

Description

Titre de l'invention : Procédé de contrôle de la richesse du mélange carburé d'un moteur à combustion interne de véhicule automobile

Domaine technique

[0001] La présente invention concerne le contrôle d'un moteur à combustion interne et plus particulièrement d'un moteur à allumage commandé, lors d'une phase de fonctionnement transitoire du moteur.

Techniques antérieures

[0002] Lors d'un changement de point de fonctionnement d'un moteur à combustion interne, comme un changement de régime de rotation ou un changement de consigne de couple par exemple, il est observé que la richesse réelle des gaz d'échappement s'écarte de la consigne de richesse. La richesse d'un mélange est évaluée par rapport à une richesse 1, qui correspond à une combustion du carburant dans des conditions stœchiométriques.

[0003] Cet écart de richesse est dû à une mauvaise estimation du débit d'air qui entre dans le moteur et peut engendrer une augmentation d'émissions polluantes, une augmentation du bruit du moteur et/ou un problème d'agrément de conduite à cause d'à-coups.

[0004] Classiquement, pour un moteur monté sur un véhicule automobile, le conducteur du véhicule détermine, en actionnant la pédale d'accélérateur, une consigne d'accélération du véhicule. A partir de la consigne d'accélération et du régime du moteur, un calculateur définit une consigne de couple moteur à obtenir pour atteindre cette consigne d'accélération.

[0005] Dans le cas d'un moteur à allumage commandé (fonctionnant notamment à l'essence), la consigne de couple est traduite en une consigne de débit massique d'air Q_{air} , en une valeur d'avance à l'allumage AA qui est choisie de préférence de façon à optimiser le rendement de combustion, et en une consigne de richesse généralement égale à 1, qui correspond au débit du carburant qu'il faut brûler dans les proportions stœchiométriques pour obtenir le couple tout en faisant fonctionner un catalyseur trois voies du moteur dans sa plage de fonctionnement catalytique dans laquelle il est apte à traiter les hydrocarbures imbrûlés, le monoxyde de carbone et les oxydes d'azote.

[0006] Il est à noter que dans le cas d'une motorisation hybride composée d'un moteur thermique et d'au moins une machine électrique, les variations de couple demandées au moteur thermique ne sont pas nécessairement corrélées uniquement avec la pédale d'accélérateur, car le couple est réparti sur l'ensemble des sources motrices disponibles.

[0007] Par ailleurs, lorsque le véhicule est doté d'un circuit de recirculation partielle des gaz

d'échappement à l'admission du moteur, on définit aussi une consigne de débit massique de gaz recirculés Q_{egr} qui correspond au taux de recirculation à appliquer pour respecter la consommation de carburant visée.

[0008] La somme du débit d'air Q_{air} et du débit de gaz recirculés Q_{egr} représente le débit massique gazeux total Q_{mot} entrant dans le moteur, qui est généralement réglé en ajustant la position d'un boîtier-papillon dans le circuit d'admission d'air du moteur, de manière à obtenir une valeur de pression P_{col} dans le collecteur d'admission du moteur correspondant au débit gazeux total recherché, le débit de gaz recirculés Q_{egr} étant obtenu en ajustant la position d'une vanne dans le circuit de recirculation partielle, le débit d'air Q_{air} recherché étant quant à lui obtenu indirectement comme la différence entre le débit gazeux total Q_{mot} et le débit de gaz recirculés Q_{egr} .

[0009] Un calculateur du moteur utilise un modèle de remplissage en air, qui permet de déterminer la valeur de la pression minimale du collecteur d'admission pour répondre à la consigne de couple du moteur.

[0010] Ce modèle de remplissage suit l'équation suivante :

[0011]
$$\eta_{rdvl} = \frac{Q_{mot} \times 120}{N \times \text{Cylindrée} \times \frac{P_{col}}{T_{col}} \times R} \quad (1)$$

[0012] Dans laquelle :

[0013] η_{rdvl} désigne le rendement volumétrique ou « remplissage », adimensionnel ;

[0014] Q_{mot} désigne le débit massique total rentrant réellement, en kg/s ;

[0015] N désigne le régime, en tours/min ;

[0016] Cylindrée désigne la cylindrée du moteur, en m^3 ;

[0017] P_{col} désigne la pression dans le collecteur d'admission, en Pa ;

[0018] T_{col} , désigne la température dans le collecteur d'admission, en K ; et

[0019] R désigne la constante massique des gaz parfaits pour l'air égale à environ 287,058 $J/kg \times K$.

[0020] Le terme « remplissage » est défini comme étant égal au rapport entre la masse d'air réellement aspirée et la masse d'air qui aurait pu rentrer en considérant uniquement le volume total des cylindres.

[0021] Dans tous les cas de figure, la valeur du rendement η_{rdvl} dépend au moins du régime N et de la pression dans le collecteur d'admission P_{col} .

[0022] Or, si le moteur est équipé en outre d'un système de calage variable des soupapes (dit aussi système VVT, de l'acronyme anglais pour : Variable Valve Timing), notamment à l'admission, ce qui est le cas de nombreux moteurs modernes, le rendement η_{rdvl} dépend également de la position de ce système VVT à l'admission, qui détermine les instants d'ouverture et de fermeture des soupapes d'admission dans le cycle de combustion du moteur.

- [0023] On notera aussi que dans le cas où le moteur est équipé en outre d'un système VVT à l'échappement, le rendement dépend également de la position de ce système VVT à l'échappement, qui détermine les instants d'ouverture et de fermeture des soupapes d'échappement, quoique la sensibilité de la valeur du rendement à la position du système VVT à l'échappement soit nettement moindre que dans le cas d'un système VVT à l'admission.
- [0024] Le rendement volumétrique est cartographié par des essais préalables au banc en fonction de ces paramètres : régime ; couple ; et, position du système VVT à l'admission, et la cartographie est stockée dans la mémoire du calculateur du moteur. On peut par exemple ne pas tenir compte de la position du système VVT à l'échappement, si le moteur dispose d'un tel système.
- [0025] Ainsi, selon l'état de la technique, lors de l'utilisation du véhicule, le calculateur détermine une valeur courante du régime N , de la pression dans le collecteur d'admission P_{col} et d'une valeur de la position du système VVT à l'admission, puis il utilise la cartographie pour calculer la valeur du rendement volumétrique. Le calculateur détermine aussi une valeur courante de la température T_{col} dans le collecteur d'échappement. Il utilise alors le modèle de remplissage pour calculer une valeur du débit gazeux total Q_{mot} , puis une valeur du débit d'air Q_{air} en soustrayant le débit de gaz recirculés Q_{egr} au débit gazeux total Q_{mot} . Le débit de gaz recirculés Q_{egr} peut être déterminé, quant à lui, par exemple de manière connue en soi à partir d'une équation de Barré Saint Venant aux bornes de la vanne du circuit de recirculation.
- [0026] Le réglage de la richesse est généralement effectué en boucle fermée sur une valeur de consigne. Le système mesure par exemple la richesse réelle des gaz de combustion sortant du moteur grâce à une sonde à oxygène proportionnelle située en amont d'un catalyseur trois voies du moteur.
- [0027] La valeur de l'écart de richesse entre la valeur mesurée et la valeur de consigne est envoyée en entrée à un régulateur, par exemple de type PID (proportionnel, intégral, dérivé) dont la valeur de sortie est une valeur de correction de débit de carburant qui s'ajoute à une valeur de débit de carburant calculé pour l'asservissement en boucle ouverte, pour correspondre au débit théorique de carburant permettant la combustion en proportions stœchiométriques.
- [0028] Le réglage de la richesse est obtenu par l'ajustement de la quantité de carburant injectée en imposant la durée d'ouverture des injecteurs de carburant du moteur.
- [0029] Par exemple, la quantité de carburant est la somme d'une première quantité de carburant calculée en boucle ouverte à partir du débit d'air courant à raison d'un gramme de carburant pour 14,7 grammes d'air, pour correspondre aux proportions stœchiométriques, et d'un terme correctif utilisé pour l'asservissement en boucle fermée. Les valeurs du terme correctif sont d'autant plus petites que la première quantité

calculée est juste.

[0030] Le débit d'air courant employé dans le calcul de l'estimation du débit d'air courant est obtenu à partir du modèle de remplissage de l'équation 1, qui dépend notamment de la pression dans le collecteur d'admission et de la position du système VVT à l'admission. Cependant, à cause de la dynamique rapide des processus concernés, au moment où est donné l'ordre d'ouverture des injecteurs par un calculateur du moteur, la pression P_{col} dans le collecteur d'admission et la position du système VVT à l'admission ne correspondent généralement déjà plus aux valeurs mesurées et qui servent au calcul du rendement volumétrique, puis du débit total gazeux Q_{mot} et du débit d'air Q_{air} .

[0031] Ainsi l'estimation du débit d'air courant est faussée, et la quantité de carburant à injecter déterminée par calcul en boucle ouverte à partir du débit d'air ne correspond déjà plus à la pression mesurée dans le collecteur d'admission ou à la position mesurée du système VVT à l'admission et aux instants d'ouverture et de fermeture des soupapes d'admission correspondants. On observe alors que le régulateur, qui asservit la valeur de la richesse sur une valeur de consigne (généralement égale à 1) doit utiliser des termes correctifs de quantité de carburant plus élevés pour compenser l'erreur de calcul du débit d'air.

[0032] On peut cependant estimer que les variations de la pression dans le collecteur d'admission P_{col} sont nettement moins dynamiques que les variations de la position du système VVT à l'admission et donc que les variations correspondantes des instants d'ouverture et de fermeture des soupapes d'admission, et qu'elles ont ainsi une moindre influence sur le réglage de la richesse. Cette moindre influence est particulièrement vraie pour des moteurs fonctionnant selon des cycles asymétriques d'Atkinson ou de Miller, dans lesquels on tend à laisser le boîtier-papillon grand ouvert de manière à augmenter la pression dans le collecteur d'admission pour diminuer les pertes par pompage. Dans les deux cas, on ajuste la masse d'air admise dans la chambre de combustion par le contrôle des soupapes d'admission, avec des valeurs de retard de fermeture à l'admission (RFA) très décalées par rapport au point mort bas (PMB). L'actionneur principal de contrôle de la charge en air du moteur est alors le système de calage variable des soupapes d'admission dans les deux cas de figure, à la place du boîtier-papillon dans les moteurs traditionnels qui n'utilisent pas l'un de ces cycles.

Exposé de l'invention

[0033] Au vu de ce qui précède, le but de l'invention est d'améliorer le contrôle de la richesse du mélange carburé dans les phases transitoires de fonctionnement du moteur durant lesquelles la position d'un système de calage variable de soupapes, et plus parti-

culièrement d'un système de calage variable des soupapes d'admission, évolue entre le début et la fin des phases transitoires.

[0034] L'invention a pour objet un procédé de contrôle de la richesse d'un mélange carburé pour moteur à combustion interne de véhicule automobile équipé d'un système de calage variable des soupapes d'admission du moteur.

[0035] Ce procédé comprend les étapes suivantes :

[0036] – détection d'un changement du point de fonctionnement du moteur ;
 – calcul d'au moins une consigne de position dudit système de calage variable (50), correspondant à la nouvelle consigne de point de fonctionnement ;
 – mesure d'une position courante dudit système de calage variable ;
 – calcul prédictif d'une position dudit système de calage variable (50) ;
 – estimation du débit d'air à partir dudit calcul prédictif ;
 – calcul à partir de l'estimation du débit d'air, de la quantité de carburant à injecter pour un fonctionnement du moteur à richesse 1, et ouverture d'injecteurs de carburant du moteur pour l'injection de ladite quantité de carburant

[0037] caractérisé en ce que le calcul prédictif de la position du système de calage variable correspond à la position dudit système à l'instant de début d'ouverture des injecteurs de carburant.

[0038] Le procédé de contrôle de la richesse est configuré pour améliorer la précision de calcul de la quantité de carburant à injecter lors des phases transitoires de fonctionnement du moteur.

[0039] Avantageusement, le calcul prédictif de la position du système de calage variable des soupapes d'admission au moment du début de l'ouverture des injecteurs de carburant, fait appel à un modèle de réponse à une consigne des soupapes.

[0040] Par exemple, le modèle de réponse du système de calage variable des soupapes est caractérisé par un paramètre de temps mort et une vitesse maximale de déplacement du système.

[0041] Avantageusement, le modèle de réponse du système de calage variable des soupapes prend en compte une anticipation pour obtenir une position réelle anticipée par rapport à la position mesurée.

[0042] Par exemple, l'anticipation est comprise entre 30 ms et 70 ms, et est de préférence égale à 50ms.

[0043] Selon une autre caractéristique, le moteur comprend au moins un circuit de recirculation partielle des gaz d'échappement à l'admission.

[0044] Avantageusement, l'estimation du débit d'air frais anticipe la variation de débit d'EGR, en calculant la position de la vanne EGR à partir de la consigne de débit d'EGR et du temps de réponse afin d'obtenir un débit d'EGR anticipé par rapport au

débit d'EGR calculé à partir de la mesure de position de la vanne EGR.

[0045] Selon un autre aspect, l'invention a pour objet un système de contrôle de la richesse d'un mélange carburé pour un moteur à combustion interne de véhicule automobile équipé d'un système de calage variable des soupapes du moteur, notamment un système de calage variable à l'admission des soupapes d'admission.

[0046] Le système de contrôle de la richesse comprend des moyens de détection d'un changement du point de fonctionnement du moteur, des moyens de calcul d'au moins une consigne de position du système de calage variable soupapes, des moyens de calcul prédictif d'une position du système de calage variable des soupapes, des moyens d'estimation du débit d'air et des moyens de calcul de la quantité de carburant à injecter pour un fonctionnement du moteur à richesse 1.

Brève description des dessins

[0047] 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 :

[0048] [Fig.1] illustre, de manière très schématique, un exemple de structure d'un moteur à combustion interne d'un véhicule automobile équipé d'un système de contrôle de richesse selon l'invention ;

[0049] [Fig.2] illustre un organigramme du procédé de contrôle de richesse selon un mode de mise en œuvre de l'invention ;

[0050] [Fig.3] illustre un exemple de consigne de position, de position réelle et de position réelle anticipée d'un système de calage variable des soupapes d'admission du moteur de la [Fig.1] selon l'invention ;

[0051] [Fig.4] illustre un schéma de construction d'une trajectoire anticipée d'une position du système de calage variable des soupapes d'admission selon l'invention ; et

[0052] [Fig.5] illustre l'application selon l'invention d'un temps mort réduit lors des changements de direction du système de calage variable des soupapes d'admission.

Exposé détaillé d'au moins un mode de réalisation

[0053] Dans l'exemple illustré dans la [Fig.1], le moteur à combustion interne 10 est du type à allumage commandé (essence) et comprend, de manière non limitative, trois cylindres 12 en ligne, un collecteur d'admission d'air frais 14, un collecteur d'échappement 16, un système de turbo-compression ou turbocompresseur 18, un système de calage variable 50 des soupapes d'admission 51 du moteur et éventuellement en outre un système de calage variable 52 des soupapes d'échappement 53 du moteur. Le système de calage variable 50 des soupapes d'admission est équipé d'un capteur 54 qui permet de connaître à chaque instant sa position angulaire, qui correspond à des instants déterminés d'ouverture et de fermeture des soupapes

d'admission 51 dans le cycle de combustion du moteur (ces instants étant généralement mesurés en degrés de vilebrequin par rapport à une position de point mort haut). Le système de calage variable 52 des soupapes d'échappement, s'il est présent, est aussi équipé d'un capteur 55 qui permet de connaître à chaque instant sa position angulaire, qui correspond aussi à des instants déterminés d'ouverture et de fermeture des soupapes d'échappement 53 dans le cycle de combustion du moteur.

- [0054] Les cylindres 12 sont alimentés en air par l'intermédiaire du collecteur d'admission 14, ou répartiteur, lui-même alimenté par une conduite 20 pourvue d'un filtre à air 22 et d'un compresseur 18a du turbocompresseur 18 du moteur 10.
- [0055] Le turbocompresseur 18 comporte essentiellement une turbine 18b entraînée par les gaz d'échappement et le compresseur 18a monté sur le même arbre que la turbine 18b et assurant une compression de l'air distribué par le filtre à air 22 ou boîte à air, dans le but d'augmenter la quantité (débit massique) d'air admise dans les cylindres 12 du moteur 10 pour un débit volumique identique.
- [0056] Le moteur à combustion interne 10 comprend un circuit d'admission Ca et un circuit d'échappement Ce.
- [0057] Le circuit d'admission Ca comprend, d'amont en aval dans le sens de circulation de l'air :
 - [0058] - le filtre à air 22;
 - [0059] - un débitmètre 26 disposé dans la conduite d'admission 20 en aval du filtre à air 22 pour mesurer la valeur réelle du débit d'air entrant dans le moteur 10 ;
 - [0060] - une vanne d'admission d'air 28 ;
 - [0061] - le compresseur 18a du turbocompresseur 18 ;
 - [0062] - un boîtier papillon 30 ou une vanne d'admission des gaz dans le moteur ;
 - [0063] - un échangeur thermique 32 configuré pour refroidir les gaz d'admission correspondant à un mélange d'air frais et de gaz recirculés après leur compression dans le compresseur 18a ;
 - [0064] - des capteurs de pression et température 33 pour mesurer la pression et la température dans le collecteur d'admission 14 ; et
 - [0065] - le collecteur d'admission 14.
- [0066] Le compresseur est associé à un circuit de contournement équipé d'une vanne de décharge à l'admission 56 qui s'ouvre en cas de fermeture brutale du boîtier papillon 30, pour éviter que l'air comprimé, se trouvant entre le compresseur 18a et le boîtier papillon 30, ne traverse le compresseur 18a et ne le dégrade, lorsque par exemple, le conducteur du véhicule lève brutalement le pied de la pédale d'accélération.
- [0067] Le circuit d'échappement Ce comprend, d'amont en aval dans le sens de circulation des gaz brûlés :
 - [0068] - le collecteur d'échappement 16 ;

- [0069] - la turbine 18b du turbocompresseur 18 ; et
- [0070] - un système de dépollution des gaz de combustion du moteur (non représenté), comprenant notamment un catalyseur trois voies.
- [0071] En ce qui concerne le collecteur d'échappement 16, celui-ci récupère les gaz d'échappement issus de la combustion et évacue ces derniers vers l'extérieur, par l'intermédiaire d'un conduit d'échappement des gaz 34 débouchant à l'entrée de la turbine 18b du turbocompresseur 18 et par une ligne d'échappement 36 montée en aval de la turbine 18b.
- [0072] Le moteur 10 comprend en outre un circuit de recirculation partielle 38 des gaz d'échappement à l'admission, dit circuit « EGR » (« exhaust gas recirculation » en termes anglo-saxons).
- [0073] Le moteur 10 peut ne pas être doté de circuit EGR, sans pour autant sortir du cadre de l'invention.
- [0074] Ce circuit 38 est ici de manière non limitative un circuit de recirculation des gaz d'échappement à basse pression. Il est raccordé à la ligne d'échappement 36, en aval de ladite turbine 18b, et notamment en aval du système de dépollution des gaz et renvoie les gaz d'échappement vers la conduite 20 d'alimentation en air frais, en amont du compresseur 18a du turbocompresseur 18, notamment en aval du débitmètre 26. Le débitmètre 26 ne mesure que le débit d'air frais seul.
- [0075] Tel qu'illustré, ce circuit 38 de recirculation comprend, dans le sens de circulation des gaz recyclés, un refroidisseur 38a, un filtre 38b, et une vanne 38c configurée pour réguler le débit des gaz d'échappement à basse pression. La vanne 38c est disposée en aval du refroidisseur 38a et du filtre 38b et en amont du compresseur 18a.
- [0076] Le moteur est associé à un circuit de carburant comprenant, par exemple, des injecteurs de carburant (non référencés) injectant de l'essence directement dans chaque cylindre à partir d'un réservoir à carburant (non représenté).
- [0077] Par ailleurs, le moteur comprend une unité électronique de commande 70 configurée pour commander les différents éléments du moteur à combustion interne à partir de données recueillies par des capteurs à différents endroits du moteur.
- [0078] L'unité électronique de commande 70 comporte un module de calcul 72, un module de mesure 73 et un module de commande 74.
- [0079] On va maintenant décrire en référence à la [Fig.2] un procédé 60 de contrôle de la richesse en phase transitoire de fonctionnement du moteur 10.
- [0080] Un tel procédé est notamment mis en œuvre par le calculateur 70 à partir des mesures délivrées par les divers capteurs du moteur et en pilotant les divers éléments du moteur.
- [0081] Le procédé 60 comprend une étape préalable 61 de détection d'un changement de point de fonctionnement du moteur 10, ou consigne de point de fonctionnement, dans

laquelle le calculateur 70 détecte un nouveau point de fonctionnement correspondant à une variation du point de fonctionnement du moteur 10. Un point de fonctionnement du moteur 10 est caractérisé par un régime de rotation, une charge du moteur 10 et une température de fonctionnement, généralement correspondant à la température de l'eau du moteur 10. Ainsi, un changement de point de fonctionnement correspond à une variation d'au moins l'un de ces paramètres, par exemple, de manière non limitative, d'une valeur relative de 5%. Par exemple, un changement de point de fonctionnement peut provenir d'une modification suffisante de l'enfoncement de la pédale d'accélérateur du véhicule, qui modifie la consigne de couple.

- [0082] Lors de l'étape 62 suivante, le calculateur 70 calcule en fonction de la nouvelle consigne de point de fonctionnement détectée à l'étape 61, une consigne de position optimale du système de calage variable 50 des soupapes d'admission 51, et éventuellement en outre du système de calage variable 52 des soupapes d'échappement 53.
- [0083] Cette consigne de position du système de calage variable 50 des soupapes d'admission correspond à la valeur que prendra la position du système de calage variable 50 des soupapes d'admission sur ce nouveau point de fonctionnement en fonctionnement stabilisé, mais cette position n'est pas atteinte instantanément car il y a une durée nécessaire au déplacement du système de calage variable des soupapes d'admission depuis leur ancienne position jusqu'à leur nouvelle valeur de consigne.
- [0084] Or, comme déjà mentionné plus haut et notamment en référence à l'équation (1) du modèle de remplissage, la position réelle ou courante du système de calage variable 50 des soupapes d'admission 51 (et dans une moindre mesure, celle du système de calage variable 52 des soupapes d'échappement 53) a une influence de premier ordre sur le remplissage en air du moteur 10 car elle détermine les instants d'ouverture et de fermeture des soupapes d'admission, qui permettent l'introduction de l'air dans les cylindres du moteur.
- [0085] Afin de fonctionner à richesse 1, la quantité de carburant à injecter dépend de la quantité d'air réellement admise dans les cylindres 12, donc de manière prépondérante de l'instant d'ouverture des soupapes d'admission 51 correspondant à la position du système de calage variable 50 des soupapes d'admission 51.
- [0086] Lors d'un changement de point de fonctionnement du moteur 10, la variation de débit d'air doit être estimée le plus précisément possible afin que la quantité de carburant injectée corresponde à la masse d'air enfermée dans les cylindres 12 à chaque tour moteur.
- [0087] Or, plus les gradients de débits d'air sont importants, plus le calcul du débit d'air est induit en erreur lorsque les calculs utilisent des informations fournies par des capteurs qui possèdent eux-mêmes des temps de réponse intrinsèques.
- [0088] Comme il s'écoule nécessairement une durée non nulle, généralement comprise entre

30 et 70 millisecondes, par exemple de l'ordre de 50 millisecondes, entre l'instant où la position du système de calage variable 50 des soupapes d'admission est mesurée et l'instant où le calculateur actionne les injecteurs de carburant et commence à les ouvrir afin d'injecter le débit de carburant, après avoir calculé le débit d'air puis ledit débit de carburant à injecter en boucle ouverte, on comprend que le débit de carburant réellement injecté risque de ne plus correspondre au débit qu'il faudrait injecter, car le débit d'air réel ne correspond déjà plus au débit d'air correspondant à la position mesurée du système de calage variable.

- [0089] Pour améliorer la précision de calcul du débit d'air et du débit de carburant à injecter lors des phases transitoires, le calculateur 70 n'utilise pas, selon l'invention, la position du système de calage variable 50 des soupapes d'admission 51 mesurée par le capteur 54, mais il procède lors de l'étape 64 suivante au calcul prédictif de la position qu'aura le système de calage variable 50 des soupapes d'admission 51 à l'instant du début d'ouverture des injecteurs de carburant par le calculateur du moteur. Eventuellement, cette étape peut aussi comprendre un calcul prédictif de la position qu'aura un système de calage variable 52 des soupapes d'échappement 53 lors de l'ordre d'ouverture des injecteurs.
- [0090] A ce stade, le calculateur 70 utilise des cartographies constitutives d'un modèle 63 de réponse à une consigne de position du système de calage variable 50 des soupapes d'admission 51 (respectivement du système de calage variable 52 des soupapes d'échappement), préprogrammées et contenues dans sa mémoire, qui lui permettent d'estimer des trajectoires des positions du système de calage variable 50.
- [0091] Les estimations des trajectoires des positions du système de calage variable 50 des soupapes d'admission 51 (et éventuellement en outre du système de calage variable 52 des soupapes d'échappement 53) se font à un horizon temporel qui correspond à la durée entre l'instant où la position du système de calage variable 50 des soupapes d'admission est mesurée et l'instant où le débit de carburant commence à être injecté (c'est-à-dire : l'instant de début d'ouverture des injecteurs de carburant).
- [0092] Le modèle de réponse à une consigne de système de calage variable 50 des soupapes d'admission 51 (et éventuellement du système de calage variable 52 des soupapes d'échappement) peut être caractérisé par deux paramètres, à savoir un temps mort et une vitesse maximale de déplacement dudit système de calage.
- [0093] Le temps mort rend compte du laps de temps pendant lequel un système de calage variable 50,52 reste en position, et donc les instants d'ouverture et de fermeture des soupapes ne sont pas encore modifiés, après l'établissement d'une nouvelle consigne de position de cette soupape par le calculateur 70.
- [0094] La vitesse maximale de déplacement correspond à la variation de position angulaire maximale que peut suivre un système de calage variable des soupapes.

- [0095] La [Fig.3] illustre la trajectoire réelle 82 d'un système de calage variable de soupapes, notamment de soupapes d'admission, soumis à une consigne de position 80, et une trajectoire anticipée 81 utilisée pour estimer la quantité d'air admise dans la chambre de combustion et la quantité de carburant au moment de l'ouverture des injecteurs de carburant.
- [0096] La [Fig.4] illustre un schéma de construction d'une trajectoire anticipée d'une position d'un système de calage variable de soupapes.
- [0097] Lorsque la consigne 83 de position change de valeur, il est possible d'estimer une position réelle anticipée 84 du système de calage variable en anticipation 85 par rapport à la position réelle 86.
- [0098] Le temps mort 87 entre la consigne 83 et la position réelle 86 est réduit par l'anticipation 85 au temps mort réduit 88 qui correspond au temps mort entre la consigne 83 et la position réelle anticipée 84.
- [0099] Après la prise en compte par anticipation 85 du temps mort réduit 88, le modèle de réponse 63 utilise pour la position réelle anticipée 84 le même gradient de position que celui de la consigne 83, et ce jusqu'à l'atteinte de la valeur de la consigne 83. Toutefois, dans le cas où le gradient de position de la consigne 83 est supérieur à la vitesse maximale de déplacement du système de calage variable des soupapes, le gradient de la position réelle anticipée 84 est limité à cette vitesse maximale.
- [0100] Tel qu'illustré dans la [Fig.5], le temps mort réduit 88 peut également être appliqué lors des changements de direction du système de calage variable des soupapes (c'est-à-dire : passage d'une rotation du sens horaire vers le sens anti-horaire ou réciproquement) sans qu'il n'y ait eu de stabilisation de la position.
- [0101] Lors de l'étape 65 suivante, le calculateur 70 estime le débit d'air nécessaire à partir des résultats obtenus à l'étape 64 de calcul prédictif de position du système de calage variable 50 des soupapes d'admission (et éventuellement en outre du système de calage variable 52 des soupapes d'échappement).
- [0102] Ce débit d'air est estimé à partir de la relation :
- [0103]
$$\eta_{rdvl} = \frac{Q_{mot} \times 120}{N \times Cylindrée \times \frac{P_{col}}{T_{col}} \times R} \quad (1)$$
- [0104] Dans laquelle :
- [0105] η_{rdvl} désigne le rendement volumétrique ou « remplissage », adimensionnel ;
- [0106] Q_{mot} désigne le débit massique total rentrant réellement, en kg/s ;
- [0107] N désigne le régime, en tours/min ;
- [0108] $Cylindrée$ désigne la cylindrée du moteur, en m^3 ;
- [0109] P_{col} désigne la pression dans le collecteur d'admission, en Pa ;
- [0110] T_{col} , désigne la température dans le collecteur d'admission, en K ; et

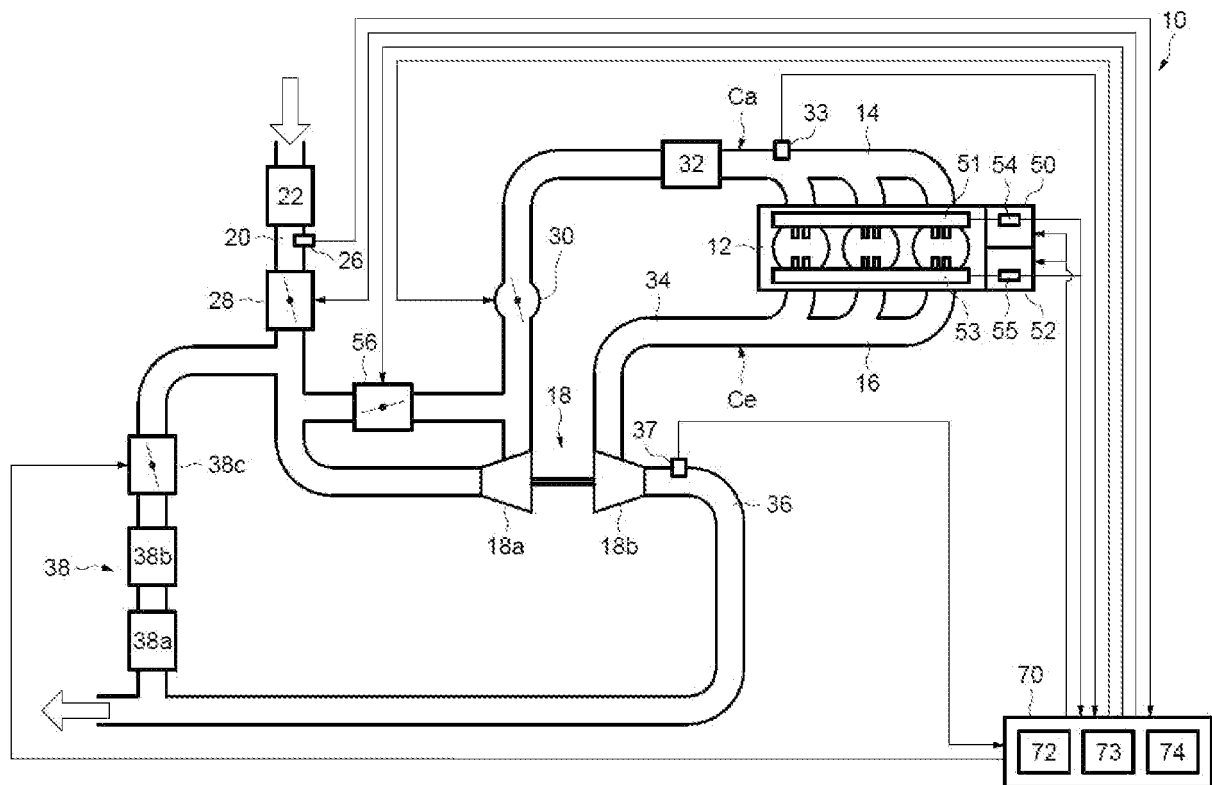
- [0111] R désigne la constante massique des gaz parfaits pour l'air égale à environ 287,058 $J/kg \times K$.
- [0112] Le procédé 60 se poursuit à l'étape 66 par le calcul de la quantité Q de carburant à injecter dans les cylindres 12, pour un fonctionnement du moteur 10 à richesse égale à 1, et par l'ouverture des injecteurs de carburant par le calculateur afin d'injecter le débit de carburant calculé.
- [0113] La quantité Q de carburant à injecter est calculée à partir du débit d'air estimé, et en particulier, dans le cas où la consigne de richesse est égale à 1, le débit de carburant est calculé à proportion de 1 g de carburant pour 14,7 g d'air.
- [0114] Pour les moteurs avec au moins un circuit EGR, il est encore possible d'anticiper la variation de débit d'EGR Q_{egr} qui entre dans le calcul du débit d'air frais Q_{air} , en calculant la position de la vanne EGR 38c à partir de la consigne de débit d'EGR et du temps de réponse afin d'obtenir un débit d'EGR anticipé par rapport au débit d'EGR calculé à partir de la position de la vanne EGR 38c.

Revendications

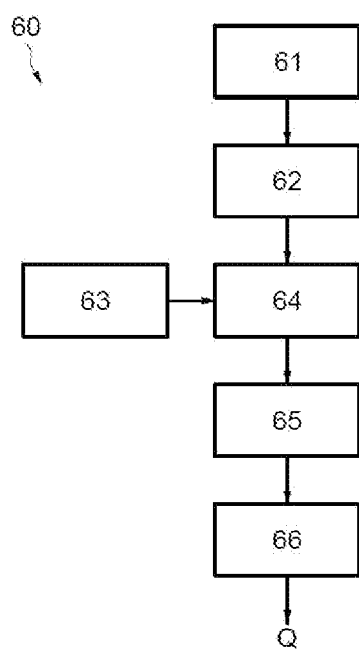
- [Revendication 1] Procédé de contrôle de la richesse d'un mélange carburé pour moteur à combustion interne de véhicule automobile équipé d'un système de calage variable (50) des soupapes d'admission (51) du moteur, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :
- détection d'un changement du point de fonctionnement du moteur (10) ;
 - calcul d'au moins une consigne de position dudit système de calage variable (50) correspondant à la nouvelle consigne de point de fonctionnement ;
 - mesure d'une position courante dudit système de calage variable ;
 - calcul prédictif d'une position dudit système de calage variable (50) ;
 - estimation du débit d'air à partir dudit calcul prédictif ;
 - calcul à partir de l'estimation du débit d'air, de la quantité de carburant à injecter pour un fonctionnement du moteur (10) à richesse 1, et ouverture d'injecteurs de carburant du moteur pour l'injection de ladite quantité de carburant
- caractérisé en ce que le calcul prédictif de la position du système de calage variable correspond à la position dudit système à l'instant de début d'ouverture des injecteurs de carburant.
- [Revendication 2] Procédé selon la revendication 1, dans lequel le calcul prédictif de la position du système de calage variable (50) des soupapes d'admission (51) fait appel à un modèle de réponse à une consigne de position du système.
- [Revendication 3] Procédé selon la revendication 2, dans lequel le modèle de réponse du système de calage variable des soupapes est caractérisé par un paramètre de temps mort et une vitesse maximale de déplacement du système.
- [Revendication 4] Procédé selon la revendication 3, dans lequel le modèle de réponse du système de calage variable des soupapes prend en compte une anticipation pour obtenir une position réelle anticipée par rapport à une position mesurée.
- [Revendication 5] Procédé selon la revendication 4, dans lequel l'anticipation est comprise entre 30 et 70 millisecondes, et est de préférence égale à 50ms.

- [Revendication 6] Procédé selon la revendication 1, dans lequel le moteur comprend au moins un circuit de recirculation partielle (38) des gaz d'échappement à l'admission.
- [Revendication 7] Procédé selon la revendication 6, dans lequel l'estimation du débit d'air frais anticipe la variation de débit d'EGR, en calculant la position de la vanne EGR (38c) à partir de la consigne de débit d'EGR et du temps de réponse afin d'obtenir un débit d'EGR anticipé par rapport au débit d'EGR calculé à partir de la mesure de position de la vanne EGR (38c).
- [Revendication 8] Système de contrôle de la richesse d'un mélange carburé pour un moteur à combustion interne de véhicule automobile équipé d'un système de calage variable des soupapes du moteur, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens de détection d'un changement du point de fonctionnement du moteur (10), des moyens de calcul d'au moins une consigne de position du système de calage variable des soupapes, des moyens de calcul prédictif de la position du système de calage variable des soupapes à , des moyens d'estimation du débit d'air et des moyens de calcul de la quantité de carburant à injecter pour un fonctionnement du moteur (10) à richesse 1.

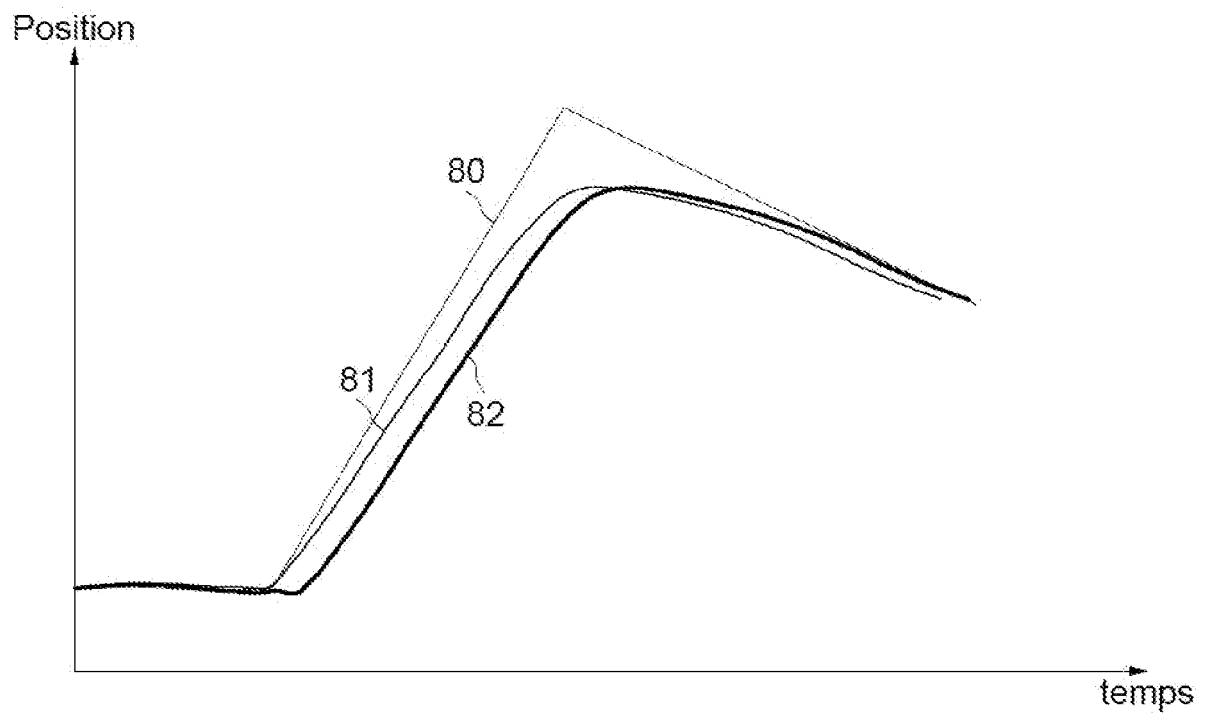
[Fig. 1]



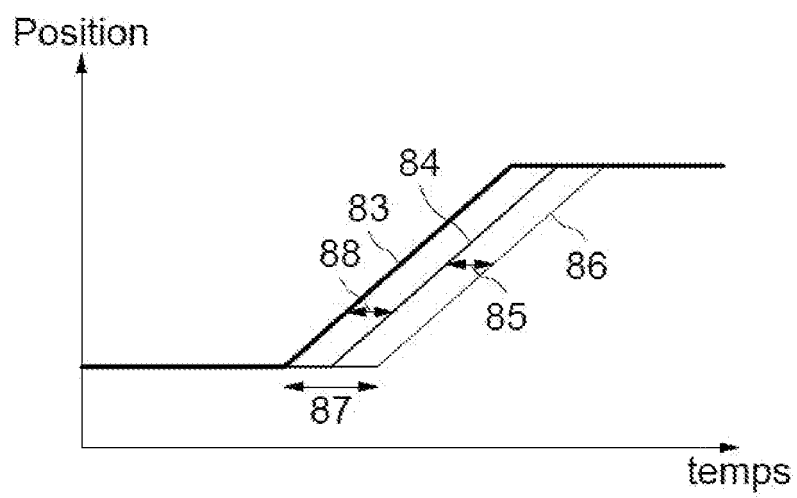
[Fig. 2]



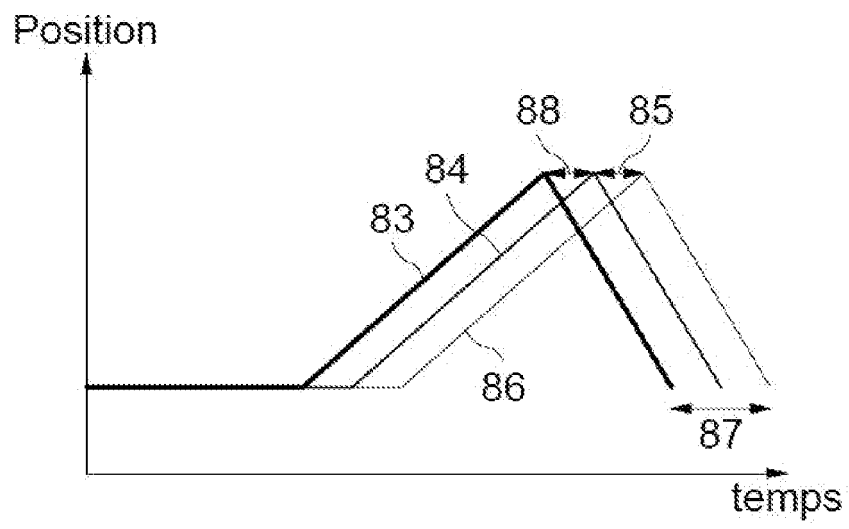
[Fig. 3]



[Fig. 4]



[Fig. 5]



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 903825
FR 2201608

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	CN 114 033 524 A (SAIC MOTOR CORP LTD) 11 février 2022 (2022-02-11) * revendications 1-10; figure 1 * -----	1-8	F02D41/30 F02D41/02 F02M26/02
X	KR 2007 0106179 A (HYUNDAI MOTOR CO LTD [KR]) 1 novembre 2007 (2007-11-01) * revendications 1-4; figure 1 * -----	1, 8	
X	US 2012/042850 A1 (HASKARA IBRAHIM [US] ET AL) 23 février 2012 (2012-02-23) * alinéas [0034] - [0037]; revendications 1-4; figures 1-5 * -----	1, 8	
X	JP 2013 167199 A (HITACHI AUTOMOTIVE SYSTEMS LTD) 29 août 2013 (2013-08-29) * alinéa [0025]; revendications 1-8; figure 1 * -----	1, 8	
X	WO 2020/084204 A1 (PSA AUTOMOBILES SA [FR]) 30 avril 2020 (2020-04-30)	8	
A	* alinéas [0033], [0042] - [0044], [0048]; revendications 1-9; figures 1-5 * -----	1-7	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
X	DE 10 2020 202892 A1 (VOLKSWAGEN AG [DE]) 9 septembre 2021 (2021-09-09)	8	F02D
A	* revendications 1-5; figures 1-3 * -----	1	
A	WO 2021/019626 A1 (NISSAN MOTOR CO LTD) 4 février 2021 (2021-02-04) * revendication 1; figure 1 * -----	1-8	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
30 septembre 2022		Boye, Michael	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE **RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2201608 FA 903825**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
 Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **30-09-2022**
 Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
CN 114033524 A	11-02-2022	AUCUN	
KR 20070106179 A	01-11-2007	AUCUN	
US 2012042850 A1	23-02-2012	CN 102374052 A	14-03-2012
		DE 102011109482 A1	08-11-2012
		US 2012042850 A1	23-02-2012
		US 2015000632 A1	01-01-2015
JP 2013167199 A	29-08-2013	AUCUN	
WO 2020084204 A1	30-04-2020	EP 3870824 A1	01-09-2021
		FR 3087842 A1	01-05-2020
		WO 2020084204 A1	30-04-2020
DE 102020202892 A1	09-09-2021	CN 113356999 A	07-09-2021
		DE 102020202892 A1	09-09-2021
WO 2021019626 A1	04-02-2021	CN 114026316 A	08-02-2022
		EP 4006326 A1	01-06-2022
		JP WO2021019626 A1	04-02-2021
		US 2022268220 A1	25-08-2022
		WO 2021019626 A1	04-02-2021