

(19)



(11)

**EP 1 815 118 B1**

(12)

**FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention de la délivrance du brevet:  
**02.04.2008 Bulletin 2008/14**

(51) Int Cl.:  
**F02D 41/00<sup>(2006.01)</sup> F02D 41/14<sup>(2006.01)</sup>**  
**F02B 77/08<sup>(2006.01)</sup>**

(21) Numéro de dépôt: **05822931.1**

(86) Numéro de dépôt international:  
**PCT/FR2005/002941**

(22) Date de dépôt: **25.11.2005**

(87) Numéro de publication internationale:  
**WO 2006/056702 (01.06.2006 Gazette 2006/22)**

(54) **DISPOSITIF ET PROCEDE DE DETERMINATION DE LA QUANTITE DE NOX EMISE PAR UN MOTEUR DIESEL DE VEHICULE AUTOMOBILE ET SYSTEMES DE DIAGNOSTIC ET DE CONTROLE DU FONCTIONNEMENT DU MOTEUR COMPRENANT UN TEL DISPOSITIF.**

VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR BESTIMMUNG DER VON EINEM DIESELMOTOR EINES KRAFTFAHRZEUGES AUSGESTOSSENEN NOX-MENGE UND DIAGNOSE- SOWIE MOTORVERWALTUNGSSYSTEM MIT EINER DERARTIGEN VORRICHTUNG

DEVICE AND METHOD FOR DETERMINATION OF THE QUANTITY OF NOX EMITTED BY A DIESEL ENGINE IN A MOTOR VEHICLE AND DIAGNOSTIC AND ENGINE MANAGEMENT SYSTEM COMPRISING SUCH A DEVICE

(84) Etats contractants désignés:  
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI SK TR**

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

(30) Priorité: **26.11.2004 FR 0412597**

(56) Documents cités:  
**US-A1- 2002 144 501 US-A1- 2002 185 107**  
**US-B1- 6 279 537**

(43) Date de publication de la demande:  
**08.08.2007 Bulletin 2007/32**

(73) Titulaire: **PEUGEOT CITROËN AUTOMOBILES S.A.**  
**78140 Vélizy Villacoublay (FR)**

- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2003, no. 04, 2 avril 2003 (2003-04-02) & JP 2002 371893 A (TOYOTA MOTOR CORP), 26 décembre 2002 (2002-12-26)**
- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 017, no. 226 (M-1405), 10 mai 1993 (1993-05-10) & JP 04 358715 A (ISUZU MOTORS LTD), 11 décembre 1992 (1992-12-11)**

(72) Inventeur: **GIMBRES, David**  
**F-94510 LA QUEUE EN BRIE (FR)**

**EP 1 815 118 B1**

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

**Description**

5 [0001] La présente invention concerne un dispositif de détermination de la quantité de NOx émise par un moteur Diesel de véhicule automobile associé à des moyens à rampe commune d'alimentation en carburant des cylindres de celui-ci, du type comprenant des moyens d'acquisition de la pression dans au moins un cylindre du moteur et des moyens de détermination de la fraction massique en oxygène du mélange admis dans le cylindre.

[0002] L'invention concerne également des systèmes de diagnostic et de contrôle du fonctionnement du moteur utilisant un tel dispositif.

10 [0003] La quantité d'oxydes d'azote, ou NOx, émise par un moteur Diesel est une donnée importante du fonctionnement de celui-ci.

[0004] En effet, l'émission des NOx, qui sont des molécules polluantes, doit être minimisée. A cet effet, la quantité de carburant et le débit d'air injectés dans les cylindres sont déterminés pour minimiser la formation de NOx lors de la combustion du mélange dans les cylindres.

15 [0005] Le moteur est en outre généralement associé à des moyens de dépollution agencés dans la ligne d'échappement de celui-ci, comme par exemple un piège à NOx, et le fonctionnement du moteur est alors commandé pour optimiser le fonctionnement des moyens de dépollution. Le moteur peut ainsi être commandé selon plusieurs modes de fonctionnement par modification des quantités de carburant et d'air injectés dans les cylindres. Par exemple, le moteur peut fonctionner en mode riche pour la régénération du piège à NOx.

20 [0006] Un mauvais réglage du moteur, dû par exemple au vieillissement des injecteurs et/ou des cylindres, a pour effet d'augmenter l'émission de NOx. Ainsi, la quantité de NOx émise par un moteur Diesel est représentative de l'état du fonctionnement du moteur.

[0007] La connaissance précise de la quantité de NOx émise par le moteur permet d'optimiser le fonctionnement de celui-ci, ainsi que la quantité de polluant rejetée dans l'atmosphère par le véhicule.

25 [0008] Des dispositifs de détermination de la quantité de NOx émise par un moteur Diesel de véhicule automobile associé à des moyens à rampe commune d'alimentation des cylindres de celui-ci utilisent les valeurs de réglage du moteur pour déterminer la quantité de NOx émise, comme par exemple des cartographies d'injection, et/ou des cartographies EGR de débit d'air si le moteur est associé à une boucle de recirculation des gaz d'échappement (EGR).

[0009] Toutefois, de tels systèmes ne se fondent pas sur les caractéristiques réelles du fonctionnement du moteur mais sur des valeurs de réglages prédéterminées en sortie d'usine.

30 [0010] Or, les caractéristiques du moteur évoluent au cours du temps du fait du vieillissement de ses organes, comme par exemple ses injecteurs et ses cylindres. Ainsi, en cas de dérives importantes de ces caractéristiques, la quantité de NOx déterminée peut être fortement erronée.

35 [0011] D'autres systèmes de détermination de la quantité de NOx émise par un moteur Diesel détermine la température moyenne du mélange enflammé dans les cylindres pour en déduire une quantité de NOx à l'état d'équilibre et par suite la masse de NOx émise par cycle moteur par le moteur.

[0012] Toutefois, dans certaines conditions, les résultats renvoyés par de tels systèmes présentent une précision relativement faible et de tels systèmes ne permettent pas de calculer la quantité de NOx à chaque instant de la phase de combustion des cylindres du moteur.

40 [0013] Le but de la présente invention est de résoudre le problème susmentionné en proposant un dispositif de détermination de la quantité de NOx émise par un moteur Diesel qui soit précis, peu gourmand en temps de calcul et qui détermine en temps réel la quantité de NOx émise par le moteur.

45 [0014] A cet effet, l'invention a pour objet un dispositif de détermination de la quantité de NOx émise par un moteur Diesel de véhicule automobile associé à des moyens à rampe commune d'alimentation en carburant des cylindres de celui-ci, du type comprenant des moyens d'acquisition de la pression dans au moins un cylindre du moteur et des moyens de détermination de la fraction massique en oxygène du mélange admis dans le cylindre, caractérisé en ce qu'il comprend

- des moyens de détermination d'une température du front de flamme lors de la combustion du mélange admis dans le cylindre ;
- des moyens de détermination de la masse de carburant brûlée dans le cylindre ;
- 50 - des moyens de calcul de la quantité de NOx émise par la combustion du mélange dans le cylindre en fonction de la pression acquise, de la fraction massique en oxygène du mélange, de la température du front de flamme et de la masse de carburant brûlée déterminées.

55 [0015] Selon des modes de réalisation particuliers, le dispositif susmentionné comprend l'une au moins des caractéristiques suivantes :

- les moyens de détermination de la masse de carburant brûlée dans le cylindre comprennent des moyens de détermination de la quantité instantanée de chaleur dégagée lors de la combustion du mélange admis dans le cylindre

## EP 1 815 118 B1

et des moyens de détermination de la masse instantanée de carburant brûlée dans le cylindres en fonction de cette dernière et du potentiel calorifique du carburant injecté dans le cylindre ;

- les moyens de détermination de la quantité instantanée de chaleur dégagée lors de la combustion du mélange sont adaptés pour déterminer celle-ci à partir du premier principe de la thermodynamique en fonction de l'angle vilebrequin du cylindre et de la pression dans celui-ci ;
- les moyens de détermination de la température du front de flamme comprennent des moyens de détermination de la température du mélange admis non brûlé pendant la combustion de celui-ci et des moyens de détermination de la température du front de flamme dans le cylindre en fonction de cette température du mélange admis non brûlé ;
- les moyens de détermination de la température du mélange admis non brûlé pendant la combustion de celui-ci sont adaptés pour déterminer celle-ci à partir d'un modèle thermodynamique de compression isentropique selon la relation :

$$T_{nb} = T_{nb}^0 \left( \frac{P^{nb}}{P^0} \right)^{\frac{k}{k-1}}$$

où  $T_{nb}$  et  $P^{nb}$  sont respectivement la température du mélange admis non brûlé et la pression correspondante dans le

cylindre pendant la combustion du mélange,  $T_{nb}^0$  et  $P^0$  sont respectivement une température et une pression de référence du mélange admis dans le cylindre à un instant prédéterminé avant le début de la combustion du mélange admis, et  $k$  est un coefficient polytropique prédéterminé ;

- il comprend des moyens de détermination de la quantité instantanée de chaleur dégagée lors de la combustion du mélange admis dans le cylindre et des moyens de détermination de l'instant du début de la combustion du mélange admis propres à comparer la quantité instantanée de chaleur déterminée à une valeur seuil prédéterminée et à déterminer l'instant de début de la combustion lorsque la quantité instantanée de chaleur déterminée est supérieure à la valeur seuil ;
- les moyens de détermination de la température du mélange admis pendant la combustion de celui-ci comprennent :
  - des moyens de détermination du nombre de moles du mélange admis dans le cylindre ; et
  - des moyens de détermination de la température  $T_{nb}^0$  de référence à partir d'un modèle thermodynamique du mélange admis en fonction du nombre de moles du mélange admis et de la pression  $P^0$  dans les cylindres à l'instant prédéterminé avant le début de combustion ;
- les moyens de détermination de la température  $T_{nb}^0$  de référence sont adaptés pour déterminer celle-ci selon la relation :

$$T_{nb}^0 = \frac{P^0 \times V^0}{n \times R}$$

- les moyens de détermination de la température du front de flamme sont adaptés pour déterminer une température adiabatique théorique du front de flamme ;
- les moyens de détermination de la température adiabatique du front de flamme sont adaptés pour déterminer celle-ci à partir d'un modèle thermodynamique de conservation de l'enthalpie des réactifs et des produits de la combustion du mélange admis dans le cylindre en fonction de la température du mélange admis non brûlé pendant la combustion de celui-ci et de la fraction massique en oxygène de celui-ci ;
- le modèle thermodynamique de conservation de l'enthalpie est un modèle polynomial du premier ou du second ordre ;
- le modèle polynomial est un modèle selon la relation :

$$T_{ad} = c_1 + c_2 \times T_{nb} + c_3 \times XO_2$$

5 où  $T_{ad}$  est la température adiabatique du front de flamme,  $XO_2$  est la fraction massique en oxygène du mélange, et  $c_1$ ,  $c_2$  et  $c_3$  sont des coefficients prédéterminés ;

- le modèle polynomial est un modèle selon la relation :

10

$$T_{ad} = c_1 + c_2 \times T_{nb} + c_3 \times XO_2 + c_4 \times P$$

où  $T_{ad}$  est la température adiabatique du front de flamme,  $XO_2$  est la fraction massique en oxygène du mélange,  $P$  est la pression dans le cylindre, et  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$ ,  $c_4$  sont des coefficients prédéterminés ;

15

- le modèle polynomial est un modèle selon la relation :

20

$$T_{ad} = c_1 + c_2 \times T_{nb} + c_3 \times XO_2 + c_4 \times P + c_5 \times XO_2^2$$

où  $T_{ad}$  est la température adiabatique du front de flamme,  $XO_2$  est la fraction massique en oxygène du mélange,  $P$  est la pression dans le cylindre, et  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$ ,  $c_4$  et  $c_5$  sont des coefficients prédéterminés ;

25

- les moyens de détermination de la quantité de NOx émise par la combustion du mélange admis dans le cylindre sont adaptés pour déterminer celle-ci à partir d'un modèle chimique de production de NOx lors de la combustion du mélange dans le cylindre ; et
- le modèle chimique est un modèle selon la relation:

30

$$Q_{NOx} = \frac{\ln(P)+1}{b \times XO_2} \times \exp\left(\frac{T_{ad} - c}{d \times XO_2}\right) \times \frac{MCB}{MCI}$$

35

où  $Q_{NOx}$  est la quantité instantanée de NOx émise par le moteur,  $P$  est la pression dans le cylindre,  $T_{ad}$  est la température adiabatique du front de flamme dans le cylindre,  $XO_2$  est la fraction massique en oxygène -du mélange admis dans le cylindre,  $MCB$  est la masse instantanée de carburant brûlé dans le cylindre,  $MCI$  est la masse de carburant injectée dans le cylindre, et  $b$ ,  $c$  et  $d$  sont des paramètres prédéterminés.

40

**[0016]** L'invention a également pour objet un procédé de détermination de la quantité de NOx émise par un moteur Diesel de véhicule automobile comprenant des moyens à rampe commune d'alimentation en carburant des cylindres de celui-ci, du type comprenant une étape d'acquisition de la pression dans au moins un cylindre du moteur, et une étape de détermination de la fraction massique en oxygène du mélange admis dans le cylindre, caractérisé en ce qu'il comprend une étape de :

45

- détermination de la température du front de flamme lors de la combustion du mélange admis dans le cylindre ;
- détermination de la masse de carburant brûlée dans le cylindre ; et
- de calcul de la quantité de NOx émise par la combustion du mélange dans le cylindre en fonction de la pression acquise, de la fraction massique en oxygène du mélange, de la température du front de flamme et de la masse de carburant brûlée déterminées.

50

**[0017]** L'invention a également pour objet un système de diagnostic du dysfonctionnement d'un moteur Diesel de véhicule automobile, caractérisé en ce qu'il comprend un dispositif du type susmentionné, des moyens de comparaison de la quantité de NOx émise à un seuil prédéterminé et des moyens de déclenchement d'une alarme lorsque la quantité de NOx est supérieure à ce seuil.

55

**[0018]** L'invention a également pour objet un système de contrôle du fonctionnement d'un moteur Diesel de véhicule automobile associé à des moyens de dépollution des NOx agencés dans une ligne d'échappement de celui-ci, caractérisé en ce qu'il comprend un dispositif du type susmentionné, des moyens de calcul de la quantité de NOx stockée dans les

## EP 1 815 118 B1

moyens de dépollution en fonction de la quantité de NOx déterminée par le dispositif et des moyens de commande, en fonction de la quantité de NOx stockée, du fonctionnement du moteur pour piloter le fonctionnement des moyens de dépollution.

5 **[0019]** L'invention a également pour objet un système de contrôle du fonctionnement d'un moteur Diesel de véhicule automobile, caractérisé en ce qu'il comprend un dispositif du type susmentionné et des moyens de réglage adaptés pour régler le fonctionnement des moyens d'alimentation en fonction de la quantité de NOx émise déterminée, pour corriger des dérives du fonctionnement de ceux-ci.

10 **[0020]** Selon une autre caractéristique, ce système est caractérisé en ce que le moteur est associé à des moyens de recirculation d'une partie des gaz d'échappement en entrée de celui-ci, et en ce que les moyens de réglage sont en outre adaptés pour régler le fonctionnement des moyens de recirculation en fonction de la quantité de NOx émise déterminée, pour corriger des dérives du fonctionnement des moyens d'alimentation et/ou de recirculation.

**[0021]** La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple, et faite en relation avec les dessins annexés, dans lesquels :

- 15 - la figure 1 est une vue schématique d'une unité de propulsion à moteur Diesel d'un véhicule automobile associé à un dispositif selon l'invention.  
- la figure 2 est une vue schématique plus en détail du dispositif selon l'invention ;  
- la figure 3 est un organigramme du fonctionnement du dispositif selon l'invention ; et  
- la figure 4 est un graphique de résultats renvoyés par le dispositif selon l'invention lors d'une campagne de test.

20 **[0022]** Sur la figure 1, un moteur Diesel 10 de véhicule automobile est associé à des moyens 12 à rampe commune d'alimentation en carburant de ses cylindres, par exemple comprenant une rampe commune d'alimentation délivrant du carburant sous haute pression à des injecteurs pilotés propres à injecter dans les cylindres du moteur 10 du carburant sous la forme d'injections multiples par exemple.

25 **[0023]** Le moteur 10 est également associé à une boucle 14 de recirculation d'une partie des gaz d'échappement, ou EGR, en entrée de celui-ci. La boucle 14 de recirculation comprend une ligne de dérivation 16 d'une ligne 18 d'échappement du moteur 10. Cette ligne de dérivation 16 est propre à prélever des gaz d'échappement en sortie du moteur 10 et à délivrer ceux-ci à des moyens 20 d'admission de mélange air/gaz d'échappement en entrée du moteur 10. Ces moyens 20 d'admission reçoivent également de l'air en provenance d'une entrée d'air 22 et délivrent au moteur 10 un mélange air/gaz d'échappement.

30 **[0024]** A des fins de traitement des émissions de polluants du moteur 10, et notamment l'émission d'oxydes d'azote, ou NOx, des moyens 24 de dépollution sont agencés dans la ligne d'échappement 18. Les moyens 24 de dépollution comprennent par exemple un piège à NOx adapté pour stocker des NOx et déstocker ceux-ci sous une forme non polluante pour leur rejet dans l'atmosphère.

35 **[0025]** De manière classique, le fonctionnement du moteur et des organes qui viennent d'être décrits est commandé par une unité 30 de commande du fonctionnement du moteur.

40 **[0026]** L'unité 30 est connectée à des moyens 32 d'acquisition de (i) la pression dans chaque cylindre du moteur, comprenant par exemple un capteur de déformation piézoélectrique agencé dans la culasse du cylindre adapté pour mesurer la pression la chambre de combustion de celui-ci, (ii) du régime moteur, comprenant par exemple un capteur de régime, (iii) du couple moteur désiré par le conducteur du véhicule, comprenant par exemple un capteur de la position de la pédale d'accélérateur du véhicule, et (iv) de l'angle moteur, comprenant par exemple un capteur à effet hall agencé sur l'arbre moteur.

**[0027]** L'unité 30 est également connectée à des moyens 34 d'acquisition du débit d'air en entrée du moteur, par exemple un débit-mètre agencé dans l'entrée d'air 22 des moyens 20 d'admission.

45 **[0028]** L'unité 30 est adaptée pour déterminer des consignes d'injection pour les moyens 12 d'alimentation, notamment une consigne d'injection pilote et une consigne d'injection principale pour chaque cylindre et pour chaque cycle moteur, en fonction du régime, du couple et de l'angle vilebrequin du cylindre, ce dernier étant déterminé par l'unité 30 en fonction de l'angle moteur acquis.

50 **[0029]** L'unité 30 détermine également, pour le cycle moteur, une consigne EGR de débit d'air pour les moyens 20 d'admission en fonction du régime, du couple et de l'angle vilebrequin du cylindre.

**[0030]** L'unité 30 est également adaptée pour mettre en oeuvre une stratégie de pilotage du fonctionnement des moyens 24 de dépollution en commandant le phasage et/ou la quantité de carburant injectée dans les cylindres afin de piloter les états de stockage/déstockage des moyens 24 de dépollution.

55 **[0031]** Le moteur 10 est associé à un dispositif conforme à l'invention de détermination de la quantité de NOx émise par celui-ci. Ce dispositif détermine une telle quantité en se basant sur la quantité de mélange admis brûlé dans la chambre de combustion de chaque cylindre lors de la propagation dans celle-ci d'un front de flamme, le mélange admis dans un cylindre étant défini comme la somme des quantités d'air frais, de gaz d'échappement et de carburant admise dans le cylindre.

**[0032]** Dans l'exemple illustré sur la figure 1, ce dispositif est mis en oeuvre par une sous-unité 36 de l'unité 30. Dans une autre variante, le dispositif peut également être mis en oeuvre par une unité de traitement d'informations dédiée.

**[0033]** Il va maintenant être décrit, en relation avec les figures 2 et 3, l'agencement et le fonctionnement du dispositif de détermination de la quantité de NOx émise par le moteur 10.

**[0034]** La quantité de NOx émise par le moteur est déterminée en fonction d'un modèle chimique de la production de NOx lors de la combustion du mélange admis dans un cylindre du moteur. Ce modèle a pour variable la fraction massique en oxygène  $XO_2$  du mélange admis dans le cylindre, la masse instantanée MCB de carburant brûlée dans le cylindre, la pression P dans le cylindre et une température théorique  $T_{ad}$  du front de flamme se propageant dans la chambre de combustion du cylindre, et de manière préférentielle, une température adiabatique théorique du front de flamme, comme cela sera expliqué plus en détail par la suite.

**[0035]** Le dispositif de détermination de la quantité de NOx émise par le moteur 10 comprend des moyens 50 de détermination de la fraction massique en oxygène  $XO_2$  du mélange admis devant être brûlé dans le cylindre lors d'un cycle moteur. Ces moyens 50 reçoivent en entrée le débit d'air DA acquis et le taux TEGR de gaz d'échappement recyclé en entrée du moteur.

**[0036]** Le taux TEGR de gaz d'échappement recyclé est déterminé par l'unité 30 en fonction du débit d'air DA acquis et du point de fonctionnement du moteur, par exemple à partir d'une cartographie prédéterminée mémorisée dans l'unité 30.

**[0037]** Les moyens 50 reçoivent également la quantité MCI totale de carburant injectée dans le cylindre pour le cycle moteur et sont adaptés pour déterminer la richesse du mélange admis en fonction de celle-ci, comme cela est connu en soi. Cette quantité MCI est déterminée par l'unité 30 en fonction des consignes d'injection délivrées aux moyens 12 d'alimentation, par exemple en sommant les quantités de carburant injectées dans le cylindre pour le cycle moteur.

**[0038]** Les moyens 50 de détermination de la fraction massique en oxygène  $XO_2$  du mélange déterminent alors celle-ci en fonction de la richesse du mélange admis et du taux TEGR déterminés en se fondant sur un bilan de combustion du mélange admis, la fraction massique d'oxygène  $XO_2$  admise étant classiquement directement proportionnelle à la richesse et au taux d'EGR, comme cela est connu en soi dans l'état de la technique

**[0039]** Le dispositif selon l'invention comprend également des moyens 52 de détermination de la quantité instantanée MCB de carburant brûlée dans le cylindre lors du cycle moteur.

**[0040]** A cet effet, les moyens 52 comprennent des moyens 54 de détermination de la quantité instantanée de chaleur dégagée par la combustion du mélange dans le cylindre lors de la phase de combustion du cycle de celui-ci. Cette détermination est réalisée en fonction de la pression acquise P dans la chambre de combustion du cylindre et l'angle vilebrequin  $\alpha$  du cylindre, à partir du premier principe de la thermodynamique, selon la relation :

$$\frac{dQ}{d\alpha} = \frac{1}{k-1} \times \left( V \times \frac{dP}{d\alpha} - k \times P \times \frac{dV}{d\alpha} \right) \quad (1)$$

où  $d\alpha$  est une variation prédéterminée de l'angle vilebrequin  $\alpha$  du cylindre, dQ est la quantité de chaleur instantanée dégagée par la combustion du mélange pendant la variation  $d\alpha$  de l'angle vilebrequin, V et P sont le volume de la chambre de combustion et la pression dans celle-ci à l'instant de début de la variation  $d\alpha$  de l'angle vilebrequin respectivement, dV et dP sont les variations du volume de la chambre de combustion et de la pression dans celle-ci correspondant à la variation  $d\alpha$  de l'angle vilebrequin respectivement, et k un coefficient polytropique prédéterminé.

**[0041]** Cette quantité de chaleur dQ déterminée est délivrée à des moyens 56 de détermination de la quantité de carburant brûlée correspondante. Les moyens 56 sont propres à déterminer cette quantité de carburant en divisant la quantité de chaleur dQ par la valeur du contenu énergétique massique du carburant utilisé dans le moteur, ou PCI pour potentiel calorifique inférieur (en J/kg). La valeur PCI est par exemple cartographiée dans les moyens 56.

**[0042]** Le dispositif selon l'invention comprend également des moyens 58 de détermination de la température  $T_{nb}$  du mélange admis non brûlé à un instant après le début de la combustion du mélange dans le cylindre. Cette température  $T_{nb}$  du mélange admis non brûlé est calculée en faisant une hypothèse de compression isentropique du mélange admis non brûlé depuis un instant qui précède le début de la combustion. Cette température  $T_{nb}$  du mélange admis non brûlé est ensuite utilisée pour la détermination de la température adiabatique théorique  $T_{ad}$  du front de flamme se propageant à l'intérieur de la chambre de combustion du cylindre, comme cela sera expliqué plus en détail par la suite.

**[0043]** Les moyens 58 de détermination de la température  $T_{nb}$  comprennent des moyens 60 de détermination du nombre de mûles n du mélange admis présent dans la chambre de combustion du cylindre avant le début de la combustion en fonction du débit d'air DA acquis, du taux TEGR de gaz d'échappement recyclé en entrée du moteur et de la quantité totale de carburant injecté MCI dans le cylindre.

[0044] Le nombre  $n$  de moles est alors délivré à des moyens 62 de détermination de la température  $T_{nb}^0$  du mélange admis à un instant prédéterminé avant le début de la combustion dans le cylindre, par exemple correspondant à un angle vilebrequin  $\alpha^0$  compris dans la plage d'angles vilebrequin  $[-60^\circ ; -20^\circ]$  avant le point mort haut (PMH) du cycle du cylindre.

[0045] La détection de l'instant du début de combustion du mélange est réalisée par des moyens 64 de comparaison de la quantité instantanée  $dQ$  de chaleur dégagée par la combustion du mélange admis, déterminée par les moyens 54, à un seuil prédéterminé.

[0046] Lorsque la quantité  $dQ$  de chaleur atteint cette valeur seuil, le début de la combustion du mélange admis est détecté et le calcul de la température  $T_{nb}$  du mélange admis non brûlé pendant la combustion est déclenché.

[0047] Les moyens 62 déterminent alors la température  $T_{nb}^0$  en considérant le mélange admis comme un gaz parfait selon la relation :

$$T_{nb}^0 = \frac{P^0 \times V^0}{n \times R} \quad (2)$$

où  $V^0$  et  $P^0$  sont le volume de la chambre de combustion et la pression dans celle-ci à l'instant prédéterminé avant le début de combustion du mélange admis, et  $R$  est la constante des gaz parfaits.

[0048] Les valeurs de  $V^0$  et de  $P^0$  sont par exemple mémorisées dans les moyens 62 à la suite de la dernière acquisition de la pression  $P$  dans le cylindre pour l'angle vilebrequin  $\alpha^0$  compris dans la plage d'angles vilebrequin  $[-60^\circ ; -20^\circ]$  avant le point mort haut du cycle du cylindre, l'angle vilebrequin  $\alpha^0$  correspondant au volume  $V^0$  de la chambre de combustion du cylindre.

[0049] La température  $T_{nb}^0$  et la pression  $P^0$  avant le début de combustion sont délivrées comme température et pression de référence à des moyens 66 de détermination de la température  $T_{nb}$  du mélange admis non brûlé pendant la combustion, c'est-à-dire lors de la propagation du front de flamme dans la chambre de combustion du cylindre. Les moyens 66 déterminent cette dernière à partir d'un modèle thermodynamique de compression isentropique de la phase de compression du cycle du cylindre selon la relation :

$$T_{nb} = T_{nb}^0 \left( \frac{P_{nb}}{P^0} \right)^{\frac{k}{k-1}} \quad (3)$$

[0050] Les moyens 66 déterminent la température  $T_{nb}$  de manière continue pendant une période de temps correspondant à la combustion du mélange admis dans le cylindre. Cette période correspond par exemple à la plage d'angles vilebrequin  $[0 ; 120^\circ]$  après le PMH si la charge du moteur est partielle ou la plage  $[-15 ; 120^\circ]$  par rapport au PMH si la charge du moteur est sensiblement maximale.

[0051] La température  $T_{nb}$  déterminée est délivrée à des moyens 68 de détermination de la température adiabatique  $T_{ad}$  du front de flamme lors de la combustion du mélange admis dans la chambre de combustion du cylindre.

[0052] Ces derniers déterminent la température  $T_{ad}$  à partir d'un modèle thermodynamique de conservation de l'enthalpie des réactifs et des produits de la combustion du mélange selon la relation :

$$H_{initial}(P, T_{nb}, XO_2) = H_{final}(P, T_{ad}, XO_2) \quad (4)$$

où  $H_{initial}$  est l'enthalpie du mélange admis avant l'instant de début de combustion de celui-ci et  $H_{final}$  est l'enthalpie admis des gaz brûlés issus de la combustion du mélange admis par le front de flamme.

[0053] De manière avantageuse, ce modèle de conservation de l'enthalpie est approximé par un modèle polynomial, la température  $T_{ad}$  adiabatique du front de flamme étant déterminée par les moyens 68 selon la relation :

$$T_{ad} = c_1 + c_2 \times T_{nb} + c_3 \times XO_2 \quad (5)$$

5 où  $c_1$ ,  $c_2$  et  $c_3$  sont des coefficients prédéterminés.

**[0054]** La corrélation entre la température adiabatique déterminée selon la relation (5) et une température adiabatique déterminée à partir d'un modèle complexe de celle-ci basée sur l'équation (4) présente un coefficient de corrélation  $R^2$  sensiblement égal à 99,43%.

10 **[0055]** Dans un autre mode de réalisation, les moyens 68 reçoivent également en entrée la pression P mesurée dans la chambre de combustion du cylindre et déterminent la température adiabatique du front de flamme selon la relation :

$$T_{ad} = c_1 + c_2 \times T_{nb} + c_3 \times XO_2 + c_4 \times P \quad (6)$$

15

où  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$ ,  $c_4$  sont des coefficients prédéterminés.

**[0056]** L'introduction de la pression P dans le cylindre dans la relation (6) permet d'obtenir un coefficient  $R^2$  sensiblement égal à 99,5%.

20 **[0057]** Dans un autre mode de réalisation, les moyens 68 reçoivent également en entrée la pression P mesurée dans la chambre de combustion du cylindre et déterminent la température adiabatique du front de flamme selon la relation :

$$T_{ad} = c_1 + c_2 \times T_{nb} + c_3 \times XO_2 + c_4 \times P + c_5 \times XO_2^2 \quad (7)$$

25

où  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$ ,  $c_4$  et  $c_5$  sont des coefficients prédéterminés.

**[0058]** L'introduction du carré de la fraction massique  $XO_2$  dans la relation (7) permet d'obtenir un coefficient  $R^2$  sensiblement égal à 99,97%.

30 **[0059]** Ainsi, les moyens 68 déterminent la température  $T_{ad}$  adiabatique du front de flamme d'une manière simple et peu coûteuse en temps de calcul, tout en déterminant celle-ci de manière fiable.

35 **[0060]** Enfin, le dispositif selon l'invention comprennent des moyens 70 de calcul de la quantité instantanée de NOx émise par la combustion du mélange admis dans le cylindre en fonction de la pression P dans celui-ci, de la température adiabatique  $T_{ad}$  du front de flamme, de la fraction massique en oxygène  $XO_2$  du mélange et de la masse instantanée MCB de carburant brûlé. Ce calcul est réalisé à partir d'un modèle chimique de production de NOx dans le cylindre prédéterminé par exemple selon la relation :

40

$$Q_{NOx} = \frac{\ln(P)+1}{b \times XO_2} \times \exp\left(\frac{T_{ad} - c}{d \times XO_2}\right) \times \frac{MCB}{MCI} \quad (8)$$

où  $Q_{NOx}$  est la quantité instantanée de NOx émise par la combustion du mélange admis dans le cylindre en gramme par kilogramme de carburant injecté dans le cylindre par degré vilebrequin, et b, c et d sont des paramètres prédéterminés.

45 **[0061]** Du fait du décalage temporel entre les phases de combustion dans les cylindres qui n'ont jamais lieu simultanément, la quantité instantanée  $Q_{NOx}$  de NOx produite lors de la combustion du mélange dans le cylindre est donc sensiblement égale à celle émise par le moteur 10.

**[0062]** La figure 3 est un organigramme du fonctionnement du dispositif de détermination de la quantité de NOx émise par le moteur venant d'être décrit.

50 **[0063]** Successivement au démarrage du véhicule, le fonctionnement consiste en 50 à sélectionner la référence i du cylindre au sein duquel la prochaine combustion de mélange a lieu.

**[0064]** Ensuite, en 52, la masse totale de carburant MCI, le débit d'air DA et le taux EGR injectés TEGR dans ce cylindre i sont déterminés.

55 **[0065]** Une étape 54 suivante consiste alors à déterminer, en fonction des valeurs déterminées en 52, la richesse du mélange admis puis la fraction massique en oxygène  $XO_2$  du mélange admis dans le cylindre i.

**[0066]** Le fonctionnement du dispositif selon l'invention consiste alors en 56 à déterminer la quantité instantanée de chaleur dQ dégagée par la combustion du mélange admis dans le cylindre i selon la relation (1) et à comparer celle-ci, en 58, à la valeur de seuil de détection de l'instant de début de combustion du mélange.



[0067] Tant que cet instant n'est pas détecté, c'est-à-dire tant que la quantité dQ est inférieure au seuil de détection, le processus 58 boucle sur l'étape 56.

[0068] Si l'instant de début de combustion est détecté en 58, une étape 60 suivante du fonctionnement est une étape

5 de détermination de la température  $T_{nb}^0$  du mélange à l'instant prédéterminé avant le début de combustion de celui-ci selon la relation-(2).

[0069] L'étape 60 est alors suivie d'une étape 62 de détermination de la température  $T_{nb}$  du mélange admis non brûlé à un instant après le début de combustion selon la relation (3). L'étape 62 se poursuit par la détermination de la température adiabatique  $T_{ad}$  du front de flamme selon la relation (5) en fonction de la température  $T_{nb}$  du mélange admis non brûlé, de la fraction massique en oxygène  $XO_2$  du mélange, et de la pression P du cylindre i si la relation (6) ou la relation (7) est utilisée.

[0070] La masse instantanée MCB de carburant brûlée dans le cylindre i est ensuite déterminée en 64 en fonction de la quantité de chaleur déterminée précédemment, comme cela a été décrit plus haut.

[0071] Le fonctionnement se poursuit alors par une étape 66 de détermination de la quantité instantanée  $Q_{NOx}$  de NOx émise par la combustion du mélange dans le cylindre i selon la relation (8).

[0072] A la suite de la détermination de la quantité  $Q_{NOx}$ , un test est réalisé en 68 pour savoir si la combustion du mélange dans le cylindre i est terminée, par exemple en testant si la quantité instantanée de chaleur dQ déterminée est inférieure à une seconde valeur de seuil prédéterminée.

[0073] Si le résultat de ce test est positif, l'étape 68 boucle alors sur l'étape 50 pour le choix d'un nouveau cylindre i.

[0074] Si le résultat de ce test est négatif, une nouvelle quantité instantanée de chaleur dQ est déterminée en 70.

[0075] L'étape 70 boucle alors sur l'étape 62 pour la détermination d'une nouvelle quantité instantanée  $Q_{NOx}$  de NOx émise par la combustion du mélange dans le cylindre i à un instant suivant de la combustion, par la mise en oeuvre des étapes 62, 64 et 66.

[0076] Le dispositif selon l'invention met en oeuvre un algorithme de détermination nécessitant une somme de calculs peu importante, tout en permettant la détermination de la quantité de NOx émise par le moteur en temps réel et de manière instantanée, c'est-à-dire y compris à chaque instant de la phase de combustion du cylindre.

[0077] D'autres modes de réalisation du dispositif selon l'invention sont possibles.

[0078] Par exemple, en variante, le dispositif comprend une chaîne d'acquisition de la pression dans un seul cylindre du moteur et le dispositif est propre à déterminer la quantité de NOx émise par la combustion du mélange admis dans ce cylindre et à multiplier la quantité de NOx déterminée par le nombre de cylindres du moteur afin d'obtenir la quantité de NOx totale émise par le moteur.

[0079] En variante, la dispositif comprend une chaîne d'acquisition de pression dans un nombre n quelconque de cylindres du moteur, et est propre à déterminer la quantité de NOx émise par ces systèmes et à multiplier cette dernière

35 par  $\frac{N}{n}$ , où N est le nombre de cylindres du moteur, afin d'obtenir la quantité de NOx totale émise par le moteur.

[0080] La figure 4 illustre la précision de la détermination de la quantité de NOx émise le moteur mise en oeuvre par le dispositif selon l'invention. En abscisse, il est représenté, pour différents points de fonctionnement d'un moteur Diesel de test, la quantité de NOx déterminée à l'aide d'un modèle physique complexe de production de NOx, et en ordonnée les quantités correspondantes obtenues par le dispositif selon l'invention.

[0081] Le dispositif selon l'invention permet donc de manière simple d'obtenir une précision importante pour une grande plage de fonctionnement du moteur.

[0082] Ainsi, il est possible d'utiliser un tel dispositif dans des systèmes plus complexes de diagnostic et/ou de contrôle du fonctionnement du moteur Diesel 10 utilisant des informations sur la quantité de NOx émise par le moteur.

[0083] Un premier système est un système de diagnostic du dysfonctionnement du moteur 10. En effet, si l'émission de NOx est anormalement élevée, un dysfonctionnement du moteur 10 peut être diagnostiqué.

[0084] Le système de diagnostic comprend à cet effet un dispositif selon l'invention qui délivre la quantité instantanée de NOx émise par le moteur à -des moyens de comparaison de celle-ci à un seuil prédéterminé. Des moyens de déclenchement d'une alarme reçoivent les résultats de cette comparaison et déclenchent une alarme, par exemple l'activation d'un voyant lumineux agencé sur la planche de bord du véhicule, lorsque la quantité de NOx déterminée est supérieure à ce seuil.

[0085] Il est également possible d'envisager un système contrôlant le fonctionnement du moteur Diesel 10 pour le pilotage des états de stockage et de déstockage des moyens 24 de dépollution se basant sur la quantité de NOx émise par le moteur.

[0086] Un tel système comprend par exemple un dispositif de détermination de la quantité de NOx émise par le moteur conforme à l'invention délivrant cette quantité à des moyens de calcul de la quantité de NOx stockée dans les moyens 24 de dépollution en fonction de celle-ci.

[0087] La quantité de NOx stockée déterminée est alors délivrée à des moyens -de comparaison de celle-ci à des premier et second seuils prédéterminés. Des moyens de déclenchement de la régénération des moyens 24 de dépollution reçoivent le résultat de cette comparaison et déclenchent le fonctionnement du moteur 10 en mode de régénération des moyens 24 de dépollution lorsque la quantité de NOx stockée dans ceux-ci est supérieure au premier seuil, et désactivent un tel mode de fonctionnement du moteur 10 lorsque la quantité de NOx stockée est inférieure au second seuil.

[0088] La régénération des moyens de dépollution est alors déclenchée en fonction d'une information qui reste pertinente tout au long de la vie du véhicule. Le fonctionnement du moteur associé au pilotage des moyens 24 de dépollution est alors optimisé.

[0089] Il est également possible d'envisager un système de contrôle du fonctionnement du moteur 10 comprenant le dispositif conforme à l'invention et des moyens de réglage du fonctionnement des moyens 12 d'alimentation du moteur 10. Les moyens de réglage sont adaptés pour régler le fonctionnement des moyens 12 d'alimentation en fonction de la quantité de NOx émise déterminée par le dispositif afin de corriger des dérives du fonctionnement de ceux-ci. Par exemple, les moyens de réglage des moyens 12 d'alimentation sont propres à régler le phasage et/ou les quantités de carburant injectées dans les cylindres pour minimiser l'émission de NOx par le moteur 10.

[0090] Les moyens de réglage peuvent également être adaptés pour régler le fonctionnement la boucle 14 de recirculation en fonction de la quantité de NOx émise par le moteur 10 pour corriger des dérives du fonctionnement des moyens 12 d'alimentation et/ou la boucle 14 de recirculation afin également de minimiser l'émission de NOx.

## Revendications

1. Dispositif de détermination de la quantité de NOx émise par un moteur Diesel (10) de véhicule automobile associé à des moyens (12) à rampe commune d'alimentation en carburant des cylindres de celui-ci, du type comprenant des moyens (32) d'acquisition de la pression dans au moins un cylindre du moteur et des moyens (50) de détermination de la fraction massique en oxygène du mélange admis dans le cylindre, **caractérisé en ce qu'il comprend**

- des moyens (58, 68) de détermination d'une température du front de flamme lors de la combustion du mélange admis dans le cylindre ;

- des moyens (52) de détermination de la masse de carburant brûlée dans le cylindre ; et

- des moyens (70) de calcul de la quantité de NOx émise par la combustion du mélange dans le cylindre en fonction de la pression acquise, de la fraction massique en oxygène du mélange, de la température du front de flamme et de la masse de carburant brûlée déterminées.

2. Dispositif selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** les moyens (52) de détermination de la masse de carburant brûlée dans le cylindre comprennent des moyens (54) de détermination de la quantité instantanée de chaleur dégagée lors de la combustion du mélange admis dans le cylindre et des moyens (56) de détermination de la masse instantanée de carburant brûlée dans le cylindres en fonction de cette dernière et du potentiel calorifique du carburant injecté dans le cylindre.

3. Dispositif selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** les moyens (54) de détermination de la quantité instantanée de chaleur dégagée lors de la combustion du mélange sont adaptés pour déterminer celle-ci à partir du premier principe de la thermodynamique en fonction de l'angle vilebrequin du cylindre et de la pression dans celui-ci.

4. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les moyens (58, 68) de détermination de la température du front de flamme comprennent des moyens (58) de détermination de la température du mélange admis non brûlé pendant la combustion de celui-ci et des moyens (68) de détermination de la température du front de flamme dans le cylindre en fonction de cette température du mélange admis non brûlé.

5. Dispositif selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** les moyens (58) de détermination de la température du mélange admis non brûlé pendant la combustion de celui-ci sont adaptés pour déterminer celle-ci à partir d'un modèle thermodynamique de compression isentropique selon la relation :

$$T_{nb} = T_{nb}^0 \left( \frac{p_{nb}}{p^0} \right)^{\frac{k}{k-1}}$$

## EP 1 815 118 B1

où  $T_{nb}$  et  $P^{nb}$  sont respectivement la température du mélange admis non brûlé et la pression correspondante dans

le cylindre pendant la combustion du mélange,  $T_{nb}^0$  et  $P^0$  sont respectivement une température et une pression de référence du mélange admis dans le cylindre à un instant prédéterminé avant le début de la combustion du mélange admis, et  $k$  est un coefficient polytropique prédéterminé.

6. Dispositif selon la revendication 4 ou 5, **caractérisé en ce qu'il** comprend des moyens (54) de détermination de la quantité instantanée de chaleur dégagée lors de la combustion du mélange admis dans le cylindre et des moyens (64) de détermination de l'instant du début de la combustion du mélange admis propres à comparer la quantité instantanée de chaleur déterminée à une valeur seuil prédéterminée et à déterminer l'instant de début de combustion lorsque la quantité instantanée de chaleur déterminée est supérieure à la valeur seuil.

7. Dispositif selon la revendication 5 ou 6, **caractérisé en ce que** les moyens (58) de détermination -de la température du mélange admis pendant la combustion de celui-ci comprennent :

- des moyens (60) de détermination du nombre de mols du mélange admis dans le cylindre ; et

- des moyens (62) de détermination de la température  $T_{nb}^0$  de référence à partir d'un modèle thermodynamique du mélange admis en fonction du nombre de mols du mélange admis et de la pression  $P^0$  dans les cylindres à l'instant prédéterminé avant le début de combustion.

8. Dispositif selon la revendication 7, **caractérisé en ce que** les moyens (62) de détermination de la température  $T_{nb}^0$  de référence sont adaptés pour déterminer celle-ci selon la relation :

$$T_{nb}^0 = \frac{P^0 \times V^0}{n \times R}$$

9. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédente, **caractérisé en ce que** les moyens (58, 68) de détermination de la température du front de flamme sont adaptés pour déterminer une température adiabatique théorique du front de flamme.

10. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 4 à 8 et la revendication 9 prises ensemble, **caractérisé en ce que** les moyens (68) de détermination de la température adiabatique du front de flamme sont adaptés pour déterminer celle-ci à partir d'un modèle thermodynamique de conservation de l'enthalpie des réactifs et des produits de la combustion du mélange admis dans le cylindre en fonction de la température du mélange admis non brûlé pendant la combustion de celui-ci et de la fraction massique en oxygène de celui-ci.

11. Dispositif selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** le modèle thermodynamique de conservation de l'enthalpie est un modèle polynomial du premier ou du second ordre.

12. Dispositif selon la revendication 11, **caractérisé en ce que** le modèle polynomial est un modèle selon la relation :

$$T_{ad} = c_1 + c_2 \times T_{nb} + c_3 \times XO_2$$

où  $T_{ad}$  est la température adiabatique du front de flamme,  $XO_2$  est la fraction massique en oxygène du mélange, et  $c_1$ ,  $c_2$  et  $c_3$  sont des coefficients prédéterminés.

13. Dispositif selon la revendication 11, **caractérisé en ce que** le modèle polynomial est un modèle selon la relation :

$$T_{ad} = c_1 + c_2 \times T_{nb} + c_3 \times XO_2 + c_4 \times P$$

5 où  $T_{ad}$  est la température adiabatique du front de flamme,  $XO_2$  est la fraction massique en oxygène du mélange,  $P$  est la pression dans le cylindre, et  $c_1, c_2, c_3, c_4$  sont des coefficients prédéterminés.

14. Dispositif selon la revendication 11, **caractérisé en ce que** le modèle polynomial est un modèle selon la relation :

10

$$T_{ad} = c_1 + c_2 \times T_{nb} + c_3 \times XO_2 + c_4 \times P + c_5 \times XO_2^2$$

15

où  $T_{ad}$  est la température adiabatique du front de flamme,  $XO_2$  est la fraction massique en oxygène du mélange,  $P$  est la pression dans le cylindre, et  $c_1, c_2, c_3, c_4$  et  $c_5$  sont des coefficients prédéterminés.

20

15. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce** les moyens (70) de détermination de la quantité de NOx émise par la combustion du mélange admis dans le cylindre sont adaptés pour déterminer celle-ci à partir d'un modèle chimique de production de NOx lors de la combustion du mélange dans le cylindre.

16. Dispositif selon la revendication 15 et la revendication 9 prises ensemble, **caractérisé en ce que** le modèle chimique est un modèle selon la relation :

25

$$Q_{NOx} = \frac{\ln(P)+1}{b \times XO_2} \times \exp\left(\frac{T_{ad}-c}{d \times XO_2}\right) \times \frac{MCB}{MCI}$$

30

où  $Q_{NOx}$  est la quantité instantanée de NOx émise par le moteur,  $P$  est la pression dans le cylindre,  $T_{ad}$  est la température adiabatique du front de flamme dans le cylindre,  $XO_2$  est la fraction massique en oxygène du mélange admis dans le cylindre,  $MCB$  est la masse instantanée de carburant brûlé dans le cylindre,  $MCI$  est la masse de carburant injectée dans le cylindre, et  $b, c$  et  $d$  sont des paramètres prédéterminés.

35

17. Système de diagnostic du dysfonctionnement d'un moteur Diesel de véhicule automobile, **caractérisé en ce qu'il** comprend un dispositif conforme à l'une quelconque des revendications précédentes, des moyens de -comparaison de la quantité de NOx émise à un seuil prédéterminé et des moyens -de déclenchement d'une alarme lorsque la quantité de NOx est supérieure à ce seuil.

40

18. Système de contrôle du fonctionnement d'un moteur Diesel de véhicule automobile associé à des moyens de dépollution des NOx agencés dans une ligne d'échappement de celui-ci, **caractérisé en ce qu'il** comprend un dispositif conforme à l'une quelconque des revendications 1 à 16, des moyens de calcul de la quantité de NOx stockée dans les moyens de dépollution en fonction de la quantité de NOx déterminée par le dispositif et des moyens de commande, en fonction de la quantité de NOx stockée, du fonctionnement du moteur pour piloter le fonctionnement des moyens de dépollution.

45

19. Système de contrôle du fonctionnement d'un moteur Diesel de véhicule automobile, **caractérisé en ce qu'il** comprend un dispositif conforme à l'une quelconque des revendications 1 à 16 et des moyens de réglage adaptés pour régler le fonctionnement des moyens d'alimentation en fonction de la quantité de NOx émise déterminée, pour corriger des dérives du fonctionnement de ceux-ci.

50

20. Système selon la revendication 19, **caractérisé en ce que** le moteur est associé à des moyens de recirculation d'une partie des gaz d'échappement en entrée de celui-ci, et **en ce que** les moyens de réglage sont en outre adaptés pour régler le fonctionnement des moyens de recirculation en fonction de la quantité de NOx émise déterminée, pour corriger des dérives du fonctionnement des moyens d'alimentation et/ou de recirculation.

55

21. Procédé de détermination de la quantité de NOx émise par un moteur Diesel (10) de véhicule automobile comprenant des moyens (12) à rampe commune d'alimentation en carburant des cylindres de celui-ci, du type comprenant une

étape d'acquisition de la pression dans au moins un cylindre du moteur, et une étape (54) de détermination de la fraction massique en oxygène du mélange admis dans le cylindre, **caractérisé en ce qu'**il comprend une étape de:

- détermination (en 62) de la température du front de flamme lors de la combustion du mélange admis dans le cylindre ;
- détermination (en 64) de la masse de carburant brûlée dans le cylindre; et
- de calcul (en 66) de la quantité de NOx émise par la combustion du mélange dans le cylindre en fonction de la pression acquise, de la fraction massique en oxygène du mélange, de la température du front de flamme et de la masse de carburant brûlée déterminées.

### Claims

1. Device for determining the amount of NOx emitted by a motor vehicle diesel engine (10) associated with means (12) with a common manifold for supplying fuel to the cylinders thereof, of the type comprising means (32) of acquiring the pressure in at least one cylinder of the engine and means (50) of determining the oxygen mass fraction of the mixture admitted into the cylinder, **characterised in that** it comprises

- means (58, 68) of determining a temperature of the flame front during combustion of the mixture admitted into the cylinder;
- means (52) of determining the mass of fuel burned in the cylinder; and
- means (70) of calculating the amount of NOx emitted by combustion of the mixture in the cylinder according to the acquired pressure, the oxygen mass fraction of the mixture, the temperature of the flame front and the mass of burnt fuel which have been determined.

2. Device according to Claim 1, **characterised in that** the means (52) of determining the mass of fuel burned in the cylinder comprise means (54) of determining the instantaneous amount of heat given off during combustion of the mixture admitted into the cylinder and means (56) of determining the instantaneous mass of fuel burned in the cylinder according to the latter and the calorific potential of the fuel injected into the cylinder.

3. Device according to Claim 2, **characterised in that** the means (54) of determining the instantaneous amount of heat given off during combustion of the mixture are adapted to determine it using the first law of thermodynamics according to the crankshaft angle of the cylinder and the pressure therein.

4. Device according to any one of the preceding claims, **characterised in that** the means (58, 68) of determining the temperature of the flame front comprise means (58) of determining the temperature of the admitted mixture not burned during combustion thereof and means (68) of determining the temperature of the flame front in the cylinder according to this temperature of the unburned admitted mixture.

5. Device according to Claim 4, **characterised in that** the means (58) of determining the temperature of the admitted mixture not burned during combustion thereof are adapted to determine it using a thermodynamic model of isentropic compression according to the equation:

$$T_{nb} = T_{nb}^0 \left( \frac{P^{nb}}{P^0} \right)^{\frac{k}{k-1}}$$

where  $T_{nb}$  and  $P^{nb}$  are respectively the temperature of the unburned admitted mixture and the corresponding pressure in the cylinder during combustion of the mixture,  $T_{nb}^0$  and  $P^0$  are respectively a reference temperature and pressure of the admitted mixture in the cylinder at a predetermined instant before the start of combustion of the admitted mixture, and  $k$  is a predetermined polytropic coefficient.

6. Device according to Claim 4 or 5, **characterised in that** it comprises means (54) of determining the instantaneous amount of heat given off during combustion of the mixture admitted into the cylinder and means (64) of determining the instant of the start of combustion of the admitted mixture suitable for comparing the determined instantaneous

## EP 1 815 118 B1

amount of heat with a predetermined threshold value and for determining the instant of start of combustion when the determined instantaneous amount of heat is greater than the threshold value.

5 7. Device according to Claim 5 or 6, **characterised in that** the means (58) of determining the temperature of the admitted mixture during combustion thereof comprise;

- means (60) of determining the number of moles of the mixture admitted into the cylinder; and

10 - means (62) of determining the reference temperature  $T_{nb}^0$  using a thermodynamic model of the admitted mixture according to the number of moles of the admitted mixture and the pressure  $P^0$  in the cylinders at the predetermined instant before the start of combustion.

15 8. Device according to Claim 7, **characterised in that** the means (62) of determining the reference temperature  $T_{nb}^0$  are adapted to determine it according to the equation:

$$T_{nb}^0 = \frac{P^0 \times V^0}{n \times R}$$

20 9. Device according to any one of the preceding claims, **characterised in that** the means (58, 68) of determining the temperature of the flame front are adapted to determine a theoretical adiabatic temperature of the flame front.

25 10. Device according to any one of Claims 4 to 8 and Claim 9 taken together, **characterised in that** the means (68) of determining the adiabatic temperature of the flame front are adapted to determine it using a thermodynamic model of conservation of the enthalpy of the reagents and products of the combustion of the mixture admitted into the cylinder according to the temperature of the admitted mixture not burned during the combustion thereof and the oxygen mass fraction thereof.

30 11. Device according to Claim 10, **characterised in that** the thermodynamic model of conservation of enthalpy is a polynomial model of the first or second order.

12. Device according to Claim 11, **characterised in that** the polynomial model is a model according to the equation:

$$35 T_{ad} = c_1 + c_2 \times T_{nb} + c_3 \times XO_2$$

40 where  $T_{ad}$  is the adiabatic temperature of the flame front,  $XO_2$  is the oxygen mass fraction of the mixture, and  $c_1$ ,  $c_2$  and  $c_3$  are predetermined coefficients.

13. Device according to Claim 11, **characterised in that** the polynomial model is a model according to the equation:

$$45 T_{ad} = c_1 + c_2 \times T_{nb} + c_3 \times XO_2 + c_4 \times P$$

50 where  $T_{ad}$  is the adiabatic temperature of the flame front,  $XO_2$  is the oxygen mass fraction of the mixture,  $P$  is the pressure in the cylinder, and  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$ ,  $c_4$  are predetermined coefficients.

14. Device according to Claim 11, **characterised in that** the polynomial model is a model according to the equation:

$$55 T_{ad} = c_1 + c_2 \times T_{nb} + c_3 \times XO_2 + c_4 \times P + c_5 \times XO_2^2$$

where  $T_{ad}$  is the adiabatic temperature of the flame front,  $XO_2$  is the oxygen mass fraction of the mixture,  $P$  is the

pressure in the cylinder, and  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$ ,  $c_4$  and  $c_5$  are predetermined coefficients.

15. Device according to any one of the preceding claims, **characterised in that** the means (70) of determining the amount of NOx emitted by combustion of the mixture admitted into the cylinder are adapted to determine it using a chemical model of NOx production during combustion of the mixture in the cylinder.

16. Device according to Claim 15 and Claim 9 taken together, **characterised in that** the chemical model is a model according to the equation:

$$Q_{NOx} = \frac{\ln(P) + 1}{b \times XO_2} \times \exp\left(\frac{T_{ad} - c}{d \times XO_2}\right) \times \frac{MCB}{MCI}$$

where  $Q_{NOx}$  is the instantaneous amount of NOx emitted by the engine, P is the pressure in the cylinder,  $T_{ad}$  is the adiabatic temperature of the flame front in the cylinder,  $XO_2$  is the oxygen mass fraction of the mixture admitted into the cylinder, MCB is the instantaneous mass of fuel burned in the cylinder, MCI is the mass of fuel injected into the cylinder, and b, c and d are predetermined parameters.

17. System for diagnosing the malfunctioning of a motor vehicle diesel engine, **characterised in that** it comprises a device in accordance with any one of the preceding claims, means of comparing the emitted amount of NOx with a predetermined threshold and means of activating an alarm when the amount of NOx is greater than this threshold.

18. System for controlling the operation of a motor vehicle diesel engine associated with means of NOx pollution control arranged in an exhaust line thereof, **characterised in that** it comprises a device in accordance with any one of Claims 1 to 16, means of calculating the amount of NOx stored in the pollution control means according to the amount of NOx determined by the device and means of controlling, according to the stored amount of NOx, the operation of the engine in order to control the operation of the pollution control means.

19. System for controlling the operation of a motor vehicle diesel engine, **characterised in that** it comprises a device in accordance with any one of Claims 1 to 16 and adjustment means adapted to adjust the operation of the supply means according to the emitted amount of NOx determined, in order to correct deviations in the operation thereof.

20. System according to Claim 19, **characterised in that** the engine is associated with means of recirculating some of the exhaust gases to the input thereof, and **in that** the adjustment means are moreover adapted to adjust the operation of the recirculation means according to the emitted amount of NOx determined, in order to correct deviations in the operation of the supply and/or recirculation means.

21. Method of determining the amount of NOx emitted by a motor vehicle diesel engine (10) comprising means (12) with a common manifold for supplying fuel to the cylinders thereof, of the type comprising a step of acquiring the pressure in at least one cylinder of the engine, and a step (54) of determining the oxygen mass fraction of the mixture admitted into the cylinder, **characterised in that** it comprises a step of:

- determining (at 62) the temperature of the flame front during combustion of the mixture admitted into the cylinder;
- determining (at 64) the mass of fuel burned in the cylinder; and
- calculating (at 66) the amount of NOx emitted by combustion of the mixture in the cylinder according to the acquired pressure, the oxygen mass fraction of the mixture, the temperature of the flame front and the mass of burnt fuel which have been determined.

## Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Bestimmen der NO<sub>x</sub>-Menge, die von einem Kraftfahrzeug-Dieselmotor (10) emittiert wird, dem Mittel (12) zur gemeinsamen Versorgung seiner Zylinder mit Kraftstoff zugeordnet sind, die vom Typ mit Mitteln (32) für die Erfassung des Drucks in wenigstens einem Zylinder des Motors und mit Mitteln (50) zum Bestimmen des Massenanteils von Sauerstoff in dem dem Zylinder zugeführten Gemisch ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie umfasst:

## EP 1 815 118 B1

- Mittel (58, 68) zum Bestimmen einer Flammenfront-Temperatur bei der Verbrennung des dem Zylinder zugeführten Gemisches;  
- Mittel (52) zum Bestimmen der Masse des in dem Zylinder verbrannten Kraftstoffs; und  
- Mittel (70) zum Berechnen der  $\text{NO}_x$ -Menge, die durch die Verbrennung des Gemisches im Zylinder emittiert wird, in Abhängigkeit von dem erfassten Druck, dem erfassten Massenanteil von Sauerstoff des Gemisches, der Flammenfront-Temperatur und der Masse des verbrannten Kraftstoffs, die bestimmt worden sind.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mittel (52) zum Bestimmen der Masse des im Zylinder verbrannten Kraftstoffs Mittel (54) zum Bestimmen der momentanen Wärmemenge, die bei der Verbrennung des dem Zylinder zugeführten Gemisches freigesetzt wird, und Mittel (56) zum Bestimmen der momentanen Masse des in den Zylindern verbrannten Kraftstoffs in Abhängigkeit von dieser Letzteren und vom Wärmepotential des in den Zylinder eingespritzten Kraftstoffs umfassen.

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mittel (54) zum Bestimmen der momentanen Menge der bei der Verbrennung des Gemisches freigesetzten Wärme so ausgelegt sind, dass sie diese anhand des ersten Hauptsatzes der Thermodynamik in Abhängigkeit vom Kurbelwinkel des Zylinders und vom Druck in diesem Zylinder bestimmen.

4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mittel (58, 68) zum Bestimmen der Flammenfront-Temperatur Mittel (58) zum Bestimmen der Temperatur des während der Verbrennung nicht verbrannten zugeführten Gemisches und Mittel (68) zum Bestimmen der Flammenfront-Temperatur in dem Zylinder in Abhängigkeit von dieser Temperatur des nicht verbrannten zugeführten Gemisches umfassen.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mittel (58) zum Bestimmen der Temperatur des während der Verbrennung nicht verbrannten zugeführten Gemisches ausgelegt sind, um diese anhand eines thermodynamischen Modells bei isentropischer Kompression gemäß der folgenden Beziehung zu bestimmen:

$$T_{nb} = T_{nb}^0 \left( \frac{P^{nb}}{P^0} \right)^{\frac{k}{k-1}}$$

wobei  $T_{nb}$  und  $P^{nb}$  die Temperatur des nicht verbrannten zugeführten Gemisches bzw. der entsprechende Druck in dem Zylinder während der Verbrennung des Gemisches sind,  $T_{nb}^0$  und  $P^0$  eine Referenztemperatur bzw. ein Referenzdruck des dem Zylinder zugeführten Gemisches zu einem vorgegebenen Zeitpunkt vor dem Beginn der Verbrennung des zugeführten Gemisches sind und  $k$  ein vorgegebener polytroper Koeffizient ist.

6. Vorrichtung nach Anspruch 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie Mittel (54) zum Bestimmen der momentanen freigesetzten Wärmemenge bei der Verbrennung des dem Zylinder zugeführten Gemisches und Mittel (54) zum Bestimmen des Zeitpunkts des Beginns der Verbrennung des zugeführten Gemisches, die die bestimmte momentane Wärmemenge mit einem vorgegebenen Schwellenwert vergleichen und den Zeitpunkt des Beginns der Verbrennung bestimmen können, wenn die bestimmte momentane Wärmemenge größer als der Schwellenwert ist, umfasst.

7. Vorrichtung nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mittel (58) zum Bestimmen der Temperatur des zugeführten Gemisches während der Verbrennung umfassen:

- Mittel (60) zum Bestimmen der Molzahl des dem Zylinder zugeführten Gemisches; und  
- Mittel (62) zum Bestimmen der Referenztemperatur  $T_{nb}^0$  anhand eines thermodynamischen Modells des zugeführten Gemisches in Abhängigkeit von der Molzahl des zugeführten Gemisches und vom Druck  $P^0$  in den Zylindern zu einem vorgegebenen Zeitpunkt vor dem Beginn der Verbrennung.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mittel (62) zum Bestimmen der Referenztemperatur  $T_{nb}^0$  ausgelegt sind, um diese gemäß der folgenden Beziehung zu bestimmen:



## EP 1 815 118 B1

$$T_{nb}^0 = \frac{P^0 \times V^0}{n \times R}.$$

- 5
9. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mittel (58, 68) zum Bestimmen der Flammenfront-Temperatur ausgelegt sind, um eine theoretische adiabatische Flammenfront-Temperatur zu bestimmen.
- 10
10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 8 und Anspruch 9 zusammengefasst, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mittel (68) zum Bestimmen der adiabatischen Temperatur der Flammenfront ausgelegt sind, um diese anhand eines thermodynamischen Modells der Aufrechterhaltung der Enthalpie der Reaktanten und der Verbrennungsprodukte des dem Zylinder zugeführten Gemisches in Abhängigkeit von der Temperatur des während der Verbrennung nicht verbrannten zugeführten Gemisches und dem Massenanteil von Sauerstoff des Gemisches zu bestimmen.
- 15
11. Vorrichtung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** das thermodynamische Modell zur Aufrechterhaltung der Enthalpie ein Polynommodell erster oder zweiter Ordnung ist.
- 20
12. Vorrichtung nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Polynommodell ein Modell gemäß der folgenden Beziehung ist:

$$T_{ad} = c_1 + c_2 \times T_{nb} + c_3 \times XO_2$$

- 25
- wobei  $T_{ad}$  die adiabatische Temperatur der Flammenfront ist,  $XO_2$  der Massenanteil von Sauerstoff des Gemisches ist und  $c_1$ ,  $c_2$  und  $c_3$  vorgegebene Koeffizienten sind.
- 30
13. Vorrichtung nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Polynommodell ein Modell gemäß der folgenden Beziehung ist:

$$T_{ad} = c_1 + c_2 \times T_{nb} + c_3 \times XO_2 + c_4 \times P$$

- 35
- wobei  $T_{ad}$  die adiabatische Temperatur der Flammenfront ist,  $XO_2$  der Massenanteil von Sauerstoff des Gemisches ist,  $P$  der Druck im Zylinder ist und  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$  und  $c_4$  vorgegebene Koeffizienten sind.
- 40
14. Vorrichtung nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Polynommodell ein Modell gemäß der folgenden Beziehung ist:

$$T_{ad} = c_1 + c_2 \times T_{nb} + c_3 \times XO_2 + c_4 \times P + c_5 \times XO_2^2$$

- 45
- wobei  $T_{ad}$  die adiabatische Temperatur der Flammenfront ist,  $XO_2$  der Massenanteil von Sauerstoff des Gemisches ist,  $P$  der Druck im Zylinder ist und  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$ ,  $c_4$  und  $c_5$  vorgegebene Koeffizienten sind.
- 50
15. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mittel (70) zum Bestimmen der  $NO_x$ -Menge, die durch die Verbrennung des dem Zylinder zugeführten Gemisches emittiert wird, ausgelegt sind, um diese anhand eines chemischen Modells der  $NO_x$ -Produktion bei der Verbrennung des Gemisches im Zylinder zu bestimmen.
- 55
16. Vorrichtung nach Anspruch 15 und Anspruch 9 zusammengefasst, **dadurch gekennzeichnet, dass** das chemische Modell ein Modell gemäß der folgenden Beziehung ist:

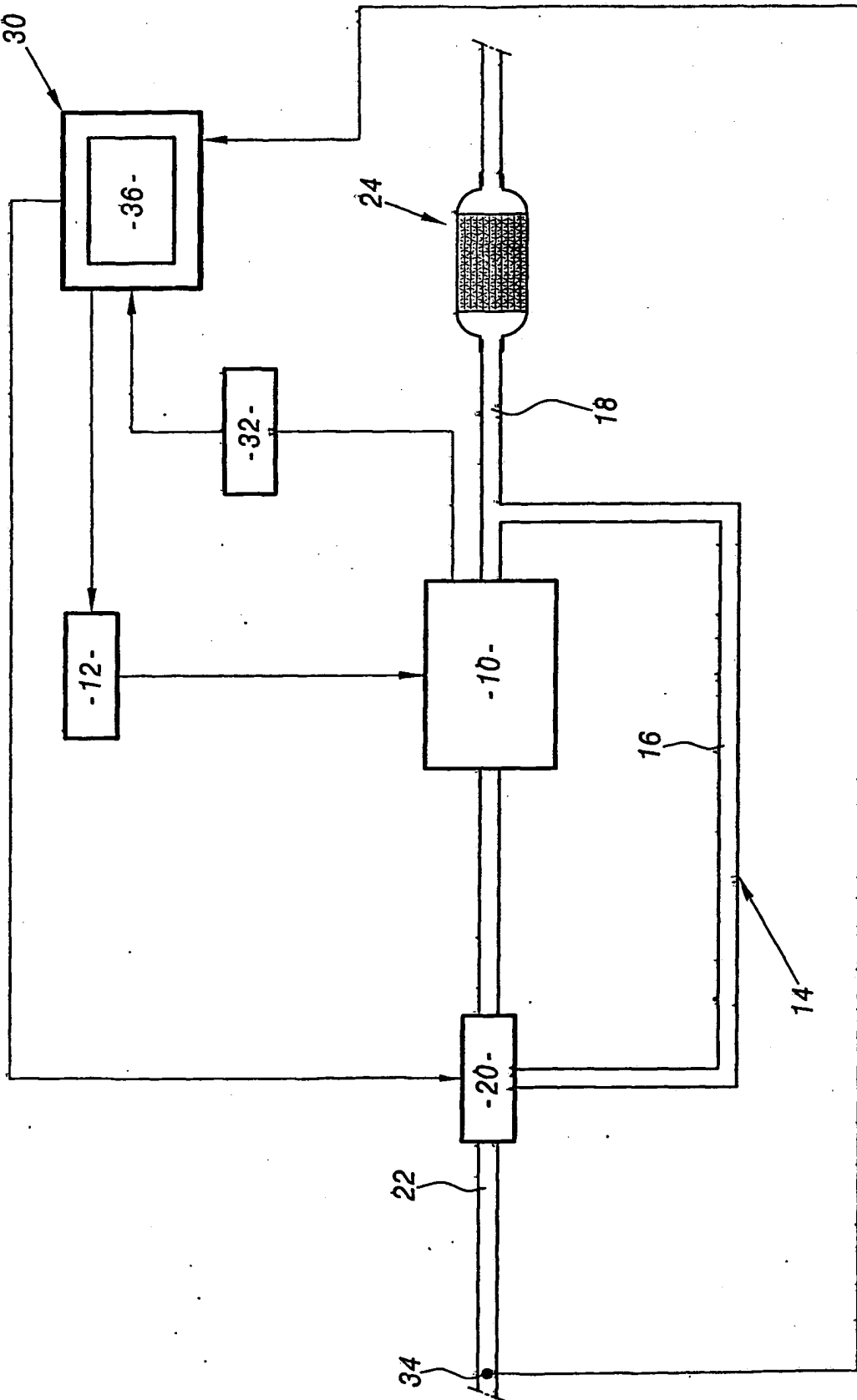
$$Q_{\text{NO}_x} = \frac{\ln(P)+1}{b \times \text{XO}_2} \times \exp\left(\frac{T_{\text{ad}} - c}{d \times \text{XO}_2}\right) \times \frac{\text{MCB}}{\text{MCI}}$$

5  
 wobei  $Q_{\text{NO}_x}$  die momentane  $\text{NO}_x$ -Menge, die vom Motor emittiert wird, ist, P der Druck im Zylinder ist,  $T_{\text{ad}}$  die  
 adiabatische Temperatur der Flammenfront im Zylinder ist,  $\text{XO}_2$  der Massenanteil von Sauerstoff des dem Zylinder  
 10 zugeführten Gemisches ist, MCB die momentane Masse des im Zylinder verbrannten Kraftstoffs ist, MCI die Masse  
 des in den Zylinder eingespritzten Kraftstoffs ist und b, c und d vorgegebene Parameter sind.

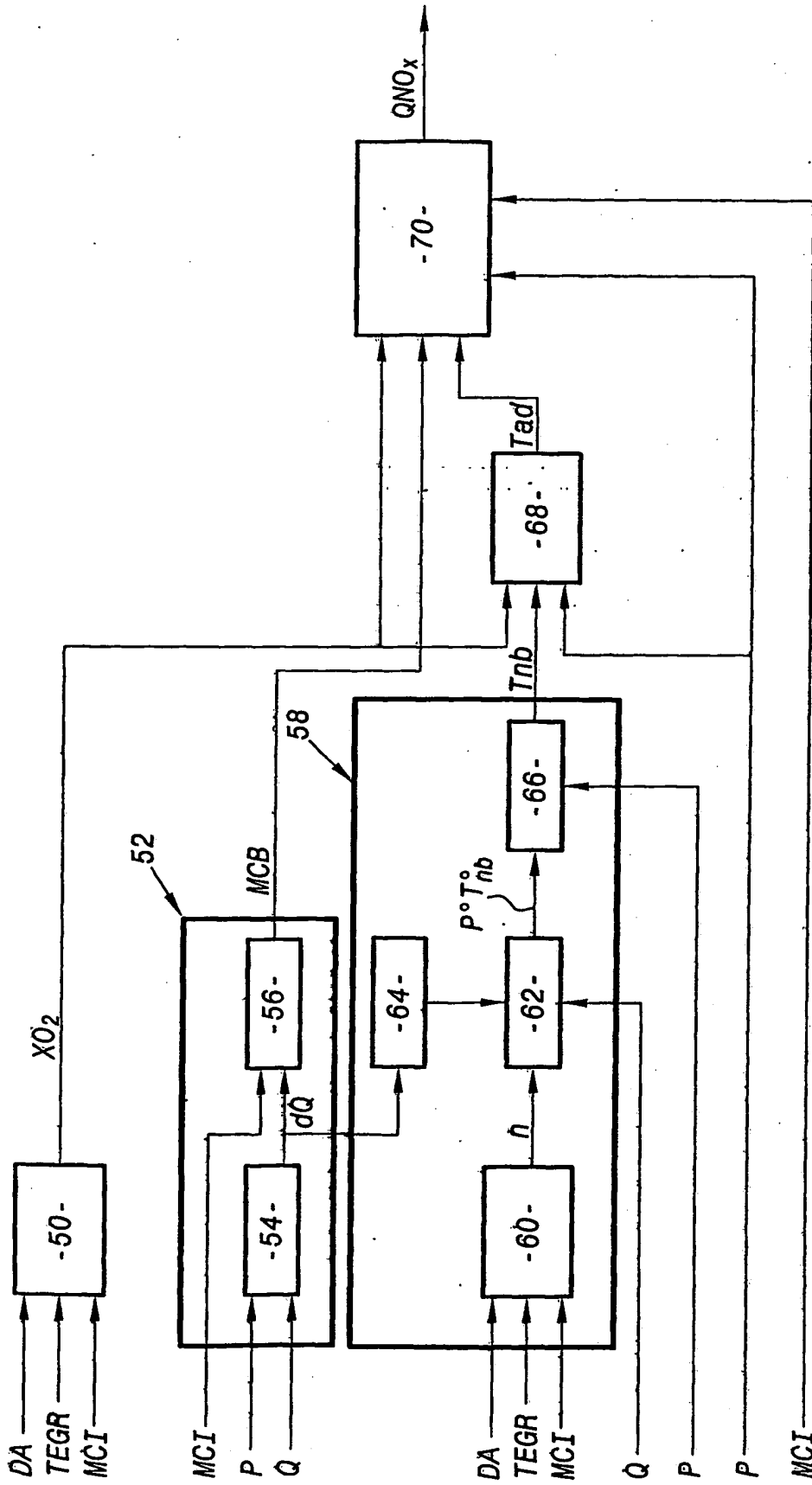
17. System für die Diagnose der Fehlfunktion eines Kraftfahrzeug-Dieselmotors, **dadurch gekennzeichnet, dass** es  
 eine Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, Mittel zum Vergleichen der emittierten  $\text{NO}_x$ -Menge  
 mit einem vorgegebenen Schwellenwert und Mittel zum Auslösen eines Alarms, wenn die  $\text{NO}_x$ -Menge größer als  
 15 dieser Schwellenwert ist, umfasst.
18. System für die Steuerung der Funktion eines Kraftfahrzeug-Dieselmotors, dem  $\text{NO}_x$ -Reinigungsmittel zugeordnet  
 sind, die in einer Abgasleitung des Motors angeordnet sind, **dadurch gekennzeichnet, dass** es eine Vorrichtung  
 nach einem der Ansprüche 1 bis 16, Mittel zum Berechnen der  $\text{NO}_x$ -Menge, die in den Reinigungsmitteln in Abhän-  
 20 gigkeit von der durch die Vorrichtung bestimmten  $\text{NO}_x$ -Menge gespeichert ist, und Mittel zum Steuern der Funktion  
 des Motors in Abhängigkeit von der gespeicherten  $\text{NO}_x$ -Menge, um die Funktion der Reinigungsmittel zu steuern,  
 umfasst.
19. System für die Steuerung der Funktion eines Kraftfahrzeug-Dieselmotors, **dadurch gekennzeichnet, dass** es eine  
 25 Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 16 und Regelungsmittel, die ausgelegt sind, um die Funktion der  
 Versorgungsmittel in Abhängigkeit von der bestimmten emittierten  $\text{NO}_x$ -Menge zu regeln, um Abweichungen ihrer  
 Funktion zu korrigieren, umfasst.
20. System nach Anspruch 19, **dadurch gekennzeichnet, dass** dem Motor Mittel zum Zurückführen eines Teils der  
 30 Abgase in seinen Eingang zugeordnet sind und dass die Regelungsmittel außerdem ausgelegt sind, um die Funktion  
 der Rückführungsmittel in Abhängigkeit von der bestimmten emittierten  $\text{NO}_x$ -Menge zu regeln, um Abweichungen  
 der Funktion der Versorgungs- und/oder Rückführungsmittel zu korrigieren.
21. Verfahren zum Bestimmen der  $\text{NO}_x$ -Menge, die von einem Kraftfahrzeug-Dieselmotor (10) emittiert wird, der Mittel  
 35 (12) zur gemeinsamen Versorgung seiner Zylinder mit Kraftstoff enthält, des Typs mit einem Schritt des Erfassens  
 des Drucks in wenigstens einem Zylinder des Motors und mit einem Schritt (54) des Bestimmens des Massenanteils  
 von Sauerstoff des dem Zylinder zugeführten Gemisches, **dadurch gekennzeichnet, dass** es die folgenden Schritte  
 umfasst:
- 40 - Bestimmen (bei 62) der Flammenfront-Temperatur bei der Verbrennung des dem Zylinder zugeführten Ge-  
 misches;
  - Bestimmen (bei 64) der Masse des im Zylinder verbrannten Kraftstoffs; und
  - Berechnen (bei 66) der  $\text{NO}_x$ -Menge, die durch die Verbrennung des Gemisches im Zylinder emittiert wird, in  
 45 Abhängigkeit von dem erfassten Druck, dem erfassten Massenanteil von Sauerstoff in dem Gemisch, der  
 Flammenfront-Temperatur und der Masse des verbrannten Kraftstoffs, die bestimmt worden sind.

50

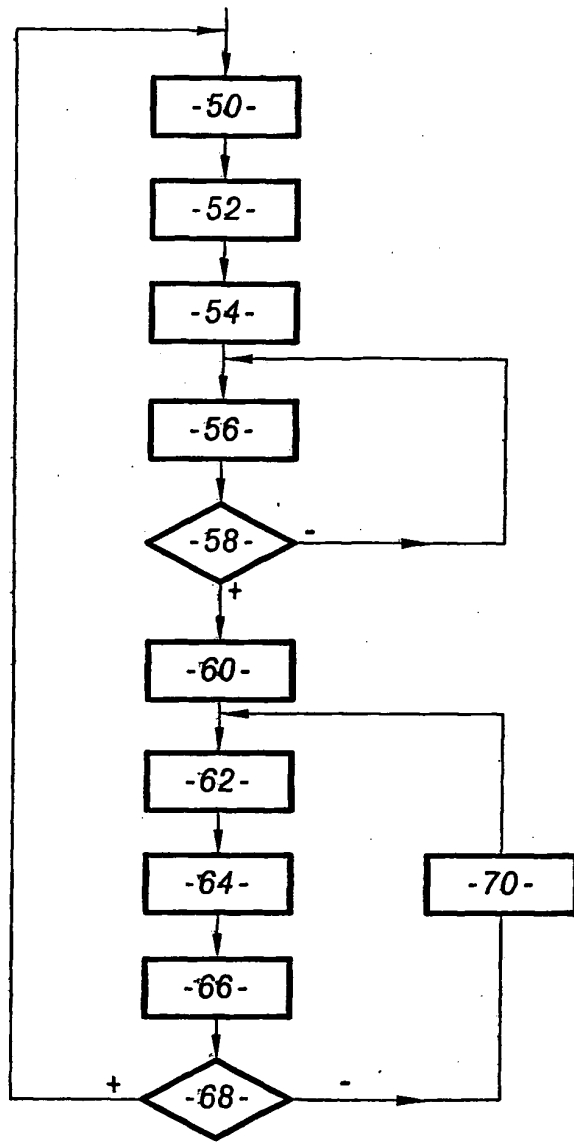
55



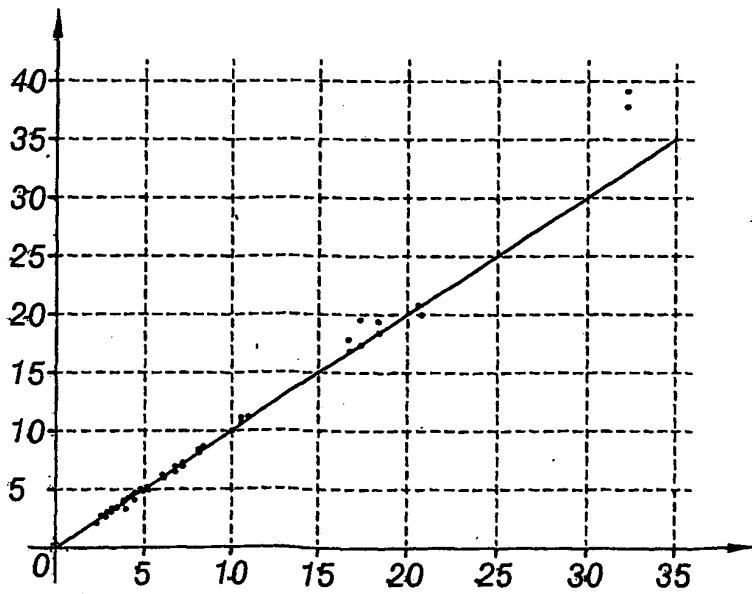
**FIG.1**



**FIG.2**



**FIG.3**



**FIG.4**