

12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22) Date de dépôt : 12.08.03.

30) Priorité : 14.08.02 DE 10237328.

43) Date de mise à la disposition du public de la demande : 20.02.04 Bulletin 04/08.

56) Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Ce dernier n'a pas été établi à la date de publication de la demande.*

60) Références à d'autres documents nationaux apparentés :

71) Demandeur(s) : SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT — DE.

72) Inventeur(s) : BAUER ERWIN, ELLMER DIETMAR et LAUER THORSTEN.

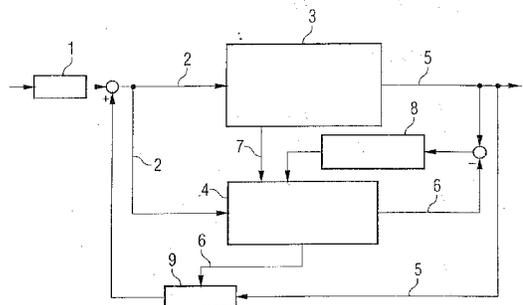
73) Titulaire(s) :

74) Mandataire(s) : CABINET JP COLAS.

54) PROCÉDE DE REGULATION DU PROCESSUS DE COMBUSTION D'UN MOTEUR A COMBUSTION INTERNE A AUTO-ALLUMAGE COMMANDE.

57) Procédé de régulation du processus de combustion d'un moteur à combustion interne à auto-allumage commandé

Selon ce procédé, pendant le fonctionnement en auto-allumage commandé, un processus de combustion modélisé (4) devant être décrit au moyen de grandeurs d'état internes est formé à l'aide de grandeurs de réglage (2) influant sur le processus de combustion et des grandeurs de sortie (6) du processus de combustion modélisé (4) sont utilisées pour la régulation des grandeurs de réglage (2) influant sur le processus.



L'invention concerne un procédé de régulation du processus de combustion d'un moteur à combustion interne qu'on peut faire fonctionner, au moins dans des situations déterminées de fonctionnement, avec un auto-allumage commandé (mode HCCI).

5           Lorsqu'un moteur à combustion interne fonctionne dans le mode HCCI (pour "homogen charge compression ignition" ou allumage par compression en charge homogène), que l'on appelle parfois également CAI (pour "controlled auto ignition" ou auto-allumage commandé), ATAC (pour "active thermo atmosphere combustion" ou combustion thermo-atmosphère active) ou TS (Toyota Soken), l'allumage du mélange  
10 air/carburant ne s'effectue pas au moyen d'un allumage extérieur, mais du fait d'un auto-allumage commandé. Le processus de combustion HCCI peut par exemple être provoqué au moyen d'une proportion élevée de gaz résiduel chauds et/ou au moyen d'un taux de compression élevé et/ou une température d'air d'entrée élevée. Une condition pour l'auto-allumage est un niveau d'énergie suffisamment élevé dans le  
15 cylindre. Pour des moteurs à combustion interne, que l'on peut faire fonctionner en mode HCCI, pour lesquels il s'agit aussi bien de moteurs à allumage commandé que de moteurs Diesel, voir par exemple US 6 260 520, US 6 390 054, DE 199 27 479 et WO 98/10179.

          En comparaison d'une combustion classique à allumage extérieur, la  
20 combustion HCCI a l'avantage d'une consommation réduite de carburant et de faibles émissions de substances nocives. En tout état de cause, la régulation du processus de combustion et notamment la commande de l'auto-allumage du mélange ne sont pas simples. C'est ainsi qu'est nécessaire une régulation des grandeurs de réglage influant sur le processus de combustion, par exemple pour l'injection de carburant  
25 (débit d'injection ou instant et durée d'injection), recyclage de gaz d'échappement intérieur ou extérieur, soupapes d'admission et d'échappement (commande variable de soupapes), contre-pression de gaz d'échappement (papillon de gaz d'échappement), éventuellement une assistance à l'allumage, température d'entrée d'air, qualité de carburant et taux de compression (dans des moteurs à combustion  
30 interne à taux de compression variable). Afin toutefois de pouvoir réaliser une régulation de ces grandeurs influant sur le processus au sens d'un processus de combustion optimale en ce qui concerne par exemple le rendement, la protection du moteur, la régularité de marche, l'émission de bruit, les émissions de substances nocives et la consommation de carburant, une instrumentation est nécessaire pour  
35 juger de la qualité du processus de combustion.

          Dans des solutions existant jusqu'à présent, on s'est en général limité à ne juger que des grandeurs de sortie individuelles mesurables du processus de

combustion. Une grandeur permettant particulièrement de tirer une conclusion est la pression de chambre de combustion. Celle-ci peut par exemple être détectée au moyen de quartz indicateurs, qui sont montés directement dans la tête de cylindre, ou au moyen de capteurs de pression piézoélectriques qui sont intégrés dans la garniture d'étanchéité de tête de cylindre. Une autre possibilité est une mesure de flux ionique à l'aide de laquelle il est possible de juger qualitativement du processus de combustion. Indépendamment du fait que ces solutions sont complexes et onéreuses, elles ne permettent que d'une manière limitée un jugement exhaustif et précis de la qualité du processus de combustion.

10 La présente invention a pour but de fournir un procédé de régulation du processus de combustion d'un moteur à combustion interne dans le mode HCCI qui soit mis en oeuvre d'une manière efficace et néanmoins économique grâce à un jugement exhaustif sur la qualité du processus de combustion.

15 A cet effet, l'invention a pour objet un procédé, du type générique défini en introduction, caractérisé en ce que, pendant le fonctionnement en auto-allumage commandé, un processus de combustion modélisé devant être décrit au moyen de grandeurs d'état internes est formé à l'aide de grandeurs de réglage influant sur le processus de combustion et en ce que des grandeurs de sortie du processus de combustion modélisé sont utilisées pour la régulation des grandeurs de réglage influant sur le processus.

20 Le procédé conforme à l'invention peut aussi présenter une ou plusieurs des particularités suivantes :

- le processus de combustion modélisé est corrigé au moyen d'une comparaison entre des grandeurs de sortie du processus de combustion réel et du processus de combustion modélisé,

- le processus de combustion modélisé est équilibré et calibré au moyen de grandeurs d'état internes mesurables,

30 - en tant que grandeurs d'état internes, au moins une des grandeurs suivantes est utilisée : variation de la combustion dans le temps, variation de la température dans le temps, variation de la pression dans le temps, pression de pointe, pression moyenne indexée, rendement, barycentre de combustion, fourniture d'énergie intérieure,

- le processus de combustion modélisé est formé à l'aide de cycles de Carnot en cycle pression/volume et cycle température/entropie,

35 - lors de la modélisation des cycles de Carnot, un modèle à deux zones est utilisé, dans lequel la charge dans le cylindre est divisée en une zone constituée d'un

mélange air/carburant non brûlé et une zone constituée d'un mélange air/carburant brûlé,

5 - en tant que grandeurs de réglage influant sur le processus, au moins certaines des grandeurs suivantes sont utilisées : débit, durée et instant de l'injection de carburant, taux de recyclage de gaz d'échappement extérieur et intérieur, contre-pression de gaz d'échappement, commande de soupape d'admission et d'échappement de type variable, assistance à l'allumage, température d'entrée d'air, qualité de carburant, taux de compression variable,

10 - en tant que grandeurs de sortie, au moins certaines des grandeurs suivantes sont utilisées : vitesse de rotation du vilebrequin, signal de détecteur de cliquetis, température de gaz d'échappement, rapport air/carburant ( $\lambda$ ), concentration des émissions de substances nocives ( $\text{NO}_x$ , HC), pression de chambre de combustion,

- le signal de détecteur de cliquetis est utilisé en tant que grandeur de sortie pilote,

15 - pour la régulation des grandeurs de réglage influant sur le processus, ce sont, outre les grandeurs de sortie du processus de combustion modélisé, également des grandeurs de sortie du processus de combustion réel qui sont utilisées,

20 - en tant que critère de régulation pour la régulation des grandeurs de réglage influant sur le processus, au moins certains des critères suivants sont utilisés : rendement du processus de combustion, protection du moteur à combustion interne, régularité de marche, émission de bruit, émissions de substances nocives, consommation de carburant,

25 - les grandeurs de sortie à la fois du processus de combustion réel et du processus de combustion modélisé sont envoyées à un régulateur, à l'aide des valeurs de consigne prescrites correspondant aux critères de régulation, assure une régulation des grandeurs de réglage influant sur le processus,

- une commande préalable est prévue pour les grandeurs de réglage influant sur le processus.

30 Ainsi, d'une manière avantageuse, le processus de combustion modélisé est formé de cycles de Carnot en cycle pression/volume et cycle température/entropie. La description du processus de combustion modélisé s'effectue au moyen de grandeurs d'état internes, telles que par exemple mentionnées plus haut.

35 Dans la mesure où les grandeurs d'état internes peuvent être détectées suivant des techniques de mesure, il est avantageux d'équilibrer et calibrer le processus de combustion modélisé au moyen de valeurs de mesure disponibles de ces grandeurs d'état. Ainsi, pas-à-pas, il se présente un modèle de plus en plus précis et de plus en plus fin. En outre, le processus de combustion modélisé devrait

être corrigé en permanence au moyen d'une comparaison telle que mentionnée plus haut.

En tant que grandeurs de sortie, on peut envisager les grandeurs mesurées habituelles dans des commandes de moteur modernes (gestion de moteur), telles par exemple que mentionnées plus haut ( $\lambda$  signifie coefficient  $\lambda$ ). Les grandeurs de sortie sont envoyées à un régulateur de la manière indiquée plus haut. Les grandeurs de réglage également indiquées plus haut peuvent être envisagées en tant que grandeurs influant sur le processus, en utilisant avantageusement une commande préalable indiquée plus haut.

La présente invention fournit un procédé rationnel (tenant compte de l'ensemble de la situation) permettant la régulation du processus de combustion dans le mode HCCI d'un moteur à combustion interne. Le procédé conforme à l'invention est utilisable aussi bien pour des moteurs à allumage commandé que pour des moteurs Diesel. Le fait que le processus de combustion tient compte de l'ensemble de la situation permet à l'invention d'assurer une régulation de processus qui peut être rendue optimale en ce qui concerne des critères de régulation tels que rendement du processus de combustion, protection du moteur à combustion interne, régularité de marche, émission de bruit, émissions de substances nocives et consommation de carburant.

Un autre avantage du procédé conforme à l'invention, dans lequel il est avantageusement tenu compte du signal de détecteur de cliquetis sur le plan du barycentre réside dans le fait que, pour détecter les grandeurs de sortie, il utilise des capteurs, tels que notamment le détecteur de cliquetis, qui sont de toute façon prévus dans des commandes modernes de moteur. Egalement, une grande partie de la fonctionnalité d'analyse des signaux correspondants, notamment du signal de détecteur de cliquetis peut rester inchangée, de sorte qu'il n'est pas nécessaire de développer à nouveau des nouveaux circuits et des algorithmes et modules de logiciel complexes.

La figure unique, qui représente un schéma de flux de signaux pour la régulation du processus de combustion d'un moteur à combustion interne dans le mode HCCI permet d'exposer plus en détail une forme de mise en oeuvre du procédé conforme à l'invention.

Le schéma de flux de signaux de la figure 1 représente la régulation du processus de combustion d'un moteur à combustion interne (non représenté) dans le mode HCCI. Le moteur à combustion interne est par exemple un moteur à allumage commandé à quatre cylindres. Comme déjà indiqué, le procédé conforme à l'invention

est également applicable à d'autres moteurs à combustion interne, par exemple à des moteurs Diesel.

Sur le schéma de flux de signaux, il est prévu en 1 une commande préalable pour les grandeurs de réglage 2 influant sur le processus de combustion. Les grandeurs influant sur le processus sont, en premier lieu, le débit et la commande dans le temps du carburant à injecter, le taux des gaz d'échappement recyclés d'une manière extérieure ou intérieure, la commande (variable) des soupapes d'admission et d'échappement, la contre-pression des gaz d'échappement, qui peut par exemple être commandée au moyen d'un papillon des gaz d'échappement, un allumage de secours du mélange air/carburant, prévu en fonction des conditions (assistance à l'allumage), au moyen d'un dispositif d'allumage, la température d'entrée de l'air admis, sur laquelle peut par exemple influencer un échangeur de chaleur, la qualité de carburant et le taux de compression (pour des moteurs à combustion interne à taux de compression variable). Exprimé en d'autres termes, il s'agit, pour les grandeurs de réglage, de signaux de réglage prévus pour les actionneurs des injecteurs de carburant, des soupapes d'admission et d'échappement, de la valve de recyclage de gaz d'échappement, etc..

Les grandeurs de réglage 2 servent ainsi à commander le processus de combustion réel 3, lequel est représenté symboliquement par un bloc sur le schéma de flux de signaux. Le processus de combustion réel 3 est caractérisé par ce qu'il est convenu d'appeler des grandeurs d'état internes. Il s'agit là notamment des grandeurs d'état suivantes : variation de la pression, en emplacement et dans le temps, dans le cylindre, pression de pointe de la combustion, répartition de température dans le cylindre, barycentre de combustion (barycentre de l'aire de la courbe de pression en fonction du temps ou de l'angle de vilebrequin, par exemple  $8^\circ$  après le point mort haut), vitesse de combustion, énergie intérieure introduite.

Les grandeurs d'état internes s'utilisent pour décrire un processus de combustion modélisé 4, c'est-à-dire un modèle du processus de combustion réel 3. Par ailleurs, pour calculer le processus de combustion modélisé 4, lequel est également symbolisé dans le schéma de flux de signaux par un bloc, on fait appel aux grandeurs de réglage 2 influant sur le processus.

La modélisation d'un processus de combustion est connue dans le principe. La base servant à cet effet est constituée par le calcul et la représentation des cycles de Carnot se déroulant dans le cylindre, dans le graphe P,V (graphe pression/volume) et dans le graphe T,S (graphe température/entropie). Des cycles de Carnot idéaux simples, tels que par exemple le cycle de Seiliger, ainsi que des processus de comparaison ouverts, tels que ce qu'il est convenu d'appeler "cycle de travail du

moteur parfait" sont connus. Toutefois, on connaît par ailleurs aujourd'hui également des modèles qui permettent de s'approcher encore davantage du processus de combustion réel.

On connaît par exemple ce qu'il est convenu d'appeler un modèle à deux zones qui permet de tirer des conclusions sur la pression moyenne indexée, la variation de combustion, de pression et de température, le barycentre de combustion, etc.. Dans le modèle à deux zones, on part du fait que la charge dans le cylindre est constituée pendant la combustion de deux zones homogènes en ce qui concerne la pression, la température et la composition, à savoir une première zone constituée d'un mélange non brûlé et une seconde zone constituée d'un mélange brûlé. Les deux zones homogènes sont séparées par un mince front de flammes infinitésimal et échangent entre elles des masses, mais n'échangent pas de chaleur. Dans ce cas, le but visé est la détermination de la température en fonction du temps dans le mélange brûlé et le mélange non brûlé, ainsi que ce qu'il est convenu d'appeler la fonction de combustion, laquelle représente le rapport de la masse de carburant brûlé à la masse de carburant total. Le calcul proprement dit du processus s'effectue alors essentiellement en deux opérations en fonction du temps et de l'angle de vilebrequin :

Dans une première opération, on part du remplissage de cylindre (connu) au début de la réaction. Au moyen de l'équation d'état thermique pour les gaz parfaits et des grandeurs déterminées empiriquement que sont la pression de chambre de combustion, le volume au-dessus du piston et la composition des gaz frais, il est alors possible de déterminer la température. Dans une seconde opération, le déroulement de la combustion dans les deux zones est alors décrit au moyen de l'équation d'état thermique pour les gaz parfaits et de la première loi fondamentale de la thermodynamique pour des systèmes ouverts. Il en résulte un système d'équations comportant plusieurs équations qui permet de déterminer la fonction de combustion, la température dans la masse non brûlée, la température dans la masse brûlée et la composition de la masse brûlée. Cette modélisation permet de tirer des conclusions, concernant par exemple la température, la masse de mélange transformée, la pression et la vitesse de combustion, en fonction de l'angle de vilebrequin.

Des équations concernant le bilan quantitatif et le bilan énergétique permettent d'améliorer encore ce processus de combustion modélisé et celles-ci permettent également de tirer des conclusions sur les rendements du processus de combustion. D'autres détails à cet égard se trouvent par exemple dans le "Manuel du moteur à combustion" de Richard van Basshuysen/Fred Schäfer, deuxième édition, juillet 2002, chapitre 5.3.2.

Pour la réalisation pratique et le calcul d'un tel processus de combustion modélisé, on dispose de techniques de programmation numériques et graphiques connues qui sont disponibles sur le marché sous forme de boîtes d'outillage complètes, telles que par exemple Matlab/Simulink, Ascet SD ou Matrix X.

5            Certaines des grandeurs d'état internes du processus de combustion réel 3 sont détectables au moyen de capteurs. Cela est notamment valable pour des fluctuations de pression, qui peuvent être détectées au moyen de détecteurs de cliquetis existant de toute façon dans des moteurs à combustion interne modernes, ainsi que pour la variation de pression dans le cylindre qui peut être détectée au  
10            moyen de capteurs de pression, comme cela a déjà été exposé dans la description. D'une manière avantageuse, le processus de combustion modélisé 4 est équilibré et calibré au moyen de telles grandeurs d'état internes mesurables, ainsi que cela est indiqué par une liaison 7 entre les processus de combustion réel et modélisé respectivement 3 et 4. Cela permet d'affiner de plus en plus le modèle du processus  
15            de combustion.

              En tant que grandeurs de sortie 5 du processus de combustion réel 3, on dispose de signaux des capteurs habituellement prévus, comme par exemple le capteur de vilebrequin, le capteur de température de gaz d'échappement, la sonde lambda, les capteurs d'émissions de gaz d'échappement ( $\text{NO}_x$ , HC) et notamment le  
20            détecteur de cliquetis indiqué ci-dessus. Le processus de combustion modélisé 4 fournit des grandeurs de sortie 6 correspondantes. Les grandeurs de sortie 5, 6 du processus de combustion réel 3 et du processus de combustion modélisé 4 sont comparées en permanence les unes aux autres, la différence 8 entre les grandeurs de sortie 5 et 6 étant renvoyée au processus de combustion modélisé 4 et celui-ci  
25            étant retracé en conséquence. Dans ce cas, comme déjà indiqué dans l'introduction à la description, on utilise en tant que grandeurs de sortie pilote le signal de détecteur de cliquetis au moyen duquel peut se détecter la pression de pointe dans le cylindre qui constitue un paramètre particulièrement important en ce qui concerne l'auto-  
30            allumage du mélange air/carburant.

              Grâce à la manière de procéder décrite, il se présente un modèle du processus de combustion réel qui est si précis et fiable qu'il est finalement possible de renoncer à surveiller le processus de combustion réel.

              Les grandeurs de sortie 5 du processus de combustion réel 3 et les grandeurs de sortie 6 du processus de combustion modélisé 4 sont envoyées à un régulateur 9.  
35            Le régulateur 9 contient des valeurs de consigne prescrites, telles que variation de combustion, valeur finale, position de barycentre, etc., qui ont été déterminées en tenant compte des critères de régulation indiqués ci-dessus, tels que rendement du

processus de combustion, protection du moteur à combustion interne, régularité de marche (neutralité de couple), faiblesse du bruit, émissions de substances nocives, consommation de carburant. Le régulateur fait alors varier de la manière voulue, au moyen des valeurs de consigne prescrites, les grandeurs de réglage 2 influant sur le processus.

## REVENDEICATIONS

1. Procédé de régulation du processus de combustion d'un moteur à combustion interne qu'on peut faire fonctionner, au moins dans des situations déterminées de fonctionnement, avec un auto-allumage commandé (mode HCCI),  
5 caractérisé en ce que, pendant le fonctionnement en auto-allumage commandé, un processus de combustion modélisé (4) devant être décrit au moyen de grandeurs d'état internes est formé à l'aide de grandeurs de réglage (2) influant sur le processus de combustion et en ce que des grandeurs de sortie (6) du processus de combustion modélisé (4) sont utilisées pour la régulation des grandeurs de réglage (2) influant sur  
10 le processus.

2. Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce que le processus de combustion modélisé (4) est corrigé au moyen d'une comparaison entre des grandeurs de sortie (5, 6) du processus de combustion réel (3) et du processus de combustion modélisé (4).

3. Procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que le processus de combustion modélisé (4) est équilibré et calibré au moyen de grandeurs d'état internes mesurables.

4. Procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé qu'en tant que grandeurs d'état internes, au moins une des grandeurs suivantes est  
20 utilisée : variation de la combustion dans le temps, variation de la température dans le temps, variation de la pression dans le temps, pression de pointe, pression moyenne indexée, rendement, barycentre de combustion, fourniture d'énergie intérieure.

5. Procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que le processus de combustion modélisé est formé à l'aide de cycles de Carnot  
25 en cycle pression/volume et cycle température/entropie.

6. Procédé suivant la revendication 5, caractérisé en ce que, lors de la modélisation des cycles de Carnot, un modèle à deux zones est utilisé, dans lequel la charge dans le cylindre est divisée en une zone constituée d'un mélange air/carburant non brûlé et une zone constituée d'un mélange air/carburant brûlé.

7. Procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce qu'en tant que grandeurs de réglage (2) influant sur le processus, au moins certaines des grandeurs suivantes sont utilisées : débit, durée et instant de l'injection de carburant, taux de recyclage de gaz d'échappement extérieur et intérieur, contre-pression de gaz d'échappement, commande de soupape d'admission et  
30 d'échappement de type variable, assistance à l'allumage, température d'entrée d'air,  
35 qualité de carburant, taux de compression variable.

8. Procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce qu'en tant que grandeurs de sortie (6), au moins certaines des grandeurs suivantes sont utilisées : vitesse de rotation du vilebrequin, signal de détecteur de cliquetis, température de gaz d'échappement, rapport air/carburant ( $\lambda$ ),  
5 concentration des émissions de substances nocives ( $\text{NO}_x$ , HC), pression de chambre de combustion.

9. Procédé suivant la revendication 8, caractérisé en ce que le signal de détecteur de cliquetis est utilisé en tant que grandeur de sortie pilote.

10. Procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que, pour la régulation des grandeurs de réglage (2) influant sur le processus, ce sont, outre les grandeurs de sortie (6) du processus de combustion modélisé (4), également des grandeurs de sortie (5) du processus de combustion réel (3) qui sont utilisées.

15. Procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 à 10, caractérisé en ce qu'en tant que critère de régulation pour la régulation des grandeurs de réglage (2) influant sur le processus, au moins certains des critères suivants sont utilisés : rendement du processus de combustion, protection du moteur à combustion interne, régularité de marche, émission de bruit, émissions de substances nocives, consommation de carburant.

20. Procédé suivant la revendication 11, caractérisé en ce que les grandeurs de sortie (5, 6) à la fois du processus de combustion réel (3) et du processus de combustion modélisé (4) sont envoyées à un régulateur (9) qui, à l'aide des valeurs de consigne prescrites correspondant aux critères de régulation, assure une régulation des grandeurs de réglage (2) influant sur le processus.

25. Procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 à 12, caractérisé en ce qu'une commande préalable (1) est prévue pour les grandeurs de réglage (2) influant sur le processus.

