_{cl}}{256} \right) + T_{i0} .$$

10 L'étape suivante 72 marque la fin du déroulement du programme qui reste dans l'attente de la prochaine interruption due au passage du moteur par une position angulaire prédéterminée.

15 Lorsque le moteur a effectué XX demi-tours, le contenu du compteur CPT a été décompté jusqu'à 0 et la réponse au test 69 est positive. Le drapeau est alors fixé à 1 (étape 73), après quoi l'on passe à l'étape 71 de calcul du temps d'injection T_i .

20 La phase de démarrage du moteur est alors achevée et au demi-tour suivant le test 51 conduit à dérouler les étapes 55 et 56. De même, la réponse positive au test 68 conduit à l'étape 74 où le terme de correction α_{cl} est calculé en fonction du signal de sonde simulé $S_s \lambda$:

$$\alpha_{cl} = \alpha_{cl} - G_1 S_s \lambda (n) - H_1 [S_s \lambda (n) - S_s \lambda (n-1)]$$

25 Ensuite, tant que le moteur fonctionne, le terme α_{cl} est toujours calculé à partir du signal de sonde simulé $S_s \lambda$, bien que l'on puisse envisager un retour à un calcul traditionnel fondé sur le signal de sonde mesuré $S \lambda$ dans certaines conditions particulières de fonctionnement du moteur.

30 La figure 5 montre clairement le retard pur qui existe entre l'injecteur 2 et la sonde 12 : on constate en effet que la richesse réelle au niveau de la sonde R_r , supposée être initialement à un palier pour faciliter la compréhension du phénomène décrit, ne commence à augmenter que n demi-tours après que soit apparue l'augmentation de richesse du mélange à l'admission due à la correction proportionnelle introduite pas la présence d'un saut du terme α_{cl} à l'instant supposé initial λ . On voit par contre que l'estimation de ri-

chesse prédictive Re commence à croître dès le demi-tour λ jusqu'au demi-tour p où elle atteint le seuil $D+$. Ceci provoque un changement d'état du signal de sonde simulé $S_s\lambda$ utilisé pour le calcul de α_{cl} qui, de ce fait, apporte
 5 immédiatement une correction proportionnelle suivie d'une correction intégrale. Cependant, le signal de sonde simulé $S_s\lambda$ a déjà changé d'état au demi-tour n lorsque l'estimation de richesse prédictive Re a atteint le seuil $D'+$ inférieur au seuil $D+$, de sorte que le signal de sonde simulé
 10 retardé $S_s\lambda$ changera lui aussi d'état m demi-tours plus tard, à savoir au demi-tour $n + m$. Cependant, on a supposé dans l'exemple représenté que la sonde réelle avait basculé quelque temps plus tôt, au ^{demi-}tour q . Ceci signifie que l'estimation prédictive de richesse Re ne coïncide pas exactement
 15 avec l'évolution de la richesse réelle R_r au niveau de la sonde λ et il en résulte au demi-tour q une correction, tant de l'estimation prédictive de richesse Re (coefficient K_2), que du coefficient $\bar{\alpha}$ (coefficient K_1).

Dans l'exemple de mise en oeuvre de l'invention
 20 par l'organigramme de la figure 4, le terme α_{cl} de correction proportionnelle et intégrale est supposé être calculé de manière classique comme indiqué par la formule (2) précitée. Il doit être cependant noté que ce terme peut être calculé
 25 tout aussi bien par la formule (3) assurant une correction intégrale de type parabolique ou par toute autre formule appropriée. En effet, l'invention ne réside pas dans la formule de calcul proprement dite de ce terme, mais dans
 l'utilisation, à cet effet, d'un signal de sonde simulé basé sur une prédiction de l'évolution de la richesse
 30 des gaz d'échappement au niveau de la sonde réelle. En d'autres termes, le procédé et le système décrits assurent un bouclage de richesse à partir d'un signal simulé par un modèle interne et un recalibrage de ce modèle interne est effectué périodiquement à partir de l'observation de
 35 l'état de la sonde λ . Dans l'exemple décrit, on doit donc distinguer la régulation du temps d'injection qui est basé sur le signal de sonde simulé $S_s\lambda$ de la régulation du

modèle interne qui fait appel à l'autre signal de sonde simulé $S's \lambda$ et au signal de sonde simulé retardé $S''s \lambda$. Bien entendu, il est possible d'effectuer la régulation du temps d'injection T_i directement sur le signal de sonde simulé $S's \lambda$ mais, comme indiqué précédemment, la solution décrite permet d'assurer des basculements plus francs de la sonde réelle 12 du fait que les seuils de richesse D_+ et D_- utilisés pour l'élaboration du signal de sonde simulé $Ss \lambda$ sont supérieurs aux seuils réels D'_+ et D'_- de basculement de la sonde. D'autres modifications peuvent naturellement être apportées à l'exemple de réalisation décrit sans pour autant sortir du cadre et de l'objet de l'invention.

La figure 6 représente à différentes fréquences d'excitation du terme αc_l l'efficacité d'un catalyseur trifonctionnel de 54.000 miles en fonction de l'amplitude crête à crête des oscillations de richesse à l'entrée du pot catalyseur. L'efficacité est calculée de la manière suivante, exprimée en pourcentage :

$$\frac{\text{Valeur polluant avant catalyseur} - \text{Valeur polluant après catalyseur}}{\text{Valeur polluant avant catalyseur}}$$

Ce graphique montre que l'efficacité est d'autant plus importante que la fréquence est élevée et que l'amplitude des oscillations de richesse est faible. Or, précisément, le procédé suivant l'invention permet d'accroître cette fréquence et, pour un gain H_1 donné, de diminuer l'amplitude des oscillations de richesse.

Cette augmentation de fréquence est mise en évidence sur les figures 7 et 8 qui concernent un moteur à combustion interne commandé respectivement par un procédé d'injection de carburant classique et le procédé suivant l'invention. Ces courbes représentent l'analyse spectrale de la période moteur T exprimée en millisecondes au régime de ralenti. Il en ressort que dans le premier cas, la raie fondamentale est située autour de 0,9 Hz, alors qu'elle est voisine de 2 Hz avec le procédé de l'invention.

Cette augmentation de fréquence se traduit non seulement par un gain sur l'efficacité du pot catalyseur, mais également par une réduction du pompage basse fréquence du régime moteur au ralenti, d'où il résulte
5 une amélioration du confort vibratoire sur véhicule perceptible par un conducteur.

REVENDICATIONS.

1. Procédé de dosage du carburant fourni à un moteur à combustion interne par au moins un injecteur commandé par un calculateur électronique associé à une sonde délivrant un signal ($S\lambda$) susceptible de prendre l'un
5 ou l'autre de deux états fonctions de la composition des gaz d'échappement, suivant lequel le calculateur électronique détermine le temps d'ouverture (T_i) de l'injecteur à partir d'un temps nominal (T_{in}) fonction de paramètres de fonctionnement du moteur et d'un terme (αcl) de correction proportionnelle et intégrale fonction de l'état du signal
10 de la sonde, caractérisé en ce qu'on effectue une estimation prédictive (Re) de richesse des gaz d'échappement à partir de paramètres de fonctionnement du moteur et du retard pur (m), déterminée expérimentalement, entre
15 l'injecteur (2) et la sonde (12), on élabore au moins un signal de sonde simulé ($S_s\lambda$) à partir de ladite estimation prédictive de richesse, on élabore ledit terme de correction (αcl) à partir du signal de sonde simulé ($S_s\lambda$) et on modifie périodiquement ledit terme de correction (αcl) en
20 réponse à la détection d'une différence entre l'état du signal de sonde mesuré ($S\lambda$) et l'état d'un signal de sonde simulé retardé ($S''s\lambda$).

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'on élabore un premier signal de sonde simulé
25 ($S's\lambda$) par comparaison de l'estimation prédictive de richesse (Re) avec des premiers seuils haut et bas ($D'+, D'-$) égaux respectivement aux seuils haut et bas de changement d'état de la sonde, on obtient le signal de sonde simulé retardé ($S''s\lambda$) par un décalage temporel dudit
30 premier signal ($S's\lambda$) égal audit retard pur (m), on élabore un second signal de sonde simulé ($S_s\lambda$) par comparaison de l'estimation prédictive de richesse (Re) avec des seconds seuils haut et bas ($D+, D-$) supérieurs respectivement aux premiers seuils haut et bas, et on élabore ledit terme de
35 correction (αcl) à partir du second signal de sonde simulé ($S_s\lambda$).

3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'on élabore un terme de référence ($\bar{\alpha}$) représentatif de la correction à apporter audit temps nominal (T_{in}) pour obtenir un état de la sonde représentatif de la richesse β et on calcule une valeur brute estimée de richesse (β) en fonction de la différence entre le terme de correction (α_{cl}) et le terme de référence ($\bar{\alpha}$).

4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce qu'on élabore ledit terme de référence ($\bar{\alpha}$) en fonction de la différence entre l'état du signal de sonde simulé retardé ($S^*s\lambda$) et l'état du signal de sonde mesuré ($S\lambda$).

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 3 et 4, caractérisé en ce que l'estimation prédictive de richesse (Re) est égale à la somme de ladite valeur brute (β), d'un premier terme ($K'(P - \bar{P})$) fonction de la pression d'air à l'admission du moteur et d'un second terme ($K_2(S^*s\lambda - S\lambda)$) fonction de la différence entre l'état du signal de sonde simulé retardé ($S^*s\lambda$) et l'état du signal de sonde mesuré ($Ss\lambda$).

6. Procédé selon la revendication 5, suivant lequel on détecte l'état de la sonde et on calcule le temps (T_i) d'ouverture de l'injecteur cycliquement à chaque tour ou fraction de tour du moteur, caractérisé en ce que l'estimation prédictive de richesse Re est exprimée par :

$$Re(n) = \beta(n) - K'(P - \bar{P}) - K_2(S^*s\lambda(n) - S\lambda(n)) \text{ où :}$$

- β est la valeur brute estimée de richesse,
- K' est un coefficient de valeur prédéterminée,
- \underline{P} est la pression d'air à l'admission du moteur,
- \bar{P} représente la pression P vue à travers un filtre passe-bas,
- K_2 est un coefficient de valeur prédéterminée,
- $S\lambda(n)$ est la valeur que présente le signal de sonde mesuré n cycles après le dernier basculement de la sonde,

- $S''\lambda(n)$ est la valeur que présente le signal de sonde simulé retardé au cycle n ,
- les signaux $S\lambda(n)$ et $S''s\lambda(n)$ étant susceptibles de prendre les valeurs +1 ou -1.

5 7. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que la valeur brute estimée de richesse au cycle n est exprimée par :

$$\beta(n) = \beta(n-1) + k[\alpha_{cl}(n-1) - \bar{\alpha}(n) - \beta(n-1)],$$

où :

10 - $\beta(n-1)$ est la valeur brute estimée de richesse au cycle $n-1$,

- k est un coefficient de valeur prédéterminée,

- $\alpha_{cl}(n-1)$ est le terme de correction calculé au cycle $n-1$,

15 - $\bar{\alpha}(n)$ est le terme de référence calculé au cycle n ,

8. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que la valeur du terme de référence au cycle n est exprimée par :

20 $\bar{\alpha}(n) = \bar{\alpha}(n-1) + K1[S''s\lambda(n) - S\lambda(n)]$, où :

- $\bar{\alpha}(n-1)$ est la valeur du terme de référence au cycle $n-1$,

- $K1$ est un coefficient de valeur prédéterminée.

25 9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 2 à 8, caractérisé en ce que la valeur du terme de correction n cycles après le dernier basculement de la sonde est exprimée par :

$$\alpha_{cl}(n) = \alpha_{cl}(n-1) - G1Ss\lambda(n) - H1[Ss\lambda(n) - Ss\lambda(n-1)],$$

où

30 - $\alpha_{cl}(n-1)$ est la valeur du terme de correction au cycle $n-1$,

- $G1$ est un coefficient intervenant dans la détermination du gain de la correction intégrale,

35 - $H1$ est un coefficient déterminant l'amplitude de la correction proportionnelle,

- $S_s\lambda(n)$ est la valeur que présente le second signal de sonde simulé au cycle n ,

- $S_s\lambda(n-1)$ est la valeur que présente le second signal de sonde simulé au cycle $n-1$,

5 le signal $S_s\lambda$ étant susceptible de prendre les valeurs +1 ou -1.

10 10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 2 à 8, caractérisé en ce que la valeur du terme de correction n cycles après le dernier basculement de la sonde est exprimée par :

$$\alpha_{cl}(n) = \alpha_{cl}(n-1) - H_2 \sqrt{S_s\lambda(n) - S_s\lambda(n-1)} - nG_2 S_s\lambda(n),$$

où :

- $\alpha_{cl}(n-1)$ est la valeur du terme de correction au cycle $n-1$,

15 - H_2 est un coefficient déterminant l'amplitude de la correction proportionnelle,

- G_2 est un coefficient intervenant dans la détermination de la correction intégrale,

20 - $S_s\lambda(n)$ est la valeur que présente le second signal de sonde simulé au cycle n ,

- $S_s\lambda(n-1)$ est la valeur que présente le second signal de sonde simulé au cycle $n-1$,

le signal $S_s\lambda$ étant susceptible de prendre les valeurs +1 ou -1.

25 11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que ledit retard pur (m) est une fonction de la pression d'air (P) à l'admission du moteur.

30 12. Procédé selon la revendication 11, caractérisé en ce que ledit retard pur (m) est une valeur numérique exprimée en nombre de tours ou fractions de tour moteur.

35 13. Système d'injection électronique pour la mise en oeuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, comprenant au moins un injecteur de carburant côté admission du moteur, une sonde sensible à

la composition des gaz d'échappement, des capteurs de mesure de paramètres de fonctionnement du moteur et un calculateur électronique qui commande le temps d'ouverture de l'injecteur en fonction desdits paramètres et du signal de sortie de ladite sonde, caractérisé en ce que ledit système comprend une mémoire morte (13) de valeurs numériques de retard pur (m) adressable par ledit calculateur (6) en fonction de la pression d'air (P) à l'admission du moteur (1).

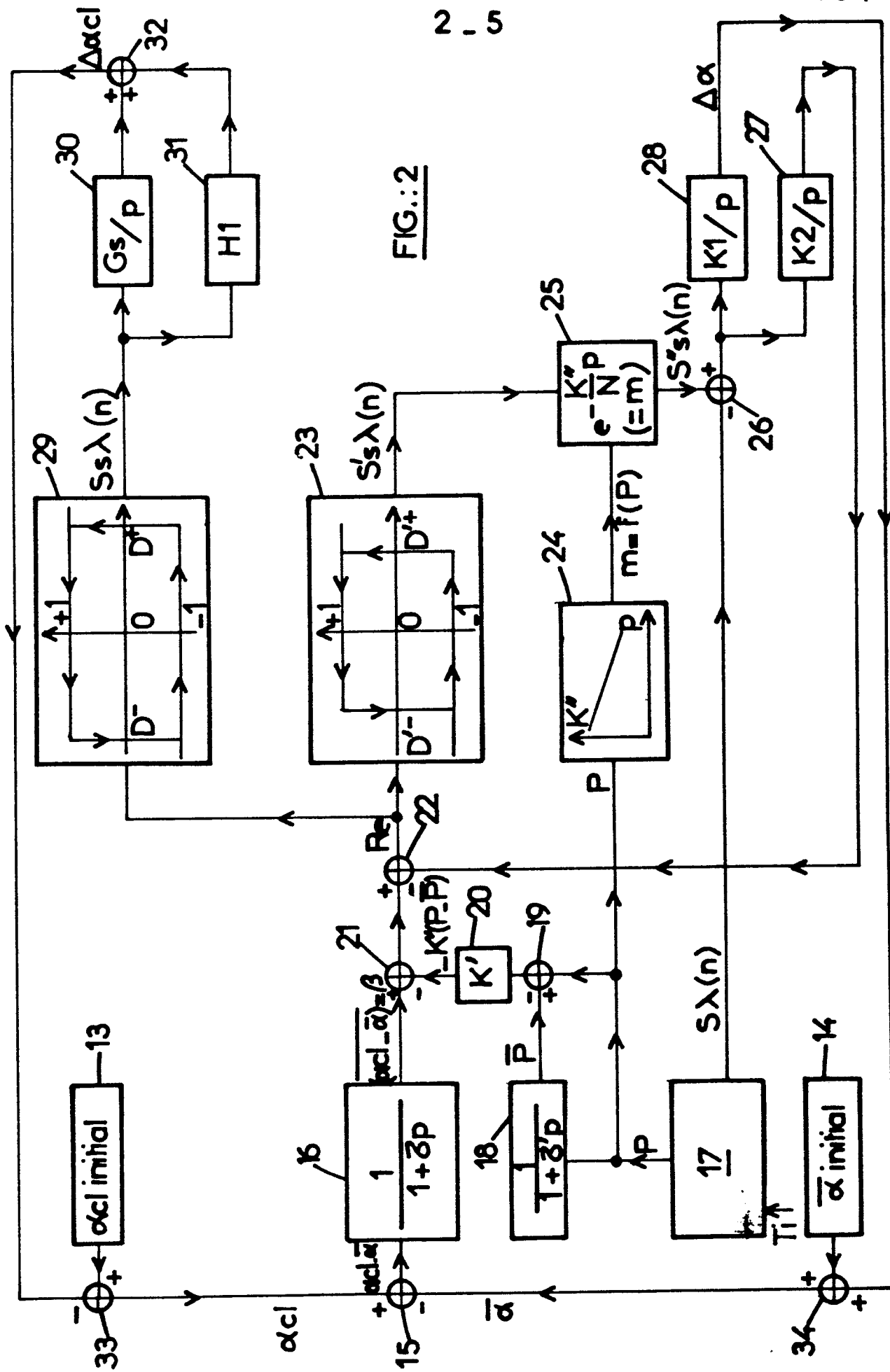
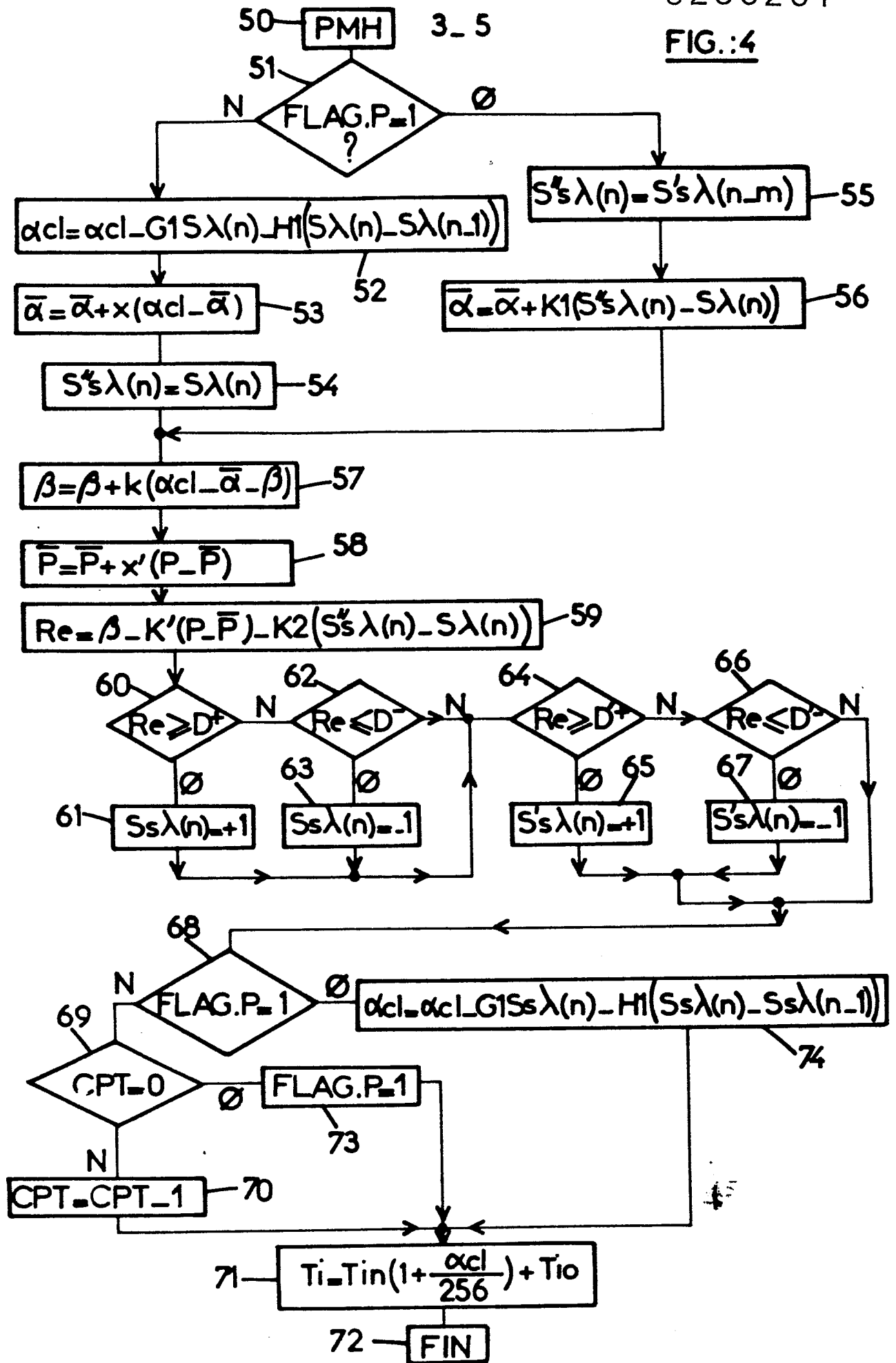
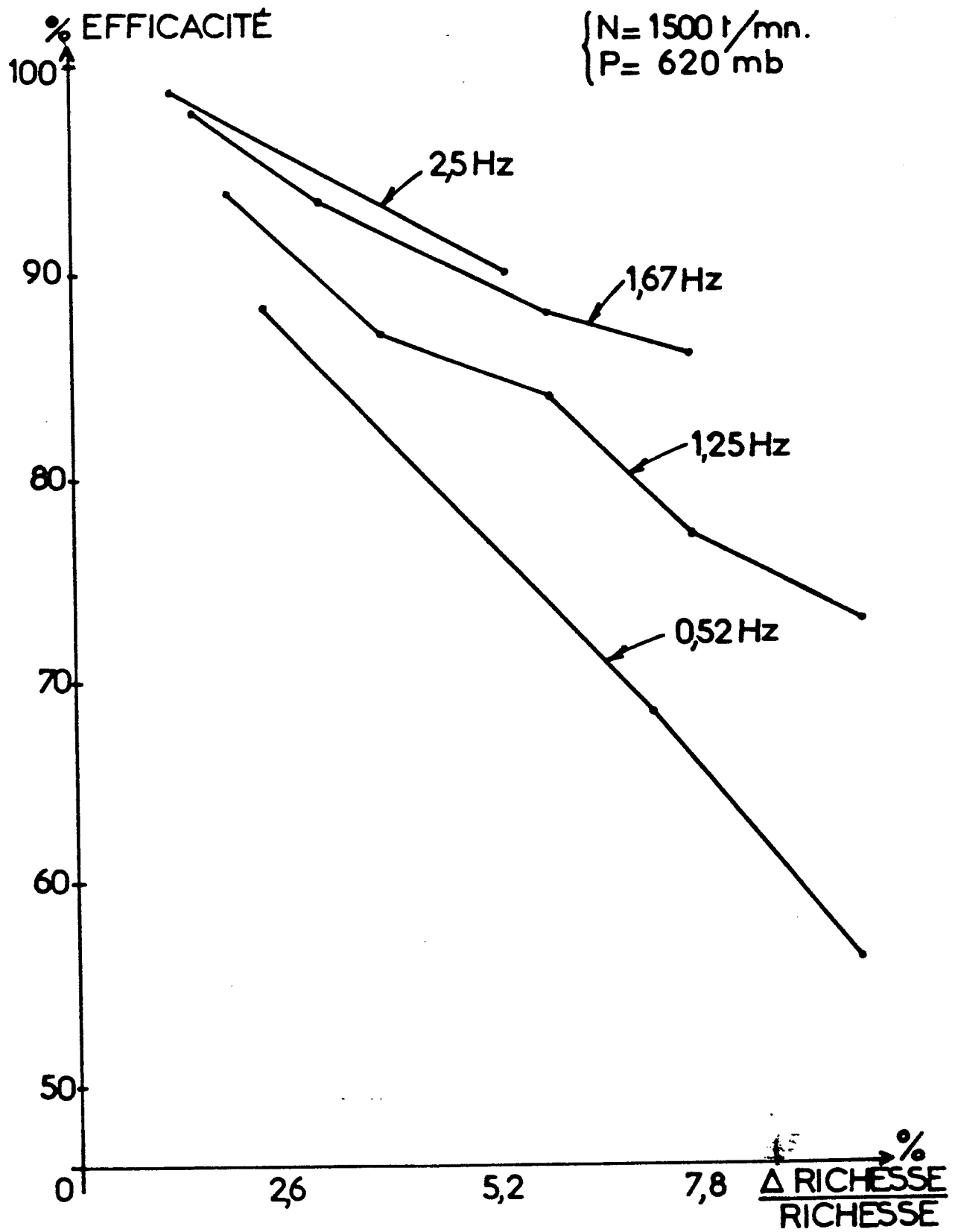
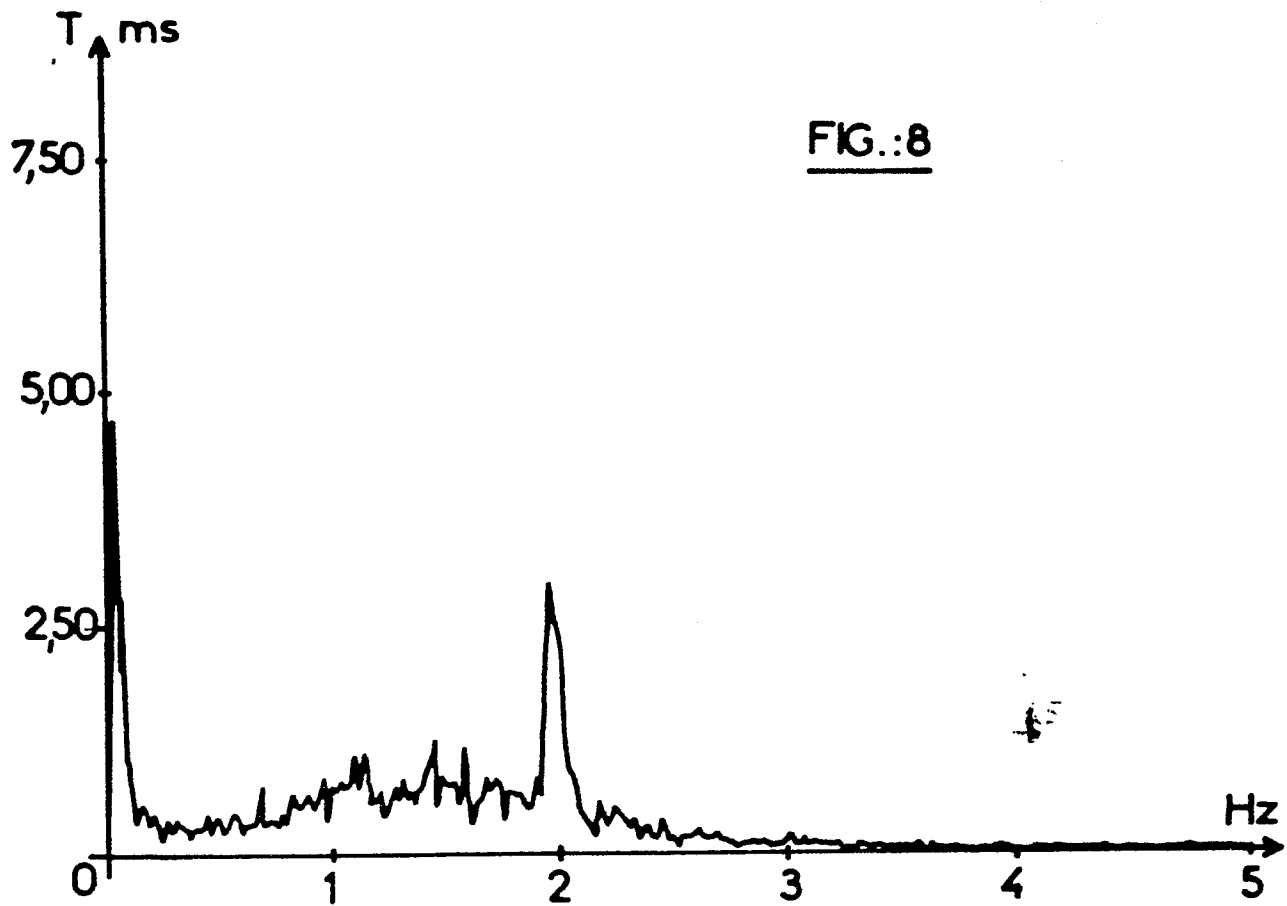
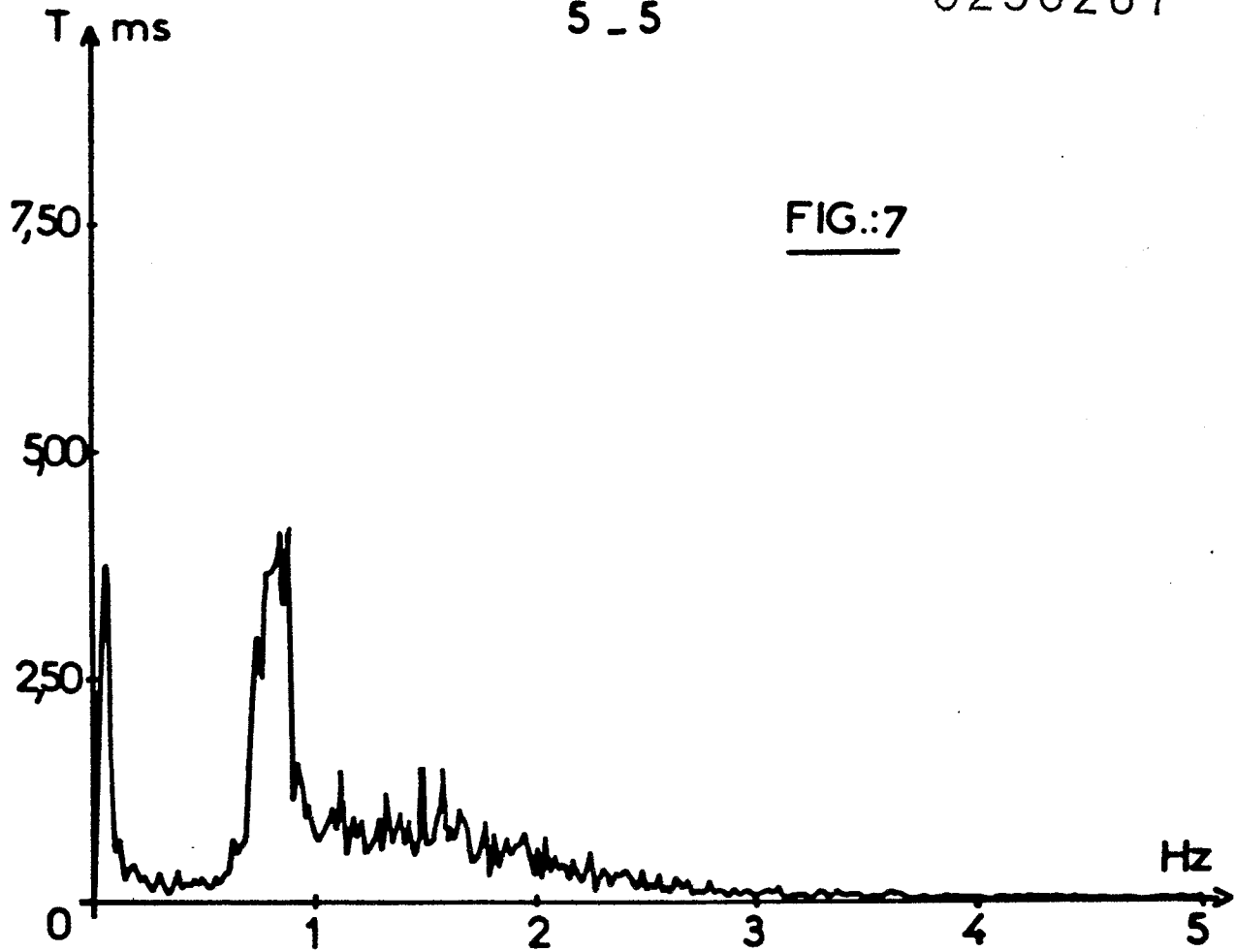


FIG. 2

FIG.:4



FIG.:6





Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

0236207

Numero de la demande

EP 87 40 0342

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl.4)
X	US-A-4 282 842 (SASAYAMA) * Figures 2,3,10; colonne 3, ligne 54 - colonne 4, ligne 68; colonne 6, ligne 41 - colonne 9, ligne 5; colonne 9, lignes 47-57 *	1-4,7-11,13	F 02 D 41/14 F 02 D 41/26 F 02 D 41/34
A	--- GB-A-2 084 353 (BOSCH) * Figures 3,4,7-10; page 1, lignes 6-60; page 2, ligne 19 - page 3, ligne 15 *	1-10	
A	--- PATENT ABSTRACTS OF JAPAN, vol. 7, no. 44 (M-195)[1189], 22 février 1983, & JP-A-57 193 743 (MITSUBISHI DENKI K.K.) 29-11-1982	1-4	
A	--- US-A-4 359 993 (CARLSON) * Figures 3,4; colonne 4, ligne 66 - colonne 5, ligne 51 *	1,5-7	F 02 D
X	--- US-A-4 111 171 (AONO et al.) * Figure 2; colonne 2, ligne 20 - colonne 3, ligne 60 *	1-3,5-10,12	

Le présent rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 13-05-1987	Examineur LAPEYRONNIE P.J.F.

CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES

X : particulièrement pertinent à lui seul
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie
A : arrière-plan technologique
O : divulgation non-écrite
P : document intercalaire

T : théorie ou principe à la base de l'invention
E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date
D : cité dans la demande
L : cité pour d'autres raisons

& : membre de la même famille, document correspondant