



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
16.10.2013 Bulletin 2013/42

(51) Int Cl.:
F02D 41/14 ^(2006.01) **F02D 41/24** ^(2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **13160243.5**

(22) Date de dépôt: **20.03.2013**

(84) Etats contractants désignés:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Etats d'extension désignés:
BA ME

(30) Priorité: **11.04.2012 FR 1253308**

(71) Demandeur: **PEUGEOT CITROËN AUTOMOBILES SA**
78140 Velizy-Villacoublay (FR)

(72) Inventeurs:
• **Cornette Annabelle**
78420 Carrières sur Seine (FR)
• **Hayat Olivier**
78530 Buc (FR)
• **Mazer Alexandre**
75009 Paris (FR)
• **Payri Gonzalez Francisco**
46022 Valencia (ES)
• **Guardiola Garcia Carlos**
46010 Valencia (ES)

(54) **Procédé d'estimation de la richesse dans un moteur à combustion de véhicule automobile**

(57) L'invention concerne un procédé d'estimation de richesse de combustion d'un moteur à combustion interne, le procédé comprenant les étapes consistant à : calculer un modèle simple de richesse (Φ_{Calc}) au moyen d'une valeur de débit de carburant injecté (q_{inj}) dans le cylindre et d'une mesure de débit d'air admis

(Qair), mémoriser une cartographie de dérives de richesse quantifiées en des points de fonctionnement ; et appliquer une correction au modèle simple de richesse à partir d'une dérive de richesse mémorisée dans la cartographie, les dérives mémorisées étant quantifiées en des points de fonctionnement où le moteur est en régime transitoire.

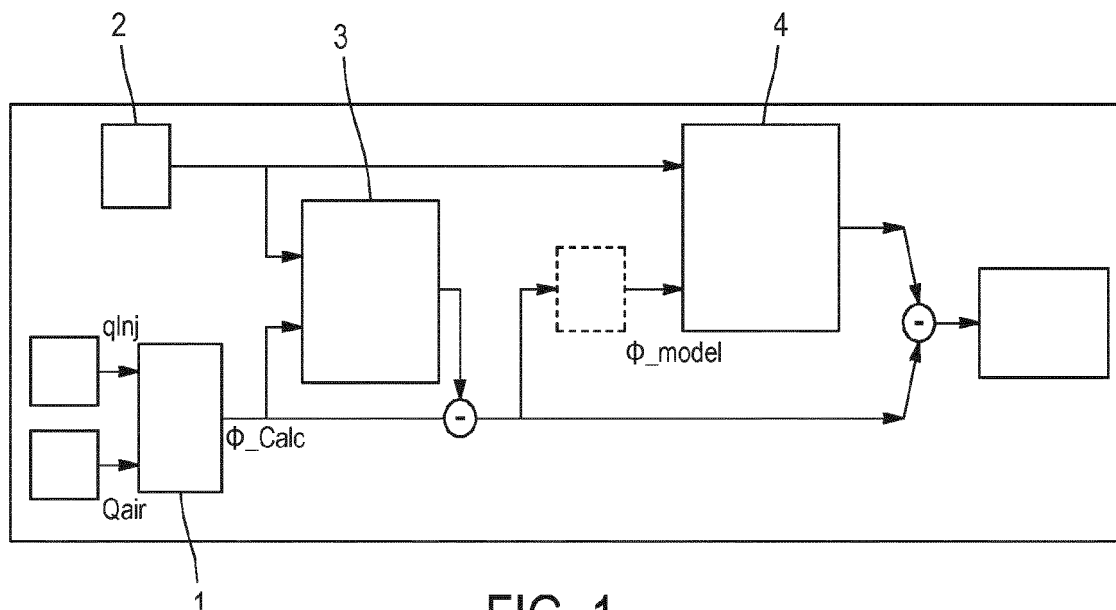


FIG. 1

Description

[0001] La présente invention a pour objet un procédé et un dispositif permettant d'estimer en continu la richesse cylindre d'un moteur.

[0002] Elle concerne notamment, mais non exclusivement, un procédé et un dispositif permettant d'estimer en continu la richesse cylindre d'un moteur diesel, au moyen d'une mesure de richesse réalisée par un capteur tel qu'une sonde.

[0003] On sait que les valeurs relatives à la richesse d'un moteur peuvent être mesurées au moyen d'une sonde, telle qu'une sonde lambda ou NOx, qui permet d'obtenir des valeurs précises en régime stabilisé.

[0004] Il s'avère néanmoins que la distance d'implémentation de la sonde par rapport au cylindre, les éléments de la ligne d'échappement disposés en amont de la sonde, ou les principes de fonctionnement de la sonde entraînent un retard et un filtrage de cette mesure qui sont susceptibles de varier selon les points de fonctionnement stabilisés. Il en résulte que les valeurs relatives à la richesse ainsi mesurées ne sont pas parfaitement représentatives de la richesse réelle propre à un cylindre lors d'un fonctionnement dynamique. On sait également que les informations relatives à la richesse d'un moteur peuvent également être estimées en procédant à un calcul utilisant les paramètres du débit d'air à l'admission (mesuré ou estimé) et le débit de carburant injecté (estimé). Le résultat obtenu présente l'avantage d'avoir été calculé en tenant compte des dynamiques associées auxdits paramètres, ainsi que de la lenteur d'établissement de la boucle d'air par rapport à celle du circuit de carburant.

[0005] Toutefois, la détermination de la richesse d'un moteur en procédant de cette façon ne permet pas de s'affranchir des dispersions et dérivées des composants du moteur, tels que les injecteurs, la pompe à carburant, le débitmètre mesurant l'air admis. On obtient ainsi un signal dynamique mais potentiellement dérivé.

[0006] L'estimation de la richesse d'un moteur peut également être réalisée en procédant à une cartographie de cette estimation en fonction de paramètres caractérisant le point de fonctionnement pouvant être typiquement le régime et le couple. Cependant, une richesse moteur ainsi cartographiée ne présente ni la bonne dynamique représentative de la richesse réelle du cylindre (en raison notamment d'une prise en compte trop faible de la lenteur d'établissement de la boucle d'air par rapport à celle du circuit de carburant), ni suffisamment de robustesse vis-à-vis des dispersions engendrées par les composants moteur.

[0007] On connaît également le brevet EP 0 643 211 qui a pour objet un dispositif permettant d'estimer le rapport air/combustible d'un mélange fourni à un moteur à combustion interne, au moyen d'une sonde pouvant être de type O2. La mise en oeuvre de cette technique se traduit par la modélisation du comportement de la sonde et l'utilisation d'un filtre de Kalman.

[0008] Ce dispositif permet d'estimer la richesse cylindre par cylindre, en détectant dans les bouffées d'échappement l'impact relatif des différentes combustions sur la richesse globale dont la mesure est effectuée au moyen d'une sonde disposée au niveau du collecteur d'échappement. L'estimation de la richesse cylindre par cylindre est pondérée par des coefficients préalablement identifiés dans une table.

[0009] Il s'avère cependant que ce dispositif présente les inconvénients suivants :

[0010] Sa mise en oeuvre s'effectue uniquement sur des points de fonctionnement stabilisés ; elle ne peut s'effectuer en transitoire. Il ne permet pas de recalculer la richesse globale en fonction des dispersions et dérivées éventuelles. Le modèle de sonde utilisé ne fonctionne que sur un point de fonctionnement stabilisé et n'est pas adaptable d'un moteur à un autre en raison des dispersions. L'utilisation des sondes NOx positionnées très en aval dans une ligne d'échappement et ayant un signal de richesse plus filtré que celui d'une sonde O2 placée plus en amont ne semble pas adaptée en cas d'utilisation de ce dispositif. En effet, les pics de richesse occasionnés par les bouffées d'échappement et les consignes de « wobbling » en anglais - vacillement en français - ne sont pas visualisables avec ce type de sonde.

[0011] On connaît enfin la demande de brevet WO 07 041 092 qui divulgue un système et un procédé permettant de commander un moteur diesel au moyen notamment de capteurs conformés de manière à détecter au moins un composant spécifique des gaz d'échappement, ainsi que la demande de brevet EP 1 413 728 qui a pour objet une unité de commande et un procédé de commande d'une sonde NOx placée dans la conduite des gaz d'échappement d'un moteur à combustion interne. Toutefois, les dispositifs objet de ces demandes de brevet ne permettent pas de s'affranchir des sondes de type O2, et de permettre à la fois une estimation de la richesse cylindre d'un moteur sur points stabilisés et éventuellement en transitoire.

[0012] La présente invention a donc plus particulièrement pour objectif de résoudre ces problèmes en proposant un procédé permettant d'estimer en continu la richesse cylindre d'un moteur, avec une grande précision et une bonne dynamique.

[0013] A cet effet, l'invention a pour objet un procédé d'estimation de richesse de combustion d'un moteur à combustion interne, ledit moteur comportant au moins un cylindre, au moins une sonde de mesure de richesse, le procédé comprenant les étapes consistant à : calculer un modèle simple de richesse au moyen d'une valeur de débit de carburant injecté dans le cylindre et d'une mesure de débit d'air admis, quantifier des dérivées de richesse sur des points de fonctionnement du moteur ; mémoriser une cartographie des dérivées de richesse quantifiées aux points de fonctionnement ; et appliquer une correction au modèle simple de richesse à partir d'une dérive de richesse mémorisée dans la cartographie, **carac-**

térisé en ce que les dérives de richesse mémorisées dans la cartographie sont quantifiées en des points de fonctionnement où le moteur est en régime transitoire.

[0014] De cette façon et de manière avantageuse, le dispositif selon l'invention permet de procéder à une estimation en continu de la richesse cylindre d'un moteur en utilisant un modèle calculé de richesse, et en recalant le résultat de ce calcul par rapport aux dispersions et dérives éventuelles afin d'obtenir une correction en continu de la valeur de richesse calculée.

[0015] Avantageusement, le procédé comprend une étape de recalage d'au moins une valeur de dérive mémorisée dans la cartographie, laquelle étape de recalage comprend la mise en oeuvre d'un filtre de Kalman et l'application d'une correction de dérive ainsi recalée au modèle de richesse.

[0016] Avantageusement, le procédé comprend une étape de mémorisation dans la cartographie de la valeur de richesse ainsi recalée.

[0017] Avantageusement, l'étape de recalage de la valeur de dérive mémorisée dans la cartographie est effectuée par mise en oeuvre du filtre de Kalman en un point de fonctionnement en régime transitoire.

[0018] Avantageusement, le procédé comprend l'étape consistant à mesurer une dérive entre une valeur de richesse délivrée par le modèle simple et une valeur de richesse délivrée par la sonde, comparer cette dérive avec un seuil et lorsque cette dérive mesurée est supérieure à ce seuil, appliquer une correction de dérive au modèle de richesse en utilisant au moins une valeur de dérive mémorisée dans la cartographie en inhibant l'étape de recalage de cette valeur de dérive de richesse de la cartographie à l'aide du filtre de Kalman.

[0019] Avantageusement, le procédé comprend une étape de surveillance d'un état de saturation de la sonde de mesure, et, en cas de saturation, une étape consistant à appliquer une correction de dérive au modèle de richesse en utilisant au moins une valeur de dérive mémorisée dans la cartographie en inhibant l'étape de recalage de cette valeur de dérive de richesse de la cartographie à l'aide du filtre de Kalman.

[0020] Avantageusement, le modèle de richesse comprend un quotient entre une valeur de débit de carburant injecté (q_{inj}) et une valeur de débit d'air admis.

[0021] Avantageusement, le signal mesuré de richesse est défini au moyen d'une sonde de richesse.

[0022] Avantageusement, la sonde de richesse est une sonde de type NOx.

[0023] Avantageusement, la première étape de traitement du filtre de Kalman consiste à appliquer à un premier signal d'entrée de richesse modèle une altération virtuelle qu'il subirait s'il était capté par la sonde, cette altération consistant en :- un retard pur dû au transport des gaz d'échappement d'un cylindre vers la sonde, auquel s'ajoute un retard pur de la sonde elle-même ; et un filtre ; un signal 'richesse calculée filtrée' et un vecteur d'état 'a priori' sont créés suivant les équations suivantes, dans l'hypothèse où le modèle de comportement utilisé est en 2ème ordre :

$$\begin{bmatrix} \theta_{O_2} \\ O_2 \\ O_2^f \\ O_2^{ff} \end{bmatrix}_k = \begin{bmatrix} 1+a & -a & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & b & 1-b & 0 \\ 0 & 0 & c & 1-c \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \theta_{O_2} \\ O_2 \\ O_2^f \\ O_2^{ff} \end{bmatrix}_{k-1} + \begin{bmatrix} a \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \cdot O_{2,model_{k-1}} + w_{k-1}$$

$$O_{2,sensor_k} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \theta_{O_2} \\ O_2 \\ O_2^f \\ O_2^{ff} \end{bmatrix}_k + v_k$$

[0024] Avec : θ_{O_2} : la dérive identifiée, soit l'écart entre la richesse mesurée et le signal de richesse calculée passée par le modèle de comportement de la sonde ; O_2 : la richesse calculée (modèle) ; O_2^f : la richesse calculée filtrée

(ordre 1) afin de tenir compte du comportement de la sonde ; O_2^{ff} : la richesse calculée filtrée (ordre 2) pour tenir

compte du comportement de la sonde ; Le vecteur composé de ces quatre variables constitue le vecteur d'état ; $O_{2,model_{k-1}}$: la richesse calculée (modèle) à l'instant k-1 ; $O_{2,sensor_k}$: la richesse mesurée par la sonde à l'instant k ;

w_{k-1} : le bruit du signal modèle 'richesse calculée' ; v_k : le bruit du signal mesuré de richesse par la sonde ; chacun des signaux d'entrée et le signal mesuré de richesse par la sonde se voit attribuer une confiance relative en introduisant

des bruits de processus et de mesure.

[0025] Avantageusement, la seconde étape de traitement du filtre de Kalman, qui est réalisée a posteriori, consiste à comparer le signal virtuel avec le signal réellement capté et analysé par la sonde de richesse ; l'écart entre ces deux signaux définit la dérive de richesse instantanée.

[0026] Avantageusement, la combinaison de la cartographie obtenue et du filtre de Kalman s'effectue en :- utilisant la dérive lue dans la cartographie évolutive pour corriger directement le signal d'entrée de richesse modèle du filtre de Kalman ; - utilisant la dérive lue pour l'état 'a priori' du filtre de Kalman, permettant un pré-positionnement permanent, selon un niveau de remplissage de la cartographie, qui est alors corrigé 'a posteriori' via le signal mesuré de richesse par la sonde et le gain de Kalman.

[0027] Un mode d'exécution de l'invention sera décrit ci-après, à titre d'exemple non limitatif, avec référence aux dessins annexés sur lesquels :

- La figure 1 est une représentation schématique des éléments principaux utilisés lors de la mise en oeuvre d'une variante d'exécution du procédé selon l'invention, avec une mise en évidence des relations existant entre eux.
- Les figures 2a et 2b montrent l'évolution d'une estimation de richesse respectivement sans et avec utilisation d'une table adaptative selon un mode de réalisation de l'invention ;
- La figure 3 représente une comparaison de valeurs de λ^{-1} délivrées pour un régime transitoire brutal de l'injection dans un mode de réalisation de l'invention.

[0028] Dans cet exemple, tel que cela est représenté sur la figure 1, le modèle simple de richesse Φ_{Calc} est calculé par un calculateur 1 au moyen de la consigne de carburant à injecter q_{Inj} dans un cylindre et de la mesure du débit d'air admis Q_{air} dans ce même cylindre. La consigne de carburant à injecter q_{Inj} équivaut à la valeur estimée du débit de carburant injecté, le débit d'air admis Q_{air} étant modélisé ou mesuré à l'aide d'un débitmètre. Le signal constitutif du modèle de richesse correspond au quotient du débit de carburant injecté q_{Inj} (ou $Q_{\text{carburant_injecté}}$) sur le débit d'air admis Q_{air} ou ($Q_{\text{air_cylindre}}$), multiplié par le rapport stoechiométrique γ .

[0029] Le signal ainsi obtenu présente la particularité d'être à la bonne dynamique, mais potentiellement dérivé.

$$\Phi_{\text{cylindre_estimée}} = \gamma \cdot \frac{Q_{\text{carburant_injecté}}}{Q_{\text{air_cylindre}}}$$

[0030] Avantageusement, le signal constitutif du modèle de richesse permet de prendre en compte de manière satisfaisante les dynamiques associées aux deux grandeurs q_{Inj} et Q_{air} et d'obtenir une représentation correcte du phénomène constitué par la lenteur d'établissement de la boucle d'air par rapport à celle du circuit de carburant.

[0031] Par ailleurs, à l'aide d'une sonde de richesse 2 pouvant être de type NOx placé en aval dans la ligne d'échappement, un signal mesuré de richesse est défini. Ce signal permet de produire en transitoire une information sur la richesse qui est retardée et atténuée. Par contre, en stabilisé, l'information portée par le signal est considérée comme étant précise. La sonde de richesse 2 peut être une sonde de mesure d'oxyde d'azote ou sonde NOx mais elle peut aussi, par exemple, être une sonde du type lambda.

[0032] Une sonde NOx est ici notamment un capteur de mesure qui capte une concentration de NOx dans un gaz.

[0033] Une telle sonde NOx est par exemple une sonde fonctionnant sur le principe de Nernst. A des températures situées au-dessus de 350°C, un matériau semi-conducteur de la sonde est simultanément un très bon conducteur d'ions oxygène et un mauvais conducteur d'ions pour d'autres éléments chimiques.

[0034] Des concentrations différentes d'oxygène sur deux côtés d'un électrolyte solide provoquent des potentiels électriques différents d'électrodes disposées sur les côtés respectifs. Une différence de potentiel apparaissant alors constitue une mesure de différence de concentration d'oxygène sur les deux côtés de l'électrolyte solide.

[0035] Un autre exemple d'une telle sonde est par exemple un capteur de mesure présentant deux cellules de mesure et composé d'un oxyde de zirconium conducteur des ions oxygène. Dans cet exemple de capteur, celui-ci réalise le principe de mesure suivant: dans une première cellule de mesure, à laquelle le gaz à mesurer est acheminé par l'intermédiaire d'une barrière de diffusion, on règle une première concentration d'oxygène au moyen d'une première intensité de pompage d'ions oxygène, cependant qu'il ne doit pas se produire de décomposition des NOx. Dans une deuxième cellule de mesure, qui est reliée à la première par l'intermédiaire d'une barrière de diffusion, la teneur en oxygène est encore abaissée au moyen d'une deuxième intensité de pompage d'ions oxygène. La décomposition des NOx sur une électrode de mesure contenue dans la deuxième cellule de mesure conduit à une troisième intensité de pompage d'ions oxygène qui est une mesure de la concentration des NOx. L'ensemble du capteur de mesure des NOx est porté à une température élevée, par exemple à 750 °C, au moyen d'un élément chauffant électrique.

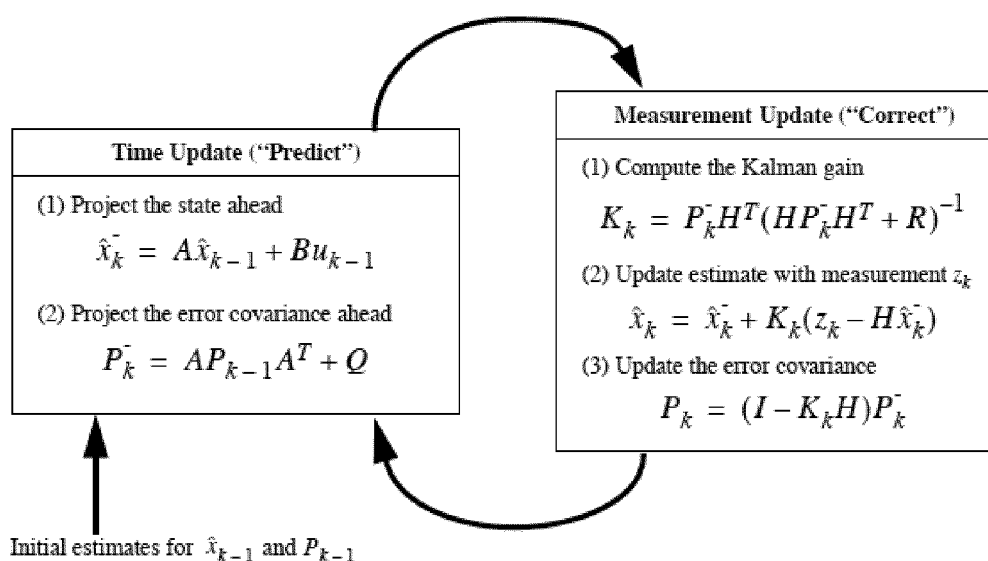
[0036] Le signal constitutif du modèle de richesse et le signal mesuré de richesse sont portés en entrée d'un identi-

ficateur de dérive 3 qui identifie et quantifie les dispersions et dérives de richesse éventuelles sur des points de fonctionnement. L'identificateur de dérive 3 permet ainsi la réalisation d'un apprentissage des dérives éventuelles se traduisant par l'établissement d'une cartographie de ces dérives de richesse dans le champ moteur. De cette façon, l'identificateur de dérive 3 procède à un recalage du modèle calculé de richesse par rapport aux éventuelles dispersions et dérives à l'aide du signal mesuré de richesse.

[0037] Plus précisément, la valeur de la richesse calculée portée par le signal constitutif du modèle de richesse est corrigée en continu grâce audit apprentissage des dérives effectué par l'identificateur de dérive 3, ces dérives étant préférentiellement enregistrées dans une cartographie et lues ensuite sans discontinuité avec interpolation.

[0038] Toutefois, la valeur de richesse obtenue en sortie de l'identificateur de dérive 3 peut n'être recalée que de manière incomplète en raison par exemple d'un apprentissage incomplet, ou d'approximations inhérentes à la méthode de stockage. De manière avantageuse, afin de résoudre ce problème, la correction de la richesse calculée Φ_{Calc} peut être avantageusement complétée afin d'affiner la valeur finale de ladite richesse du cylindre, au moyen notamment d'un filtre de Kalman 4 qui permet d'obtenir une identification dynamique complémentaire de la dérive de richesse.

[0039] L'équation générale du filtre de Kalman se présente de la manière suivante, les équations à considérer sont plus particulièrement l'équation (1) du tableau « Time Update » et l'équation (2) du tableau « Measurement Update ».



[0040] Avec :

$\hat{x}_k^-$: l'estimation a priori du vecteur d'état à l'instant k ;

$\hat{x}_k$: l'estimation a posteriori du vecteur d'état à l'instant k ;

u_{k-1} : le vecteur de variables déterministes ; en l'espèce, il s'agit de la richesse calculée dans la chambre de combustion.

[0041] Deux signaux sont appliqués à l'entrée du filtre de Kalman : le signal de richesse modèle 02 de la sonde et le signal mesuré de richesse $O_{2, \text{sensor}}$ par la sonde 2. Chacun de ces signaux se voit attribuer une confiance relative en introduisant des bruits de processus w et de mesure v .

[0042] La première étape de traitement du filtre consiste à appliquer au signal de richesse modèle 02 une altération qu'il subirait dans l'hypothèse où il serait capté par la sonde 2 du type NOx.

[0043] Cette altération consiste en un retard pur dû au transport des gaz d'échappement du cylindre vers la sonde 2, auquel s'ajoute le retard pur de la sonde 2 elle-même, et un filtre du 1^{er} ou 2^{ème} ordre par exemple.

[0044] Cette altération n'est que virtuelle car la sonde 2 analyse non pas ce signal modèle 02, mais le signal réel de richesse qui se différencie du précédent par la dérive de richesse θ_{O_2} à identifier.

[0045] Le filtre de Kalman crée donc un signal 'richesse calculée filtrée' O_2^f ou O_2^{ff} (et retardée, mais en amont de l'équation d'état). On crée ainsi le vecteur d'état 'a priori' de la structure du Kalman (se reporter à l'équation du vecteur d'état ci-dessous).

[0046] La seconde étape de traitement du filtre de Kalman, qui est réalisée a posteriori, consiste à comparer ce signal virtuel avec le signal réellement capté et analysé par la sonde de richesse 2. L'écart entre ces deux signaux définit la dérive de richesse instantanée θ_{O_2} .

[0047] Cependant, le comportement, se concrétisant généralement par le retard et l'atténuation de la sonde 2 ne peut pas être parfaitement connu. Il convient donc de limiter la confiance en cette identification de dérive pour ne pas la rendre trop aléatoire en cas d'erreurs même passagères).

[0048] Cette limitation de confiance est obtenue au moyen du gain de Kalman, qui force un temps de convergence avant de considérer la dérive pleinement identifiée. Le signal de richesse finalement estimé est donc le signal modèle O_2 recalé par la mesure de la sonde 2 moyennant un temps d'intégration, lié à la confiance forcément limitée dans le modèle du comportement de la sonde de richesse 2.

[0049] L'équation d'état, qui présente en l'espèce quatre dimensions (en prenant pour hypothèse que le modèle de comportement utilisé était en 2ème ordre), se présente comme suit :

$$\begin{bmatrix} \theta_{O_2} \\ O_2 \\ O_2^f \\ O_2^{ff} \end{bmatrix}_k = \begin{bmatrix} 1+a & -a & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & b & 1-b & 0 \\ 0 & 0 & c & 1-c \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \theta_{O_2} \\ O_2 \\ O_2^f \\ O_2^{ff} \end{bmatrix}_{k-1} + \begin{bmatrix} a \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \cdot O_{2,model_{k-1}} + w_{k-1}$$

$$O_{2,sensor_k} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \theta_{O_2} \\ O_2 \\ O_2^f \\ O_2^{ff} \end{bmatrix}_k + v_k$$

[0050] avec :

θ_{O_2} : la dérive identifiée, soit l'écart entre la richesse mesurée et le signal de richesse calculée passée par le modèle de comportement de la sonde ;

O_2 : la richesse calculée (modèle) ;

O_2^f : la richesse calculée filtrée (ordre 1) afin de tenir compte du comportement de la sonde ;

O_2^{ff} : la richesse calculée filtrée (ordre 2) pour tenir compte du comportement de la sonde.

[0051] Le vecteur composé de ces quatre variables constitue le vecteur d'état.

$O_{2,model_{k-1}}$: la richesse calculée (modèle) à l'instant k- 1 ;

$O_{2,sensor_k}$: la richesse mesurée par la sonde à l'instant k ;

w_{k-1} : le bruit du signal modèle 'richesse calculée' ;

v_k : le bruit du signal mesuré de richesse par la sonde.

[0052] Selon une variante d'exécution de l'invention, l'établissement de ce vecteur d'état pourrait être réalisé en utilisant un modèle de comportement de sonde présentant une plus grande variabilité, ou encore en ne faisant pas apparaître ce dit modèle, ce dernier étant alors défini en amont.

[0053] Dans cet exemple d'implémentation proposée, le gain de Kalman (gain infini K_∞) résultant de ces compromis de calibration est unique et pré-calculé, par un souci de simplicité d'implémentation.

[0054] Toutefois, selon une variante d'exécution de l'invention, à chaque pas de calcul, les bruits de mesure et de processus, ainsi que le gain de Kalman optimal résultant (gain infini K_∞) peuvent être remis à jour.

[0055] Selon une autre variante d'exécution de l'invention, le gain de Kalman peut être cartographié par zones distinctes du champ moteur.

[0056] De manière avantageuse, l'apprentissage de dérive sur points transitoires permet d'accélérer le travail du filtre de Kalman, de le rendre plus robuste, voire de s'assurer que le résultat fourni est juste. Un tel régime transitoire existe notamment lorsque le moteur est en phase d'accélération, de décélération ou de changement d'effort à produire tel qu'un changement de pente à gravir par le véhicule. Un tel régime transitoire est une phase dans laquelle au moins un paramètre de fonctionnement du moteur est en cours de changement de valeur.

[0057] L'association du filtre de Kalman et de la technique d'apprentissage dans des régimes moteur transitoires permet d'assurer à l'ensemble une grande adaptabilité. En effet, la dérive de richesse, qui dépend en premier lieu des dérives des composants tels que le débitmètre et les injecteurs, n'est pas attendue uniforme dans le champ moteur, mais variable d'un point à l'autre en transitoire.

[0058] Un filtre de Kalman seul, qui par définition met un temps non négligeable pour intégrer une dérive et y converger, verrait sa dynamique d'identification et de remise à jour entrer en conflit avec la dynamique du point de fonctionnement et la dynamique de sa dérive de richesse associée. Le filtre garderait ainsi - au moins partiellement - une dérive propre au point précédent alors que celle-ci aurait déjà radicalement changé sur le point suivant. A défaut d'intégrer immédiatement la nouvelle dérive, celle conservée et appliquée serait éventuellement décalée, et pourrait même fausser la correction jusqu'à aggraver l'estimation plutôt que de l'améliorer.

[0059] De la même façon, une cartographie reposant sur des régimes stabilisés seuls, s'avère n'aider le calcul ultérieur par filtre de Kalman que de manière partielle, et l'introduction dans la présente cartographie de valeurs de correction correspondant à des régimes transitoires s'avère permettre de rendre cette cartographie plus efficace en termes de pré-positionnement du filtre de Kalman.

[0060] Une cartographie de la dérive de richesse peut ainsi être établie en s'appuyant par exemple sur les points régime-couple. En procédant à une lecture avec interpolation dans cette cartographie, on pré-positionne alors la dérive de richesse du point courant, et le travail restant du filtre de Kalman s'en trouve limité tout en minimisant l'impact éventuel de la conservation d'historique de dérive.

[0061] En effet, du fait que le modèle dépend des conditions de fonctionnement, on peut écrire :

[0062]

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{\partial \theta}{\partial t} + \frac{\partial \theta}{\partial n} \frac{dn}{dt} + \frac{\partial \theta}{\partial m_f} \frac{dm_f}{dt} + \dots$$

[0063] La dérive varie non seulement du fait d'un composant de pente consistant en la dérivée partielle de la correction par rapport au temps, mais également de fait de la variation des conditions de fonctionnement. Si la solution de Kalman standard est utilisée, cela implique alors que le filtre nécessite d'intégrer cette variation en continu.

[0064] De manière à éviter cela, une table de cartographie adaptative est utilisée dans laquelle sont mémorisées les valeurs d'erreurs rencontrées entre modèle et sonde en différents points et notamment en régime transitoire. Ceci s'avère particulièrement avantageux en termes de précision et de rapidité du calcul dans son ensemble, d'autant que les moteurs de véhicules automobiles voient leurs conditions de fonctionnement varier de manière importante au cours du temps, et sont l'objet de dispersions de comportement d'un moteur à un autre du même modèle.

[0065] En adéquation avec l'implémentation des calculateurs actuels, des variables ayant une influence pour la table sont par exemple une valeur de débit de carburant injecté m_f et une vitesse moteur n , ces paramètres définissant le point de fonctionnement du moteur et la plupart des réglages du calculateur dépendant de ces paramètres.

[0066] Ainsi une interpolation bilinéaire par incréments de temps est réalisée de manière à obtenir une valeur initiale de dérive, qui est utilisée pour définir une hypothèse d'état initial $\hat{x}_{k-1}$. Une fois que la valeur de l'état estimé est actualisée, un premier élément d'état $\hat{x}_k$ est utilisé pour mettre la table à jour.

[0067] Lorsqu'une condition de gel de la correction de la table est activée comme on le décrira ci-après, la table est utilisée pour interpoler la dérive initiale, mais ensuite on ne réalise pas de mise à jour de la table. Un lien avec le filtre de Kalman et donc avec des conditions de gel rend la solution robuste à des erreurs entre modèle et sonde, des erreurs de mesure de la sonde ainsi qu'à des erreurs du modèle lui-même.

[0068] Une interpolation des valeurs de la table de cartographie est ici réalisée sur la base d'une interpolation linéaire en deux dimensions, en considérant quatre points d'interpolation voisins. Si un point est en dehors d'une table prédéfinie de points limites, la valeur de dérive est recalée sur la plus proche afin d'éviter des calculs incorrects.

[0069] Différentes façons de mettre à jour et d'interpoler la table sont possibles. Dans le présent exemple, un élément de la table n'est mis à jour que si les conditions de fonctionnement sont suffisamment proches d'un des points définissant la table. Dans ce mode de réalisation le filtre de Kalman est utilisé pour intégrer la différence entre la valeur de la table et celle délivrée par la sonde, mais d'autres modes de réalisation sont possibles pour conjointement mettre en oeuvre

le filtre de Kalman et réaliser la mise à jour de la table. Un bénéfice important de ce mode de réalisation est que le gain de Kalman convergé à l'infini K_{∞} obtenu pour le filtre reste constant bien que la table voit ses éléments changer, diminuant ainsi la charge de calcul.

[0070] Les figures 2a et 2b montrent l'évolution d'une estimation de richesse pour une répétition d'un même profil de fonctionnement. Sur ces deux figures, les courbes en trait plein représentent la valeur de λ^{-1} délivrée par la sonde, les courbes constituées de triangles représentent la valeur de λ^{-1} délivrée par le modèle et les courbes en trait pointillé représentent la valeur de λ^{-1} estimée.

[0071] La figure 2a représente l'évolution lorsque la table adaptative n'est pas utilisée. Dans ce cas, la dérive est constante lorsque les conditions de fonctionnement changent.

[0072] La figure 2b représente le cas où la table adaptative est utilisée. Comme représenté sur cette figure, une première partie du cycle sert à apprendre la dérive alors que tous les éléments de la table sont initialisés à zéro. Dans une deuxième partie du cycle l'estimation est améliorée de manière importante du fait des valeurs mémorisées.

[0073] Différentes tables peuvent également être utilisées et interchangées sélectivement dans le cas d'utilisation de différents modes de combustion tels que injection séparée, régénération du système d'échappement ou dans le cas d'utilisation de différentes températures de fluide de refroidissement, de manière à gérer différentes dérives dans l'estimation du débit de carburant injecté m_f lorsque les réglages d'injection sont modifiés. Chaque table est avantageusement mise à jour seulement au moment où le mode considéré est activé et chaque table ajoute une précision tout en diminuant la charge de calcul.

[0074] Il existe plusieurs façons de combiner cette cartographie et le filtre de Kalman, celles-ci pouvant par exemple consister à : utiliser la dérive lue dans la cartographie évolutive pour corriger directement le signal d'entrée de richesse modèle 02 du filtre de Kalman 4 ; utiliser la dérive lue pour l'état 'a priori' du filtre de Kalman 4, permettant un positionnement permanent plus ou moins abouti, selon le niveau de remplissage de la cartographie, qui est alors corrigé 'a posteriori' via le signal mesuré de richesse $O_{2, sensor}$ fourni par la sonde 2 et via le gain de Kalman.

[0075] En particulier, on identifie ici des états où l'application du filtre de Kalman n'est pas souhaitable, qui correspondent à des phases à forte composante transitoire, dans lesquelles les valeurs délivrées par la sonde ne sont pas prises en compte car trop peu fiables. On procède ainsi à une suspension de la mise en oeuvre du filtre de Kalman de manière à éviter des erreurs dans la caractérisation de la sonde lors de phases transitoires à la dynamique particulièrement aigue.

[0076] Outre des incertitudes dans la connaissance du comportement de la sonde, les sondes lambda à large bande peuvent également être sujettes à des problèmes de saturation pour des pressions partielles d'oxygène élevées, c'est-à-dire pour de faibles valeurs de λ^{-1} . De manière à gérer des dynamiques de sonde mal connues et des problèmes de saturation, des règles de gel du fonctionnement du filtre selon lesquelles on désactive l'intégration du filtre, par exemple en fixant K_{∞} à zéro, sont ici adoptées. En particulier, lorsque la dérivée discrète filtrée de la mesure et de la valeur de λ^{-1} modélisée excèdent un certain seuil, ou au cas où une saturation apparaît, le facteur K_{∞} est fixé à zéro et donc $\hat{x}_k = \hat{x}_{k/k-1}$. Une telle règle permet d'utiliser un gain de Kalman beaucoup plus élevé et de supprimer la dérive plus rapidement, tout en évitant l'intégration pendant des phases transitoires de signal où les incertitudes sur la réponse de la sonde s'avèrent amener à identifier une dérive erronée. La définition des règles et des seuils est faite en concordance avec un niveau d'incertitude sur la dynamique de la sonde, le niveau de bruit de signal et les hypothèses concernant les caractéristiques de la dynamique de l'évolution de la valeur de λ^{-1} .

[0077] La figure 3 compare l'estimation de la valeur de λ^{-1} pour un régime transitoire instantané de l'injection, où la valeur de λ^{-1} varie fortement et où la dérive est affectée par les conditions de fonctionnement. λ^{-1} varie de 0 au début du test à 0,1 après une phase d'alimentation. Dans tous les cas, une erreur significative dans le modèle est supposée, en effet le filtre modèle n'est décrit pas exactement le comportement réelle du moteur.

[0078] La courbe en trait plein représente la valeur de λ^{-1} délivrée par la sonde. La courbe constituée de triangles représente la valeur de λ^{-1} délivrée par le modèle. La courbe en trait pointillé représente la valeur de λ^{-1} estimée. On note que l'introduction du gel du filtre de Kalman contrebalance une surestimation sur la correction, bien qu'un gel excessif résulte en une désactivation complète de l'intégration du filtre, et qu'alors aucune correction de dérive n'est plus faite pendant le fonctionnement du moteur.

[0079] Avantageusement, la combinaison de l'utilisation de l'identificateur de dérive 3 et du filtre de Kalman 4 permet notamment de procéder à une identification adaptative des dérives, et non d'une calibration fixe réalisée sur table valable uniquement sur un point de fonctionnement et/ou un seul moteur. Elle permet également de procéder à une estimation de la richesse cylindre en bénéficiant à la fois des avantages d'une mesure obtenue au moyen d'une sonde, constitués par l'affranchissement des dérives et dispersions, mais également des avantages procurés par la simplicité du calcul à effectuer qui permettent un recalage dynamique de la richesse. Elle permet en outre de lier un modèle d'émissions de particules au signal final obtenu, en s'assurant d'une grande robustesse en transitoire comme en stabilisé. Cela permet donc d'améliorer la performance et la robustesse de l'estimation des émissions de particules et celle du chargement associé d'un filtre à particules. On peut en outre adapter une stratégie de recalage dynamique de la richesse à toutes sortes de ligne d'échappement. On peut en outre se dispenser en fonctionnement Diesel de l'utilisation d'une sonde

Lambda spécifique, la sonde NOx permettant d'obtenir l'information richesse désirée, ce qui permet d'effectuer des économies.

5 Revendications

1. Procédé d'estimation de richesse de combustion d'un moteur à combustion interne, ledit moteur comportant au moins un cylindre, au moins une sonde de mesure de richesse, le procédé comprenant les étapes consistant à :
calculer un modèle simple de richesse (Φ_{Calc}) au moyen d'une valeur de débit de carburant injecté (q_{inj}) dans le cylindre et d'une mesure de débit d'air admis (Q_{air}), quantifier des dérives de richesse sur des points de fonctionnement du moteur ; mémoriser une cartographie des dérives de richesse quantifiées aux points de fonctionnement ; et appliquer une correction au modèle simple de richesse à partir d'une dérive de richesse mémorisée dans la cartographie, **caractérisé en ce que** les dérives de richesse mémorisées dans la cartographie sont quantifiées en des points de fonctionnement où le moteur est en régime transitoire.
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'il** comprend une étape de recalage d'au moins une valeur de dérive mémorisée dans la cartographie, laquelle étape de recalage comprend la mise en oeuvre d'un filtre de Kalman et l'application d'une correction de dérive ainsi recalée au modèle de richesse.
3. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce qu'il** comprend une étape de mémorisation dans la cartographie de la valeur de richesse ainsi recalée.
4. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** l'étape de recalage de la valeur de dérive mémorisée dans la cartographie est effectuée par mise en oeuvre du filtre de Kalman en un point de fonctionnement en régime transitoire.
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 2 à 4, **caractérisé en ce qu'il** comprend l'étape consistant à mesurer une dérive entre une valeur de richesse délivrée par le modèle simple et une valeur de richesse délivrée par la sonde, comparer cette dérive avec un seuil et lorsque cette dérive mesurée est supérieure à ce seuil, appliquer une correction de dérive au modèle de richesse en utilisant au moins une valeur de dérive mémorisée dans la cartographie en inhibant l'étape de recalage de cette valeur de dérive de richesse de la cartographie à l'aide du filtre de Kalman.
6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 2 à 4, **caractérisé en ce qu'il** comprend une étape de surveillance d'un état de saturation de la sonde de mesure, et, en cas de saturation, une étape consistant à appliquer une correction de dérive au modèle de richesse en utilisant au moins une valeur de dérive mémorisée dans la cartographie en inhibant l'étape de recalage de cette valeur de dérive de richesse de la cartographie à l'aide du filtre de Kalman.
7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le modèle de richesse (Φ_{Calc}) comprend un quotient entre une valeur de débit de carburant injecté (q_{inj}) et une valeur de débit d'air admis (Q_{air}).
8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le signal mesuré de richesse est défini au moyen d'une sonde de richesse (2).
9. Procédé selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** la sonde de richesse (2) est une sonde de type NOx.
10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 2 à 6, **caractérisé en ce que** la première étape de traitement du filtre de Kalman (4) consiste à appliquer à un premier signal d'entrée de richesse modèle (02) une altération virtuelle qu'il subirait s'il était capté par la sonde (2), cette altération consistant en :
 - un retard pur dû au transport des gaz d'échappement d'un cylindre vers la sonde (2), auquel s'ajoute un retard pur de la sonde (2) elle-même ; et
 - un filtre ;

un signal 'richesse calculée filtrée' (O_2^f ou O_2^{ff}) et un vecteur d'état 'a priori' sont créés suivant les équations suivantes, dans l'hypothèse où le modèle de comportement utilisé est en 2ème ordre :

5

10

$$\begin{bmatrix} \theta_{O_2} \\ O_2 \\ O_2^f \\ O_2^{ff} \end{bmatrix}_k = \begin{bmatrix} 1+a & -a & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & b & 1-b & 0 \\ 0 & 0 & c & 1-c \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \theta_{O_2} \\ O_2 \\ O_2^f \\ O_2^{ff} \end{bmatrix}_{k-1} + \begin{bmatrix} a \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \cdot O_{2,model_{k-1}} + w_{k-1}$$

15

$$O_{2,sensor_k} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \theta_{O_2} \\ O_2 \\ O_2^f \\ O_2^{ff} \end{bmatrix}_k + v_k$$

20

Avec :

25

θ_{O_2} : la dérive identifiée, soit l'écart entre la richesse mesurée et le signal de richesse calculée passée par le modèle de comportement de la sonde ;

O_2 : la richesse calculée (modèle)

O_2^f : la richesse calculée filtrée (ordre 1) afin de tenir compte du comportement de la sonde ;

30

O_2^{ff} : la richesse calculée filtrée (ordre 2) pour tenir compte du comportement de la sonde ; Le vecteur composé de ces quatre variables constitue le vecteur d'état.

$O_{2,model_{k-1}}$: la richesse calculée (modèle) à l'instant k-1 ;

$O_{2,sensor_k}$: la richesse mesurée par la sonde à l'instant k ;

35

w_{k-1} : le bruit du signal modèle 'richesse calculée' ;

v_k : le bruit du signal mesuré de richesse par la sonde ;

chacun des signaux d'entrée (O_2) et le signal mesuré de richesse ($O_{2,sensor}$) par la sonde (2) se voit attribuer une confiance relative en introduisant des bruits de processus (w) et de mesure (v) .

40

11. Procédé selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** la seconde étape de traitement du filtre de Kalman (4), qui est réalisée a posteriori, consiste à comparer le signal virtuel avec le signal réellement capté et analysé par la sonde de richesse (2) ; l'écart entre ces deux signaux définit la dérive de richesse instantanée (θ_{O_2}).

45

12. Procédé selon la revendication 10 ou la revendication 11, **caractérisé en ce que** la combinaison de la cartographie obtenue et du filtre de Kalman (4) s'effectue en :

- utilisant la dérive lue dans la cartographie évolutive pour corriger directement le signal d'entrée de richesse modèle (O_2) du filtre de Kalman (4) ;

50

- utilisant la dérive lue pour l'état 'a priori' du filtre de Kalman (4), permettant un pré-positionnement permanent, selon un niveau de remplissage de la cartographie, qui est alors corrigé 'a posteriori' via le signal mesuré de richesse ($O_{2,sensor}$) par la sonde (2) et le gain de Kalman.

55

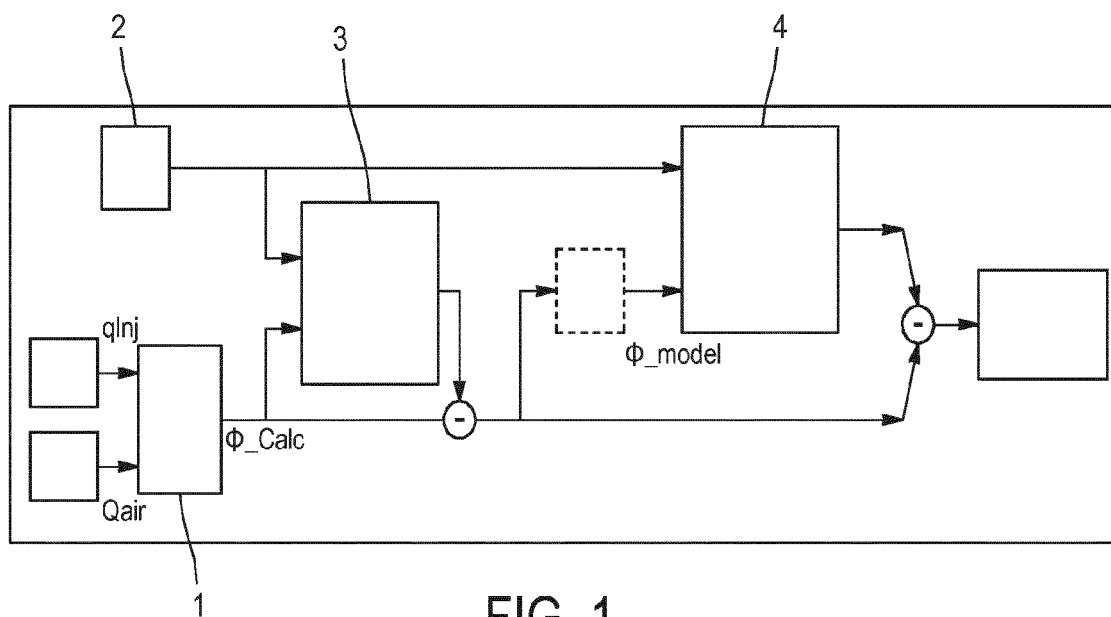


FIG. 1

FIG. 2a

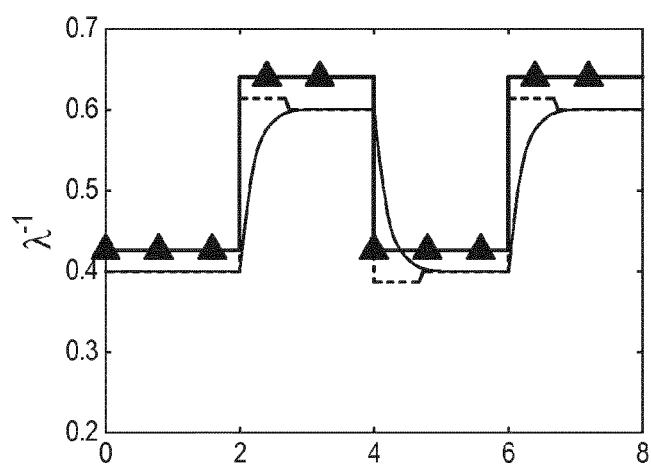
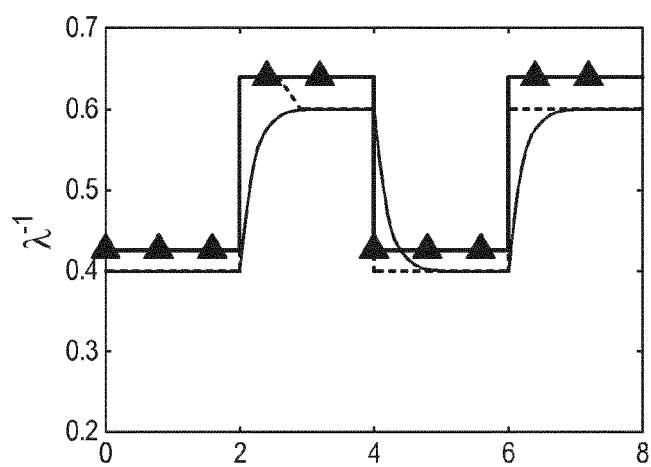


FIG. 2b



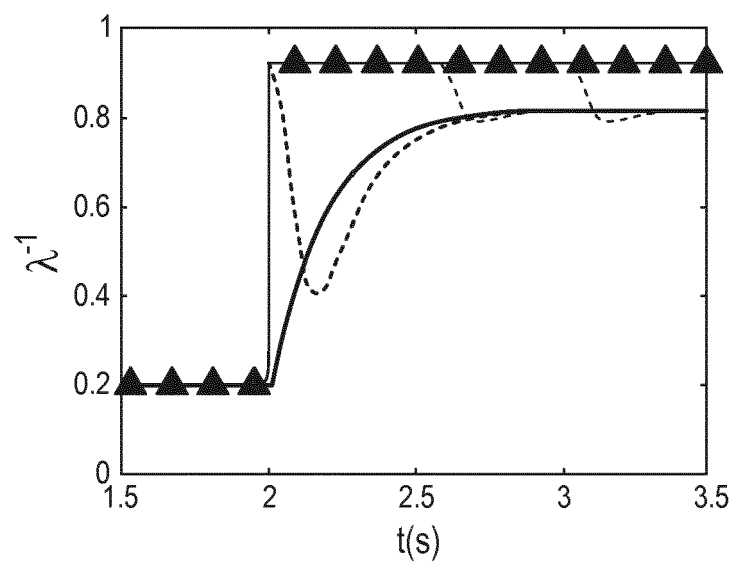


FIG. 3



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

 Numéro de la demande
EP 13 16 0243

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X	EP 0 962 871 A2 (YAMAHA MOTOR CO LTD [JP]) 8 décembre 1999 (1999-12-08)	1,7,8	INV. F02D41/14 F02D41/24
Y	* abrégé; figures 1,5,14,15,16 * * alinéa [0087] - alinéa [0090] *	2-6,9-12	
X	FR 2 898 936 A1 (RENAULT SAS [FR]) 28 septembre 2007 (2007-09-28)	1,7,8	
Y	* le document en entier *	2-6,9-12	
Y	FR 2 834 314 A1 (PEUGEOT CITROEN AUTOMOBILES SA [FR]) 4 juillet 2003 (2003-07-04)	2-6, 10-12	
A	* le document en entier *	1,7,8	
Y	EP 1 729 000 A1 (INST FRANCAIS DU PETROLE [FR]) 6 décembre 2006 (2006-12-06) * le document en entier *	2-6, 10-12	
Y	DE 10 2005 056312 A1 (VOLKSWAGEN AG [DE]) 6 juin 2007 (2007-06-06) * abrégé; revendication 2 *	9	
A	US 5 755 212 A (AJIMA TAKUMI [JP]) 26 mai 1998 (1998-05-26) * le document en entier *	1,7,8	
X,P	FR 2 969 710 A1 (RENAULT SA [FR]) 29 juin 2012 (2012-06-29) * le document en entier *	1,7,8	
E	FR 2 983 244 A1 (PEUGEOT CITROEN AUTOMOBILES SA [FR]) 31 mai 2013 (2013-05-31) * le document en entier *	1-12	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC) F02D
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche Munich		Date d'achèvement de la recherche 12 juin 2013	Examineur Mineau, Christophe
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	

 1
EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 13 16 0243

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

12-06-2013

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 0962871	A2	08-12-1999	DE 69917711 D1 DE 69917711 T2 EP 0962871 A2 JP H11343916 A	08-07-2004 16-06-2005 08-12-1999 14-12-1999
FR 2898936	A1	28-09-2007	AUCUN	
FR 2834314	A1	04-07-2003	AUCUN	
EP 1729000	A1	06-12-2006	EP 1729000 A1 FR 2886346 A1 JP 4703488 B2 JP 2006336645 A US 2006271270 A1	06-12-2006 01-12-2006 15-06-2011 14-12-2006 30-11-2006
DE 102005056312	A1	06-06-2007	AUCUN	
US 5755212	A	26-05-1998	JP 3510021 B2 JP H0988685 A US 5755212 A	22-03-2004 31-03-1997 26-05-1998
FR 2969710	A1	29-06-2012	AUCUN	
FR 2983244	A1	31-05-2013	FR 2983244 A1 WO 2013079839 A1	31-05-2013 06-06-2013

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- EP 0643211 A [0007]
- WO 07041092 A [0011]
- EP 1413728 A [0011]