



⑫ **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

⑲ Numéro de dépôt : **94400602.2**

⑤① Int. Cl.<sup>5</sup> : **F02D 41/14**

⑳ Date de dépôt : **18.03.94**

③① Priorité : **29.03.93 FR 9303605**

⑦② Inventeur : **Blayer, Michel**  
**3 Avenue de Maintenon**  
**F-78150 Le Chesnay (FR)**  
 Inventeur : **Luisin, Pascal**  
**5,7 rue Léon Maurice Nordmann**  
**F-92250 La Garenne-Colombes (FR)**

④③ Date de publication de la demande :  
**05.10.94 Bulletin 94/40**

⑧④ Etats contractants désignés :  
**DE GB IT**

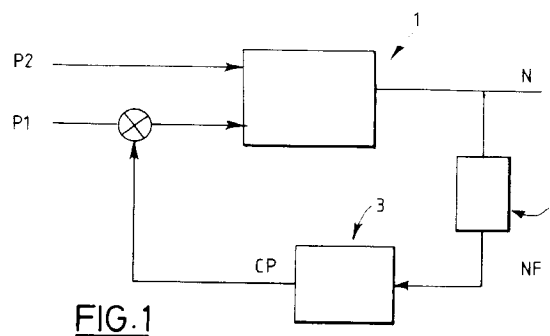
⑦④ Mandataire : **Habasque, Etienne Joel**  
**Jean-François et al**  
**Cabinet Lavoix**  
**2, Place d'Estienne d'Orves**  
**F-75441 Paris Cédex 09 (FR)**

⑦① Demandeur : **AUTOMOBILES PEUGEOT,**  
**Société dite:**  
**75, Avenue de la Grande-Armée**  
**F-75761 Paris Cedex 16 (FR)**

⑦① Demandeur : **AUTOMOBILES CITROEN**  
**62 Boulevard Victor-Hugo**  
**F-92200 Neuilly-sur-Seine (FR)**

⑤④ **Procédé et dispositif de contrôle du fonctionnement d'un moteur à combustion interne d'un véhicule automobile.**

⑤⑦ Ce procédé est caractérisé en ce qu'il consiste à élaborer un signal de régime moteur filtré (NF) représentatif d'oscillations du régime moteur (N), et à asservir ce signal de régime moteur filtré à 0, pour amortir les oscillations du régime moteur, par calcul d'une correction à apporter au couple moteur et détermination de la correction correspondante (CP) à appliquer audit paramètre de contrôle du fonctionnement du moteur, à l'aide d'un régulateur numérique (3) dont les paramètres ont été préalablement calculés à partir d'un modèle estimateur du couple moteur dans lequel sont introduits les paramètres de contrôle du fonctionnement du moteur et d'un modèle estimateur de transmission filtré, pour chaque rapport de boîte de vitesses.



La présente invention concerne un procédé et un dispositif de contrôle du fonctionnement d'un moteur à combustion interne d'un véhicule automobile, par commande d'au moins un paramètre de contrôle du fonctionnement de ce moteur.

Ces procédés et ces dispositifs ont été développés dans l'état de la technique pour assurer l'élimination des oscillations longitudinales d'un véhicule automobile.

En effet, on connaît déjà dans l'état de la technique des procédés et des dispositifs de ce type qui permettent d'effectuer des corrections et des réglages des paramètres de contrôle du fonctionnement d'un moteur, pour éliminer les oscillations, en surveillant un paramètre et en introduisant dans une boucle de commande de ce paramètre, une constante, à des instants déterminés en fonction de la détection des oscillations.

Cependant, ces procédés et ces dispositifs présentent un certain nombre d'inconvénients notamment au niveau de la détermination des instants d'application de la correction, dans la mesure où celle-ci n'intervient pas en permanence.

Il est également connu par la demande de brevet français n° 91 11 919 déposée le 27 septembre 1991, et publiée le 2 avril 1993 sous le n° 2 681 908, un procédé de correction des paramètres de contrôle d'un moteur à combustion interne qui consiste, à partir d'un modèle estimateur du couple moteur et d'un modèle pour chaque rapport de vitesse estimateur de la transmission, à élaborer une variable qui est une combinaison linéaire des dérivés premières et secondes du régime moteur et représente les oscillations extraites du régime moteur, à appliquer une correction variable sur cette variable pour déterminer la variation du couple moteur et à partir de cette variation, à déterminer la correction à appliquer sur le ou les paramètres de contrôle du moteur.

Cependant, ce procédé présente un certain nombre d'inconvénients notamment au niveau de la complexité de la modélisation, du volume des calculs en temps réel nécessaires pour obtenir la correction et du fait que l'on agit très peu sur le début de l'oscillation.

Le but de l'invention est donc de résoudre ces problèmes.

A cet effet, l'invention a pour objet un procédé de contrôle du fonctionnement d'un moteur à combustion interne d'un véhicule automobile, par commande d'au moins un paramètre de contrôle du fonctionnement de ce moteur, caractérisé en ce qu'il consiste à élaborer un signal de régime moteur filtré représentatif des oscillations du régime moteur, et à asservir ce signal de régime moteur filtré à 0, pour amortir les oscillations du régime moteur, par calcul d'une correction à apporter au couple moteur et détermination de la correction correspondante à appliquer audit paramètre de contrôle du fonctionnement du moteur,

à l'aide d'un régulateur numérique dont les paramètres ont été préalablement calculés à partir d'un modèle estimateur du couple moteur dans lequel sont introduits les paramètres de contrôle du fonctionnement du moteur et d'un modèle estimateur de transmission filtré pour chaque rapport de boîte de vitesses.

Selon un autre aspect, l'invention a également pour objet un dispositif pour la mise en oeuvre du procédé tel que décrit précédemment.

L'invention sera mieux comprise à l'aide de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple et faite en se référant aux dessins annexés, sur lesquels :

- la Fig.1 représente un schéma synoptique illustrant le fonctionnement d'un dispositif de contrôle selon l'invention; et
- les Fig.2 et 3 représentent des schémas de principe illustrant la régulation appliquée à un paramètre de contrôle du fonctionnement d'un moteur, dans un procédé selon l'invention.

Sur la Fig.1, le moteur d'un véhicule automobile est schématisé par le bloc désigné par la référence générale 1 et reçoit en entrée des paramètres de contrôle de son fonctionnement, désignés par exemple par les références P1 et P2.

La sortie de ce moteur est illustrée par le régime N de celui-ci.

On conçoit que ce régime N est fonction des différents paramètres P1 et P2 de contrôle du fonctionnement de ce moteur.

Ainsi qu'on l'a mentionné précédemment, le procédé et le dispositif selon l'invention sont adaptés pour amortir les oscillations longitudinales du véhicule engendrées par les oscillations du régime moteur.

Le procédé selon l'invention consiste à élaborer un signal de régime moteur filtré NF représentatif des oscillations de ce régime N et à asservir ce signal de régime moteur filtré à 0, par calcul d'une correction à apporter au couple moteur et détermination de la correction correspondante à appliquer à un paramètre de contrôle du fonctionnement du moteur, à l'aide d'un régulateur numérique.

Le régime filtré NF représentatif des oscillations du régime moteur N est obtenu par passage de ce régime dans un filtre désigné par la référence 2 sur cette figure, tandis que le régulateur numérique est désigné par la référence 3, la correction de sortie de celui-ci étant désignée par la référence CP et étant appliquée par exemple au paramètre P1 de contrôle du fonctionnement du moteur.

Il va de soi que le filtre 2 peut être intégré dans le régulateur 3.

On notera également que ce paramètre de contrôle est par exemple l'avance à l'allumage. Cependant, la correction peut également être appliquée à d'autres paramètres de contrôle du fonctionnement du moteur comme cela sera décrit plus en détail par

la suite.

Les paramètres du régulateur numérique ont été quant à eux préalablement calculés à partir d'un modèle estimateur du couple moteur dans lequel sont introduits les paramètres de contrôle du fonctionnement du moteur et d'un modèle estimateur de transmission filtré pour chaque rapport de boîte de vitesses.

L'identification du modèle estimateur du couple moteur ne présente pas de difficultés particulières et est réalisée par exemple conformément aux enseignements de la demande de brevet Français n° 91 11 919 mentionnée précédemment.

L'identification du modèle estimateur de transmission filtré est réalisée quant à elle à partir du couple moteur moyen sur chaque période d'échantillonnage constante du régulateur et d'un régime moteur filtré obtenu à partir d'un régime moteur interpolé linéairement entre des valeurs de régime mesurées à deux références angulaires déterminées du moteur, encadrant l'instant d'échantillonnage.

Ce modèle peut être obtenu de la façon suivante.

La première phase d'identification de ce modèle est une phase d'analyse du fonctionnement du moteur du véhicule. Ce véhicule est équipé d'un calculateur de commande de l'allumage et de l'injection qui ne fait aucune correction sur les paramètres de contrôle du fonctionnement du moteur de celui-ci.

Ces paramètres sont alors directement issus d'une cartographie statique et on dit que le système fonctionne en boucle ouverte.

Il y a ensuite lieu de se placer à un régime moteur stabilisé, c'est à dire sans trop d'oscillations résiduelles et d'accélérer de manière à provoquer une oscillation non négligeable du véhicule.

A chaque référence angulaire déterminée du moteur, par exemple située avant chaque point mort haut de celui-ci, on mesure la pression d'admission ou le débit d'air dans le moteur, le régime moteur, l'avance à l'allumage et le temps écoulé depuis le début de la mesure en vue d'une datation des résultats.

Ces différentes mesures permettent de reconstituer en temps différé le couple délivré par le moteur et le moment où il est délivré grâce à la datation.

Le calcul du couple moteur par un triplet pression, régime, avance est décrit dans la demande de brevet mentionnée précédemment.

Cependant, la période de travail, c'est à dire la période d'échantillonnage, étant constante, il n'existe aucune synchronisation entre les références angulaires déterminées et les instants d'échantillonnage.

Or, il est nécessaire pour identifier le modèle de connaître le couple moteur et le régime filtré à chaque instant d'échantillonnage.

Ces signaux sont reconstitués de la façon suivante :

a) couple : le couple utilisé est le couple moyen calculé sur chaque période d'échantillonnage;

b) régime : le régime non filtré à l'instant n est le résultat d'une interpolation linéaire entre les valeurs de régime mesurées aux deux références angulaires déterminées du moteur encadrant l'instant d'échantillonnage, ce qui est suffisant car le régime varie lentement d'une référence angulaire à l'autre.

Le régime filtré est ensuite obtenu à partir de ce régime interpolé par passage dans un filtre passe-haut d'ordre au moins égal à deux pour éliminer à la fois une composante continue et une variation constante afin de ne pas corriger le système lors d'une accélération constante sans oscillation.

On conçoit alors qu'à partir de ce couple moteur et du régime filtré, il est possible d'identifier le modèle retraçant au mieux le signal de sortie pour une même entrée.

Des logiciels peuvent être utilisés pour identifier le modèle à partir de ces informations.

Des renseignements complémentaires concernant cette identification pourront être trouvés dans " IDENTIFICATION ET COMMANDE DES SYSTEMES " par IOAN DORE LANDAU, Traités des Nouvelles Technologies, série automatique, édition Hermès, 1988.

La période d'échantillonnage est choisie pour avoir un nombre d'échantillons par période supérieur à quatre et pour être plus grande que la petite durée d'un cycle moteur.

Le régulateur peut être constitué par un régulateur à structure dite RST dont on trouvera une description détaillée dans le document mentionné ci-dessus.

Ce régulateur est utilisé pour amortir les oscillations du régime moteur en asservissant le signal de régime moteur filtré à 0, comme cela est illustré sur la Fig.2.

Sur cette figure,  $U_0$  représente l'apport de couple dû au conducteur du véhicule, c'est à dire la perturbation.

Le modèle estimateur de transmission filtré est quant à lui représenté par une fonction de transfert discrète  $B/A$  où B et A sont des polynômes déterminés de la façon indiquée précédemment.

Les paramètres R et S du régulateur sont également des polynômes.

On conçoit alors que la fonction de transfert en boucle fermée de ce régulateur, liant la perturbation  $U_0$  au régime filtré NF, est :

$$\frac{NF}{U_0} = \frac{B.S}{A.S + B.R}$$

Les amortissements et les fréquences propres du système sont déterminés par le dénominateur  $AS + BR$ .

On détermine ensuite un polynôme cible ou idéal appelé P et on résout l'équation polynômiale dite de BEZOUT :

$$AS + BR = P$$

dans laquelle les inconnues sont les coefficients de R et de S, cette équation conduisant en fait à un système d'équations linéaires.

Le polynôme idéal P peut être obtenu par modification du polynôme A dans la mesure où il n'est pas nécessaire de modifier les fréquences d'oscillations ni les amortissements des fréquences élevées.

Le polynôme A peut alors être décomposé sous forme de polynômes de premier et de second ordres de façon à faire apparaître fréquences et amortissements et on augmente alors l'amortissement correspondant à la fréquence à amortir pour obtenir un polynôme modifié que l'on peut utiliser comme polynôme P.

Des méthodes classiques d'évaluation et d'amélioration de la robustesse du régulateur peuvent ensuite être appliquées pour optimiser sa capacité à conserver ses performances lorsque les caractéristiques du système sur lequel il s'applique, varient.

L'évaluation de la robustesse se fait de façon classique au travers:

- de différentes marges :
  - \* marge de gain
  - \* marge de phase
  - \* marge de retard
  - \* marge de module

Ces marges sont calculées à partir du diagramme de NYQUIST.

- de deux fonctions de sensibilité :
  - \* sensibilité à une perturbation appliquée sur la sortie (NF) :

Fonction de transfert :

$$S_{YP}(q-1) = \frac{1}{1 + H_{BO}} = \frac{A(q^{-1}) \cdot S(q^{-1})}{P(q^{-1})}$$

où  $H_{BO}$  est la fonction de transfert en boucle ouverte.

- \* sensibilité à une perturbation appliquée sur la commande ( $U_0$ ) :

Fonction de transfert :

$$S_{UP}(q-1) = \frac{A(q^{-1}) \cdot R(q^{-1})}{P(q^{-1})}$$

La sensibilité de chaque fonction de transfert est déterminée en traçant le diagramme de BODE correspondant.

Lors de la détermination du régulateur, il faut arriver à faire un compromis entre tous ces critères afin de les respecter au mieux. Pour cela, il existe plusieurs moyens d'actions.

En effet, il est possible de modifier et d'ajouter des racines au polynôme P (pour mieux le spécifier) sans augmenter les degrés de R et de S jusqu'à un certain point. L'avantage de cette méthode est d'améliorer la robustesse du régulateur sans le compliquer.

Cependant, il est également possible d'ajouter un polynôme  $H_r$  ou  $H_s$ .

Ces polynômes sont définis de la manière sui-

vante:

$$\begin{aligned} R &= H_r \cdot R' \\ S &= H_s \cdot S' \end{aligned}$$

Si par exemple on introduit un polynôme  $H_r$ , l'identité de BEZOUT devient :

$$A \cdot S + B \cdot H_r \cdot R' = P$$

En posant  $B' = B \cdot H_r$ , l'équation s'écrit :

$$A \cdot S + B' \cdot R' = P$$

où les inconnues sont S et R'

Il en est de même pour  $H_s$ .

Le fait d'ajouter ce polynôme permet d'imposer une racine dans R (ou dans S). Cependant, pour chaque racine ajoutée, l'ordre de R et de S augmente et ainsi le régulateur devient plus complexe.

On conçoit que le régulateur représenté sur la Fig.2 permet d'amortir rapidement une oscillation du véhicule, mais ne permet pas de contrôler complètement l'accélération et en particulier l'amplitude de la première oscillation.

Ceci se retrouve dans le fait que ce régulateur ne permet de choisir que le dénominateur de la fonction de transfert en boucle fermée, le numérateur BS étant entièrement subi.

Pour résoudre ce problème, il est possible d'introduire dans ce régulateur, un signal de commande à action directe élaboré à partir du couple moteur  $U_0$ , pour contrôler l'allure de l'accélération du véhicule.

Ceci se traduit alors par l'introduction d'un polynôme T dans le régulateur comme cela est illustré sur la Fig.3.

La fonction de transfert en boucle fermée du régulateur est alors :

$$\frac{NF}{U_0} = \frac{B(S + T)}{A \cdot S + B \cdot R}$$

L'introduction du polynôme T permet donc de contrôler partiellement le numérateur de la fonction de transfert et nécessite l'estimation du couple  $U_0$  qui serait délivré par le moteur si l'on ne faisait aucune correction.

La formule récursive globale du calcul de la correction est alors :

$$\Delta U = \frac{T}{S} U_0 - \frac{R}{S} NF$$

La correction à apporter au couple moteur à l'instants n est donc donnée par la relation :

$$\begin{aligned} \Delta U(n) = & - (S_1 \cdot \Delta U(n-1) - S_2 \cdot \Delta U(n-2) - \dots) \\ & + t_0 \cdot U_0(n) + t_1 \cdot U_0(n-1) + \dots - (r_0 \cdot NF(n) \\ & + r_1 \cdot NF(n-1) + \dots) \end{aligned}$$

Le choix du polynôme T repose sur plusieurs critères.

En effet, la correction apportée par ce polynôme doit être nulle si le couple  $U_0$  est constant afin d'éviter une correction permanente qui dégraderait le rendement du moteur.

Cette condition impose que T a pour racine au moins la valeur 1, gain statique nul.

Par ailleurs, les racines de S + T doivent être disposées correctement à l'intérieur du cercle unité.

Une solution possible pour calculer le polynôme T est de minimiser un critère quadratique regroupant les notions contradictoires d'amplitude d'oscillations d'une part et d'énergie de commande d'autre part.

Une autre solution possible réside dans une calibration manuelle sur le véhicule.

Ce régulateur permet alors de déterminer une correction à apporter à l'un des paramètres de contrôle de fonctionnement du moteur pour obtenir une correction de couple et donc un amortissement des oscillations du véhicule et un contrôle de l'allure de l'accélération de celui-ci.

Cette correction est appliquée par exemple grâce à l'avance à l'allumage, mais il va de soi bien entendu qu'un actionneur d'air tel qu'une vanne ou un papillon peut également être utilisé.

Dans le cas où la demande de correction de couple est appliquée par l'avance à l'allumage, comme dans la demande de brevet mentionnée précédemment, la demande de correction de couple par le régulateur, intervenant toutes les périodes d'échantillonnage et l'application de l'avance, intervenant toutes les références angulaires déterminées, ne sont pas synchrones.

Il y a alors lieu de convertir les corrections de couple en corrections d'avance toutes les périodes d'échantillonnage, le calcul de l'avance réelle dépendant des paramètres de fonctionnement du moteur au moment de l'allumage, étant fait toutes les références angulaires déterminées.

Par ailleurs, il est également nécessaire de connaître la correction réellement appliquée lors des périodes précédentes, qui peut différer de ce que l'on a demandé à cause des saturations.

Pour cela, trois solutions peuvent être retenues et on considère alors que la correction appliquée pendant une période d'échantillonnage est soit la correction appliquée à la dernière référence angulaire déterminée, avant la période d'échantillonnage suivante, soit la moyenne des corrections appliquées à chaque référence angulaire déterminée pendant la période d'échantillonnage, soit la moyenne des corrections appliquées à chaque référence angulaire déterminée pendant la période d'échantillonnage, pondérée par le temps d'application de chaque correction.

On conçoit alors que le procédé et le dispositif selon l'invention utilise une correction basée sur un modèle identifié reliant le couple moteur au régime filtré et calculée à période fixe, appliquée à des références angulaires déterminées.

De plus, le régulateur ne présente pas de seuil de déclenchement et il est possible de piloter l'allure de l'accélération du véhicule et de déterminer un bon compromis de confort d'utilisation du véhicule.

Les contraintes de robustesse sont prises en compte lors du calcul du régulateur.

Enfin, la charge de calcul en temps réel du régulateur est faible.

## Revendications

1. Procédé de contrôle du fonctionnement d'un moteur à combustion interne d'un véhicule automobile, par commande d'au moins un paramètre (P1) de contrôle du fonctionnement de ce moteur (1), caractérisé en ce qu'il consiste à élaborer un signal de régime moteur filtré (NF) représentatif d'oscillations du régime moteur (N), et à asservir ce signal de régime moteur filtré à 0, pour amortir les oscillations du régime moteur, par calcul d'une correction à apporter au couple moteur et détermination de la correction correspondante (CP) à appliquer audit paramètre de contrôle du fonctionnement du moteur à l'aide d'un régulateur numérique (3) dont les paramètres ont été préalablement calculés à partir d'un modèle estimateur du couple moteur dans lequel sont introduits les paramètres de contrôle du fonctionnement du moteur et d'un modèle estimateur de transmission filtré, pour chaque rapport de boîte de vitesses.
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le régulateur numérique (3) est un régulateur à structure RST recevant un signal de commande à action directe élaboré à partir du couple moteur (Uo) pour contrôler l'allure de l'accélération du véhicule.
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que le régulateur présente une période d'échantillonnage constante.
4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que l'identification du modèle (B/A) estimateur de transmission filtré est réalisée à partir du couple moteur moyen sur chaque période d'échantillonnage du régulateur et d'un régime filtré obtenu à partir d'un régime interpolé linéairement entre des valeurs de régime mesurées à deux références angulaires déterminées, du moteur, encadrant l'instant d'échantillonnage.
5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que le régime filtré est obtenu par passage du régime interpolé dans un filtre passe-haut au moins d'ordre 2.
6. Dispositif de contrôle du fonctionnement d'un moteur à combustion interne d'un véhicule automobile pour la mise en oeuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens (2) d'élaboration d'un régime moteur filtré et un régulateur (3) d'asservissement de ce régime moteur filtré à 0.

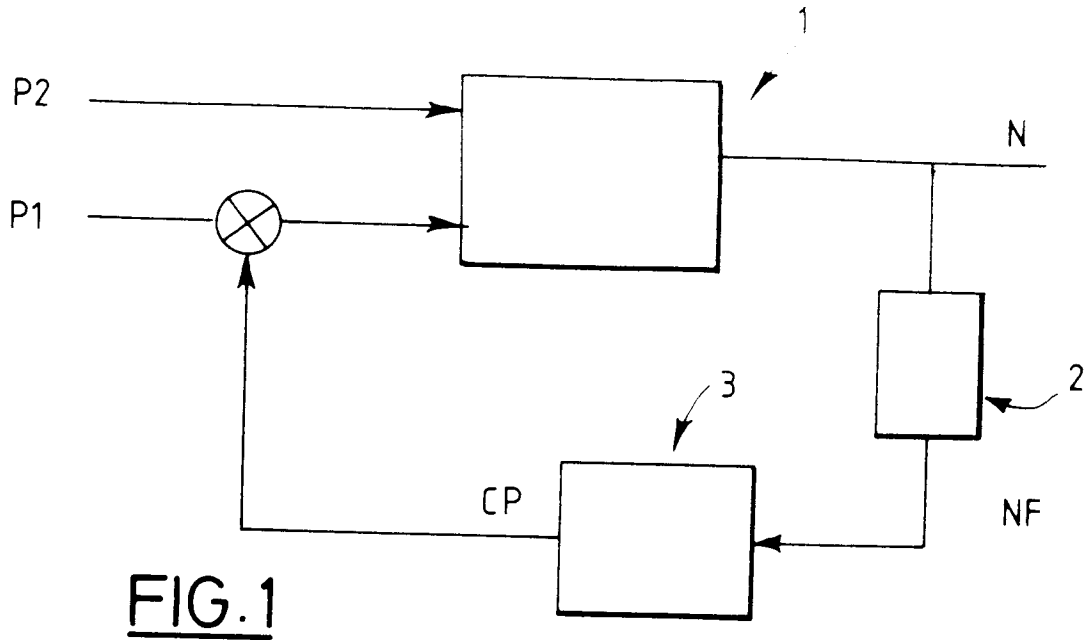


FIG. 1

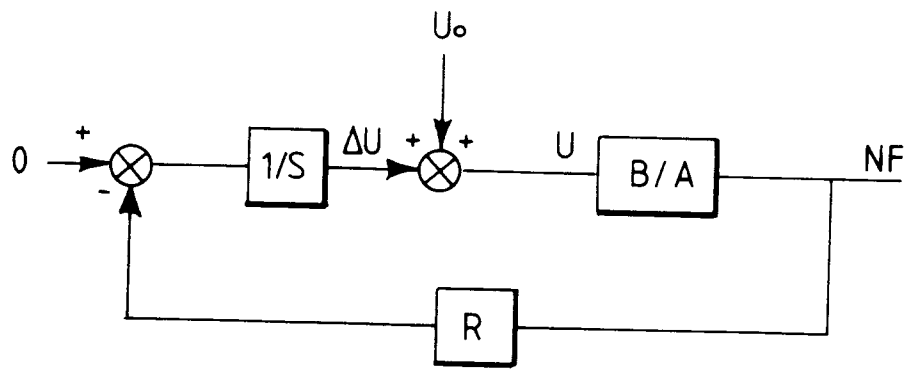


FIG. 2

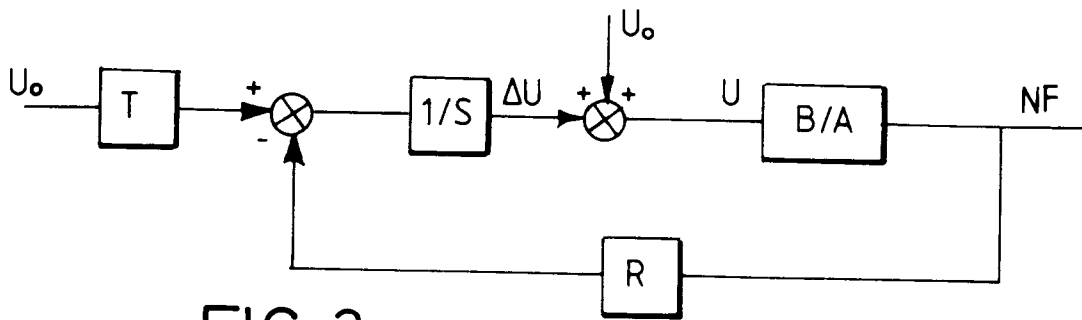


FIG. 3



Office européen  
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande  
EP 94 40 0602

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.5)
D,P, X A	FR-A-2 681 908 (AUTOMOBILES CITROEN SA)	1,3,4,6	F02D41/14
	* page 1, ligne 11 - page 7, ligne 25 *	2,5	
	* page 10, ligne 4 - page 13, ligne 33 *		
	* figures 1-3 *		
	---		
A	EP-A-0 337 366 (TOYOTA JIDOSHA KK)	1,5,6	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.5)
	* page 2, ligne 35 - ligne 48 *		
	* page 3, ligne 43 - page 4, ligne 28 *		
	* page 11, ligne 15 - page 12, ligne 15 *		
	* figures 1-3 *		
	---		
A	GB-A-2 042 772 (ROBERT BOSCH GMBH)	1-4,6	F02D
	* figures 2,4 *		
	* page 1, ligne 45 - page 3, ligne 6 *		
	* page 4, ligne 33 - ligne 70 *		
	---		
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN	2,3	
	vol. 8, no. 163 (P-290) 27 Juillet 1984		
	& JP-A-59 060 340 (NIPPON KOKUYU TETSUDO)		
	6 Avril 1984		
	* abrégé *		
	---		
A	US-A-4 418 669 (JOHNSON& AL)	3,4	
	* figure 1 *		
	* colonne 2, ligne 64 - colonne 4, ligne 58 *		
	* colonne 5, ligne 59 - colonne 6, ligne 33 *		
	-----		
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 24 Juin 1994	Examineur Lapeyronnie, P
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 F : document intercalaire			

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)