



(12) DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
09.10.1996 Bulletin 1996/41

(51) Int. Cl.⁶: F02D 41/04, F02D 41/14,
F02D 41/32

(21) Numéro de dépôt: 96105600.9

(22) Date de dépôt: 09.04.1996

(84) Etats contractants désignés:
DE ES GB IT

(72) Inventeur: Sans, Mariano
31700 Blagnac (FR)

(30) Priorité: 06.04.1995 FR 9504233

(74) Mandataire: Fuchs, Franz-Josef, Dr.-Ing. et al
Postfach 22 13 17
80503 München (DE)

(71) Demandeur: SIEMENS AUTOMOTIVE S.A.
31036 Toulouse Cédex (FR)

(54) Procédé d'auto-correction de paramètres physiques d'un système dynamique, tel qu'un moteur à combustion interne

(57) La présente invention concerne un procédé d'auto-correction d'au moins un paramètre physique (X) d'un système dynamique, tel qu'un moteur à combustion interne dans lequel l'évolution dans le temps du dit paramètre est simulée par une fonction tenant compte du gradient (\dot{X}) de ce paramètre, de telle sorte qu'à chaque pas de calcul la fonction de simulation calcule un paramètre simulé (X_s), le dit procédé selon l'invention étant caractérisé en ce qu'il consiste à:

- mesurer une erreur (ϵ) entre la valeur réelle (X) mesurée du paramètre à un pas de calcul donné et la valeur simulée (X_s) de ce paramètre à ce même pas de calcul,
- en déduire une correction ($\pm\delta c$) à appliquer au calcul du gradient (\dot{X}) de ce paramètre, afin de modifier simultanément, pour le pas de calcul suivant, la fonction de simulation permettant d'obtenir la valeur simulée (X_s) de ce paramètre et son gradient (\dot{X}).

La présente invention s'applique au contrôle électronique du fonctionnement d'un moteur à combustion interne.

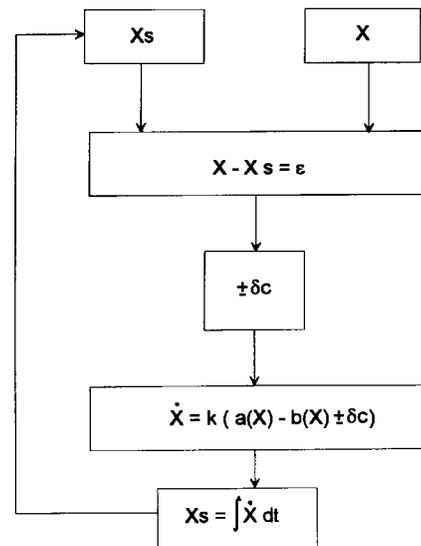


Figure 1

Description

La présente invention concerne un procédé d'auto-correction de paramètres physiques d'un système dynamique, tel qu'un moteur à combustion interne.

Pour faire fonctionner de manière optimisée un moteur à combustion interne, il est déjà connu de le placer sous le contrôle d'un circuit électronique de commande. Ce circuit électronique gère l'ensemble des paramètres nécessaires au bon fonctionnement du moteur.

Malheureusement tous ces paramètres ne peuvent être mesurés. En effet pour connaître certains paramètres il faudrait des capteurs placés dans des endroits très difficiles d'accès, et pour d'autres le circuit électronique de commande a besoin de connaître à un instant donné la valeur qu'aura un paramètre dans le futur. Dans ce cas il est impératif d'estimer ou de simuler la valeur de certains paramètres au lieu de les mesurer réellement.

Il existe déjà de nombreux procédés de simulation de la valeur future de certains paramètres, comme par exemple la pression d'admission dans le collecteur, ou la quantité de carburant à injecter.

Le problème inhérent à ces procédés de simulation ou de prédiction, est qu'il est impératif de faire en sorte qu'ils suivent au plus près la valeur réelle du paramètre. A cet effet, de manière classique, la valeur simulée d'un paramètre à un instant donné est comparée à la valeur réelle de ce paramètre à ce même instant. On déduit de cette comparaison un coefficient de correction qui réalise le recalage du paramètre simulé, sur le paramètre mesuré. Cependant on ne vient pas agir directement sur le calcul du paramètre simulé. On se contente de corrections additives ou soustractives qui ne corrigent en rien la relation permettant d'obtenir le paramètre simulé.

De tels procédés de recalage des valeurs simulées sur les valeurs réelles ne sont pas satisfaisants, car ils ne permettent pas de suivre au plus près les variations des paramètres réels, notamment pendant les phases de régime transitoires. Ces phases de régimes transitoires apparaissent à chaque changement de régime c'est à dire notamment en décélération ou en accélération. Lors de ces régimes transitoires les paramètres simulés sont toujours en retard ou en avance sur les paramètres réels et le fonctionnement du moteur n'est pas optimisé.

Ainsi par exemple, les procédés de simulation de la pression d'admission, connus à ce jour, consistent à introduire des corrections additives ou multiplicatives sur la mesure de la pression effectuée avant ouverture des soupapes d'admission. Ces corrections sont déterminées en fonction du point de fonctionnement moteur et/ou en fonction des variations de l'angle d'ouverture du papillon, pour anticiper les variations prévisibles du remplissage en air réel.

Ces éléments de correction sur la pression d'admission n'apportent cependant pas une réelle simulation de la future pression, mais introduisent uni-

quement des termes correctifs équivalents, sans réelle signification physique avec l'évolution future de la pression. De ce fait les procédés connus à ce jour n'utilisent pas de modèles physiques suffisamment représentatifs de l'état futur du système d'admission, ce qui rend empirique, par exemple, la mise au point des stratégies de calcul de la quantité de carburant à injecter à chaque cycle moteur.

Le but de la présente invention est de créer un procédé permettant une correction automatique des divergences entre les paramètres simulés et les paramètres réels, agissant directement sur la relation permettant le calcul des paramètres simulés et tenant compte des variations des paramètres réels entre chaque pas de calcul.

A cet effet la présente invention concerne un procédé d'auto correction d'au moins un paramètre physique d'un système dynamique, tel qu'un moteur à combustion interne, dans lequel l'évolution dans le temps du dit paramètre est simulée par une fonction tenant compte du gradient de ce paramètre, de telle sorte qu'à chaque pas de calcul la fonction de simulation calcule un paramètre simulé, le dit procédé selon l'invention étant caractérisé en ce qu'il consiste à:

- mesurer une erreur entre la valeur réelle mesurée du paramètre à un pas de calcul donné et la valeur simulée de ce paramètre à ce même pas de calcul,
- en déduire une correction à appliquer au calcul du gradient de ce paramètre, afin de modifier simultanément, pour le pas de calcul suivant, la fonction de simulation permettant d'obtenir la valeur simulée de ce paramètre et son gradient.

Le procédé selon l'invention permet ainsi à chaque pas de calcul, en général à chaque point mort haut (PMH), de comparer un paramètre simulé et un paramètre réel. De cette comparaison, il est retiré un coefficient de correction, non pas du paramètre simulé, mais de la dérivée instantanée (gradient) de ce paramètre.

Ceci permet de tenir compte des variations du gradient entre chaque pas de calcul et de ne pas considérer que ce gradient est constant sur l'horizon d'itération. En conséquence les variations transitoires pendant un cycle moteur sont suivies au plus près.

Avantageusement la présente invention peut être appliquée à tous paramètres simulés dont le gradient est pris en compte dans la fonction de simulation. C'est le cas, par exemple, avec la pression d'admission dans le collecteur, ou avec le régime moteur. Ainsi le procédé selon l'invention permet de suivre au plus près, même pendant un régime transitoire, les variations de ces paramètres.

Avantageusement encore, on notera que le coefficient de correction déterminé par le procédé selon l'invention s'applique aussi bien en statique (c'est à dire si le régime est stabilisé), qu'en dynamique (c'est à dire dans les phases transitoires du fonctionnement moteur). En effet le coefficient de correction déterminé

corrige, non seulement la concordance entre valeurs simulées et valeurs mesurées, mais aussi leurs dérivées (gradients ou variations).

De manière intrinsèque, on corrige donc le gradient du système, ce qui accentue l'intérêt de ce procédé, quel que soit le paramètre concerné (pression ou régime ...etc.) et agit réellement sur la fonction de simulation et non pas seulement sur le résultat final (c'est à dire le paramètre simulé).

D'autres objets, caractéristiques et avantages de la présente invention ressortiront d'ailleurs de la description qui suit, à titre d'exemple non limitatif, et en référence aux dessins annexés dans lesquels:

- la figure 1 est une vue schématique illustrant la mise en oeuvre du procédé selon l'invention, et
- la figure 2 est une vue schématique illustrant le fonctionnement d'un moteur classique à quatre temps, auquel le procédé selon l'invention est appliqué, à titre d'exemple.

En référence à la figure 1 le procédé d'auto correction selon l'invention est tout d'abord décrit dans un cadre général. Dans un second temps, à titre d'exemple, on montera son application au suivi de deux paramètres spécifiques tels que la pression d'admission dans le collecteur et le régime moteur.

Le procédé d'auto-corrrection selon l'invention, permet de suivre au plus près les variations d'un paramètre X, d'un système dynamique. En l'occurrence ce système dynamique est le moteur à combustion interne, d'un véhicule automobile.

L'évolution de ce paramètre X est simulé par une fonction tenant compte du gradient \dot{X} de ce paramètre. Soit X_s la valeur du paramètre simulé au temps t. On a la relation suivante:

$$X_s = f(\dot{X}).$$

Il ressort de cette relation que la valeur simulée X_s du paramètre est fonction de la dérivée \dot{X} de ce paramètre.

Comme cela est montré à la figure 1, régulièrement, par exemple à chaque point mort haut (PMH), on effectue une comparaison entre le paramètre simulé X_s et la valeur réelle mesurée X de ce paramètre. On en déduit une erreur appelée ε selon la relation suivante:

$$\varepsilon = X - X_s.$$

A partir de cette erreur, on détermine par un procédé classique (par exemple par un circuit électronique PID analogique ou numérique) un coefficient de correction $\pm\delta c$. Ce coefficient de correction $\pm\delta c$ est appliqué non pas à la valeur simulée du paramètre mais au gradient \dot{X} de ce paramètre.

Dans les cas particuliers du suivi de la pression d'admission et du régime moteur, le gradient \dot{X} du para-

mètre physique s'exprime plus précisément de la manière suivante:

$$\dot{X} = k[a(X)-b(X)].$$

Le coefficient de correction $\pm\delta c$ est alors appliqué soit au premier terme a (X), soit au second terme b (X) en fonction d'un coefficient de confiance attaché à chacun de ces deux termes. On a:

$$\dot{X} = k[a(X)-b(X)\pm\delta c].$$

Lorsque le gradient du paramètre a ainsi été corrigé, on calcule le paramètre X_s simulé pour le pas suivant en utilisant le gradient corrigé. En conséquence c'est la fonction de simulation $f(\dot{X})$ qui est ainsi modifiée pour suivre au plus près les variations du paramètre réel.

Il est à noter que le coefficient $\pm\delta c$, peut être interprété comme représentant une variation du premier terme a (X) ou du second terme b (X), ou bien s'appliquer aux deux termes de manière équilibrée (la moitié sur chaque terme) ou déséquilibrée. Tout dépend des conditions de mesures et de simulation et est laissée à l'appréciation de l'homme du métier. L'important est que ce coefficient de correction soit appliqué dans sa globalité au calcul du gradient du paramètre X.

Ce procédé d'auto-corrrection selon l'invention sera mieux compris à l'aide d'un premier exemple d'application dans lequel le paramètre X est la pression d'admission du collecteur. A cet effet, pour mieux replacer l'invention dans son contexte, le fonctionnement d'un moteur à quatre temps est brièvement rappelé.

On a choisi d'illustrer à la figure 2 l'application du procédé selon l'invention, à un moteur à combustion interne, à quatre temps. Bien entendu l'homme du métier pourra extrapoler cet exemple à des moteurs à combustion interne présentant un cycle de tout type (deux temps ou plus).

Un tel moteur 10, comporte quatre cylindres 11 (un seul est représenté à la figure 2) qui, au cours d'un cycle moteur, se remplissent d'un mélange air/carburant. Chaque cylindre 11 est alimenté en mélange lorsqu'une soupape d'admission 12 ménagée dans ce cylindre s'ouvre. En amont de cette soupape d'admission 12 on trouve un collecteur 13, éventuellement muni d'un filtre à air 14. Le collecteur 13 est muni d'un papillon des gaz 15, dont le rôle est de laisser plus ou moins pénétrer d'air à l'intérieur du collecteur. Ce papillon des gaz 15 est couplé à une pédale d'accélération (non représentée à la figure 2) manoeuvrée par un conducteur.

En appuyant plus ou moins sur sa pédale d'accélération, le conducteur fait varier l'angle d'ouverture a du papillon ce qui a pour conséquence de faire varier la quantité d'air admise dans le cylindre.

Un injecteur de carburant 16, envoie dans le collecteur, une quantité de carburant prédéterminée par un calculateur 18.

Lorsque la soupape d'admission 12 du cylindre 11 s'ouvre, le mélange air / carburant accumulé dans le collecteur 13, pénètre dans le cylindre en question.

A la figure 2 on a également représenté un système de régulation de ralenti r, un dispositif d'allumage All du mélange air / carburant comprimé dans le cylindre et un catalyseur 17 recyclant les gaz d'échappement refoulés par le cylindre 11. Ces dispositifs de type connus, ne sont pas détaillés.

Le calculateur électronique 18, associé au moteur 10 reçoit la valeur de la pression P régnant dans le collecteur d'admission 13. Cette pression est mesurée par un capteur approprié 19, connu en soi. Le calculateur 18 est également tenu informé par des capteurs adéquats de la vitesse de rotation du moteur N (régime moteur), de la température d'eau θ , etc.

L'une des fonctions du calculateur électronique est de calculer la quantité de carburant à injecter dans un cylindre, pour réaliser un mélange air / carburant en proportions déterminées. A cet effet le calculateur a besoin de connaître la pression régnant dans le collecteur d'admission lorsque la soupape d'admission se ferme. On considère en effet que la pression régnant dans le collecteur d'admission au moment où une soupape se ferme est égale à la pression régnant dans le cylindre en question. Connaissant la pression régnant dans un cylindre, et connaissant le volume de ce cylindre et la température des gaz, on en déduit la quantité d'air présente à l'intérieur du cylindre. La quantité d'essence qu'il fallait injecter pour avoir un mélange air / carburant dans des proportions données est donc facile à déduire. Il est donc important de pouvoir prédire la pression qui régnera dans le collecteur d'un cylindre lorsque la soupape d'admission de ce cylindre s'ouvre et se referme.

Le procédé selon la présente invention permet de corriger automatiquement tous les écarts pouvant exister entre la pression d'admission simulée ou prédite et la pression d'admission réelle telle que mesurée.

La pression d'admission simulée P_s est une fonction du gradient de la pression d'admission telle que mesurée. Ainsi on a:

$$P_s = f(\dot{P}).$$

Le gradient \dot{P} de la pression d'admission s'exprime de la manière suivante:

$$\dot{P} = \frac{1}{C} \times [Q(P, P_a, \alpha) - Q(P, N)].$$

Dans cette relation le coefficient $1/C$ est connu, P_a est la pression atmosphérique, le premier terme $Q(P, P_a, \alpha)$ est représentatif du débit d'air entrant dans le collecteur d'admission, et le second terme $Q(P, N)$ est représentatif du remplissage du cylindre.

Les premier et second termes de la dérivée de la pression sont déterminés par cartographie pour chaque type de moteur.

Selon l'invention on mesure à un instant donné la différence $\varepsilon = P - P_s$. On déduit de cette différence un coefficient de correction $\pm \delta c$, que l'on applique au calcul de la dérivée de la pression d'admission \dot{P} .

Lorsque le moteur fonctionne à moyennes ou à fortes charges le coefficient de correction $\pm \delta c$ est appliqué au premier terme $Q(P, P_a, \alpha)$, car c'est ce terme qui présente le coefficient de confiance le plus faible. En effet ce terme varie le plus sans que l'on ait de moyens directs de vérifier l'importance de ces variations.

Dans l'exemple donné le débit $Q(P, P_a, \alpha)$ reflète en effet les variations du débit du papillon, de la vanne de régulation de ralenti et de la correction altimétrique. Or toutes ces variables sont difficilement mesurables, et hautement instables. Le terme $Q(P, N)$ est quant à lui mieux connu et ses variations sont plus faciles à déterminer.

Dans le cas où le moteur fonctionne à faibles charges c'est à dire au ralenti, contrairement à ce qui précède c'est le terme $Q(P, N)$ qui présente le coefficient de confiance le plus faible. En effet le débit d'air entrant $Q(P, P_a, \alpha)$ est faible et régulé puisque le moteur tourne au ralenti, par contre en raison des phénomènes d'aspirations du moteur (pulsations du moteur à faibles charges) c'est le débit $Q(P, N)$ qui est difficile à maîtriser.

Dans ce cas le coefficient de correction de $\pm \delta c$ s'applique au second terme de la relation permettant le calcul de la dérivée \dot{P} .

Ainsi la comparaison entre la valeur de la pression prédite à un pas de calcul et la valeur réelle de cette pression à ce même pas, n'est pas directement utilisée pour recalculer la valeur prédite sur la valeur mesurée en utilisant un coefficient de correction additif, mais est utilisée pour redéfinir la relation permettant le calcul de la pression prédite.

De même le procédé selon la présente invention peut être appliqué à l'auto-corrrection du régime N de rotation du moteur, par rapport à la valeur simulée N_s de ce régime.

Le régime d'un moteur à combustion interne peut être simulé selon la loi suivante:

$$N_s = g(\dot{N}).$$

Le gradient \dot{N} de ce régime est donné par la relation suivante:

$$\dot{N} = k[\Gamma_1(N) - \Gamma_2(N)].$$

Dans cette relation Γ_1 est le couple moteur et Γ_2 est le couple résistant. De la même manière que précédemment décrit on mesure une erreur $\varepsilon = N - N_s$, à un instant donné. De cette erreur on tire de manière classique un coefficient de correction $\pm \delta c$ que l'on applique au couple (moteur ou résistant) présentant le coefficient de confiance le plus faible. Dans le cas du suivi du régime de rotation du moteur, le couple dont les variations sont les plus difficiles à simuler est le couple résis-

tant. Selon l'invention le coefficient de correction $\pm\delta c$ s'applique donc de la manière suivante:

$$\dot{N} = k[\Gamma_1(N) - \Gamma_2(N) \pm \delta c].$$

Ce gradient corrigé permet de recalculer un régime de rotation simulé tenant compte des variations du gradient, et donc suivant au mieux les variations du paramètre réel N. En outre le terme $[\Gamma_2(N) \pm \delta c]$ est une image du couple résistant, qu'il est difficile d'appréhender par les moyens de mesure connus.

Bien entendu le procédé d'auto-correction selon l'invention n'est pas limité aux modes de réalisations ci dessus décrits. Ainsi ce procédé d'auto-correction peut être mis en oeuvre pour corriger les écarts entre un paramètre simulé selon un certain modèle (par exemple un modèle dit recalé) avec ce même paramètre mais simulé selon un second modèle (par exemple un modèle non recalé dit "libre").

Revendications

1. Procédé d'auto correction d'au moins un paramètre physique (X) d'un système dynamique, tel qu'un moteur à combustion interne, dans lequel l'évolution dans le temps du dit paramètre est simulée par une fonction tenant compte du gradient (\dot{X}) de ce paramètre, de telle sorte qu'à chaque pas de calcul la fonction de simulation calcule un paramètre simulé (X_s), le procédé selon l'invention consistant à:

- mesurer une erreur (ϵ) entre la valeur réelle (X) mesurée du paramètre à un pas de calcul donné et la valeur simulée (X_s) de ce paramètre à ce même pas de calcul,

et étant caractérisé en ce qu'il consiste à:

- en déduire une correction ($\pm\delta c$) à appliquer au calcul du gradient (\dot{X}) de ce paramètre, afin de modifier simultanément, pour le pas de calcul suivant, la fonction de simulation permettant d'obtenir la valeur simulée (X_s) de ce paramètre et son gradient (\dot{X}).

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que, le gradient (\dot{X}) du paramètre s'exprime par la relation suivante:

$\dot{X} = k[a(X) - b(X)]$, et en ce que le coefficient de correction $\pm\delta c$, s'applique au premier terme a(X) ou au second terme b(X) en fonction d'un coefficient de confiance attaché à chacun de ces deux termes.

3. Procédé selon la revendication 2 caractérisé en ce que, le paramètre suivi est la pression d'admission (P) d'un moteur à combustion interne, et en ce que

le gradient (\dot{P}) de cette pression est donné par la relation suivante:

$$\dot{P} = \frac{1}{C} \times [Q(P, Pa, \alpha) - Q(P, N)],$$

dans laquelle 1/C est un coefficient connu, le premier terme $Q(P, Pa, \alpha)$ est représentatif d'un débit d'air entrant dans le collecteur d'admission, le second terme $Q(P, N)$ est représentatif d'une quantité de mélange réellement absorbée par un cylindre, (P) est la pression d'admission, (Pa) est la pression atmosphérique, (α) est l'angle d'ouverture du papillon d'admission, et (N) est le régime de rotation du moteur.

4. Procédé d'auto correction selon la revendication 3, caractérisé en ce que, lorsque le moteur est à forte ou moyenne charges, le coefficient de correction ($\pm\delta c$) est appliqué au premier terme.

5. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que lorsque le moteur est à faible charge le coefficient de correction ($\pm\delta c$) est appliqué au second terme.

6. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que le paramètre suivi, est le régime de rotation (N) d'un moteur à combustion interne, le gradient (\dot{N}) de ce paramètre s'exprime selon la relation suivante:

$\dot{N} = k(\Gamma_1(N) - \Gamma_2(N))$, dans laquelle Γ_1 est un couple moteur et Γ_2 est un couple résistant, le coefficient ($\pm\delta c$) étant appliqué au couple présentant le coefficient de confiance le plus faible.

7. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que le gradient corrigé du régime de rotation du moteur s'exprime selon la relation suivante:

$$\dot{N} = k(\Gamma_1(N) - \Gamma_2(N) \pm \delta c).$$

8. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que, le paramètre évoluant dans le temps est lui même, un paramètre simulé.

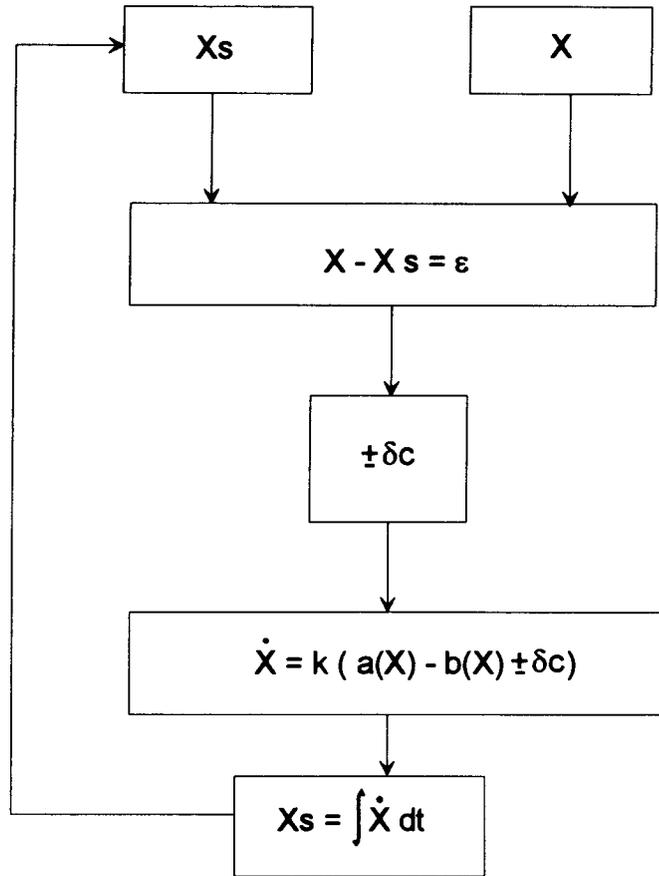


Figure 1

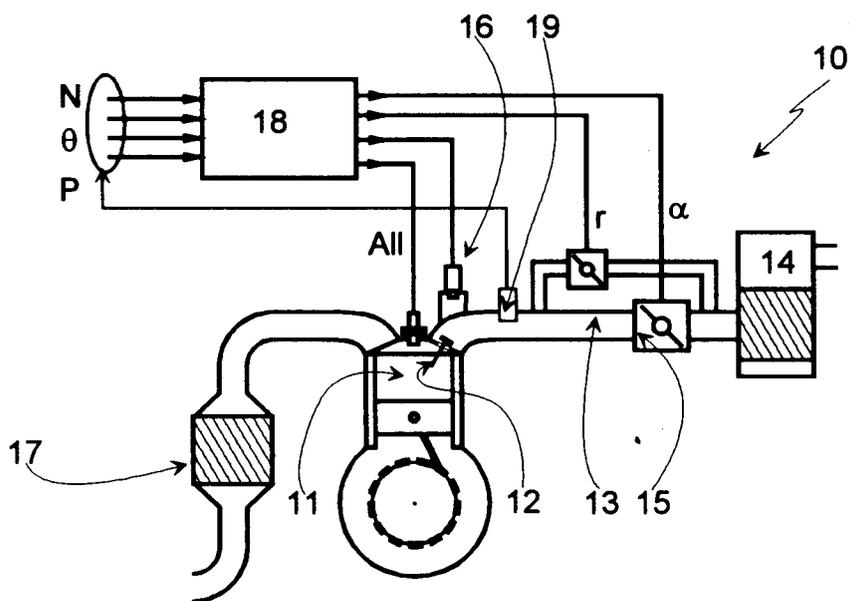


Figure 2



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande
EP 96 10 5600

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.6)
X	WO-A-92 13184 (SIEMENS AUTOMOTIVE S.A.) 6 Août 1992	1,2	F02D41/04 F02D41/14 F02D41/32
A	* page 4, ligne 38 - page 10, ligne 11 * ---	3	
A	US-A-5 094 213 (DUDEK ET AL.) 10 Mars 1992 * colonne 2, ligne 31 - ligne 63 * * colonne 4, ligne 24 - colonne 10, ligne 20 * ---	1-3,7,8	
A	US-A-4 893 244 (TANG ET AL) 9 Janvier 1990 * le document en entier * ---	1	
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 14, no. 39 (M-924), 24 Janvier 1990 & JP-A-01 271642 (TOYOTA MOTOR CORP.), 30 Octobre 1989, * abrégé * -----	1	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.6)
			F02D
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 29 Juillet 1996	Examineur Moualed, R
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		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	
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			

EPO FORM 1503 03.82 (F04C02)