

(19)



(11)

EP 3 581 788 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
17.03.2021 Bulletin 2021/11

(51) Int Cl.:
F02P 19/02 (2006.01) *F02D 21/08* (2006.01)
F02D 41/18 (2006.01) *F02D 35/02* (2006.01)
F02D 41/00 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **19179345.4**

(22) Date de dépôt: **11.06.2019**

(54) **CONTRÔLE DES BOUGIES DE PRÉCHAUFFAGE D'UN MOTEUR À COMBUSTION INTERNE**
STEUERUNG VON GLÜHKERZEN EINER BRENNKRAFTMASCHINE
CONTROL OF GLOW PLUGS OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE

(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**

(30) Priorité: **13.06.2018 FR 1855162**

(43) Date de publication de la demande:
18.12.2019 Bulletin 2019/51

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

(72) Inventeurs:
• **LEFEVRE, Cédric**
91510 LARDY (FR)
• **DELAYE, Xavier**
75014 PARIS (FR)
• **VERBEKE, Benoit**
78690 LES ESSART LE ROI (FR)

(56) Documents cités:
EP-A1- 1 719 909 DE-A1-102006 048 225
DE-A1-102011 085 435 DE-A1-102012 211 641
US-A1- 2011 041 785 US-A1- 2011 220 073
US-A1- 2013 233 272

EP 3 581 788 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

[0001] La présente invention concerne le domaine des bougies de préchauffage des moteurs à combustion interne, notamment des moteurs de type Diesel.

[0002] Plus particulièrement, la présente invention concerne le domaine de l'estimation de la température de telles bougies de préchauffage.

[0003] Afin de démarrer un moteur Diesel lorsque la température extérieure est inférieure à une valeur seuil, la température du mélange air-carburant doit être portée à une certaine température pour améliorer l'auto-inflammation du mélange. On utilise pour cela des bougies de préchauffage implantées dans la chambre de combustion du moteur et pilotées via un boîtier de préchauffage.

[0004] Il existe des bougies dites « à allumage rapide », pilotées notamment par une commande de type Rapport Cyclique d'Ouverture, d'acronyme « RCO ». L'utilisation de telles bougies nécessite de connaître la température de l'élément chauffage des bougies, afin de ne pas dépasser leur température maximale admissible, qui conduirait à l'endommagement de l'élément chauffant desdites bougies.

[0005] Le document US 2011/0220073 A1 divulgue un pilotage de l'élément chauffage selon une pression régnant dans la chambre de combustion.

[0006] On peut se référer au document FR 2 891 868 - B1 qui décrit un procédé d'estimation de la température d'échappement sur une sortie d'un cylindre d'un moteur à combustion interne, à partir de la pression de cylindre mesurée.

[0007] Toutefois, ce document prévoit seulement le calcul d'une température dans la chambre de combustion lors de l'ouverture de la soupape d'échappement.

[0008] On connaît les modèles théoriques d'estimation de la température des bougies de préchauffage dans lesquels on réalise un bilan énergétique au niveau de l'élément chauffant, ici le crayon de la bougie.

[0009] La variation d'énergie interne dE du crayon de la bougie s'écrit selon l'équation suivante :

$$dE = m.C_v.dT_{\text{bougie}} \quad \text{Eq_i.1}$$

Avec :

m , la masse du crayon, exprimée en Kg ;

C_v , la capacité calorifique massique du matériau du crayon, exprimée $J.K^{-1}.kg^{-1}$; et

T_{bougie} , la température du crayon de la bougie, exprimée en K.

[0010] L'énergie perdue E_{perdue} s'écrit selon l'équation suivante et correspond au refroidissement par échanges convectifs avec les gaz internes à la chambre de combustion, et par conduction entre la bougie et sa fixation sur la culasse du moteur.

$$E_{\text{perdue}} = h(T_{\text{gaz}}).S.(T_{\text{bougie}} - T_{\text{gaz}}).dt + \lambda.S.(T_{\text{bougie}} - T_{\text{culasse}}).dt \quad \text{Eq_i.2}$$

Avec :

h , un coefficient d'échanges thermiques variant de façon linéaire en fonction de la température des gaz dans la chambre de combustion : $h(T_{\text{gaz}}) = h_0.(1 + K.T_{\text{gaz}})$, exprimée en $W/(m^2.K)$;

S , la surface du crayon en contact avec les gaz dans le cylindre, exprimée en m^2 ;

T_{gaz} , la température des gaz internes à la chambre de combustion, exprimée en K;

t , le temps, exprimé en s ;

λ , la conductivité thermique exprimée en $W/(m^2.K)$;

s , la surface d'échange entre la bougie et la culasse, exprimée en m^2 ; et

T_{culasse} , la température de la culasse, approximable à la température du liquide de refroidissement T_{eau} mesurée par un capteur, exprimée en K.

[0011] L'énergie gagnée $E_{\text{gagnée}}$ s'écrit selon l'équation suivante et correspond à la puissance électrique appliquée à la bougie.

$$E_{gagnée} = U.I.dt = \frac{U^2}{R(T_{bougie})}.dt \quad \text{Eq_i.3}$$

5 Avec :

U, la tension appliquée à la bougie, exprimée en V;

I, l'intensité parcourant la bougie, exprimée en A; et

10 ***R, la résistance de la bougie variant de façon linéaire en fonction de la température de la bougie : $R(T_{bougie}) = R_0.(1 + a.T_{bougie})$, exprimée en W, avec a, un coefficient d'évolution de la résistance électrique du crayon de la bougie avec sa température.***

[0012] La variation d'énergie interne dE du crayon de la bougie peut ainsi s'écrire selon l'équation suivante :

$$15 \quad dE = m.Cv.dT_{bougie} = E_{gagnée} - E_{perdue} = \frac{U^2}{R(T_{bougie})}.dt - h(T_{gaz}).S.(T_{bougie} - T_{gaz}).dt + \lambda.S.(T_{bougie} - T_{culasse}).dt$$

Eq_i.1

20

[0013] Ce qui conduit aux équations suivantes :

$$25 \quad \frac{dT_{bougie}}{dt} = \frac{U^2}{m.Cv.R_0} \cdot \frac{1}{(1 + a.T_{bougie})} - \frac{h_0.S}{m.Cv.R_0} \cdot (1 + K.T_{bougie}).(T_{bougie} - T_{gaz}). + \lambda.S.(T_{bougie} - T_{eau}).dt$$

Eq_i.4

$$30 \quad \frac{dT_{bougie}}{dt} = \frac{1}{\tau_{chauffe}} \cdot \left(\frac{U}{U_{ref}} \right)^2 \cdot \left(\frac{1}{a} - T_{bougie} \right) - \frac{1}{\tau_{refr}} \cdot (1 + K.T_{bougie}).(T_{bougie} - T_{gaz}) + \lambda.S.(T_{bougie} - T_{eau}).dt$$

Eq_i.5

35 Avec :

Uref, la tension de référence d'alimentation du réseau de bord, généralement 12V, exprimée en V;

$$40 \quad \frac{1}{\tau_{chauffe}} = \frac{a.U_{ref}^2}{m.Cv.R_0}, \text{ une valeur constante, exprimée à } s^{-1}; \text{ et}$$

$$\frac{1}{\tau_{refr}} = \frac{h_0.S}{m.Cv.R_0}, \text{ une valeur constante, exprimée à } s^{-1}.$$

45 **[0014]** On notera que le coefficient d'échange par convection h_0 est susceptible d'être variable avec la pression et la vitesse des gaz dans la chambre de combustion (nombre de Nusselt et Planck). Ce coefficient peut dépendre du débit des gaz admis par le moteur.

[0015] La température de la bougie T(t) en fonction du temps est calculée en discrétisant l'équation Eq.i.5 à une récurrence temporelle dans un calculateur embarqué, selon l'équation suivante :

50

$$T_{(t)} = T_{(t-1)} + \frac{1}{\tau_{chauffe}} \cdot \left(\frac{U_{(t)}}{U_{ref}} \right)^2 \cdot \left(\frac{1}{a} - T_{(t-1)} \right) - \frac{1}{\tau_{refr}} \cdot (1 + K.T_{(t-1)}).(T_{(t-1)} - T_{gaz}) + k.(T_{(t-1)} - T_{eau})$$

Eq.i.6

55

[0016] Dans cette équation, la température des gaz interne à la chambre de combustion T_{gaz} n'est pas mesurée et est difficilement estimable de manière précise. On peut l'approximer à une température moyenne, soit fixe correspondant

à la température d'équilibre de la bougie, par exemple lors de mesures sur bancs d'essais, soit caractérisée par des cartographies intégrées au calculateur.

[0017] Toutefois, la température des gaz interne à la chambre de combustion T_{gaz} dépend notamment du point de fonctionnement moteur, de la température des gaz admis, du débit de gaz traversant le moteur, du réglage de la combustion, etc...

[0018] Il est ainsi difficile d'obtenir une estimation fiable de la température de la bougie $T(t)$ en l'absence d'une détermination de la température des gaz interne à la chambre de combustion T_{gaz} .

[0019] Il existe un besoin d'améliorer les procédés et systèmes d'estimation de la température des bougies de préchauffage.

[0020] Le but de la présente invention est donc de permettre une estimation précise et robuste de la température des bougies de préchauffage et ainsi permettre d'exploiter au mieux le potentiel desdites bougies pour chauffer efficacement la chambre de combustion et améliorer le démarrage du moteur, aussi que la stabilité du moteur après démarrage.

[0021] L'invention a pour objet un procédé de contrôle des bougies de préchauffage selon la revendication 1 et une unité de commande d'un moteur à combustion interne selon la revendication 5. Le procédé comprend l'estimation de la température du crayon des bougies de préchauffage implantées dans une chambre de combustion d'un moteur à combustion interne, notamment de type Diesel, comprenant au moins un capteur de pression de cylindre, en mesurant la pression cylindre, pour chaque position vilebrequin, par exemple tous les degrés de vilebrequin 1° crk, en connaissant la tension de pilotage de la bougie, en initialisant la température de la bougie au premier pas de calcul moteur froid, à la température de la culasse, c'est-à-dire à la température du liquide de refroidissement, ou à la température précédente en cas de démarrage à chaud, on estime une valeur de température moyenne dans le cylindre sur un cycle de combustion et par pas de calculs itératifs, on estime la température du crayon des bougies.

[0022] Ainsi, la température des crayons des bougies de préchauffage est estimée de manière précise, en n'utilisant que les paramètres physiques et géométriques du moteur.

[0023] On calcule une valeur de température dans le cylindre pour chaque position angulaire du moteur en fonction d'une valeur de la température à la fermeture des soupapes d'admission, une valeur de volume de la chambre de combustion à la fermeture des soupapes d'admission, calculé en fonction de l'angle vilebrequin, la course, l'alésage et le volume mort du cylindre, une valeur de volume de la chambre de combustion, pour chaque position angulaire du cylindre, une valeur de pression du cylindre) à la fermeture des soupapes d'admission, mesurée par un capteur cylindre et une valeur de pression du cylindre, pour chaque position angulaire du cylindre, mesurée par le capteur cylindre.

[0024] Ainsi, la température dans le cylindre pour chaque position angulaire du moteur pour laquelle les soupapes d'admission et d'échappement sont fermées, est calculable d'après l'équation des gaz parfaits ($P.V=n.R.T$), où $\frac{P.V}{T}$

est une constante entre un point considéré et le point de fermeture des soupapes d'admission.

[0025] Par exemple, la température à la fermeture des soupapes d'admission est calculée en assimilant cette phase à une polytropique, en fonction d'une valeur de température à l'ouverture des soupapes d'admission calculée en fonction de la température, de la température de recirculation des gaz d'échappement et des débits d'air frais et de gaz recirculés mesurés par capteurs, du volume de la chambre de combustion au moment (ivo (ouverture des soupapes d'admission), ivc (fermeture des soupapes d'admission), evo (ouverture des soupapes d'échappement) et evc (fermeture des soupapes d'échappement)), et d'un coefficient polytropique de la compression dépendant de la composition des gaz admis (taux de recirculation des gaz d'échappement EGR).

[0026] En variante, la température à l'ouverture des soupapes d'admission peut être mesurée par un capteur.

[0027] On calcule une estimation de la température moyenne des gaz dans le cylindre à laquelle est soumis le crayon de la bougie au cours d'un cycle moteur en fonction de la valeur de température dans le cylindre pour chaque position angulaire du moteur calculée.

[0028] L'estimation de la température moyenne des gaz est, par exemple, calculée en fonction de la durée d'ouverture angulaire des soupapes admission, de la durée angulaire toutes soupapes fermées, de la durée d'ouverture angulaire des soupapes d'échappement, de la température moyenne dans le cylindre pendant les phases d'admission et de détente assimilée à la moyenne des températures $[T_{\text{ivo}} ; T_{\text{ivc}}] ; [T_{\text{evo}} ; T_{\text{evc}}]$ et de la température à la fermeture des soupapes d'échappement.

[0029] Par exemple, la température à la fermeture des soupapes d'échappement est calculée en assimilant cette phase à une polytropique en fonction d'un coefficient polytropique de la détente, dépendant la composition des gaz d'échappement (richesse), et de la température à l'ouverture des soupapes d'échappement.

[0030] On calcule une estimation de la température du crayon de la bougie en fonction de la température moyenne des gaz sur un cycle de combustion, cette température étant calculée à partir des valeurs de température dans le cylindre pour chaque position angulaire du moteur, ces valeurs étant calculées grâce notamment aux mesures du capteur de pression de cylindre.

[0031] On s'affranchit ainsi de l'imprécision de la caractérisation de la température des gaz par tables ou cartographies

dans l'équation de calcul de la température des bougies de préchauffage.

[0032] Grace à l'invention, le calcul de l'estimation de la température du crayon de la bougie de préchauffage est robuste au point de fonctionnement moteur (régime et couple, ou régime et quantité de carburant injecté), à la température ou la pression ambiante, au débit admis par le moteur et aux réglages de combustion.

[0033] L'unité de commande du moteur comprend un système d'estimation de la température du crayon des bougies de préchauffage implantées dans une chambre de combustion d'un moteur à combustion interne, notamment de type Diesel, comprenant au moins un capteur de pression de cylindre, dans lequel en fonction de la pression cylindre mesurée par le capteur, pour chaque position vilebrequin, par exemple tous les degrés de vilebrequin 1°crk , en connaissant la tension de pilotage de la bougie, en initialisant la température de la bougie au premier pas de calcul moteur froid, à la température de la culasse, c'est-à-dire à la température du liquide de refroidissement, ou à la température précédente en cas de démarrage à chaud.

[0034] Le système comprend un module d'estimation d'une valeur de température moyenne dans le cylindre sur un cycle de combustion et par pas de calculs itératifs, et un module d'estimation de la température du crayon des bougies.

[0035] Ainsi, la température des crayons des bougies de préchauffage est estimée de manière précise, en n'utilisant que les paramètres physiques et géométriques du moteur.

[0036] Le système comprend un module de calcul d'une valeur de température dans le cylindre pour chaque position angulaire du moteur pour laquelle les soupapes d'admission et d'échappement sont fermées, en fonction d'une valeur de la température à la fermeture des soupapes d'admission, une valeur de volume de la chambre de combustion à la fermeture des soupapes d'admission, calculé en fonction de l'angle vilebrequin, la course, l'alésage et le volume mort du cylindre, une valeur de volume de la chambre de combustion, pour chaque position angulaire du cylindre, une valeur de pression du cylindre à la fermeture des soupapes d'admission, mesurée par un capteur cylindre et une valeur de pression du cylindre, pour chaque position angulaire du cylindre, mesurée par le capteur cylindre.

[0037] Ainsi, la température dans le cylindre pour chaque position angulaire du moteur pour laquelle les soupapes

d'admission et d'échappement sont fermées est calculable d'après l'équation des gaz parfaits ($P.V=n.R.T$), où $\frac{P.V}{T}$ est une constante entre un point considéré et le point de fermeture des soupapes d'admission.

[0038] La température à la fermeture des soupapes d'admission est calculée en assimilant cette phase à une polytropique, en fonction d'une valeur de température à l'ouverture des soupapes d'admission calculée en fonction de la température, de la température de recirculation des gaz d'échappement et des débits d'air frais et de gaz recirculés mesurés par capteurs, du volume de la chambre de combustion au moment X (ivo (ouverture des soupapes d'admission), ivc (fermeture des soupapes d'admission), evo (ouverture des soupapes d'échappement) et evc (fermeture des soupapes d'échappement), et d'un coefficient polytropique de la compression dépendant de la composition des gaz admis (taux de recirculation des gaz d'échappement EGR).

[0039] En variante, la température à l'ouverture des soupapes d'admission peut être mesurée par un capteur.

[0040] Le module de calcul d'une estimation de la température moyenne des gaz dans le cylindre à laquelle est soumis le crayon de la bougie au cours d'un cycle moteur est configuré pour calculer ladite estimation en fonction de la valeur de température dans le cylindre pour chaque position angulaire du moteur calculée.

[0041] L'estimation de la température moyenne des gaz est calculée en fonction, la durée d'ouverture angulaire des soupapes admission, la 9 durée angulaire toutes soupapes fermées, la durée d'ouverture angulaire des soupapes d'échappement, la température moyenne dans le cylindre pendant les phases d'admission et de détente assimilée à la moyenne des températures $[T_{ivo}; T_{ivc}]$; $[T_{evo}; T_{evc}]$ et la température à la fermeture des soupapes d'échappement.

[0042] La température à la fermeture des soupapes d'échappement est calculée en assimilant cette phase à une polytropique en fonction d'un coefficient polytropique de la détente, dépendant la composition des gaz d'échappement (richesse), et de la température à l'ouverture des soupapes d'échappement.

[0043] Ainsi, le module de calcul d'une estimation de la température du crayon de la bougie est configuré pour calculer ladite estimation en fonction de la température dans le cylindre pour chaque position angulaire du moteur calculée et de la température moyenne des gaz sur un cycle de combustion calculée.

[0044] On s'affranchit ainsi de l'imprécision de la caractérisation de la température des gaz par tables ou cartographies dans l'équation de calcul de la température des bougies de préchauffage.

[0045] Grace à l'invention, le calcul de l'estimation de la température du crayon de la bougie de préchauffage est robuste au point de fonctionnement moteur (régime et couple, ou régime et quantité de carburant injecté), à la température ou la pression ambiante, au débit admis par le moteur et aux réglages de combustion.

[0046] D'autres buts, caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description suivante, donnée uniquement à titre d'exemple non limitatif, et faite en référence aux dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 illustre un système d'estimation de la température des bougies de préchauffage selon l'invention ; et
- la figure 2 illustre les étapes d'un procédé d'estimation de la température des bougies de préchauffage selon

l'invention mis en œuvre par le système de la figure 1.

[0047] Un système d'estimation de la température des bougies de préchauffage, référencé 10 dans son ensemble, est destiné à être intégré dans une unité de commande d'un moteur à combustion interne de type Diesel (non représenté), comprenant une chambre de combustion dans les pistons du moteur, des bougies de préchauffage implantées dans ladite chambre de combustion et au moins un capteur de pression de cylindre P.

[0048] Le système 10 d'estimation de la température des bougies de préchauffage comprend un module 12 de calcul d'une valeur de température dans le cylindre $T_{cyl(angle)}$ pour chaque position angulaire du moteur pour laquelle les soupapes d'admission et d'échappement associées à la chambre de combustion sont fermées, selon l'équation suivante :

$$T_{cyl(angle)} = \frac{T_{ivc}}{Vol_{ivc}.P_{cyl_{ivc}}} . Vol_{(angle)}.P_{cyl_{(angle)}} \quad \text{Eq.1}$$

Avec :

T_{ivc} , la température à la fermeture des soupapes d'admission « intake valve closing temperature » en termes anglo-saxons, calculées selon l'équation Eq.2 ci-dessous, exprimée en K ;

Vol_{ivc} , le volume de la chambre de combustion à la fermeture des soupapes d'admission calculé en fonction de l'angle vilebrequin, la course, l'alésage et le volume mort du cylindre, exprimé en m^3 ;

$Vol_{(angle)}$, le volume de la chambre de combustion, pour chaque position angulaire du cylindre, calculé en fonction de l'angle vilebrequin, la course, l'alésage et le volume mort du cylindre, exprimé en m^3 ;

$P_{cyl_{(ivc)}}$, la pression du cylindre à la fermeture des soupapes d'admission, mesurée par un capteur cylindre, exprimée en bar ; et

$P_{cyl_{(angle)}}$, la pression du cylindre, pour chaque position angulaire du cylindre, mesurée par un capteur cylindre, exprimée en bar.

[0049] Ainsi, la température dans le cylindre $T_{cyl(angle)}$ pour chaque position angulaire du moteur pour laquelle les soupapes d'admission et d'échappement sont fermées, est calculable d'après l'équation des gaz parfaits ($P.V=n.R.T$),

où $\frac{P.V}{T}$ est une constante entre un point considéré et le point de fermeture des soupapes d'admission (ivc).

[0050] La température à la fermeture des soupapes d'admission T_{ivc} est calculée selon l'équation ci-dessous en assimilant cette phase à une polytropique :

$$T_{ivc} = T_{ivo} . \left(\frac{Vol_{ivo}}{Vol_{ivc}} \right)^{\gamma_{vc}} \quad \text{Eq.2}$$

[0051] Avec :

$$T_{ivo} = \frac{T_{air}.Q_{air} + T_{EGR}.Q_{EGR}}{Q_{air} + Q_{EGR}} \quad \text{Eq.3}$$

Avec :

T_{ivo} , la température à l'ouverture des soupapes d'admission « intake valve opening temperature » en termes anglo-saxons, calculée selon l'équation Eq.3 ci-dessus en fonction de la température T_{air} , de la température de recirculation des gaz d'échappement T_{EGR} , et des débits d'air frais Q_{air} et de gaz recirculés Q_{EGR} , mesurés par capteurs ; en variante, la température à l'ouverture des soupapes d'admission T_{ivo} peut être mesurée par un capteur, exprimée en K ;

Vol_X , le volume de la chambre de combustion au moment X (ivo (ouverture des soupapes d'admission), ivc (fermeture des soupapes d'admission), evc (ouverture des soupapes d'échappement) et evc (fermeture des soupapes d'échappement), exprimé en m^3 ; et

γ_{ivc} , un coefficient polytropique de la compression dépendant de la composition des gaz admis (taux de recirculation des gaz d'échappement EGR).

[0052] Le système 10 d'estimation de la température des bougies de préchauffage comprend en outre un module 14 de calcul d'une estimation de la température moyenne des gaz T_{gaz} dans le cylindre à laquelle est soumis le crayon de la bougie au cours d'un cycle moteur.

[0053] Considérant l'inertie thermique du crayon de bougie, de l'ordre du 1/10^e de secondes, nettement supérieur au temps caractéristique d'évolution de la température (ou pression) cylindre, de l'ordre du millième de secondes, la température moyenne des gaz T_{gaz}(cycle) peut être estimée comme une valeur de température des gaz internes au cylindre moyennée sur un cycle de combustion, et calculée par le module 14 selon l'équation suivante :

$$T_{gaz(cycle_n)} = \left[\frac{\alpha_{ivo} \rightarrow \alpha_{ivo}}{720^\circ} \cdot \frac{T_{ivo} + T_{ivc}}{2} \right] + \left[\frac{\alpha_{ivc} \rightarrow evo}{720^\circ} \cdot moy\{T_{cyl(angle)}\}_{\alpha_{ivc} \rightarrow \alpha_{evo}} \right] + \left[\frac{\alpha_{evo} \rightarrow \alpha_{evc}}{720^\circ} \cdot \frac{T_{evo} + T_{evc}}{2} \right]$$

Eq.4

Avec:

$\alpha_{ivo} \rightarrow \alpha_{ivo}$, la durée d'ouverture angulaire des soupapes admission α_{admin} , exprimée en [°crk] ;
 $\alpha_{ivc} \rightarrow evo$, la durée angulaire toutes soupapes fermées, exprimée en [°crk] ;
 $\alpha_{evo} \rightarrow \alpha_{evc}$, la durée d'ouverture angulaire des soupapes d'échappement α_{exh} , exprimée en [°crk] ;
 $moy\{T_{cyl(angle)}\}_{\alpha_{ivc} \rightarrow \alpha_{evo}}$, la température moyenne dans le cylindre pendant les phases d'admission et de détente assimilée à la moyenne des températures respectivement $[T_{ivo}; T_{ivc}]$ et $[T_{evo}; T_{evc}]$, exprimée en K ; et
 T_{evc} , la température à la fermeture des soupapes d'échappement « exhaust valve closing temperature » en termes anglo-saxons, calculées selon l'équation Eq.5 ci-dessous, exprimée en K.

[0054] La température à la fermeture des soupapes d'échappement T_{evc} est calculée selon l'équation ci-dessous en assimilant cette phase à une polytropique :

$$T_{evc} = T_{evo} \cdot \left(\frac{Vol_{evo}}{Vol_{evc}} \right)^{\gamma_{ec}} \quad \text{Eq.5}$$

Avec :

γ_{evc} , un coefficient polytropique de la détente, dépendant la composition des gaz d'échappement (richesse) ;
 et
 T_{evo} , la température cylindre à l'ouverture des soupapes d'échappement, exprimée en K, avec $T_{evo} = T_{cyl(evo)}$

[0055] En incorporant les équations Eq.2 et Eq.3 dans l'équation Eq.4, la température moyenne des gaz T_{gaz}(cycle) sur un cycle de combustion s'écrit selon les équations suivantes :

$$T_{gaz(cycle)} = \left[\alpha_{ad\ min} \cdot \frac{T_{ivo} + T_{ivc}}{2} \right] + \left[(720 - (\alpha_{ad\ min} + \alpha_{exh})) \cdot moy\{T_{cyl(angle)}\}_{\alpha_{ivc} \rightarrow \alpha_{evo}} \right] + \left[\alpha_{exh} \cdot \frac{T_{evo} + T_{evc}}{2} \right]$$

Eq.6

$$T_{gaz(cycle)} = \left[\alpha_{ad\ min} \cdot T_{ivo} \cdot \frac{1 + \left(\frac{Vol_{ivo}}{Vol_{ivc}} \right)^{\gamma_{ivc}}}{2} \right] + \left[\frac{1}{\alpha_{ivc} \rightarrow evo} \cdot \int_{\alpha_{ivc}}^{\alpha_{evo}} T_{cyl} d\alpha \right] + \left[\alpha_{exh} \cdot T_{cyl(evo)} \cdot \frac{1 + \left(\frac{Vol_{evo}}{Vol_{evc}} \right)^{\gamma_{evc}}}{2} \right]$$

Eq.7

[0056] Le système 10 d'estimation de la température des bougies de préchauffage comprend en outre un module 16 de calcul d'une estimation de la température du crayon de la bougie T(t) en fonction de la température dans le cylindre

$T_{cyl(angle)}$ pour chaque position angulaire du moteur calculée à l'équation Eq.1 et de la température moyenne des gaz $T_{gaz(cycle)}$ sur un cycle de combustion calculée à l'équation Eq.7.

[0057] L'estimation de la température du crayon de la bougie $T_{(t)}$ s'écrit selon l'équation suivante :

$$T_{(t)} = T_{(t-1)} + \frac{1}{\tau_{chauffe}} \cdot \left(\frac{U_{(t)}}{U_{ref}} \right)^2 \cdot \left(\frac{1}{a} - T_{(t-1)} \right) - \frac{1}{\tau_{refr}} \cdot (1 + K \cdot T_{(t-1)}) \cdot (T_{(t-1)} - T_{gaz(cycle)}) + k \cdot (T_{(t-1)} - T_{eau})$$

Eq.8

Avec :

$T_{chauffe}$, le temps caractéristique de chauffe du crayon de la bougie, exprimé en s ;

T_{refr} , le temps caractéristique de refroidissement du crayon de la bougie, exprimé en s, dépendant du débit d'air aspiré par le moteur, exprimé en kg/s ;

a , un coefficient d'évolution de la résistance électrique du crayon de la bougie avec sa température ;

K , un coefficient d'évolution des facteurs thermiques avec la température des gaz ;

k , un facteur d'échanges conductifs via la culasse égal à $\lambda \cdot s$, avec λ , la conductivité thermique exprimée en W/(m².K) et s , la surface d'échange entre la bougie et la culasse, exprimée en m² ;

U_{ref} , la tension de référence, exprimée en V ; et

T_{eau} , la température de l'eau, exprimée en K.

[0058] Ainsi, en mesurant la pression cylindre P_{cyl} , pour chaque position vilebrequin, par exemple tous les degrés de vilebrequin en connaissant la tension de pilotage de la bougie, en initialisant la température de la bougie $T(t)$ au premier pas de calcul moteur froid, à la température de la culasse, c'est-à-dire à la température du liquide de refroidissement, ou à la température précédente en cas de démarrage à chaud, il est possible d'estimer une valeur de température moyenne dans le cylindre sur un cycle de combustion $T_{gaz(cycle)}$. Par pas de calculs itératifs, on peut ensuite estimer la température du crayon de la bougie de préchauffage $T_{(t)}$, de manière précise, en n'utilisant que les paramètres physiques et géométriques du moteur.

[0059] On s'affranchit ainsi de l'imprécision de la caractérisation de la température des gaz T_{gaz} par tables ou cartographies dans l'équation Eq.8 qui est dans l'état de la technique simplifiée.

[0060] Grâce à l'invention, le calcul de l'estimation de la température du crayon de la bougie de préchauffage est robuste au point de fonctionnement moteur (régime et couple, ou régime et quantité de carburant injecté), à la température ou la pression ambiante, au débit admis par le moteur et aux réglages de combustion.

[0061] L'organigramme représenté sur la figure 2 illustre un exemple de procédé 20 mis en œuvre par le système représenté sur la figure 1.

[0062] Lors d'une première étape 21, on calcule une valeur de température dans le cylindre $T_{cyl(angle)}$ pour chaque position angulaire du moteur pour laquelle les soupapes d'admission et d'échappement sont fermées selon l'équation suivante :

$$T_{cyl(angle)} = \frac{T_{ivc}}{Vol_{ivc} \cdot P_{cyl_{ivc}}} \cdot Vol_{(angle)} \cdot P_{cyl_{(angle)}} \quad \text{Eq.1}$$

Avec :

T_{ivc} , la température à la fermeture des soupapes d'admission « intake valve closing temperature » en termes anglo-saxons, calculée selon l'équation Eq.2 ci-dessous, exprimée en K ;

Vol_{ivc} , le volume de la chambre de combustion à la fermeture des soupapes d'admission calculé en fonction de l'angle vilebrequin, la course, l'alésage et le volume mort du cylindre, exprimé en m³ ;

$Vol_{(angle)}$, le volume de la chambre de combustion, pour chaque position angulaire du cylindre, calculé en fonction de l'angle vilebrequin, la course, l'alésage et le volume mort du cylindre, exprimé en m³ ;

$P_{cyl_{(ivc)}}$, la pression du cylindre à la fermeture des soupapes d'admission, mesurée par un capteur cylindre, exprimée en bar ; et

$P_{cyl_{(angle)}}$, la pression du cylindre, pour chaque position angulaire du cylindre, mesurée par un capteur cylindre, exprimée en bar.

[0063] Ainsi, la température dans le cylindre $T_{cyl(angle)}$ pour chaque position angulaire du moteur, pour laquelle les soupapes d'admission et d'échappement sont fermées, est calculable d'après l'équation des gaz parfaits ($P.V=n.R.T$),

où $\frac{P.V}{T}$ est une constante entre un point considéré et le point de fermeture des soupapes d'admission (ivc).

[0064] La température à la fermeture des soupapes d'admission T_{ivc} est calculée selon l'équation ci-dessous en assimilant cette phase à une polytropique :

$$T_{ivc} = T_{ivo} \cdot \left(\frac{Vol_{ivo}}{Vol_{ivc}} \right)^{\gamma_{ivc}} \quad \text{Eq.2}$$

Avec :

$$T_{ivo} = \frac{T_{air} \cdot Q_{air} + T_{EGR} \cdot Q_{EGR}}{Q_{air} + Q_{EGR}} \quad \text{Eq.3}$$

Avec :

T_{ivo} , la température à l'ouverture des soupapes d'admission « intake valve opening temperature » en termes anglo-saxons, calculée selon l'équation Eq.3 ci-dessus en fonction de la température T_{air} de la température de recirculation des gaz d'échappement T_{EGR} , et des débits d'air frais Q_{air} et de gaz recirculés Q_{EGR} , mesurés par capteurs ; en variante, la température à l'ouverture des soupapes d'admission T_{ivo} peut être mesurée par un capteur, exprimée en K ;

Vol_x , le volume de la chambre de combustion au moment X (ivo (ouverture des soupapes d'admission), ivc (fermeture des soupapes d'admission), evo (ouverture des soupapes d'échappement) et evc (fermeture des soupapes d'échappement), exprimé en m^3 ; et

γ_{ivc} , un coefficient polytropique de la compression dépendant de la composition des gaz admis (taux de recirculation des gaz d'échappement EGR).

[0065] Lors de l'étape 22, on calcule une estimation de la température moyenne des gaz T_{gaz} dans le cylindre à laquelle est soumis le crayon de la bougie au cours d'un cycle moteur.

[0066] Considérant l'inertie thermique du crayon de bougie, de l'ordre du 1/10^{ème} de secondes, nettement supérieur au temps caractéristique d'évolution de la température (ou pression) cylindre, de l'ordre du millième de secondes, la température moyenne des gaz $T_{gaz(cycle)}$ sur un cycle de combustion est calculée par le module 14 selon l'équation suivante :

$$T_{gaz(cycle_n)} = \left[\frac{\alpha_{ivo} \rightarrow \alpha_{ivo}}{720^\circ} \cdot \frac{T_{ivo} + T_{ivc}}{2} \right] + \left[\frac{\alpha_{ivc} \rightarrow evo}{720^\circ} \cdot moy\{T_{cyl(angle)}\}_{\alpha_{ivc} \rightarrow \alpha_{evo}} \right] + \left[\frac{\alpha_{evo} \rightarrow \alpha_{evc}}{720^\circ} \cdot \frac{T_{evo} + T_{evc}}{2} \right]$$

Eq.4

Avec :

$\alpha_{ivo} \rightarrow \alpha_{ivo}$, la durée d'ouverture angulaire des soupapes admission α_{admin} , exprimée en $[\text{°crk}]$;

$\alpha_{ivc} \rightarrow evo$, la durée angulaire toutes soupapes fermées, exprimée en $[\text{°crk}]$;

$\alpha_{evo} \rightarrow \alpha_{evc}$, la durée d'ouverture angulaire des soupapes d'échappement α_{exh} , exprimée en $[\text{°crk}]$;

$moy\{T_{cyl(angle)}\}_{\alpha_{ivc} \rightarrow \alpha_{evo}}$, la température moyenne dans le cylindre pendant les phases d'admission et de détente assimilée à la moyenne des températures respectivement $[T_{ivo}; T_{ivc}]$ et $[T_{evo}; T_{evc}]$, exprimée en K ; et

T_{evc} , la température à la fermeture des soupapes d'échappement « exhaust valve closing temperature » en termes anglo-saxons, calculées selon l'équation Eq.5 ci-dessous, exprimée en K.

[0067] La température à la fermeture des soupapes d'échappement T_{evc} est calculée selon l'équation ci-dessous en assimilant cette phase à une polytropique :

$$T_{evc} = T_{evo} \cdot \left(\frac{Vol_{evo}}{Vol_{evc}} \right)^{\gamma_{ec}} \quad \text{Eq.5}$$

5 Avec :

γ_{ec} , un coefficient polytropique de la détente, dépendant la composition des gaz d'échappement (richesse) ;
et

10 T_{evo} , la température à l'ouverture des soupapes d'échappement, exprimée en K, avec $T_{evo} = T_{cyl(angle)}$.

[0068] En incorporant les équations Eq.2 et Eq.3 dans l'équation Eq.4, la température moyenne des gaz $T_{gaz(cycle)}$ sur un cycle de combustion s'écrit selon les équations suivantes :

$$15 \quad T_{gaz(cycle)} = \left[\alpha_{ad \min} \cdot \frac{T_{ivo} + T_{ivc}}{2} \right] + \left[(720 - (\alpha_{ad \min} + \alpha_{exh})) \cdot moy\{T_{cyl(angle)}\}_{\alpha_{ivc} \rightarrow \alpha_{evo}} \right] + \left[\alpha_{exh} \cdot \frac{T_{evo} + T_{evc}}{2} \right]$$

Eq.6

20

$$25 \quad T_{gaz(cycle)} = \left[\alpha_{ad \min} T_{ivo} \cdot \frac{1 + \left(\frac{Vol_{ivo}}{Vol_{ivc}} \right)^{\gamma_{ivc}}}{2} \right] + \left[\frac{1}{\alpha_{ivc \rightarrow evo}} \cdot \int_{\alpha_{ivc}}^{\alpha_{evo}} T_{cyl} d\alpha \right] + \left[\alpha_{exh} \cdot T_{cyl(evo)} \cdot \frac{1 + \left(\frac{Vol_{evo}}{Vol_{evc}} \right)^{\gamma_{evc}}}{2} \right]$$

Eq.7

30 [0069] Lors de l'étape 23, on calcule une estimation de la température du crayon de la bougie $T(t)$ en fonction de la température dans le cylindre $T_{cyl(angle)}$ pour chaque position angulaire du moteur calculée à l'équation Eq.1 et de la température moyenne des gaz $T_{gaz(cycle)}$ sur un cycle de combustion calculée à l'équation Eq.7.

[0070] L'estimation de la température du crayon de la bougie $T_{(t)}$ s'écrit selon l'équation suivante :

$$35 \quad T_{(t)} = T_{(t-1)} + \frac{1}{\tau_{chauffe}} \cdot \left(\frac{U_{(t)}}{U_{ref}} \right)^2 \cdot \left(\frac{1}{a} - T_{(t-1)} \right) - \frac{1}{\tau_{refr}} \cdot (1 + K \cdot T_{(t-1)}) \cdot (T_{(t-1)} - T_{gaz(cycle)}) + k \cdot (T_{(t-1)} - T_{eau})$$

Eq.8

40 Avec :

$\tau_{chauffe}$, le temps caractéristique de chauffe du crayon de la bougie, exprimé en s ;

$\tau_{refroidissement}$, le temps caractéristique de refroidissement du crayon de la bougie, exprimé en s, dépendant du débit d'air aspiré par le moteur, exprimé en kg/s ;

45 a , un coefficient d'évolution de la résistance électrique du crayon de la bougie avec sa température ;

K , un coefficient d'évolution des facteurs thermiques avec la température des gaz ;

k , un facteur d'échanges conductifs via la culasse égal à $\lambda \cdot s$, avec λ , la conductivité thermique exprimée en $W/(m^2 \cdot K)$ et s , la surface d'échange entre la bougie et la culasse, exprimée en m^2 ;

U_{ref} , la tension de référence, exprimée en V ; et

50 T_{eau} , la température de l'eau, exprimée en K.

[0071] Ainsi, en mesurant la pression cylindre P_{cyl} , pour chaque position vilebrequin, par exemple tous un degré vilebrequin en connaissant la tension de pilotage de la bougie, en initialisant la température de la bougie $T(t)$ au premier pas de calcul moteur froid, à la température de la culasse, c'est-à-dire à la température du liquide de refroidissement, ou à la température précédente en cas de démarrage à chaud, il est possible d'estimer une valeur de température moyenne dans le cylindre sur un cycle de combustion $T_{gaz(cycle)}$. Par pas de calculs itératifs, on peut ensuite estimer la température du crayon de la bougie de préchauffage $T_{(t)}$, de manière précise, en n'utilisant que les paramètres physiques et géométriques du moteur.

[0072] On s'affranchit ainsi de l'imprécision de la caractérisation de la température des gaz T_{gaz} par tables ou cartographies dans l'équation Eq.8 qui est dans l'état de la technique simplifiée.

[0073] Grâce à l'invention, le calcul de l'estimation de la température du crayon de la bougie de préchauffage est robuste au point de fonctionnement moteur (régime et couple, ou régime et quantité de carburant injecté), à la température ou la pression ambiante, au débit admis par le moteur et aux réglages de combustion.

Revendications

1. Procédé de contrôle des bougies de préchauffage implantées dans une chambre de combustion d'un moteur à combustion interne, notamment de type Diesel, comprenant au moins un capteur de pression de cylindre, dans lequel on contrôle lesdites bougies en fonction d'une estimation d'une température ($T_{(t)}$) du crayon des bougies de préchauffage dans lequel :

- on mesure une pression de cylindre (P_{cyl}) pour chaque position de vilebrequin,
- on calcule une valeur de température dans le cylindre ($T_{\text{cyl}(\text{angle})}$) pour chaque position angulaire du moteur en fonction d'une valeur d'une température (T_{ivc}) à la fermeture des soupapes d'admission, d'une valeur de volume (Vol_{ivc}) de la chambre de combustion à la fermeture des soupapes d'admission calculée en fonction d'un angle vilebrequin, d'une course, d'un alésage et d'un volume mort du cylindre, d'une valeur de volume ($\text{Vol}_{(\text{angle})}$) de la chambre de combustion pour chaque position angulaire du cylindre, d'une valeur de pression du cylindre ($P_{\text{cyl}(\text{ivc})}$) à la fermeture des soupapes d'admission mesurée par le capteur de pression de cylindre et d'une valeur de pression du cylindre ($P_{\text{cyl}(\text{angle})}$) pour chaque position angulaire du cylindre, mesurée par le capteur de pression de cylindre,
- on estime une valeur de température moyenne dans le cylindre sur un cycle de combustion ($T_{\text{gaz}(\text{cycle})}$) en fonction de la valeur de température dans le cylindre ($T_{\text{cyl}(\text{angle})}$) pour chaque position angulaire du moteur, et
- on calcule l'estimation de la température ($T_{(t)}$) du crayon d'une bougie par pas de calculs itératifs en fonction de la valeur de température dans le cylindre ($T_{\text{cyl}(\text{angle})}$) pour chaque position angulaire du moteur, de la valeur de température moyenne dans le cylindre sur 30 un cycle de combustion ($T_{\text{gaz}(\text{cycle})}$) et d'une valeur de tension de pilotage de la bougie, en initialisant la température du crayon de la bougie ($T_{(t)}$) au premier pas de calcul moteur froid, à une valeur d'une température de la culasse, ou à une valeur précédente de la température estimée du crayon de la bougie en cas de démarrage à chaud.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel la température à la fermeture des soupapes d'admission (T_{ivc}) est calculée en assimilant cette phase à une polytropique, en fonction d'une valeur de température (T_{ivo}) à l'ouverture des soupapes d'admission calculée en fonction d'une température T_{air} (T_{air}), d'une température de recirculation des gaz d'échappement (T_{EGR}) et des débits d'air frais (Q_{air}) et de gaz recirculés (Q_{EGR}) mesurés par capteurs, d'un volume (Vol_X) de la chambre de combustion à un moment donné (X) et d'un coefficient polytropique (γ_{ivc}) de la compression dépendant de la composition des gaz admis.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel l'estimation de la température moyenne des gaz (T_{gaz}) est calculée en fonction d'une durée d'ouverture angulaire des soupapes admission ($\alpha_{\text{ivo}} \rightarrow \alpha_{\text{ivo}}$), d'une durée angulaire toutes soupapes fermées ($\alpha_{\text{ivc} \rightarrow \text{evo}}$), d'une durée d'ouverture angulaire des soupapes d'échappement ($\alpha_{\text{evo}} \rightarrow \alpha_{\text{evc}}$), d'une température moyenne ($\text{moy}\{T_{\text{cyl}(\text{angle})}\}_{\alpha_{\text{ivc}} \rightarrow \alpha_{\text{evo}}}$) dans le cylindre pendant les phases d'admission et de détente assimilée à la moyenne des températures à l'ouverture des soupapes d'admission, à la fermeture des soupapes d'admission, à l'ouverture des soupapes d'échappement et à la fermeture des soupapes d'échappement ($[T_{\text{ivo}} ; T_{\text{ivc}}] ; [T_{\text{evo}} ; T_{\text{evc}}]$) , et de la température (T_{evc}) à la fermeture des soupapes d'échappement.

4. Procédé selon la revendication 3, dans lequel la température à la fermeture des soupapes d'échappement (T_{evc}) est calculée en assimilant cette phase à une polytropique en fonction d'un coefficient (γ_{evc}) polytropique de la détente, dépendant d'une composition des gaz d'échappement (richesse), et de la température (T_{evo}) à l'ouverture des soupapes d'échappement.

5. Unité de commande d'un moteur à combustion interne, notamment de type Diesel, comprenant une chambre de combustion, des bougies de préchauffage implantées dans ladite chambre et au moins un capteur de pression de cylindre configuré pour mesurer une pression de cylindre (P_{cyl}) pour chaque position de vilebrequin, ladite unité comprenant un système (10) d'estimation de température ($T_{(t)}$) du crayon des bougies de préchauffage et un système de contrôle des bougies de préchauffage en fonction de ladite estimation de température du crayon des bougies de préchauffage, le système (10) d'estimation comprenant :

- un module (12) de calcul d'une valeur de température dans le cylindre ($T_{cyl(angle)}$) pour chaque position angulaire du moteur en fonction d'une valeur d'une température (T_{ivc}) à la fermeture des soupapes d'admission, d'une valeur de volume (Vol_{ivc}) de la chambre de combustion à la fermeture des soupapes d'admission calculée en fonction d'un angle vilebrequin, d'une course, d'un alésage et d'un volume mort du cylindre, d'une valeur de volume ($Vol_{(angle)}$) de la chambre de combustion pour chaque position angulaire du cylindre, d'une valeur de pression du cylindre ($P_{cyl(ivc)}$) à la fermeture des soupapes d'admission mesurée par le capteur de pression de cylindre et d'une valeur de pression du cylindre ($P_{cyl(angle)}$) pour chaque position angulaire du cylindre, mesurée par le capteur de pression de cylindre,

- un module (14) d'estimation d'une valeur de température moyenne dans le cylindre sur un cycle de combustion ($T_{gaz(cycle)}$) en fonction de la valeur de température dans le cylindre ($T_{cyl(angle)}$) pour chaque position angulaire du moteur, et

- un module (16) d'estimation de la température ($T_{(t)}$) du crayon d'une bougie par pas de calculs itératifs en fonction de la valeur de température dans le cylindre ($T_{cyl(angle)}$) pour chaque position angulaire du moteur, de la valeur de température moyenne dans le cylindre sur un cycle de combustion ($T_{gaz(cycle)}$) et d'une valeur de tension de pilotage de la bougie, en initialisant la température du crayon de la bougie ($T_{(t)}$) au premier pas de calcul moteur froid, à une valeur d'une température de la culasse, ou à une valeur précédente de la température estimée du crayon de la bougie en cas de démarrage à chaud.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Steuerung der Glühkerzen, die in einen Brennraum einer Brennkraftmaschine, insbesondere eines Dieselmotors, der wenigstens einen Zylinderdrucksensor umfasst, eingesetzt sind, wobei die Kerzen in Abhängigkeit von einer Schätzung einer Temperatur ($T_{(t)}$) des Glühstiftes der Glühkerzen gesteuert werden, wobei:

- ein Zylinderdruck (P_{cyl}) für jede Kurbelwellenposition gemessen wird,

- ein Temperaturwert im Zylinder ($T_{cyl(angle)}$) für jede Winkelposition des Motors berechnet wird, in Abhängigkeit von einem Wert einer Temperatur (T_{ivc}) beim Schließen der Einlassventile, von einem Wert des Volumens (Vol_{ivc}) des Brennraumes beim Schließen der Einlassventile, der in Abhängigkeit von einem Kurbelwellenwinkel, von einem Hub, von einer Bohrung und von einem Totvolumen des Zylinders berechnet wird, von einem Wert des Volumens ($Vol_{(angle)}$) des Brennraumes für jede Winkelposition des Zylinders, von einem Wert des Druckes des Zylinders ($P_{cyl(ivc)}$) beim Schließen der Einlassventile, der von dem Zylinderdrucksensor gemessen wird, und von einem Wert des Druckes des Zylinders ($P_{cyl(angle)}$) für jede Winkelposition des Zylinders, der von dem Zylinderdrucksensor gemessen wird,

- ein mittlerer Temperaturwert im Zylinder über einen Verbrennungszyklus ($T_{gaz(cycle)}$) in Abhängigkeit vom Temperaturwert im Zylinder ($T_{cyl(angle)}$) für jede Winkelposition des Motors geschätzt wird und

- die Schätzung der Temperatur ($T_{(t)}$) des Glühstiftes einer Kerze durch iterative Berechnungsschritte in Abhängigkeit vom Temperaturwert im Zylinder ($T_{cyl(angle)}$) für jede Winkelposition des Motors, vom mittleren Temperaturwert im Zylinder über einen Verbrennungszyklus ($T_{gaz(cycle)}$) und von einem Wert einer Steuerspannung der Kerze berechnet wird, indem die Temperatur des Glühstiftes der Kerze ($T_{(t)}$) im ersten Berechnungsschritt bei kaltem Motor mit einem Wert einer Temperatur des Zylinderkopfes oder mit einem vorhergehenden Wert der geschätzten Temperatur des Glühstiftes der Kerze im Falle eines Warmstarts initialisiert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Temperatur beim Schließen der Einlassventile (T_{ivc}) berechnet wird, indem diese Phase mit einer Polytrope gleichgesetzt wird, in Abhängigkeit von einem Temperaturwert (T_{ivo}) beim Öffnen der Einlassventile, der in Abhängigkeit von einer Lufttemperatur T_{air} (T_{air}), von einer Rückführungstemperatur der Abgase (T_{EGR}) und von den Durchflussmengen von Frischluft (Q_{air}) und von rückgeführten Abgasen (Q_{EGR}), die von Sensoren gemessen werden, berechnet wird, von einem Volumen (Vol_x) des Brennraumes zu einem gegebenen Zeitpunkt (X) und von einem Polytropenkoeffizient (γ_{ivc}) der Verdichtung, der von der Zusammensetzung der Einlassgase abhängt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Schätzung der mittleren Temperatur der Gase (T_{gaz}) berechnet wird in Abhängigkeit von einer Winkeldauer der Öffnung der Einlassventile ($\alpha_{ivo} \rightarrow \alpha_{ivo}$), von einer Winkeldauer, während der alle Ventile geschlossen sind ($\alpha_{ivc} \rightarrow \alpha_{evo}$), von einer Winkeldauer der Öffnung der Auslassventile ($\alpha_{evo} \rightarrow \alpha_{evc}$), von einer mittleren Temperatur ($moy\{T_{cyl(angle)}\}_{\alpha_{ivc} \rightarrow \alpha_{evo}}$) im Zylinder während der Einlass- und der Entspannungsphase, die mit dem Mittelwert der Temperaturen beim Öffnen der Einlassventile, beim Schließen der Einlassventile, beim Öffnen der Auslassventile und beim Schließen der Auslassventile ($[T_{ivo}; T_{ivc}] ; [T_{evo}; T_{evc}]$) gleichgesetzt wird, und von der Temperatur (T_{evc}) beim Schließen der Auslassventile.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei die Temperatur beim Schließen der Auslassventile (T_{evc}) berechnet wird, indem diese Phase mit einer Polytrope in Abhängigkeit von einem Polytropenkoeffizient (γ_{evc}) der Entspannung gleichgesetzt wird, der von einer Zusammensetzung der Auslassgase (Anreicherung) und von der Temperatur (T_{evo}) beim Öffnen der Auslassventile abhängt.

5. Steuereinheit einer Brennkraftmaschine, insbesondere eines Dieselmotors, der einen Brennraum, in den Brennraum eingesetzte Glühkerzen und wenigstens einen Zylinderdrucksensor, der dafür ausgelegt ist, einen Zylinderdruck (P_{cyl}) für jede Kurbelwellenposition zu messen, umfasst, wobei die Einheit ein System (10) zur Schätzung einer Temperatur (T_{t}) des Glühstiftes der Glühkerzen und ein System zur Steuerung der Glühkerzen in Abhängigkeit von der Schätzung der Temperatur des Glühstiftes der Glühkerzen umfasst, wobei das System (10) zur Schätzung umfasst:

- ein Modul (12) zur Berechnung eines Temperaturwertes im Zylinder ($T_{\text{cyl}(\text{angle})}$) für jede Winkelposition des Motors in Abhängigkeit von einem Wert einer Temperatur (T_{ivc}) beim Schließen der Einlassventile, von einem Wert des Volumens (Vol_{ivc}) des Brennraumes beim Schließen der Einlassventile, der in Abhängigkeit von einem Kurbelwellenwinkel, von einem Hub, von einer Bohrung und von einem Totvolumen des Zylinders berechnet wird, von einem Wert des Volumens ($\text{Vol}_{(\text{angle})}$) des Brennraumes für jede Winkelposition des Zylinders, von einem Wert des Druckes des Zylinders ($P_{\text{cyl}(\text{ivc})}$) beim Schließen der Einlassventile, der von dem Zylinderdrucksensor gemessen wird, und von einem Wert des Druckes des Zylinders ($P_{\text{cyl}(\text{angle})}$) für jede Winkelposition des Zylinders, der von dem Zylinderdrucksensor gemessen wird,

- ein Modul (14) zur Schätzung eines mittleren Temperaturwert im Zylinder über einen Verbrennungszyklus ($T_{\text{gaz}(\text{cycle})}$) in Abhängigkeit vom Temperaturwert im Zylinder ($T_{\text{cyl}(\text{angle})}$) für jede Winkelposition des Motors, und
- ein Modul (16) zur Schätzung der Temperatur (T_{t}) des Glühstiftes einer Kerze durch iterative Berechnungsschritte in Abhängigkeit vom Temperaturwert im Zylinder ($T_{\text{cyl}(\text{angle})}$) für jede Winkelposition des Motors, vom mittleren Temperaturwert im Zylinder über einen Verbrennungszyklus ($T_{\text{gaz}(\text{cycle})}$) und von einem Wert einer Steuerspannung der Kerze, indem die Temperatur des Glühstiftes der Kerze (T_{t}) im ersten Berechnungsschritt bei kaltem Motor mit einem Wert einer Temperatur des Zylinderkopfes oder mit einem vorhergehenden Wert der geschätzten Temperatur des Glühstiftes der Kerze im Falle eines Warmstarts initialisiert wird.

Claims

1. Method for controlling glow plugs installed in a combustion chamber of an internal combustion engine, notably of diesel type, comprising at least one cylinder pressure sensor, in which said plugs are controlled as a function of an estimation of a temperature (T_{t}) of the rod of the glow plugs in which:

- a cylinder pressure (P_{cyl}) is measured for each crankshaft position,
- a temperature value in the cylinder ($T_{\text{cyl}(\text{angle})}$) is calculated for each angular position of the engine as a function of a value of a temperature (T_{ivc}) on closure of the intake valves, of a volume value (Vol_{ivc}) of the combustion chamber on closure of the intake valves calculated as a function of a crankshaft angle, of a stroke, of a bore and of a dead volume of the cylinder, of a volume value ($\text{Vol}_{(\text{angle})}$) of the combustion chamber for each angular position of the cylinder, of a cylinder pressure value ($P_{\text{cyl}(\text{ivc})}$) on closure of the intake valves measured by the cylinder pressure sensor and of a cylinder pressure value ($P_{\text{cyl}(\text{angle})}$) for each angular position of the cylinder, measured by the cylinder pressure sensor,
- an average temperature value in the cylinder over a combustion cycle ($T_{\text{gaz}(\text{cycle})}$) is estimated as a function of the temperature value in the cylinder ($T_{\text{cyl}(\text{angle})}$) for each angular position of the engine, and
- the estimation of the temperature (T_{t}) of the rod of a plug is calculated by iterative calculation steps as a function of the temperature value in the cylinder ($T_{\text{cyl}(\text{angle})}$) for each angular position of the engine, of the average temperature value in the cylinder over a combustion cycle ($T_{\text{gaz}(\text{cycle})}$) and of a plug control voltage value, by initializing the temperature of the rod of the plug (T_{t}) on the first calculation step with the engine cold, at a value of a temperature of the cylinder head, or at a preceding value of the estimated temperature of the rod of the plug in the case of a hot start.

2. Method according to Claim 1, wherein the temperature on closure of the intake valves (T_{ivc}) is calculated by likening this phase to a polytropic, as a function of a temperature value (T_{ivo}) upon opening of the intake valves calculated as a function of a temperature T_{air} (T_{air}), of an exhaust gas recirculation temperature (T_{EGR}) and of the cool air (Q_{air}) and recirculated gas (Q_{EGR}) flow rates measured by sensors, of a volume (Vol_x) of the combustion chamber at a given moment (X) and of a polytropic coefficient (γ_{ivc}) of the compression dependent on the composition of the

gases taken in.

3. Method according to Claim 1 or 2, wherein the estimation of the average gas temperature (T_{gaz}) is calculated as a function of a duration of angular opening of the intake valves ($\alpha_{\text{ivo}} \rightarrow \alpha_{\text{ivo}}$), of an angular duration with all valves closed ($\alpha_{\text{ivc}} \rightarrow \alpha_{\text{evo}}$), of a duration of angular opening of the exhaust valves ($\alpha_{\text{evo}} \rightarrow \alpha_{\text{evc}}$), of an average temperature ($\text{moy}\{T_{\text{cyl}(\text{angle})} \mid \alpha_{\text{ivc}} \rightarrow \alpha_{\text{evo}}\}$) in the cylinder during the intake and expansion phases likened to the average of the temperatures upon opening of the intake valves, upon closing of the intake valves, upon opening of the exhaust valves and upon closing of the exhaust valves ($[T_{\text{ivo}}; T_{\text{ivc}}]$; $[T_{\text{evo}}; T_{\text{evc}}]$) and of the temperature (T_{evc}) upon closing of the exhaust valves.
4. Method according to Claim 3, wherein the temperature on closure of the exhaust valves (T_{evc}) is calculated by likening this phase to a polytropic as a function of a polytropic coefficient (γ_{evc}) of the expansion, dependent on a composition of the exhaust gases (richness), and of the temperature (T_{evo}) upon opening of the exhaust valves.
5. Control unit of an internal combustion engine, notably of diesel type, comprising a combustion chamber, glow plugs installed in said chamber and at least one cylinder pressure sensor configured to measure a cylinder pressure (P_{cyl}) for each crankshaft position, said unit comprising a system (10) for estimating the temperature ($T_{\text{(t)}}$) of the rod of the glow plugs and a system for controlling the glow plugs as a function of said estimation of temperature of the rod of the glow plugs, the estimation system (10) comprising:
 - a module (12) for calculating a temperature value in the cylinder ($T_{\text{cyl}(\text{angle})}$) for each angular position of the engine as a function of a value of a temperature (T_{ivc}) upon closure of the intake valves, of a volume value (Vol_{ivc}) of the combustion chamber upon closure of the intake valves calculated as a function of a crankshaft angle, of a stroke, of a bore and of a dead volume of the cylinder, of a volume value ($\text{Vol}_{(\text{angle})}$) of the combustion chamber for each angular position of the cylinder, of a cylinder pressure value ($P_{\text{cyl}(\text{ivc})}$) upon closing of the intake valves measured by the cylinder pressure sensor and of a cylinder pressure value ($P_{\text{cyl}(\text{angle})}$) for each angular position of the cylinder, measured by the cylinder pressure sensor,
 - a module (14) for estimating an average temperature value in the cylinder over a combustion cycle ($T_{\text{gaz}(\text{cycle})}$) as a function of the temperature value in the cylinder ($T_{\text{cyl}(\text{angle})}$) for each angular position of the engine, and
 - a module (16) for estimating the temperature ($T_{\text{(t)}}$) of the rod of a plug by iterative calculation steps as a function of the temperature value in the cylinder ($T_{\text{cyl}(\text{angle})}$) for each angular position of the engine, of the average temperature value in the cylinder over a combustion cycle ($T_{\text{gaz}(\text{cycle})}$) and of a plug control voltage value, by initializing the temperature of the rod of the plug ($T_{\text{(t)}}$) on the first calculation step with the engine cold, to a value of a temperature of the cylinder head, or to a preceding value of the estimated temperature of the rod of the plug in case of a hot start.

FIG.1

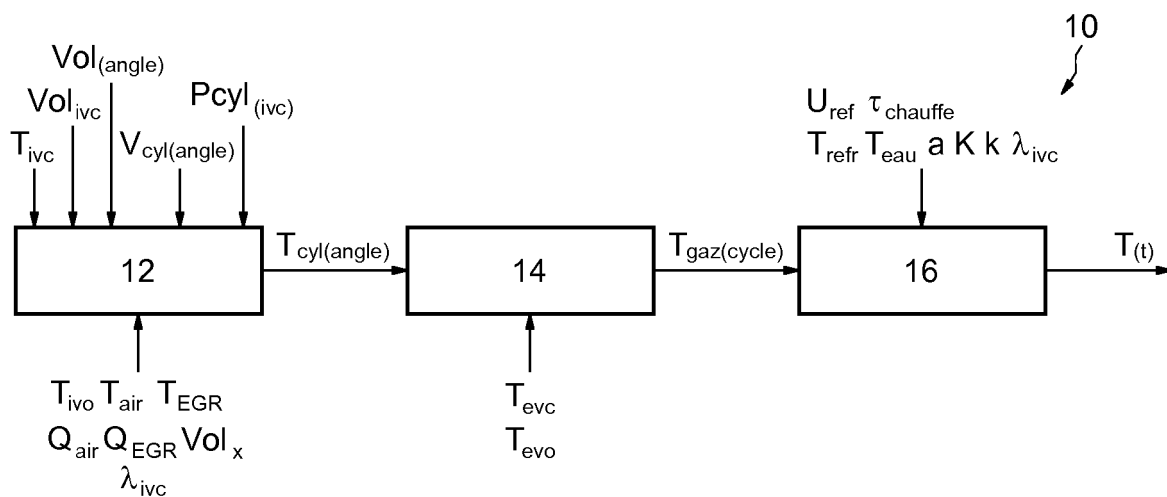
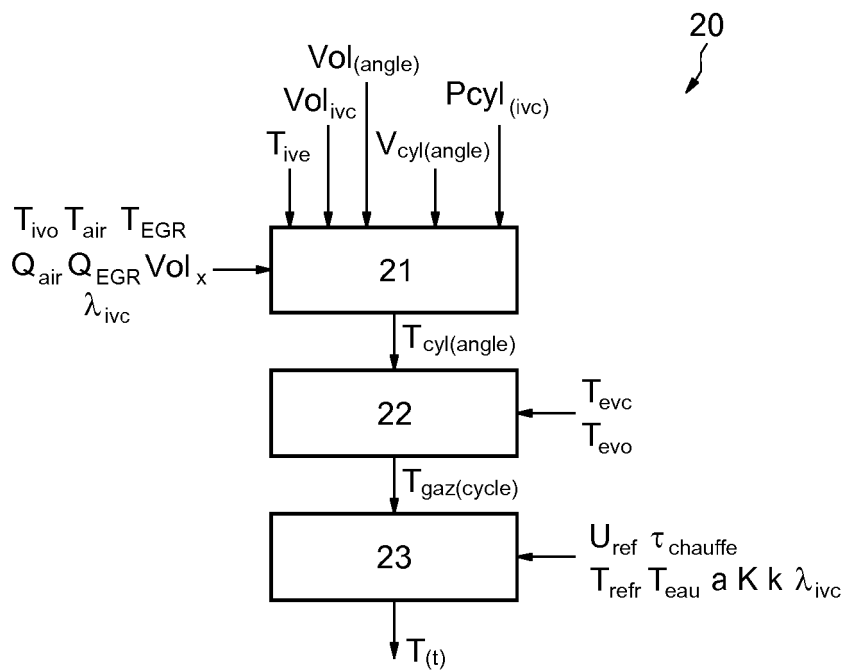


FIG.2



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

- US 20110220073 A1 [0005]
- FR 2891868 B1 [0006]