(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) EP 0 953 754 B1

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention de la délivrance du brevet:
19.11.2003 Bulletin 2003/47

(51) Int Cl.[7]: **F02D 41/14**, F02D 41/34

(21) Numéro de dépôt: **99400985.0**

(22) Date de dépôt: **22.04.1999**

(54) **Procédé d'annulation des variations de richesse du mélange gazeux issu des cylindres d'un moteur à combustion interne**

Prozess zur Annullierung der Variationen des Reichtums der Gasmischung, die aus den Zylindern eines Verbrennungsmotors einer Maschine heraus fliesst

Process of cancellation of the variations of richness of the gas mixture exhausted out of the cylinders of an internal combustion engine

(84) Etats contractants désignés:
DE ES GB IT

(30) Priorité: **30.04.1998 FR 9805507**

(43) Date de publication de la demande:
03.11.1999 Bulletin 1999/44

(73) Titulaire: **Renault s.a.s.**
92100 Boulogne Billancourt (FR)

(72) Inventeur: **von Wissel, Dirk**
78000 Versailles (FR)

(56) Documents cités:
EP-A- 0 330 934
EP-A- 0 670 420
EP-A- 0 719 929
US-A- 4 962 741
US-A- 5 524 598

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen, toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

EP 0 953 754 B1

Printed by Jouve, 75001 PARIS (FR)

Description

[0001] L'invention concerne les moteurs à combustion interne et plus particulièrement dans de tels moteurs, un procédé pour annuler les variations de richesse des mélanges gazeux provenant des cylindres d'un moteur à combustion interne du type à injection.

[0002] La dépollution des moteurs à combustion interne exige une régulation du mélange des gaz d'échappement de plus en plus fine afin de répondre aux normes de plus en plus sévères. A cet effet, il n'est plus possible de se contenter de réguler la composition gazeuse des gaz d'échappement en moyenne sur un cycle moteur et il est donc nécessaire de maîtriser le mélange gazeux à la sortie de chaque cylindre.

[0003] La composition du mélange gazeux à l'échappement dépend surtout du rapport entre la masse de carburant et la masse d'air dans chacun des cylindres du moteur. Ce rapport est appelé la richesse du mélange carburant/air et cette richesse est mesurée à l'aide d'une sonde à oxygène placée dans le conduit d'échappement des cylindres avant le pot catalytique. De manière plus précise, on parle de richesses individuelles des cylindres pour définir le mélange carburant/air dans les chambres de combustion et de la richesse des gaz d'échappement pour définir celle mesurée par la sonde à oxygène, cette dernière donnant une information combinée des richesses des cylindres.

[0004] Habituellement, dans un moteur à quatre cylindres, tous les cylindres évacuent les gaz à travers le même conduit d'échappement. Suivant l'ordre d'allumage des cylindres, la sonde à oxygène et les organes de dépollution voient successivement "défiler" les gaz d'échappement de chacun des cylindres. Ainsi, un écart entre les richesses individuelles provoque une variation périodique de la richesse des gaz d'échappement, et donc une chute de l'efficacité des stratégies de dépollution. Dans le cas d'un mélange stoechiométrique du mélange carburant/air, ces variations périodiques perturbent les organes de dépollution. Dans le cas d'un mélange pauvre carburant/air, la montée de la richesse d'un seul cylindre suffit pour augmenter l'émission des polluants, en particulier l'émission d'oxydes d'azote (NOx).

[0005] Dans un moteur à quatre cylindres, un cycle du moteur se décompose en quatre demi-tours et l'allumage est réalisé de manière qu'il y ait, à chaque demi-tour, une admission du mélange carburant/air, une compression du mélange, une détente et un échappement des gaz. La compensation de la variation de richesse des gaz d'échappement nécessite que la régulation soit précise au demi-tour près.

[0006] L'une des particularités du système physique composé des cylindres moteur, du conduit d'échappement et de la sonde à oxygène est la présence d'un retard variable entre la consigne de richesse à l'entrée des cylindres et la richesse des gaz d'échappement mesurée par la sonde à oxygène.

[0007] Il en résulte un déphasage entre les cycles du moteur et la richesse des gaz d'échappement mesurée par la sonde. Or, ce retard correspond au temps d'écoulement des gaz vers la sonde et comme cet écoulement dépend du débit des gaz et donc de la charge du moteur, le retard varie d'un point de fonctionnement à un autre. Ainsi, si cette variation du retard n'est pas prise en compte dans le régulateur, la boucle fermée risque de se déstabiliser.

[0008] Comme l'échappement est un phénomène périodique, la détermination de ce retard correspond à synchroniser le régulateur avec les quatre temps du moteur de sorte que le premier problème à résoudre est la synchronisation du régulateur de richesse.

[0009] Un deuxième problème à résoudre est la formalisation de l'effet de chaque cylindre. Dans l'art antérieur, ce problème est résolu en estimant les richesses individuelles des cylindres à partir du signal de richesse fourni par la sonde à oxygène et en associant à chaque cylindre une régulation propre.

[0010] Ainsi, dans le brevet US 4 962 741, l'effet de chaque cylindre est décrit par un modèle pour la richesse d'échappement sur un cycle du moteur. Comme la description ne contient pas d'algorithme d'adaptation du retard variable, le régulateur proposé ne peut tenir compte des variations des points de fonctionnement. La correction des richesses individuelles des cylindres repose sur la mesure de la richesse des gaz d'échappement.

[0011] Dans le brevet US 5 524 598, le procédé met en oeuvre un modèle d'échappement associé à une estimation et une régulation des richesses individuelles des cylindres. Le modèle d'échappement choisi implique que la richesse des gaz d'échappement, mesurée par une sonde dite proportionnelle (connue sous l'acronyme anglo-saxon UEGO), est la moyenne pondérée des richesses individuelles des cylindres. Ce modèle ne prévoit pas de processus dynamique dans le mélange des gaz et suppose que les temps de transport des gaz d'échappement des cylindres vers la sonde UEGO sont tous égaux.

[0012] La demande de brevet européen EP670420 qui est considéré comme représentant l'état de la technique le plus proche, enseigne un procédé pour évaluer des rapports air/carburant dans les cylindres d'un moteur à combustion interne à partir d'un seul capteur installé à l'échappement du moteur. Un modèle mathématique est d'abord conçu pour décrire le comportement de l'échappement qui accepte la sortie du capteur de rapport air/carburant. Un observateur est conçu pour observer l'état interne du modèle mathématique et calcule les rapports air/carburant dans chaque cylindres du moteur.

[0013] Le but de l'invention est donc de mettre en oeuvre un procédé de régulation de la richesse des gaz d'échappement d'un moteur à combustion interne qui tient compte des phénomènes périodiques et des effets de chaque cylindre sur les gaz d'échappement.

[0014] Ce but est atteint en prévoyant une synchronisation du signal fourni par la sonde et une régulation de la richesse par un rejet des perturbations selon un modèle de perturbation.

[0015] La synchronisation est obtenue par l'introduction d'un retard adaptatif entre une sonde proportionnelle et un régulateur des richesses individuelles des cylindres selon une méthode d'optimisation du gradient et un retard variable dans le signal de la richesse fourni par la sonde.

[0016] La régulation de la richesse par rejet des perturbations est basée sur un modèle interne consistant à inclure dans le régulateur un modèle dynamique de la perturbation attendue de manière à créer un signal périodique annulant la perturbation attendue.

[0017] L'invention concerne donc un procédé d'annulation des variations de richesse du mélange gazeux issu des cylindres d'un moteur à combustion interne, selon la revendication 1, ledit moteur comprenant au moins un injecteur par cylindre, un collecteur de transport du mélange gazeux disposé à la sortie des cylindres et une sonde dite proportionnelle disposée dans ledit collecteur et fournissant un signal y(t) représentatif de la richesse du mélange gazeux, ledit signal y(t) étant appliqué à un régulateur, comprenant les étapes suivantes consistant à :

(a) synchroniser le signal y(t) pour tenir compte du temps de transport du mélange gazeux dans le collecteur,
(b) réguler la richesse individuelle du mélange d'entrée dans chacun des cylindres du moteur pour des points de fonctionnements stables en introduisant dans le régulateur un modèle de perturbation de manière à créer un signal périodique u(k) annulant la perturbation attendue.
(c) identifier des gains d'injecteurs sur le signal u(k) pendant la régulation pour des points de fonctionnement stables, et
(d) réguler la richesse individuelle du mélange d'entrée dans chacun des cylindres du moteur pendant les transitoires entre deux points de fonctionnement en multipliant les commandes des injecteurs par ces gains.

[0018] L'étape (a) consiste principalement à :

(a_0) créer un signal y(τ) en échantillonnant le signal y(t) à une fréquence d'échantillonnage plus élevée que celle du demi-tour du moteur,
(a_1) estimer un retard ($\hat{e}$) entre le signal échantillonné y(τ) et un signal modèle s(τ),
(a_2) introduire ce retard estimé ($\hat{e}$) dans le signal échantillonné y(τ) pour créer un signal corrigé z(τ) selon des critères déterminés, et
(a_3) créer un signal y(k) en rééchantillonnant le signal z(τ) à la fréquence du demi-tour du moteur.

[0019] L'étape (b) consiste à :

(b_1) choisir un modèle de perturbation P(q) selon des critères déterminés,
(b_2) combiner P(q) avec un modèle S(q) de mélange de gaz de telle manière qu'un signal de perturbation w(k), correspondant au signal de sortie de P (q), s'ajoute au signal d'entrée S(q),
(b_3) choisir un régulateur R(q) pour le modèle combiné P(q).S(q) selon des critères déterminés,
(b_4) comparer le signal échantillonné y(k) à un signal de consigne (yc) fourni par le calculateur d'injection pour créer un signal de différence δy(k) sous la forme (y(k) - yc),
(b_5) appliquer le signal différence δy(k) au régulateur R(q) qui fournit un signal δu(k),
(b_6) additionner le signal δu(k) au signal de consigne yc afin de créer le signal u(k),
(b_7) démultiplexer la commande u(k) selon des critères déterminés pour générer quatre commandes indépendantes u1(k), u2(k) u3(k) et u4(k) des injecteurs, et
(b_8) appliquer les quatre commandes aux injecteurs.

[0020] L'étape (c) consiste à :

(c1) démultiplexer la commande u(k) selon des critères déterminés pour générer quatre commandes indépendantes u1(k), u2(k) u3(k) et u4(k) des injecteurs,
(c_2) créer quatre signaux g1(k), g2(k), g3(k) et g4 (k) en divisant chacun des quatre signaux u1(k), u2 (k), u3(k) et u4(k) par la moyenne sur u1(k) à u4(k),
(c_3) filtrer les signaux g1(k) à g4(k) par un filtre passe-bas, et
(c_4) remplacer les gains G1, G2, G3 et G4 respectivement par les valeurs g1(k), g2(k), g3(k) et g4(k) lorsque la régulation selon l'étape (b) n'est plus possible.

[0021] L'étape (d) consiste à :

(d_1) calculer la commande globale Ug(k) des injecteurs par une régulation de la richesse moyenne,
(d_2) créer quatre commandes d'injecteurs différentes en multipliant la commande globale Ug(k) respectivement par les gains G1, G2, G3 et G4, et
(d_3) appliquer les quatre commandes aux injecteurs.

[0022] L'invention sera mieux comprise à l'aide de la description suivante d'un exemple particulier de réalisation, ladite description étant faite en relation avec les dessins ci-joints dans lesquels :

- la figure 1 est un schéma fonctionnel d'un système mettant en oeuvre le procédé selon l'invention,

- la figure 2 est un diagramme illustrant un aspect du procédé selon l'invention,
- les figures 3a, 3b, 3c et 3d sont des diagrammes illustrant un modèle de perturbation utilisé dans le procédé selon l'invention,
- la figure 4 est un schéma fonctionnel illustrant la formalisation du problème de contrôle pour la synthèse du régulateur de rejet de perturbation selon l'invention.
- la figure 5 est un schéma fonctionnel mettant en oeuvre le dispositif de synchronisation du signal y (t) selon l'invention.
- la figure 6 est un schéma fonctionnel mettant en oeuvre le dispositif de régulation selon l'invention.
- la figure 7 est un schéma fonctionnel illustrant un aspect du procédé selon l'invention,
- la figure 8 est un schéma fonctionnel illustrant un autre aspect du procédé selon l'invention,
- la figure 9 est un diagramme illustrant l'évolution du signal u(k) dans le temps,
- la figure 10 est un diagramme illustrant l'évolution des signaux g1(k) à g4(k) dans le temps, et
- la figure 11 est un schéma fonctionnel illustrant un aspect du procédé selon l'invention.

[0023] Sur la figure 1, un moteur à combustion interne 10 du type à injection réalisée par un dispositif d'injection 26 comprend, par exemple, quatre cylindres dont les gaz d'échappement, matérialisés par les quatre flèches 10_1, 10_2, 10_3 et 10_4, sont collectés dans un collecteur 12 pour être dirigés vers un pot d'échappement catalytique 24 précédé d'une sonde proportionnelle 16. L'élément 14 matérialise, sur le plan fonctionnel, un temps de retard e introduit par la longueur du collecteur 12 et correspondant au temps de transport des gaz d'échappement.

[0024] La sonde 16 du type proportionnel fournit un signal y(t), représentant la richesse des gaz d'échappement, qui est appliqué à un circuit de synchronisation 20 introduisant un retard variable. Le signal y(k) de sortie du circuit de synchronisation 20 est appliqué à un dispositif régulateur 22 qui élabore les signaux de commande des injecteurs du dispositif d'injection 26 à partir du signal y(k) et d'une valeur de consigne yc fournie par un calculateur d'injection 28 connu par ailleurs.

[0025] Dans le schéma de la figure 5, qui représente le circuit de synchronisation 20, le signal y(t) est échantillonné (circuit 30) à une fréquence fe plus élevée que celle du demi-tour du moteur, par exemple dix fois, pour créer un signal $y(\tau)$. Ce dernier signal est appliqué, d'une part, à un dispositif estimateur de retard 32 et, d'autre part, à un dispositif de retard variable 34 sous le contrôle du dispositif estimateur de retard qui fournit un retard estimé ê.

[0026] Le signal $y(\tau)$, retardé d'une valeur (T_c - ê), fournit le signal corrigé selon la formule : $z(\tau)=y(\tau-T_c+\hat{e})$. Dans cette formule, T_c est la durée d'un cycle du moteur et ê est le retard estimé par le dispositif 32. Le signal corrigé est ensuite rééchantillonné à la fréquence d'un demi-tour du moteur (référence 36) pour créer le signal y(k).

[0027] Le dispositif estimateur 32 calcule le retard estimé ê entre le signal mesuré $y(\tau)$ et un signal modèle $s(\tau)$. Le signal modèle $s(\tau)$ est un signal qui est déterminé pendant la calibration du dispositif de synchronisation pour une répartition déterminée des richesses et pour un retard connu. Il est sous la forme d'échantillon à la fréquence fe dont les valeurs sont enregistrées dans une mémoire 38. Pour calculer ce retard estimé, le signal $y(\tau)$ doit correspondre à la même répartition des richesses que pour $s(\tau)$ et, à cet effet, le dispositif régulateur 22 est prévu pour introduire cette répartition à des instants déterminés par un signal Sy. Le retard estimé est calculé, à chaque apparition du signal Sy, à l'aide d'un algorithme de synchronisation cherchant à minimiser l'aire Ω (figure 2) entre le signal mesuré $y(\tau)$ et le signal modèle $s(\tau)$ en décalant le signal $s(\tau)$ d'une valeur (T_c-ê) qui s'exprime alors par la formule :

$$s(t-T_c + \hat{e}).$$

[0028] Cette minimisation de l'aire est obtenue en minimisant sur un cycle l'écart entre $y(\tau)$ et $s(\tau-T_c+\hat{e})$.

[0029] La détermination de la valeur minimale de l'aire Ω est obtenue par une méthode des gradients. Une telle méthode est par exemple décrite dans le livre "SYSTEM IDENTIFICATION THEORY FOR THE USER" de Lennart Ljung édité par PRENTICE-HALL Inc en 1987.

[0030] Cet algorithme de synchronisation peut être utilisé de deux manières différentes :

- Récursion sur plusieurs cycles :

[0031] Ceci correspond à un signal Sy qui dure plusieurs cycles du moteur.

[0032] Le gradient est calculé après chaque cycle du moteur et il est utilisé pour le calcul du cycle suivant. Pour converger, cette manière de faire nécessite que le profil des répartitions et la richesse moyenne soient constants sur plusieurs cycles : c'est alors la moyenne de e sur plusieurs cycles qui est calculée.

- Récursion sur un cycle :

[0033] Ceci correspond à un signal Sy qui dure un seul cycle du moteur. Le retard estimé ê est évaluée par plusieurs itérations sur un cycle. Un nombre suffisant d'itérations est effectué pour assurer la convergence. Dans cette deuxième manière de faire, il suffit que le profil des répartitions et la richesse moyenne soient constants sur un cycle.

[0034] La synchronisation du signal y(t) ayant été obtenue comme décrit ci-dessus, le signal y(k) est appliqué au régulateur 22. Ce régulateur est du type à rejet

des perturbations, c'est-à-dire qu'il annule les perturbations ou variations de la richesse des gaz d'échappement dues à une répartition des richesses individuelles des cylindres.

[0035] Pour annuler les perturbations, l'invention utilise un modèle de perturbation qui doit répondre aux trois critères suivants :

- la perturbation de la richesse des gaz d'échappement due à une répartition des richesses individuelles est périodique sur un cycle,
- les fréquences dominantes de la perturbation sont celles d'un cycle et d'un demi-cycle, et
- le signal de perturbation peut avoir quatre valeurs différentes sur un cycle.

[0036] Les figures 3a, 3b, 3c et 3d montrent un modèle de perturbation P(q) (figure 4) à trois modes (q étant l'opérateur de décalage), deux modes réels et un mode complexe. Les trois modes sont situés sur le cercle unité afin d'être périodiques. Le mode réel à 1 (figure 3b) permet de prendre en compte les erreurs constantes, le deuxième mode réel -1 (figure 3d) et le mode complexe (+i, -i) (figure 3c) prenant en compte les fréquences cycle et demi-cycle. Les trois modes s'initialisent avec quatre conditions initiales, ce qui permet d'avoir quatre valeurs différentes sur un cycle. Le modèle de perturbation est utilisé pour la synthèse du régulateur de rejet de perturbation. Le point de départ de la synthèse est la figure 4 qui montre la combinaison du modèle de perturbation P(q) (référence 40) avec un modèle S(q) (référence 42) de mélange de gaz dans le calculateur et l'application d'un régulateur R(q) (référence 44) au modèle combiné P(q).S(q). Un signal de bruit ε (k) est appliqué à l'entrée du modèle de perturbation P (q) et décrit la modification de la perturbation périodique w(k) au cours du temps. Le signal de perturbation périodique w(k) est appliqué à un comparateur 46 qui reçoit par ailleurs le signal de sortie δu(k) du régulateur 44. Le signal différence fourni par le comparateur 46 est appliqué au modèle S(q) de mélange de gaz qui fournit un signal d'écart δy(k). Ce signal d'écart constitue le signal d'entrée du régulateur R(q).

[0037] Pour annuler la perturbation périodique w(k), le régulateur doit stabiliser la boucle fermée comprenant les éléments 42, 44 et 46. La méthode de modèle interne pour la synthèse du régulateur consiste à choisir le régulateur parmi le modèle dynamique ayant la forme suivante :

$$R(q) = R1(q) / (R2(q).P2(q)).$$

[0038] Dans cette formule R1(q), R2(q) et P2(q) sont des polynômes dont l'opérateur de décalage est q. Le polynôme P2(q) est l'équation caractéristique du modèle de perturbation. Le modèle de perturbation est défini par le quotient entre un polynôme P1(q) et le polynôme P2(q) selon la formule :

$$P(q) = P1(q) / P2(q).$$

[0039] Les modes d'un modèle dynamique correspondent aux racines de son équation caractéristique qui détermine sa stabilité. Un modèle dynamique est stable si ses modes, représentés dans le plan complexe, sont à l'intérieur du cercle complexe unité.

[0040] Le régulateur R(q) stabilise la boucle fermée et annule les perturbations périodiques si tous les modes contrôlables du modèle dynamique correspondant à la boucle fermée sont à l'intérieur du cercle unité. Les modes contrôlables de la boucle fermée sont ceux qui peuvent être modifiés par le choix de R(q). Les modes incontrôlables de la boucle fermée sont ceux qui sont invariants par rapport au choix de R(q). En l'occurrence, ils correspondent aux modes du modèle de perturbation inclus dans le régulateur.

[0041] Le schéma de la figure 6 montre une partie du régulateur 22 (figure 1) comprenant un comparateur 50 pour comparer le signal de sortie y(k) du circuit de synchronisation 20 au signal de consigne yc. Il fournit le signal d'écart δy(k) qui est appliqué au régulateur 44 dont le signal de sortie δu(k) est additionné dans un circuit additionneur 52 au signal de consigne yc pour donner le signal u(k) de commande des injecteurs. Les quatre commandes des injecteurs u1(k), u2(k), u3(k) et u4 (k) sont obtenues par un dispositif de démultiplexage 60 du signal u(k) comme montré dans la figure 7. le dispositif de démultiplexage 60 assure la mise à jour des quatre commandes des injecteurs à la fréquence du cycle du moteur.

[0042] Les commandes u1(k), u2(k), u3(k) et u4(k) sont appliquées respectivement aux injecteurs 26_1, 26_2, 26_3 et 26_4 associés chacun à un cylindre du moteur 10. Les calculs de synthèse de tels régulateurs peuvent être conduits selon la méthode LQG (acronyme anglo-saxon pour Linear Quadratic Gaussian) et Control Robust.

[0043] La première méthode dite LQG est par exemple décrite dans le livre "COMPUTER CONTROLLED SYSTEMS" de Karl J. Aström et Björn Wittenmark édité par PRENTICE-HALL International Inc. en 1984. La deuxième méthode est par exemple décrite dans le livre "ROBUST PROCESS CONTROL" de Manfred Morari et Evanghelos Zafiriou édité par PRENTICE-HALL Inc en 1989.

[0044] La régulation des richesses individuelles du mélange d'entrée dans chacun des cylindres du moteur, dans la suite appelée "régulation des richesses individuelles", est possible tant que le moteur reste au point de fonctionnement pour lequel le retard ê a été identifié. Chaque transition entre deux points de fonctionnement nécessite une nouvelle identification du retard ê, afin d'assurer la bonne synchronisation du régulateur.

[0045] En conséquence, la régulation des richesses individuelles est impossible pendant une transition. Elle

doit être substituée par une régulation de la richesse moyenne qui est plus robuste vis-à-vis des transitions.

[0046] Néanmoins, l'identification des gains d'injecteurs pendant la régulation des richesses individuelles permet d'annuler les perturbations périodiques dues aux dispersions des injecteurs pendant les transitions. Des dispersions d'injecteurs se manifestent par le fait qu'une commande d'injecteur appliquée à deux injecteurs différents fournit deux richesses individuelles de cylindre différentes. Le gain d'injecteur est le quotient entre la richesse individuelle de cylindre et la commande d'injecteur.

[0047] La multiplication de la commande d'injecteur avec l'inverse de son gain annule les répartitions des richesses individuelles des cylindres et annule par conséquence les perturbations périodiques sur la richesse des gaz d'échappement due aux dispersions de gains.

[0048] Les gains d'injecteurs sont identifiés pendant la régulation des richesses individuelles sur le signal u (k). La procédure d'identification est illustrée sur la figure 8. Un exemple du signal d'entrée u(k) du dispositif d'identification des gains est montré sur la figure 9. Le démultiplexage de u(k) donne quatre signaux différents u1(k), u2(k), u3(k) et u4(k) correspondant aux commandes des injecteurs. Chacun des signaux u1(k) à u4(k) est ensuite multiplié (multiplications 62_1, 62_2, 62_3, 62_4) par $1/u_m$, u_m étant la moyenne sur u1(k) à u4(k) et puis filtrés par un filtre passe-bas (64_1, 64_2, 64_3, 64_4). Il en résulte quatre signaux g1(k), g2(k), g3(k) et g4(k) respectivement convergents vers quatre constantes G1, G2, G3 et G4, comme représenté dans la figure 10. Les quatres constantes G1 à G4 correspondent respectivement aux inverses des gains d'injecteurs des cylindres 1 à 4.

[0049] Pendant la régulation des richesses individuelles, les commandes u1(k), u2(k), u3(k) et u4(k) assurent que les perturbations périodiques sur la richesse des gaz d'échappement du moteur sont annulées. Dans ce cas, le signal u(k) fourni par le régulateur est appliqué comme montré dans la figure 7.

[0050] Pendant la régulation de la richesse moyenne, un signal, Ug(k) fourni par une régulation de la richesse moyenne, est appliqué au démultiplexeur 60 comme montré sur la figure 11. Le signal Ug(k) est démultiplexé pour générer quatre commandes d'injecteurs Ug1(k), Ug2(k), Ug3(k) et Ug4(k). Avant qu'elles soient appliquées aux injecteurs, elles sont respectivement multipliées par les constantes G1, G2, G3 et G4 afin de compenser les gains d'injecteurs.

[0051] Dès que le moteur est de nouveau dans un point de fonctionnement stable, la régulation des richesses individuelles prend le relais.

Revendications

1. Procédé d'annulation des variations de richesse du mélange gazeux issu des cylindres d'un moteur à combustion interne (10), ledit moteur comprenant au moins un injecteur (26) par cylindre, un collecteur (12) de transport du mélange gazeux disposé à la sortie des cylindres et une sonde (16) dite proportionnelle disposée dans ledit collecteur (12) et fournissant un signal y(t) représentatif de la richesse du mélange gazeux, ledit signal y(t) étant appliqué à un régulateur (22),
ce procédé comprenant l'étape consistant (a) à synchroniser le signal y(t), pour tenir compte du temps de transport du mélange gazeux dans le collecteur, le procédé étant d'autre part **caractérisé en ce qu'**il comprend les étapes suivantes consistant à :

(b) réguler la richesse individuelle du mélange d'entrée dans chacun des cylindres du moteur pour des points de fonctionnements stables en introduisant dans le régulateur (22) un modèle de perturbation de manière à créer un signal périodique u(k) annulant la perturbation attendue.
(c) identifier des gains d'injecteurs sur le signal u(k) pendant la régulation pour des points de fonctionnement stables, et
(d) réguler la richesse individuelle du mélange. d'entrée dans chacun des cylindres du moteur pendant les transitoires entre deux points de fonctionnement en multipliant les commandes des injecteurs par ces gains.

la synchronisation du signal y(t) comprend les étapes intermédiaires suivantes consistant à :

(a_0) créer un signal y(τ) en échantillonnant le signal y(t) à une fréquence d'échantillonnage (fe) plus élevée que celle du demi-tour du moteur,
(a_1) estimer un retard (ê) entre le signal échantillonné y(τ) et un signal modèle s(τ),
(a_2) introduire ce retard estimé (ê) dans le signal échantillonné y(τ) pour créer un signal corrigé z(τ) selon des critères déterminés, et
(a_3) créer un signal y(k) en rééchantillonnant le signal z(τ) à la fréquence du demi-tour du moteur.

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'étape (b) comprend les étapes intermédiaires suivantes consistant à :

(b_1) choisir un modèle de perturbation P(q) selon des critères déterminés,
(b_2) combiner P(q) avec un modèle S(q) de mélange de gaz de telle manière qu'un signal de perturbation w(k), correspondant au signal de sortie de P(q), s'ajoute au signal d'entrée S(q),
(b_3) choisir un régulateur R(q) pour le modèle combiné P(q).S(q) selon des critères détermi-

nés,
(b_4) comparer le signal échantillonné y(k) à un signal de consigne (yc) fourni par le calculateur d'injection pour créer un signal de différence δy (k) sous la forme (y(k) - yc),
(b_5) appliquer le signal différence δy(k) au régulateur R(q) qui fournit un signal δu(k),
(b_6) additionner le signal δu(k) au signal de consigne yc afin de créer le signal u(k),
(b_7) démultiplexer la commande u(k) selon des critères déterminés pour générer quatre commandes indépendantes (u1(k), u2(k) u3(k) et u4(k)) des injecteurs, et
(b_8) appliquer les quatre commandes aux injecteurs.

3. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes 1 à 2, **caractérisé en ce que** l'étape (b) comprend les étapes intermédiaires suivantes consistant à :

(c1) démultiplexer la commande u(k) selon des critères déterminés pour générer quatre commandes indépendantes (u1(k), u2(k) u3(k) et u4(k)) d'injecteurs,
(c_2) créer quatre signaux g1(k), g2(k) g3(k) et g4(k) en divisant chacun des quatre signaux u1 (k), u2 (k) u3(k) et u4(k) par la moyenne sur u1 (k) à u4(k),
(c_3) filtrer les signaux g1(k) à g4(k) par un filtre passe-bas, et
(c_4) remplacer les gains G1, G2, G3 et G4 respectivement par les valeurs g1(k), g2(k), g3(k) et g4(k) lorsque la régulation selon l'étape (b) n'est plus possible.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes 1 à 3, **caractérisé en ce que** l'étape (d) comprend les étapes intermédiaires suivantes consistant à :

(d_1) calculer la commande globale Ug(k) des injecteurs par une régulation de la richesse moyenne classique,
(d_2) créer quatre commandes d'injecteurs différentes en multipliant la commande de la richesse moyenne u_m respectivement par les gains G1, G2, G3 et G4, et
(d_3) appliquer les quatre commandes aux injecteurs.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Annullierung der Variation des Mischungsverhältnisses des Gasgemischs, das aus den Zylindern eines Verbrennungsmotors (10) austritt, wobei der Motor mindestens eine Einspritzdüse (26) pro Zylinder, einen Kollektor (12) zum Transport des Gasgemischs, und eine proportional genannte Sonde (16), die in dem Kollektor (12) angebracht ist, besitzt, und ein Signal y(t) liefert, das repräsentativ für das Mischungsverhältnis des Gasgemischs ist, wobei das Signal y(t) an einen Regler (22) angelegt wird, und das Verfahren den Schritt umfasst:

(a) Synchronisieren des Signals y(t), um die Dauer des Transports des Gasgemischs in den Kollektor zu berücksichtigen,
wobei das Verfahren weiter **dadurch gekennzeichnet ist, dass** es die folgenden Schritte umfasst:
(b) Regeln des individuellen Mischungsverhältnisses des Eingangsgemischs in jedem der Zylinder des Motors für die Punkte stabilen Betriebs, indem im Regler (22) ein Perturbationsmodell eingeführt wird, um ein periodisches Signal u(k) zu erzeugen, das die erwartete Perturbation annulliert,
(c) Identifizieren der Steigerungen der Einspritzdüsen gegenüber dem Signal u(k), während der Regelung für die Punkte stabilen Betriebs, und
(d) Regeln des individuellen Mischungsverhältnisses des Eingangsgemischs in jedem Zylinder des Motors während der Übergänge zwischen zwei Betriebspunkten, indem die Befehle der Einspritzdüsen mit diesen Steigerungen multipliziert werden,

wobei die Synchronisation des Signals y(t) die folgenden Zwischenschritte umfasst:

(a_0) Erzeugen eines Signals y(τ) durch Abtasten des Signals y(t) bei einer Abtast-Frequenz (fe), die höher als diejenige der Halbdrehung des Motors ist,
(a_1) Schätzen einer Verzögerung (ê) zwischen dem abgetasteten Signal y(τ) und einem Modellsignal s(τ),
(a_2) Einführen dieser geschätzten Verzögerung (ê) in das abgetatstete Signal y(τ), um ein korrigiertes Signal z(τ) gemäß festgelegter Kriterien zu erzeugen, und
(a_3) Erzeugen eines Signals y(k) durch Wiederabtasten des Signals z(τ) bei der Frequenz der Halbdrehung des Motors.

2. Verfahren gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schritt (b) die folgenden Zwischenschritte umfasst:

(b_1) Auswahl eines Perturbationsmodells P(q) gemäß festgelegter Kriterien,
(b_2) Kombinieren von P(q) mit einem Gas-Mi-

schungsmodell S(q), derart, dass ein Perturbationssignal w(k), entsprechend dem Ausgangssignal von P(q), dem Eingangssignal S(q) hinzugefügt wird,

(b_3) Auswählen eines Reglers R(q) für das kombinierte Modell P(q)*S(q) gemäß festgelegter Kriterien,

(b_4) Vergleichen des gesampelten Signals y(k) mit einem Anweisungssignal (yc), welches durch den Einspritzungs-Rechner geliefert wurde, um ein Differenzsignal δy(k) zu erzeugen, in der Form (y(k) - yc),

(b_5) Anlegen des Differenzsignals δy(k) an den Regler R(q), der ein Signal δu(k) liefert,

(b_6) Addieren des Signals δu(k) zum Anweisungssignal yc um das Signal u(k) zu erzeugen,

(b_7) Demultiplexen des Befehls u(k) gemäß festgelegter Kriterien zum Generieren von vier unabhängigen Befehlen (u1 (k), u2(k), u3(k) und u4(k)) der Einspritzdüsen, und

(b_8) Anlegen der vier Befehle an die Einspritzdüsen.

3. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** Schritt (c) die folgenden Zwischenschritte umfasst:

(c_1) Demultiplexen des Befehls u(k) gemäß festgelegter Kriterien um vier unabhängige Befehlen (u1(k), u2(k), u3(k) und u4(k)) für Einspritzdüsen zu erzeugen,

(c_2) Erzeugen von vier Signalen g1(k), g2(k), g3(k) und g4(k), indem jedes der vier Signale u1(k), u2(k), u3(k) und u4(k) durch das Mittel der u1(k) bis g4(k) dividiert wird,

(c_3) Filtern der Signale g1(k) bis g4(k) über einen Tiefpass-Filter, und

(c_4) Ersetzen der Steigerungen G1, G2, G3 und G4 durch die jeweiligen Werte g1(k), g2(k), g3 (k) und g4(k), wenn die Regelung gemäß Schritt (B) nicht mehr möglich ist.

4. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** Schritt (d) folgende Zwischenschritte umfasst:

(d_1) Berechnen des globalen Befehls Ug(k) der Einspritzdüsen durch eine klassische Regelung des durchschnittlichen Mischungsverhältnisses,

(d_2) Erzeugen von vier verschiedenen Einspritzdüsen-Befehlen, indem die Befehle des durchschnittlichen Mischverhältnisses u_m jeweils mit den Steigerungen G1, G2, G3 und G4 multipliziert wird, und

(d_3) Anlegen der vier Befehle an die Einspritzdüsen.

Claims

1. A process for nullifying variations in richness of the gaseous mixture issuing from the cylinders of an internal combustion engine (10), said engine comprising at least one injector (26) per cylinder, a manifold (12) for transporting the gaseous mixture, which is disposed at the outlet of the cylinders and a probe (16) referred to as a proportional probe which is disposed in said manifold (12) and which produces a signal y(t) representative of the richness of the gaseous mixture, said signal y(t) being applied to a regulator (22), said process comprising the step consisting of

(a) synchronising the signal y(t) to take account of the transport time of the gaseous mixture in the manifold,

the process on the other hand being **characterised in that** it comprises the following steps consisting of:

(b) regulating the individual richness of the intake mixture into each of the cylinders of the engine for stable operating points by introducing a disturbance model into the regulator (22) in such a way as to create a periodic signal u (k) nullifying the expected disturbance,

(c) identifying gains of injectors on the signal u (k) during regulation for stable operating points, and

(d) regulating the individual richness of the intake mixture into each of the cylinders of the engine during the transitions between two operating points by multiplying the commands of the injectors by said gains,

synchronisation of the signal y(t) comprises the following intermediate steps consisting of:

(a_0) creating a signal y(τ) by sampling the signal y(t) at a higher sampling frequency (fe) than that of the half-revolution of the engine,

(a_1) estimating a delay (ê) between the sampled signal y(τ) and a model signal s (τ),

(a_2) introducing said estimated delay (ê) into the sampled signal y(τ) to create a corrected signal z(τ) in accordance with given criteria, and

(a_3) creating a signal y(k) by re-sampling the signal z(τ) at the frequency of the half-revolution of the engine.

2. A process according to claim 1 **characterised in that** step (b) comprises the following intermediate steps consisting of:

(b_1) selecting a disturbance model P(q) in accordance with given criteria,
(b_2) combining P(q) with a gas mixture model S(q) in such a way that a disturbance signal w (k) corresponding to the output signal of P(q) is added to the input signal S(q),
(b_3) selecting a regulator R(q) for the combined model P(q).S(q) in accordance with given criteria,
(b_4) comparing the sampled signal y(k) to a reference signal (yc) furnished by the injection computer to create a difference signal δy(k) in the form y(k) - yc),
(b_5) applying the difference signal δy(k) to the regulator R(q) which furnishes a signal δu(k),
(b_6) adding the signal δu(k) to the reference signal yc in order to create the signal u(k),
(b_7) demultiplexing the command u(k) in accordance with given criteria to generate four independent commands (u1(k), u2(k), u3(k) and u4(k)) for the injectors,
(b_8) applying the four commands to the injectors.

3. A process according to either one of claims 1 and 2 **characterised in that** step (b) comprises the following intermediate steps consisting of:

(c_1) demultiplexing the command u(k) in accordance with given criteria to generate four independent commands (u1(k), u2(k), u3(k) and u4(k)) for injectors,
(c_2) creating four signals g1(k), g2(k), g3(k) and g4(k) by dividing each of the four signals u1(k), u2(k), u3(k) and u4(k) by the mean over u1(k) to u4(k),
(c_3) filtering the signals g1(k) to g4(k) by a low pass filter, and
(c_4) replacing the gains G1, G2, G3 and G4 respectively by the values g1(k), g2(k), g3(k) and g4(k) when regulation in accordance with step (b) is no longer possible.

4. A process according to any one of claims 1 to 3 **characterised in that** step (d) comprises the following intermediate steps consisting of:

(d_1) calculating the overall command Ug(k) for the injectors by conventional mean richness regulation,
(d_2) creating four different commands for injectors by multiplying the mean richness command u_m respectively by the gains G1, G2, G3 and G4 and
(d_3) applying the four commands to the injectors.

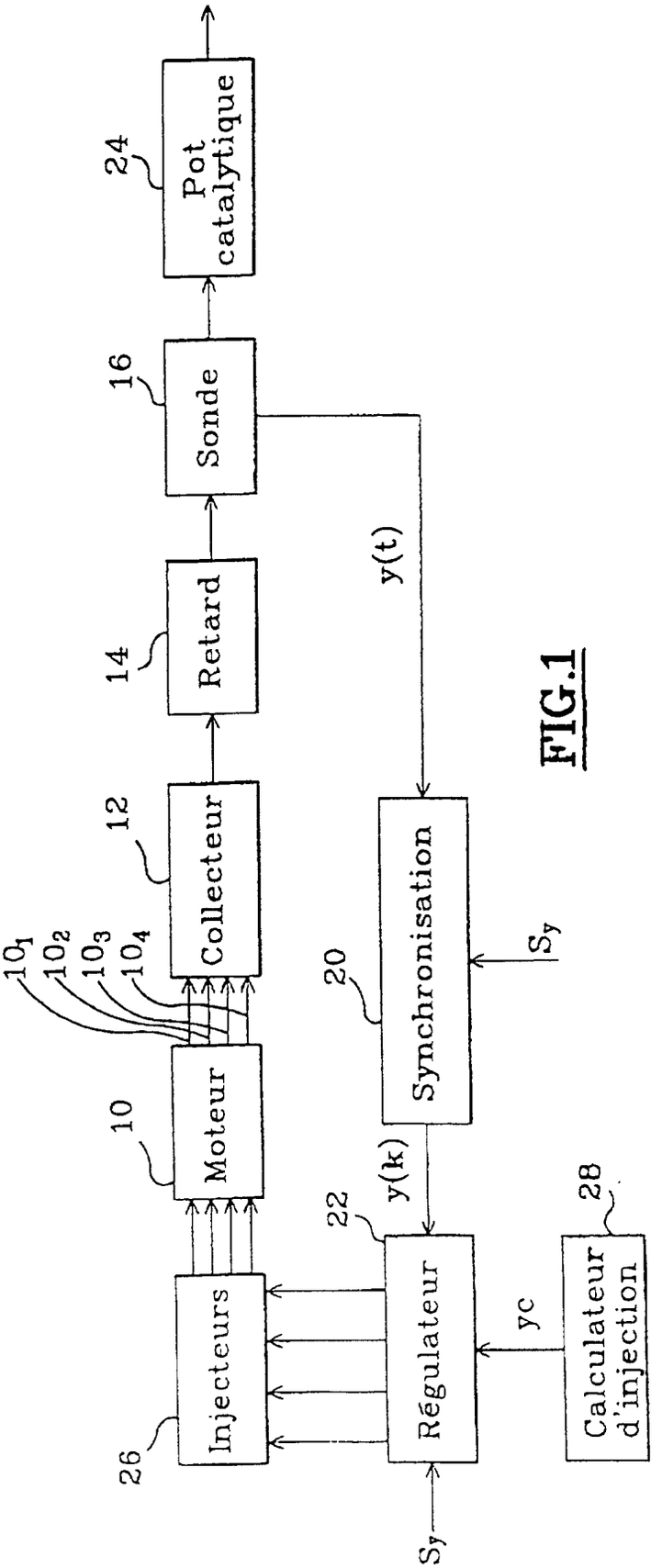

Pot catalytique
24
Sonde
16
Retard
14
Collecteur
12
10_1
10_2
10_3
10_4
Moteur
10
Injecteurs
26
y(t)
Synchronisation
20
S_y
y(k)
22
Régulateur
yc
Calculateur d'injection
28
S_y

FIG.1

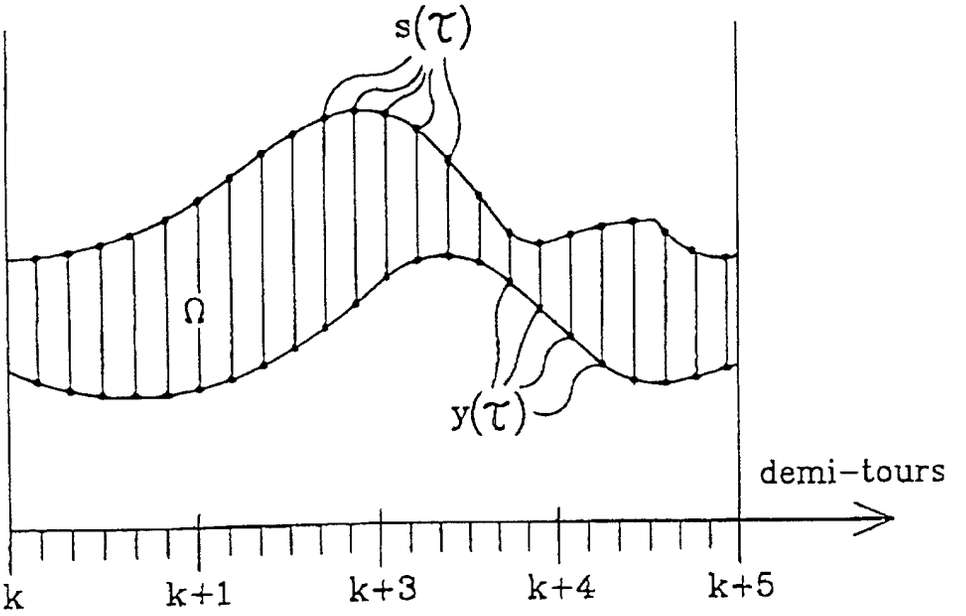


FIG.2

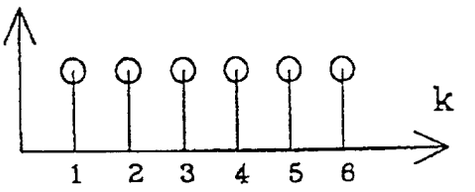


FIG.3b

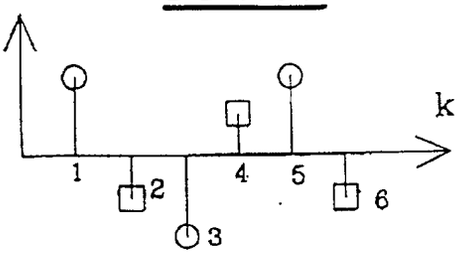


FIG.3c

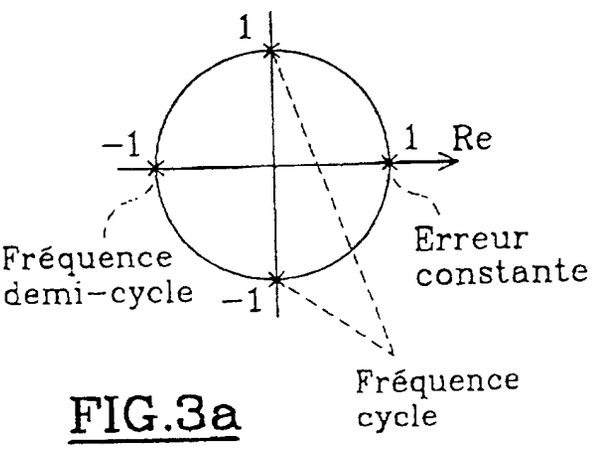


FIG.3a

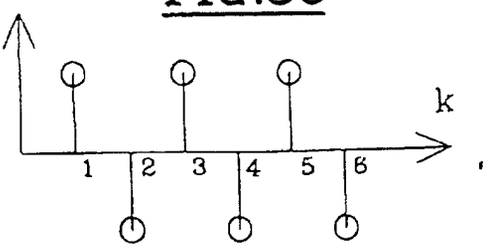


FIG.3d

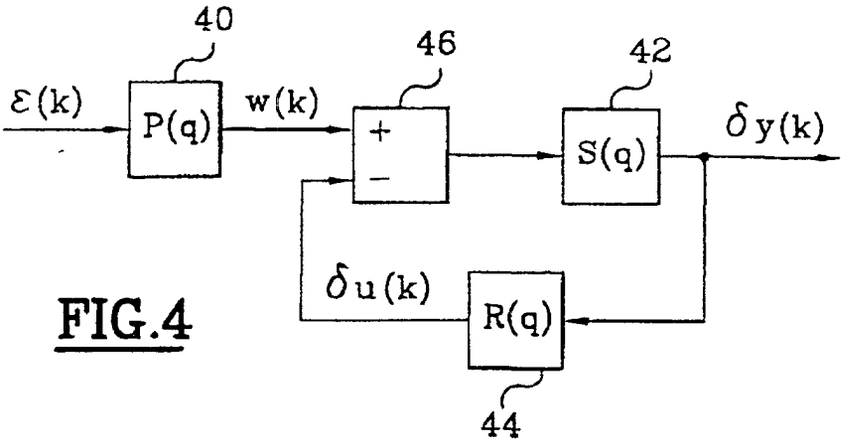


FIG.4

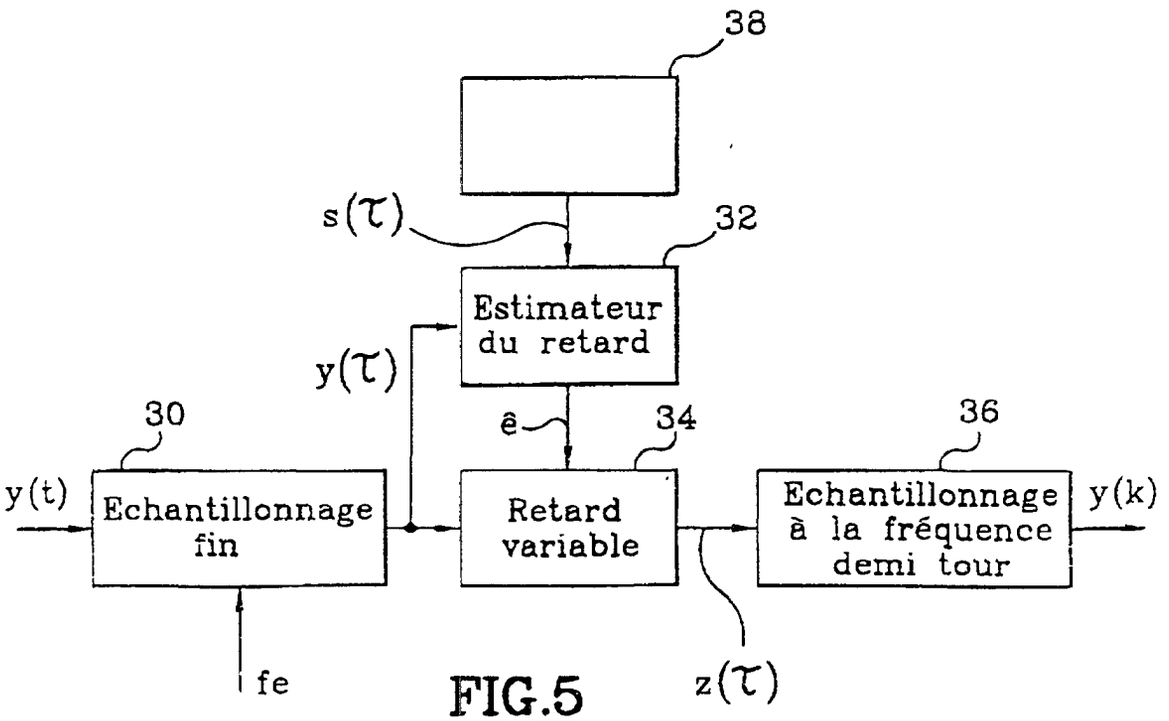


FIG.5

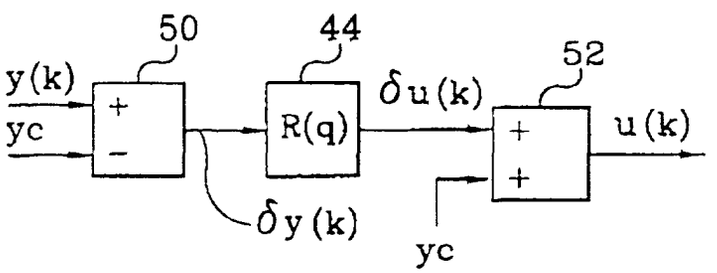


FIG.6

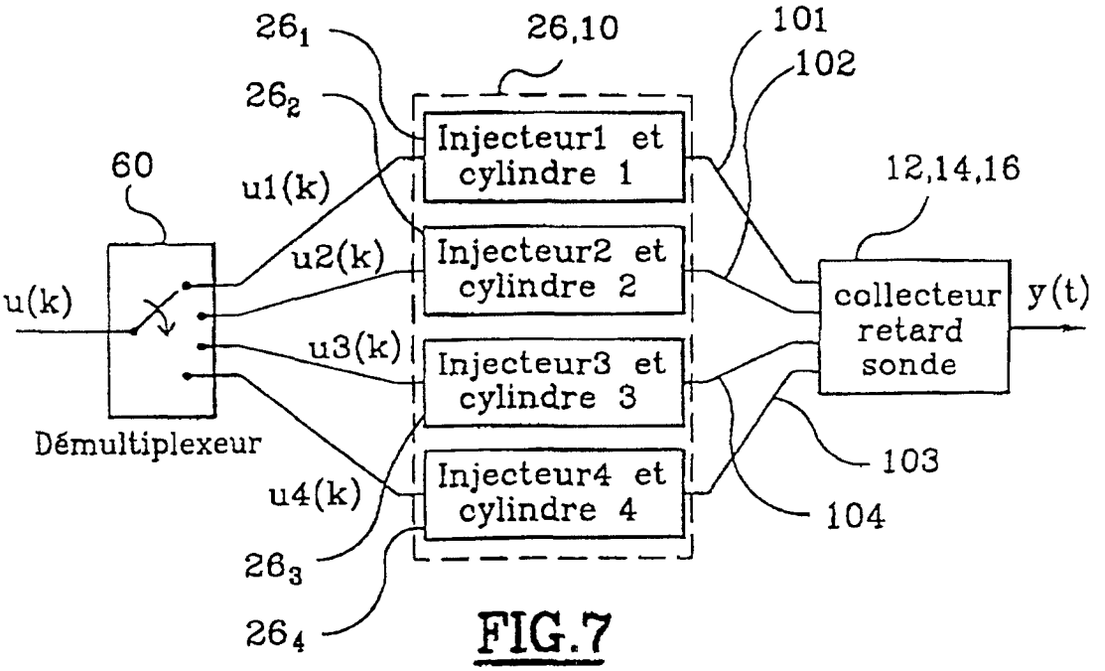

26,10
101
102
60
u1(k)
u2(k)
u3(k)
u4(k)
u(k)
Injecteur1 et cylindre 1
Injecteur2 et cylindre 2
Injecteur3 et cylindre 3
Injecteur4 et cylindre 4
12,14,16
collecteur retard sonde
y(t)
Démultiplexeur
103
104

FIG.7

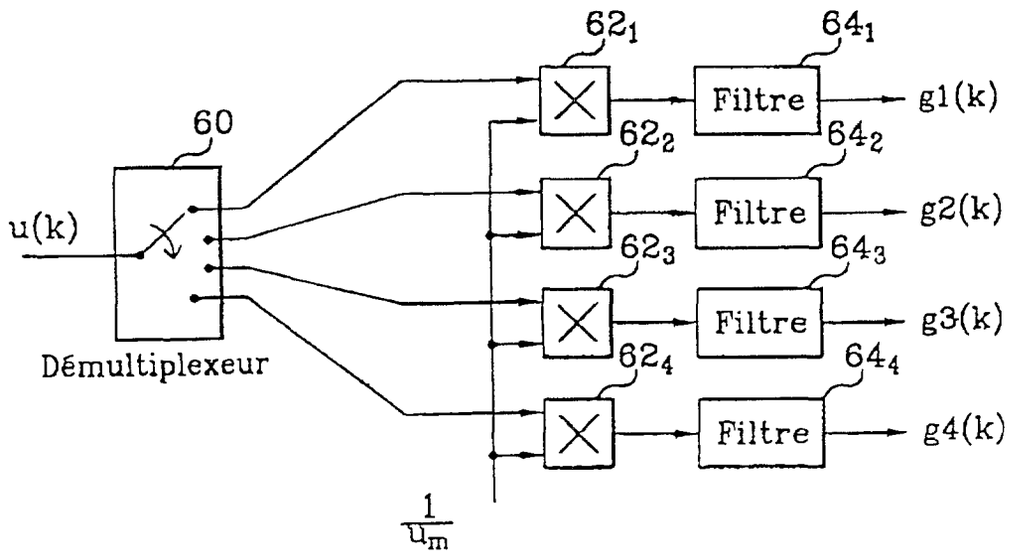

60
u(k)
Démultiplexeur
Filtre
g1(k)
g2(k)
g3(k)
g4(k)

FIG.8

FIG.9

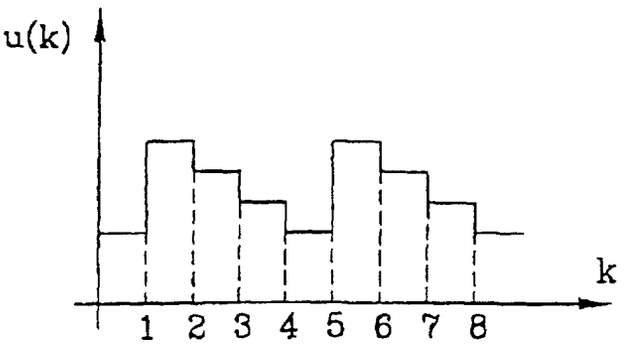
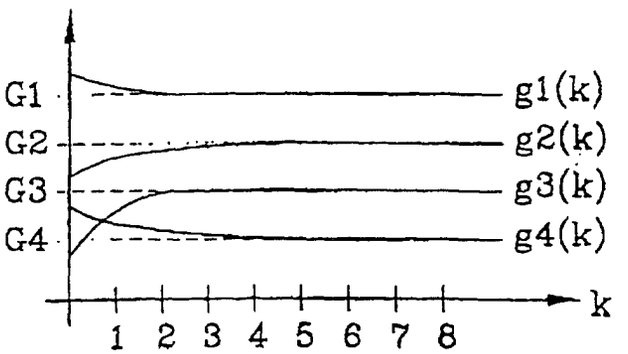


FIG.10



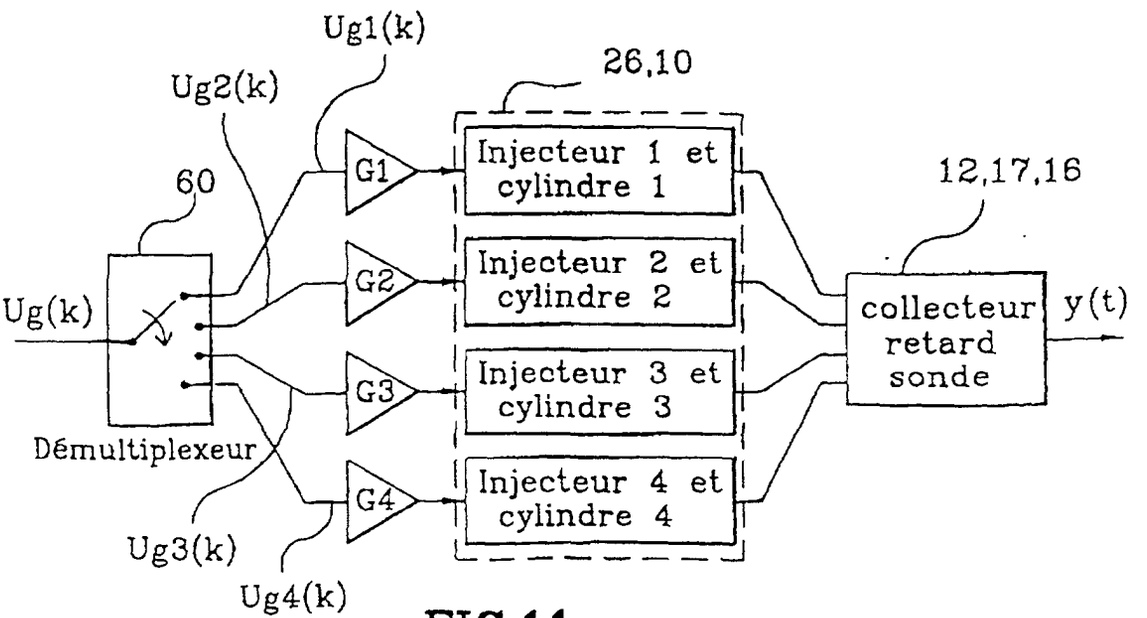


FIG.11