

⑫

CERTIFICAT D'UTILITÉ

B3

⑤④ Moteur à air comprimé à chambre active incluse et à distribution active à soupape équilibrée.

②② Date de dépôt : 17.06.19.

③③ Priorité :

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

☐ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *MOTOR DEVELOPMENT
INTERNATIONAL SOCIETE ANONYME — LU.*

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 18.12.20 Bulletin 20/51.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
certificat d'utilité : 21.05.21 Bulletin 21/20.

⑤⑥ Les certificats d'utilité ne font pas l'objet d'un
rapport de recherche.

⑦② Inventeur(s) : *NEGRE Cyril et HURTH Christophe.*

⑦③ Titulaire(s) : *MOTOR DEVELOPMENT
INTERNATIONAL SOCIETE ANONYME.*

⑦④ Mandataire(s) :

FR 3 097 254 - B3



Description

Titre de l'invention : Moteur à air comprimé à chambre active incluse et à distribution active à soupape équilibrée

Domaine technique de l'invention

- [0001] L'invention concerne un moteur fonctionnant notamment avec de l'air comprimé, ou tout autre gaz, et utilisant une chambre dite « chambre active ».
- [0002] L'invention concerne la distribution à l'admission d'un tel moteur et plus particulièrement pour un moteur comportant une chambre active incluse, et notamment pour un moteur autodétendeur plurimodal à chambre active incluse.

Arrière-plan technique

- [0003] On appelle distribution l'ensemble des moyens utilisés pour alimenter un tel moteur en gaz comprimé.
- [0004] Les inventeurs et/ou le demandeur ont déposé de nombreux brevets concernant des motorisations ainsi que leurs installations, utilisant des gaz et plus particulièrement de l'air comprimé pour un fonctionnement totalement propre en site urbain et suburbain.
- [0005] Ils ont notamment déposé une demande de brevet internationale WO-A1-03/036088 au contenu de laquelle on pourra se reporter, concernant un groupe moto-compresseur – moto-alternateur à injection d'air comprimé additionnel pouvant fonctionner en mode dit mono-énergie, et en mode dit pluri-énergies.
- [0006] Dans ces types de moteur fonctionnant avec de l'air comprimé et comportant un réservoir de stockage d'air comprimé, il est nécessaire de détendre l'air comprimé stocké à très haute pression dans le réservoir - mais dont la pression diminue au fur et à mesure que le réservoir se vide - à une pression intermédiaire stable dite pression finale d'utilisation, dans une capacité tampon - dite capacité de travail - avant son utilisation dans le ou les cylindres moteurs du moteur.
- [0007] Pour résoudre les problèmes de détendeur, les inventeurs et/ou le demandeur ont aussi déposé une demande de brevet WO-A1-03/089764, au contenu de laquelle on pourra se reporter, concernant un détendeur dynamique à débit variable et une distribution pour moteurs alimentés avec injection d'air comprimé, comportant un réservoir d'air comprimé à haute pression et une capacité de travail.
- [0008] Dans le fonctionnement de ces moteurs à « détente de charge », le remplissage de la chambre d'expansion représente toujours une détente sans travail qui est nuisible au rendement global de la machine.
- [0009] Pour résoudre le problème indiqué ci-dessus, les inventeurs et/ou le demandeur ont alors déposé une demande de brevet WO-A1-2005/049968 décrivant un moteur à air comprimé alimenté préférentiellement par de l'air comprimé, ou par tout autre gaz

comprimé, contenu dans un réservoir de stockage à haute pression, préalablement détendu à une pression nominale de travail dans une capacité tampon dite capacité de travail.

[0010] Dans ce type de moteur selon les enseignements du document WO-A1-2005/049968 :

- la chambre d'expansion est constituée d'un volume variable équipé de moyens permettant de produire un travail, elle est jumelée et en contact par un passage permanent avec l'espace compris au-dessus du piston moteur principal qui est équipé d'un dispositif d'arrêt du piston à son point mort haut ;
- durant l'arrêt de la course du piston moteur à son point mort haut, l'air ou le gaz sous pression est admis dans la chambre d'expansion lorsque celle-ci est à son plus petit volume et, sous la poussée, va augmenter son volume en produisant un travail ;
- la chambre d'expansion étant maintenue sensiblement à son volume maximum, l'air comprimé qui y est contenu se détend ensuite dans le cylindre moteur en repoussant ainsi le piston moteur dans sa course descendante en fournissant à son tour un travail ;

[0011] - durant la remontée du piston moteur pendant le temps échappement, le volume variable de la chambre d'expansion est ramené à son plus petit volume pour recommencer un cycle de travail complet.

[0012] La chambre d'expansion du moteur selon cette invention participe activement au travail. Le moteur est ainsi dit moteur à « chambre active ».

[0013] Le document WO-A1-2005/049968 enseigne notamment un cycle thermodynamique en quatre phases lors de son fonctionnement en mode mono-énergie à air comprimé caractérisé par :

- une détente isotherme sans travail ;
- un transfert – légère détente avec travail dit quasi-isotherme ;
- une détente polytropique avec travail ;
- un échappement à pression ambiante.

[0014] Le document WO-A1-2008/028881, qui présente une variante des enseignements du document WO-A1-2005/049968, enseigne le même cycle thermodynamique, mais en utilisant un dispositif de transformation de mouvement connu et conventionnel du type bielle-manivelle, la chambre d'expansion du moteur selon l'invention participant activement au travail.

[0015] Les moteurs selon les enseignements des documents WO-A1-2005/049968 et WO-A1-2008/028881 sont dits « moteurs à chambre active ».

[0016] Par la suite, les inventeurs et/ou le demandeur ont déposé une demande de brevet pour un moteur à air ou à gaz comprimé à chambre active incluse qui met en œuvre le même cycle thermodynamique que les moteurs selon les enseignements de WO-A1-2005/049968 et WO-A1-2008/028881, ainsi qu'un dispositif bielle-manivelle

conventionnel.

[0017] Selon les enseignements du document WO-A1-2012/045693, les inventeurs ont proposé un moteur à chambre active incluse, comportant au moins un piston monté coulissant dans un cylindre et entraînant un vilebrequin au moyen d'un dispositif bielle-manivelle traditionnel et fonctionnant selon un cycle thermodynamique à quatre phases comportant :

- une détente isotherme sans travail ;
- un transfert – légère détente avec travail dit quasi-isotherme ;
- une détente polytropique avec travail ;
- un échappement à pression ambiante.

[0018] Alimenté préférentiellement par de l'air comprimé, ou tout autre gaz comprimé, contenu dans un réservoir de stockage à haute pression, à travers une capacité tampon dite capacité de travail qui est alimentée par de l'air comprimé, ou tout autre gaz comprimé, contenu dans un réservoir de stockage à haute pression, qui est détendu à une pression moyenne dite pression de travail dans une capacité de travail préférentiellement à travers un dispositif de détendeur dynamique, dans lequel :

- la chambre active est incluse/incorporée dans le cylindre moteur ;
- le cylindre moteur comporte au moins un piston monté coulissant dans au moins un cylindre dont le volume balayé par le piston est divisé en deux parties distinctes dont une première partie constituant la chambre active CA et une deuxième partie constituant la chambre de détente CD ;
- le cylindre est fermé à sa partie supérieure par une culasse comportant au moins un conduit et un orifice d'admission, et au moins un conduit et un orifice d'échappement et qui est aménagé de telle sorte que, lorsque le piston est à son point mort haut, le volume résiduel compris entre le piston et la culasse est, par construction, sinon inexistant, réduit aux seuls jeux minimum permettant le fonctionnement sans contact entre le piston et la culasse ;
- l'air comprimé ou le gaz sous pression est admis dans le cylindre au-dessus du piston lorsque le volume de la chambre active CA est à son plus petit volume et qui, sous la poussée continue de l'air comprimé à pression constante de travail, va augmenter son volume en produisant un travail représentant la phase de transfert quasi-isotherme ;
- l'admission de l'air comprimé, ou du gaz sous pression, dans le cylindre est obturée dès lors que le volume maximal de la chambre active CA est atteint, et que la quantité d'air comprimé, ou du gaz sous pression, comprise dans ladite chambre active se détend alors en repoussant le piston sur la deuxième partie de sa course qui détermine la chambre de détente CD en produisant un travail assurant ainsi la phase de détente ;
- le piston ayant atteint son point mort bas, l'orifice d'échappement est alors ouvert

pour assurer la phase d'échappement pendant la remontée du piston sur la totalité de sa course.

- [0019] Le volume de la chambre active incluse CA et le volume de la chambre de détente CD sont dimensionnés de telle sorte qu'à la pression nominale de fonctionnement du moteur, la pression en fin de détente au point mort bas est proche de la pression ambiante, notamment atmosphérique. Le volume de la chambre active est déterminé par la fermeture de l'admission.
- [0020] Avantageusement, et notamment en fonctionnement mono-énergie à air comprimé, le moteur à chambre active incluse décrit ci-dessus comporte plusieurs cylindres successifs de cylindrées croissantes.
- [0021] Préférentiellement, le moteur est alimenté à l'instar des enseignements des documents WO-A1-2005/049968 et WO-A1-2008/028881, par de l'air comprimé, ou par tout autre gaz comprimé, contenu dans un réservoir de stockage à haute pression, préalablement détendu, à une pression nominale de travail, dans une capacité tampon - dite capacité de travail.
- [0022] Toutefois, même si il est possible dans le cas d'un moteur pluri étagé d'alimenter le premier des cylindres à des pressions élevées, il reste nécessaire de détendre l'air comprimé à très haute pression contenu dans le réservoir de stockage à haute pression jusqu'à une pression nominale de travail et cette opération de détente, soit entraîne une perte de rendement par l'utilisation d'un détendeur conventionnel soit, avec l'utilisation des enseignements de WO-A1-03/089764, ne coûte pas d'énergie, mais cette détente ne permet pas d'effectuer un quelconque travail de détente entre la haute pression contenue dans le réservoir et la pression nominale de travail dans la capacité de travail à volume constant.
- [0023] Les inventeurs et/ou le demandeur ont alors déposé une nouvelle demande de brevet WO-A1-2012/045694 au contenu de laquelle on pourra se reporter qui revendique un moteur à air comprimé à chambre active incluse dans lequel :
 - le réservoir de stockage d'air comprimé à haute pression, ou de tout autre gaz sous pression, alimente directement l'admission du cylindre moteur ;
 - le remplissage de la chambre active incluse CA s'effectue à une pression d'admission constante à chaque tour moteur, cette pression d'admission étant dégressive au fur à mesure de la diminution de la pression dans le réservoir de stockage au fur et à mesure de la vidange progressive de ce réservoir ;
 - le volume de la chambre active incluse CA est variable et est augmenté progressivement au fur et à mesure de la diminution de la pression dans le réservoir de stockage qui détermine ladite pression d'admission ;
 - les moyens d'ouverture et de fermeture de l'admission de l'air comprimé dans la chambre active incluse CA permettent non seulement d'ouvrir l'orifice et le conduit

d'admission sensiblement au point mort haut de la course du piston, mais ils permettent aussi de modifier la durée et/ou le secteur angulaire de l'admission, ainsi que la section de passage de l'ouverture ;

- le volume de la chambre active incluse CA est dimensionné pour la pression maximum de stockage, puis il est progressivement augmenté de telle sorte que, en fonction de la pression d'admission, du rapport de volumes entre la chambre active incluse CA et la chambre de détente CD, la pression en fin de détente avant l'ouverture de l'échappement se trouve proche de la pression atmosphérique.

[0024] Le moteur selon WO-A1-2012/045694 fait aussi fonction de détendeur, l'invention permettant ainsi de proposer un moteur dit « autodétendeur » qui, pour l'alimentation de la chambre active CA, ne nécessite aucun détendeur indépendant d'un quelconque type.

[0025] Le moteur autodétendeur plurimodal à chambre active incluse selon les enseignements du document WO-A1-2012/045694 met notamment en œuvre, lors de son fonctionnement en mode mono énergie air comprimé, un cycle thermodynamique à trois phases comportant :

- une phase de transfert isobare et isotherme
- une phase de détente polytropique avec travail
- une phase d'échappement à pression ambiante.

[0026] Dans le fonctionnement de ce moteur, le volume, variable en fonction de la pression du réservoir de stockage haute pression, de la chambre active incluse détermine la quantité d'air comprimé injecté. Plus la pression d'admission est élevée, plus le volume de la chambre active doit être petit.

[0027] Afin d'obtenir un fonctionnement correct dans toutes les phases d'utilisation du moteur, il convient donc de l'alimenter avec une grande précision en fonction des divers paramètres notamment de vitesse ou régime de rotation, de la pression d'alimentation, de la charge déterminée par la position de l'accélérateur, de la température.

[0028] A cet effet, il est nécessaire de pouvoir faire varier :

- le moment de l'ouverture de l'admission en fonction du régime de rotation du moteur avant ou après le point mort haut pour tenir compte des inerties des gaz, mais aussi du rapport entre les temps d'établissement de la pression,
- le moment de fermeture de l'admission, en fonction du régime de rotation du moteur, mais aussi de la pression d'admission,
- la levée de la soupape d'admission en fonction de la charge souhaitée.

[0029] La difficulté réside dans la réalisation des moyens d'ouverture et de fermeture de l'admission de l'air comprimé dans la chambre active incluse qui permettent non seulement d'ouvrir l'orifice et le conduit d'admission sensiblement au point mort haut

de la course du piston, mais qui permettent aussi de modifier la durée et/ou le secteur angulaire de l'admission, ainsi que la section de passage de l'ouverture.

- [0030] La distribution des moteurs de tous types est généralement assurée par des soupapes dont le fonctionnement est bien connu.
- [0031] Ainsi, une soupape vient obturer le conduit d'admission et/ou d'échappement et elle comporte une tête de soupape maintenue par un ou des ressorts en appui sur un siège de soupape circulaire formé autour d'un orifice mettant en communication le conduit d'admission et/ou d'échappement avec la chambre de combustion et/ou d'expansion contenue dans le cylindre.
- [0032] La tête de soupape ouvre le circuit en pénétrant la chambre à alimenter mue par des systèmes mécaniques de came et de poussoirs agissant sur la queue ou tige de la soupape qui prolonge la tête de la soupape.
- [0033] Dans d'autres domaines de motorisation et pour d'autres raisons techniques concernant notamment la réduction de la pollution et dans le but de maîtriser l'admission et l'échappement des moteurs conventionnels à combustion, un grand nombre de motoristes travaillent sur des systèmes permettant de contrôler le phasage et la durée des ouvertures de soupapes en cours de fonctionnement et ont déposé de nombreux brevets concernant ces applications. Des systèmes mécaniques complexes pilotés par des moteurs électriques pas à pas ont aussi été développés et commercialisés, notamment par BMW (Marque Déposée) avec le dispositif appelé « Vamos ».
- [0034] Les inventeurs et/ou le demandeur ont aussi déposé la demande de brevet WO-A1-03/089764 au contenu de laquelle on pourra se reporter concernant une distribution par soupape à commande progressive.
- [0035] De nombreux travaux ont été entrepris concernant des dispositifs électromécaniques, notamment commandés par des électroaimants facilement pilotables pour prendre en compte les divers paramètres de fonctionnement, mais les puissances électriques devant être mise en œuvre pour permettre les accélérations et la vitesse de déplacement des soupapes demandent, compte tenu du poids et de l'inertie de ces dernières, des puissances considérables.
- [0036] Pour résoudre les problèmes évoqués ci-dessus tout en apportant un surcroît de puissance, les inventeurs et/ou le demandeur ont déposé la demande brevet WO-A2-2015/177076 concernant un moteur à air comprimé à chambre active incluse et à distribution active à l'admission.
- [0037] Le dispositif de distribution active à l'admission selon ce document appliqué aux moteurs à air comprimé utilise l'air comprimé contenu dans le réservoir de stockage haute pression et/ou dans le circuit d'admission pour mouvoir la soupape d'admission afin d'ouvrir puis de fermer le conduit d'admission permettant d'alimenter la chambre active du moteur, l'air comprimé ayant servi à ces actions étant ensuite réutilisé dans le

moteur pour produire un complément de travail.

[0038] Il a ainsi été proposé un moteur à chambre active fonctionnant selon un cycle thermodynamique à trois phases comportant :

- une phase de transfert isobare et isotherme ;
- une phase de détente polytropique avec travail ;
- une phase d'échappement à pression ambiante ;

ce moteur comportant :

- au moins un cylindre alimenté par un gaz sous pression, préférentiellement par de l'air comprimé, contenu dans un réservoir de stockage à haute pression,
 - au moins un piston qui est monté coulissant dans ce cylindre,
 - un vilebrequin entraîné par le piston au moyen d'un dispositif bielle-manivelle traditionnel,
 - une culasse qui ferme à sa partie supérieure le volume du cylindre, qui est balayé par le piston, et qui comporte au moins un conduit d'admission dans lequel s'écoule un flux de gaz sous pression de remplissage du cylindre, un orifice d'admission du gaz sous pression au-dessus du piston, et au moins un orifice d'échappement et un conduit d'échappement, la culasse étant agencée de telle sorte que, lorsque le piston est à son point mort haut, le volume résiduel compris entre le piston et la culasse est, par construction, réduit aux seuls jeux minimum permettant le fonctionnement sans contact entre le piston et la culasse,
 - au moins une soupape d'admission qui coopère de manière étanche avec un siège de soupape formé dans la culasse et qui délimite l'orifice d'admission,
- moteur dans lequel :
- le volume du cylindre balayé par le piston est divisé en deux parties distinctes dont une première partie constituant une chambre active qui est incluse dans le cylindre et une deuxième partie constituant une chambre de détente,
 - sous la poussée continue du gaz sous pression admis dans le cylindre, à pression constante de travail, le volume de la chambre active augmente en produisant un travail représentant la phase de transfert isobare et isotherme,
 - l'admission du gaz sous pression dans le cylindre est obturée dès que le volume maximal de la chambre active est atteint, la quantité de gaz sous pression comprise dans ladite chambre active se détendant alors en repoussant le piston sur la deuxième partie de sa course qui détermine la chambre de détente en produisant un travail assurant ainsi la phase de détente polytropique,
 - le piston ayant atteint son point mort bas, l'orifice d'échappement est alors ouvert pour assurer la phase d'échappement pendant la remontée du piston sur la totalité de sa course jusqu'à son point mort haut,
 - le couple et le régime du moteur sont commandés par l'ouverture et la fermeture de

la soupape d'admission en permettant d'ouvrir la soupape d'admission, sensiblement au point mort haut de la course du piston, et en permettant, par la fermeture de la soupape, de modifier la durée et/ou le secteur angulaire de l'admission, ainsi que la section de passage de l'ouverture d'admission afin, en fonction de la pression du gaz comprimé contenu dans le réservoir de stockage et de la pression en fin de phase de détente, de déterminer la quantité de gaz sous pression admise ainsi que le volume de la chambre active,

dans lequel :

- a) la soupape d'admission est montée mobile en déplacement axial entre une position basse de fermeture dans laquelle elle est en appui étanche sur son siège de soupape, et une position haute d'ouverture,
- b) dans le sens de son ouverture, la soupape d'admission se déplace axialement, dans le sens opposé à celui de l'écoulement du flux de gaz sous pression de remplissage du cylindre,
- c) dans sa position de fermeture, la soupape d'admission est maintenue fermée de façon autoclave sur son siège de soupape par la pression régnant dans le conduit d'admission et s'appliquant à la soupape d'admission,
- d) le moteur comporte des moyens de commande de l'ouverture de la soupape d'admission, sensiblement au point mort haut de la course du piston, pour provoquer le décollement de la soupape d'admission de son siège pour permettre l'établissement de la pression d'admission dans la chambre active, la soupape parcourant alors sa course complète d'ouverture sous l'action des efforts différentiels de pression exercés par le gaz sous pression sur les parties correspondantes de la soupape d'admission,
- e) le moteur comporte un vérin pneumatique de fermeture de la soupape d'admission qui comporte un cylindre de vérin et un piston de fermeture qui est lié en déplacement axial avec la soupape d'admission, et qui est monté coulissant dans le cylindre de vérin à l'intérieur duquel il délimite de manière étanche une chambre de commande du vérin, dite chambre de fermeture,
- f) le moteur comporte au moins un canal de commande d'ouverture de la soupape d'admission qui relie ladite chambre de fermeture à une source de gaz sous pression qui est soit la partie supérieure de la chambre active du cylindre, soit le conduit d'admission, soit le réservoir de gaz sous pression,
- g) le moteur comporte un canal de distribution active qui relie ladite chambre de fermeture à la partie supérieure de la chambre active et une valve d'obturation de la circulation du gaz dans le canal de distribution active, dite valve de distribution active, dont l'ouverture est commandée pour mettre la chambre de fermeture en communication avec la partie supérieure de la chambre active, fermer la soupape d'admission et produire un travail qui s'ajoute au travail de la charge de gaz sous pression préa-

lablement admise, via le conduit d'admission, dans la chambre active.

[0039] On peut se reporter au contenu de ce document pour connaître en détail les autres caractéristiques du moteur.

[0040] L'invention vise à proposer une nouvelle conception d'un tel moteur à air comprimé à chambre active visant notamment à en accroître les performances et le rendement, notamment en utilisant un système de distribution pour la commande de l'ouverture et de la fermeture de la soupape d'admission faisant appel à une source de gaz comprimé – notamment d'air comprimé – dont la valeur de la pression (dite basse pression) est inférieure à celle de la pression disponible dans le réservoir de stockage à haute pression.

[0041] L'énergie « pneumatique » nécessaire à l'ouverture et la fermeture de la soupape d'admission est par exemple fournie sous la forme de gaz provenant du réservoir de stockage à haute pression ou du circuit d'admission qui est détendue à basse pression. Après son utilisation pour commander l'ouverture de la soupape, cette énergie peut ensuite être réutilisée en produisant un complément de travail.

[0042] Les volumes des chambres de fermeture et/ou d'ouverture sont de valeur réduite par exemple non limitatif inférieur à 10% de la cylindrée moteur

[0043] Il en va de même pour les conduits reliant l'admission et la chambre active, l'admission et la chambre de fermeture la chambre de fermeture et la chambre de détente sont calculés pour permettre un débit suffisant à l'établissement des pressions dans les différentes chambres actives motrices fermeture distributeur détente distributeur.

[0044] L'invention s'applique de manière identique à la commande d'une soupape d'échappement.

Résumé de l'invention

[0045] L'invention propose un moteur à chambre active fonctionnant selon un cycle thermodynamique à trois phases comportant:

- une phase de transfert isobare et isotherme;
- une phase de détente polytropique avec travail;
- une phase d'échappement à pression ambiante;

ce moteur comportant:

- au moins un cylindre alimenté par un gaz sous pression, préférentiellement par de l'air comprimé, contenu dans un réservoir de stockage à haute pression,
- au moins un piston qui est monté coulissant dans ce cylindre,
- un vilebrequin entraîné par le piston au moyen d'un dispositif bielle-manivelle traditionnel,
- une culasse qui ferme à sa partie supérieure le volume du cylindre qui est balayé par

le piston, et qui comporte au moins un conduit d'admission dans lequel s'écoule un flux de gaz sous pression de remplissage du cylindre, un orifice d'admission du gaz sous pression au-dessus du piston, et au moins un orifice d'échappement et un conduit d'échappement, la culasse étant agencée de telle sorte que, lorsque le piston est à son point mort haut, le volume résiduel compris entre le piston et la culasse est, par construction, réduit aux seuls jeux minimum permettant le fonctionnement sans contact entre le piston et la culasse,

- au moins une soupape d'admission qui coopère de manière étanche avec un siège de soupape formé dans la culasse et qui délimite l'orifice d'admission,

moteur dans lequel:

-- le volume du cylindre balayé par le piston est divisé en deux parties distinctes dont une première partie constituant une chambre active qui est incluse dans le cylindre et une deuxième partie constituant une chambre de détente,

-- sous la poussée continue du gaz sous pression admis dans le cylindre, à pression constante de travail, le volume de la chambre active augmente en produisant un travail correspondant à la phase de transfert isobare et isotherme du cycle thermodynamique de fonctionnement,

-- l'admission du gaz sous pression dans le cylindre est obturée dès que le volume maximal de la chambre active est atteint, la quantité de gaz sous pression comprise dans ladite chambre active se détendant alors en repoussant le piston sur la deuxième partie de sa course qui détermine la chambre de détente en produisant un travail correspondant à la phase de détente polytropique du cycle thermodynamique de fonctionnement,

-- le piston ayant atteint son point mort bas, l'orifice d'échappement est alors ouvert pour réaliser la phase d'échappement du cycle thermodynamique de fonctionnement pendant la remontée du piston sur la totalité de sa course jusqu'à son point mort haut,

-- le couple et le régime du moteur sont commandés par l'ouverture et la fermeture de la soupape d'admission en permettant d'ouvrir la soupape d'admission, sensiblement au point mort haut de la course du piston, et en permettant, par la fermeture de la soupape, de modifier la durée et/ou le secteur angulaire de l'admission, ainsi que la section de passage de l'ouverture d'admission afin, en fonction de la pression du gaz comprimé contenu dans le réservoir de stockage et de la pression en fin de la phase de détente, de déterminer la quantité de gaz sous pression admise ainsi que le volume de la chambre active,

caractérisé en ce que:

- a) la soupape d'admission est montée mobile en déplacement axial entre une position basse de fermeture dans laquelle elle est en appui étanche sur son siège de soupape, et une position haute d'ouverture,

- b) dans le sens de son ouverture, la soupape d'admission se déplace axialement, dans le sens opposé à celui de l'écoulement du flux de gaz sous pression de remplissage du cylindre,
- c) dans sa position de fermeture, la soupape d'admission est maintenue fermée sur son siège par un ressort,
- d) les efforts axiaux s'exerçant sur la soupape d'admission qui résultent de la pression régnant dans le conduit d'admission et dans le cylindre sont en permanence équilibrés,
- e) le moteur comporte un vérin pneumatique de commande de l'ouverture de la soupape d'admission, sensiblement au point mort haut de la course du piston, pour provoquer le décollement de la soupape d'admission de son siège pour permettre l'établissement de la pression d'admission dans la chambre active, la soupape parcourant alors sa course complète d'ouverture à l'encontre de l'effort exercé par le ressort de rappel,
- f) le vérin pneumatique comporte un cylindre de vérin et un piston qui est relié à la soupape d'admission et qui délimite une chambre de pilotage qui est reliée à une source de gaz à basse pression,
- g) le moteur comporte un canal qui relie la source de gaz à basse pression à la chambre de pilotage, et une valve une valve commandée d'admission du gaz à basse pression dans la chambre de pilotage,
- i) le moteur comporte un canal de commande de fermeture de la soupape d'admission qui relie la chambre de pilotage à l'air libre ou à un système de récupération d'énergie, et une valve commandée de vidange de la chambre de pilotage.

[0046] Selon d'autres caractéristiques du moteur :

- la source de gaz à basse pression est un détendeur dont l'entrée est reliée au réservoir de stockage à haute pression ou au conduit d'admission, et dont la sortie est reliée à la chambre de pilotage ;
- le détendeur est un détendeur à pression de sortie variable commandée pour faire varier la valeur de la levée de la soupape d'admission de son siège ;
- le moteur comporte un système de récupération d'énergie, un canal qui relie le système de récupération d'énergie à la partie supérieure du cylindre située au-dessus du piston, et une valve une valve commandée de vidange active du système de récupération d'énergie dans la partie supérieure du cylindre ;
- les valves d'admission, de vidange et de vidange active sont commandées selon le cycle suivant :
 - i) ouverture de la valve d'admission pour mettre la chambre de pilotage en communication avec la source de gaz basse pression et provoquer l'ouverture de la soupape d'admission aux alentours du point mort haut du piston pour mettre le conduit d'admission en communication avec la chambre active du cylindre,

- ii) fermeture de la valve d'admission et ouverture de la valve de vidange lorsque le piston atteint la limite demandée de la chambre active pour provoquer une baisse de la pression dans la chambre de pilotage et pour provoquer la fermeture de la soupape d'admission,
- iii) fermeture de la valve et, lorsque la pression dans le cylindre est inférieure ou égale à la pression dans le système de récupération d'énergie, ouverture de la valve de vidange active pour introduire dans le cylindre une charge qui s'ajoute à la charge préalablement admise dans la chambre active,
- iv) fermeture de la valve de vidange active lors de la remontée du piston ;
- le vérin pneumatique de commande de l'ouverture de la soupape d'admission est intégré à la culasse et son piston est solidaire de la tige de la soupape d'admission ;
- le vérin pneumatique de commande de l'ouverture de la soupape d'admission est agencé à l'extérieur de la culasse, et en ce que l'organe de sortie du vérin est reliée, directement ou indirectement, à la tige de la soupape d'admission par un organe de transmission de mouvement ;
- le vérin pneumatique de commande de l'ouverture de la soupape d'admission est un muscle pneumatique, et en ce que ledit organe de transmission de mouvement est un basculeur qui est monté pivotant autour d'un axe qui est orthogonal à l'axe de coulissement de la soupape d'admission dont l'une des extrémités est reliée, directement ou indirectement, à la tige de la soupape d'admission, et l'autre extrémité opposée est reliée à l'organe de sortie du vérin pneumatique de commande ;
- la position de l'axe de pivotement du basculeur est réglable entre ses deux extrémités opposées ;
- la tige de la soupape d'admission est traversée axialement par un canal d'équilibrage des pressions qui débouche dans une chambre de compensation et dans la partie supérieure du cylindre.

Brève description des figures

- [0047] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront au cours de la lecture de la description détaillée qui va suivre pour la compréhension de laquelle on se reportera aux dessins annexés dans lesquels :
- [0048] [fig.1A] – la figure 1A représente schématiquement un premier mode de réalisation d'un moteur selon l'invention, à chambre active incluse dans le cylindre, qui est illustré en coupe axiale à son point mort bas, et son dispositif d'alimentation en air comprimé ;
- [0049] [fig.1B] – la figure 1B est une vue analogue à celle de la figure 1A sur laquelle le moteur est illustré en cours d'admission, à son point mort haut, la soupape d'admission ayant été ouverte dès le point mort haut ;

- [0050] [fig.1C] – la figure 1C est une vue analogue à celles des figures 1A et 1B sur laquelle le moteur est illustré en cours de phase de détente ;
- [0051] [fig.2] – la figure 2 est une vue analogue à celle de la figure 1A qui illustre un deuxième mode de réalisation d'un moteur selon l'invention ;
- [0052] [fig.3] – la figure est une vue analogue à celle de la figure 1A qui illustre un troisième mode de réalisation d'un moteur selon l'invention ;
- [0053] [fig.4] – la figure 4 est une vue analogue à celle de la figure 3 qui illustre une variante de réalisation du troisième mode de réalisation ;
- [0054] [fig.5] – la figure 4 est une vue analogue à celle de la figure 3 qui illustre une autre variante de réalisation du troisième mode de réalisation ;
- [0055] [fig.6] – la figure 6 est une vue en coupe axiale d'un exemple de réalisation d'une cartouche modulaire intégrant une soupape apte à être intégrée dans un moteur du type illustré schématiquement aux figures 3 et 4 ;
- [0056] [fig.7] – la figure 7 est une vue en coupe par un plan passant par les axes d'une soupape d'admission et d'une soupape d'échappement d'un exemple de réalisation d'un moteur du type illustré schématiquement aux figures 3 et 4 dans lequel chaque soupape est intégrée à une cartouche telle qu'illustrée à la figure 6 ;
- [0057] [fig.8] – la figure 8 est une vue en perspective de dessus d'un exemple de réalisation d'un piston particulièrement adapté à la conception d'un moteur selon l'invention.

Description détaillée de l'invention

- [0058] Le moteur comporte un ou plusieurs cylindres, dont un seul 1 est représenté qui est alimenté par un gaz sous pression, préférentiellement par de l'air comprimé, contenu dans un réservoir de stockage à haute pression 12.
- [0059] Le moteur comporte un piston 2 qui est monté coulissant selon son axe dans le cylindre 1, et un vilebrequin 5 qui est entraîné par le piston 2 au moyen d'un dispositif conventionnel à bielle 3 et manivelle 4.
- [0060] Le moteur comporte une culasse 6 qui ferme à sa partie supérieure le volume interne du cylindre 1 qui est balayé par le piston 2.
- [0061] Le volume interne du cylindre 1 qui est balayé par le piston 2 est divisé selon une ligne imaginaire DD' (correspondant à un plan de division orthogonal à l'axe du cylindre 1) en deux parties ou chambres comprenant :
- une première partie supérieure constituant la chambre active CA, qui est ainsi incluse dans le cylindre 1 ;
 - et une deuxième partie inférieure constituant la chambre de détente CD.
- [0062] La culasse 6 comporte au moins un conduit d'admission 8 qui est relié au réservoir 12 et dans lequel s'écoule le flux de gaz sous pression de remplissage du cylindre 1.
- [0063] Le conduit d'admission 8 se termine à son extrémité inférieure par un orifice

d'admission 7 du gaz sous pression agencé au-dessus du piston 2.

- [0064] La culasse 6 et le piston 2 sont agencés de telle sorte que, lorsque le piston 2 est à son point mort haut, le volume résiduel compris entre le piston 2 et la culasse 6 est, par construction, réduit au seuls jeux minimum permettant le fonctionnement sans contact entre le piston 2 et la culasse 6, c'est-à-dire sans contact entre la face supérieure 30 du piston 2 et la portion en vis-à-vis de la face inférieure 32 de la culasse 6 qui ferme le cylindre 1 à sa partie supérieure.
- [0065] Pour ouvrir ou fermer l'orifice d'admission 7, la culasse 6 comporte une soupape d'admission 9, qui est notamment apte à coopérer de manière étanche avec un siège de soupape 20 formé dans la culasse 6 et qui délimite l'orifice d'admission 7.
- [0066] La culasse 6 comporte aussi au moins une soupape d'échappement, au moins un orifice d'échappement et au moins un conduit d'échappement (non représentés) et dont la conception et le fonctionnement sont similaires au système d'admission décrit ici en détail.
- [0067] Dans un tel moteur dans lequel le volume du cylindre 1 balayé par le piston 2 est divisé en une chambre dite chambre active CA qui est incluse dans le cylindre 1, et une deuxième partie constituant une chambre de détente CD :
- [0068] - a) sous la poussée continue du gaz sous pression admis dans le cylindre 1, à pression constante de travail, le volume de la chambre active CA augmente en produisant un travail correspondant à la première phase de transfert quasi-isotherme du cycle thermodynamique de fonctionnement ;
- [0069] - b) l'admission du gaz sous pression dans le cylindre 1 est obturée dès qu'un volume maximal choisi de la chambre active CA est atteint, la quantité de gaz sous pression comprise dans la chambre active CA se détendant alors en repoussant le piston 2 sur la deuxième partie de sa course descendante qui détermine le volume la chambre de détente CD en produisant un travail correspondant à la deuxième phase de détente du cycle thermodynamique de fonctionnement ;
- [0070] - c) lorsque le piston 2 a atteint son point mort bas (PMB), l'orifice d'échappement est ouvert par commande de la soupape d'échappement pour - pendant la remontée du piston 2 sur la totalité de sa course jusqu'à son point mort haut (PMH) – réaliser la troisième phase d'échappement du cycle thermodynamique de fonctionnement.
- [0071] Le couple fourni par le moteur est commandé par la commande de l'ouverture et de la fermeture de la soupape d'admission 9 en l'ouvrant au point mort haut PMH de la course du piston 2 et en la refermant pour modifier la durée et/ou le secteur angulaire de l'admission, ainsi que la section de passage de l'ouverture d'admission, notamment en fonction de la valeur de la pression du gaz contenu dans le réservoir de stockage 12. On détermine ainsi la quantité de gaz sous pression qui est admise dans le cylindre, ainsi que le volume de la chambre active CA.

- [0072] Le conduit d'admission 8 est relié directement au réservoir de gaz à haute pression 12 qui alimente ainsi directement la chambre active CA, cette dernière et se trouvant ainsi à la même pression que celle du gaz contenu dans la réservoir 12, par exemple de l'ordre de 100 bars et elle est supérieure à celle régnant dans la chambre active CA et la chambre de détente CD, par exemple égale à 1,5 bar au moment du cycle correspondant au point mort bas PMB du piston, en fin de détente, juste avant l'ouverture de la soupape d'échappement.
- [0073] La soupape d'admission 9 est guidée en coulissement dans un guide de soupape 206 et elle est montée mobile en déplacement axial – selon son axe principal - entre :
- une position basse de fermeture ou d'obturation (en considérant l'orientation générale verticale des figures et sans référence à la gravité terrestre) qui est représentée à la figure 1A et dans laquelle la partie inférieure ou tête 25 de la soupape est en appui étanche sur le siège de soupape 20 ; et
 - une position haute d'ouverture représentée à la figure 1B.
- [0074] Dans le sens de son ouverture, la soupape d'admission 9 se déplace axialement – vers le haut, dans le sens opposé à celui de l'écoulement du flux F de gaz sous pression de remplissage du cylindre. Ainsi, la soupape d'admission s'ouvre dans le sens opposé au flux d'air sous pression de remplissage du cylindre du moteur.
- [0075] Le moteur comporte un vérin pneumatique, ou vérin à gaz, V de commande de l'ouverture de la soupape d'admission 9 qui, à titre d'exemple non limitatif et selon la conception illustrée aux figures 1A à 1C, est aménagé dans la culasse 6.
- [0076] Le vérin V comporte un cylindre de vérin et un piston P de fermeture qui est lié en déplacement axial avec la tige supérieure 26 de la soupape d'admission 9, et qui est monté coulissant dans le cylindre du vérin V à l'intérieur duquel il délimite de manière étanche une chambre inférieure 100, appelée chambre d'ouverture de la soupape d'admission 9, ou chambre de pilotage.
- [0077] Au-dessus du piston P, le cylindre de vérin comporte une chambre supérieure 99 dans laquelle est logé un ressort 13 de rappel élastique de la soupape d'admission 9 qui est par exemple un ressort hélicoïdal qui est monté comprimé dans la chambre supérieure 99 et qui exerce un effort élastique orienté vers le bas sur la face supérieure 27 du piston P.
- [0078] Au-dessus de la chambre supérieure 99 logeant le ressort de rappel 13, le cylindre de vérin se prolonge par un tronçon supérieur 98 de plus petit diamètre dans lequel la partie supérieure de la tige 26 de la soupape d'admission 9 - qui s'étend au-dessus du piston P - est reçue en coulissement axial.
- [0079] La face supérieure d'extrémité libre 22 de la tige 26 de la soupape d'admission 9 délimite dans le tronçon 98 une chambre supérieure 101 dite chambre de compensation.

- [0080] La chambre de compensation 101, aussi appelée chambre d'équilibrage des pressions, est reliée en permanence à la partie supérieure du cylindre 1 située au-dessus du piston 2 par un canal central 102 débouchant à ses deux extrémités opposées qui s'étend axialement à travers la soupape 9 sur toute sa hauteur.
- [0081] Un canal X1 relie le conduit d'admission 8 à la chambre inférieure de compensation 100 du vérin V.
- [0082] Le moteur comporte une valve A commandée dite d'admission qui est agencée dans le canal X1, et dont l'ouverture peut être commandée pour mettre le conduit d'admission 8 et/ou le réservoir 12 en communication avec la chambre de compensation 100.
- [0083] Un détendeur 10 est interposé dans le canal X1, ici de manière préférentielle en amont de la valve A, pour réduire la pression à la sortie du détendeur 10 à une valeur dite de basse pression de l'ordre de quelques bars – par exemple égale à 8 bars – pour alimenter la chambre de compensation 100.
- [0084] Le détendeur 10 peut être à pression de sortie constante ou en variante à pression de sortie réglable.
- [0085] Lorsque la pression de sortie du détendeur est réglable, la commande de sa valeur permet de faire varier la valeur de la levée de la soupape.
- [0086] La chambre inférieure de compensation 100 est ici reliée à la partie supérieure du cylindre 1 située au-dessus du piston 2 par deux canaux consécutifs X2 et X3 avec interposition d'un système de récupération d'énergie 11.
- [0087] Le moteur comporte une valve B commandée dite valve de vidange B d'obturation agencée dans le canal X2, dont l'ouverture peut être commandée pour mettre la chambre de compensation 100 en communication avec le système de récupération d'énergie potentielle 11.
- [0088] Le moteur comporte une valve C commandée, dite valve de vidange active, qui relie la partie supérieure du cylindre 1 au système de récupération d'énergie potentielle 11 et dont l'ouverture peut être commandée pour mettre le système de récupération d'énergie potentielle 11 avec le cylindre 1.
- [0089] La soupape d'admission 9 est rappelée en permanence vers sa position de fermeture. A titre d'exemple, la soupape d'admission 9 est rappelée élastiquement et est maintenue fermée sur son siège de soupape 20 par un ressort de rappel 13.
- [0090] De par sa conception selon l'invention, la soupape d'admission 9 est équilibrée face aux efforts de pression régnant dans le cylindre 1 qui s'appliquent sur la face inférieure 21 de la tête 25 de la soupape.
- [0091] Ceci est obtenu grâce à la présence de la chambre supérieure de compensation 101 qui est reliée à la partie supérieure du cylindre 1 par le canal 102.
- [0092] On note ainsi que la valeur de la pression régnant dans la chambre de compensation

- 101 est toujours égale à la valeur de la pression dans le cylindre 1.
- [0093] L'aire surfacique de la face supérieure d'extrémité libre 22 de la tige 26 de la soupape d'admission 9 qui est équivalente à l'aire surfacique la face inférieure 21 de la tête 25 de la soupape d'admission 9 qui est soumise à la même valeur de pression, en permettant ainsi d'annuler les effets sur la soupape résultant de la pression.
- [0094] Le moteur comporte un système de distribution dit à basse pression qui est relié au conduit d'admission 8 par le détendeur 10 dont la valeur de la pression en sortie est inférieure à la pression du gaz à haute pression contenu dans le réservoir 12.
- [0095] La valeur maximale de la pression régnant dans le système de distribution, en aval du détendeur 10, est constante tout au long de la vidange progressive du réservoir 12.
- [0096] Cette valeur maximale de la pression régnant dans le système de distribution correspond au minimum à l'obtention d'une course complète de levée de la soupape 9, mais elle peut varier en-dessous cette valeur maximale afin de diminuer la course de la soupape d'admission 9.
- [0097] Lorsque le piston 2 approche du point mort haut PMH de sa course, la valve dite d'admission A ouvre le canal X1 pour mettre la chambre de pilotage 100 en pression en la reliant à la sortie du détendeur 10.
- [0098] La pression de pilotage s'applique alors sur la surface inférieure 23 du piston P solidaire de la tige ou queue de la soupape 9.
- [0099] L'effort ainsi appliqué à la soupape d'admission 9 est supérieur à l'effort de rappel vers le bas exercé par le ressort 13 sur la face supérieure 27 du piston P, et il provoque un décollement ou soulèvement de la soupape 9 du siège 20.
- [0100] La soupape 9 parcourt alors la totalité de sa course d'ouverture et elle met le conduit d'admission 8 en communication avec le cylindre 1.
- [0101] Seul l'effort exercé d'une part par le ressort 13 et, d'autre part, l'effort de pression exercé sur la face 23 agissent sur la soupape 9.
- [0102] Lorsque le piston 2 atteint le point de sa course axiale correspondant à la délimitation de la chambre active DD' (dont la position axiale est fonction du couple demandé), la valve d'admission A est refermée et la valve de vidange B est ouverte pour provoquer la détente du gaz à une valeur de pression inférieure à la pression de pilotage régnant dans la chambre de pilotage 100.
- [0103] La baisse de la valeur de la pression du gaz s'appliquant sur la face inférieure 23 du piston P et la valeur de l'effort de rappel exercé en permanence par le ressort de rappel 13 provoquent alors la descente de la soupape d'admission 9 jusqu'à ce que sa tête 25 soit en appui étanche sur le siège de soupape 20.
- [0104] La commande de l'ouverture de la valve de vidange B met la chambre de pilotage 100 en communication avec le système 11 de récupération d'énergie potentielle.
- [0105] La soupape d'admission 9 étant fermée, le gaz comprimé présent dans le cylindre 1

se détend au fur et à mesure de la descente du piston 2 et sa valeur diminue.

[0106] Lorsque la valeur de la pression dans le cylindre 1 est inférieure ou égale à la valeur de la pression dans le système 11 de récupération d'énergie potentielle, la fermeture de la valve de vidange B est commandée, et l'ouverture de la valve de vidange active C est commandée à son tour pour - par le canal X3 - mettre le système 11 de récupération d'énergie potentielle en communication avec le cylindre 1.

[0107] La conception du système 11 de récupération d'énergie potentielle peut prendre plusieurs formes, en fonction du type d'énergie que l'on veut récupérer, et par exemple :

[0108] - la forme d'un système de récupération d'énergie potentielle dont le but est de réinjecter dans le cylindre 1 le gaz sous pression utilisé dans le système de distribution active afin de produire un travail mécanique supplémentaire au moyen du piston 2 – selon le mode de réalisation illustré aux figures ; ou

[0109] - en variante la forme d'un système de récupération d'énergie potentielle et cinétique au travers d'un système à turbine (non représenté) ; ou

[0110] - en variante la forme d'un système de récupération d'énergie thermique (non représenté).

[0111] Un cumul d'un ou plusieurs de ces systèmes de récupération d'énergie peut être envisagé.

[0112] Dans le premier cas illustré aux figures, le volume de gaz récupéré et accumulé dans une capacité 11 est injecté dans le cylindre 1 en se détendant dans la chambre de détente CD du moteur en produisant un travail qui vient s'ajouter au travail de détente de la charge admise dans la chambre active CA. Ainsi, au sens de l'invention, la valve C est une valve de distribution active.

[0113] On comprend dès lors le fonctionnement de la distribution dite active selon l'invention dans lequel, avantageusement, l'énergie nécessaire à la commande de l'ouverture et de la fermeture de la soupape d'admission 9 est réutilisée en totalité ou en partie, sous différentes formes possibles.

[0114] La soupape d'échappement et le conduit d'échappement ne sont pas représentés aux figures 1A à 6, mais l'ensemble fonctionne selon le même principe que celui qui gouverne l'admission.

[0115] Le système de commande de la soupape d'échappement peut être connecté au même détenteur 10 au même système de récupération d'énergie potentielle 11 que ceux appartenant au système de commande la soupape d'admission 9. Le cycle d'ouverture de la soupape d'échappement est proche d'une ouverture au point mort bas de la course du piston 2 et proche d'une fermeture au point mort haut de la course du piston 2.

Description du deuxième mode de réalisation

[0116] La description qui suit est effectuée par comparaison avec le premier mode de réa-

lisation préalablement décrit en référence aux figures 1A à 1C.

[0117] Dans la conception selon ce deuxième mode de réalisation illustré à la figure 2, on remplace les deux valves A et B illustrées aux figures 1A à 1C par une valve E à tiroir communément appelée distributeur.

[0118] Le distributeur E est du type à deux positions et à trois voies.

[0119] Dans son état ou position illustré à la figure, la chambre de pilotage 100 est reliée au canal X2 en amont du système de récupération d'énergie potentielle 11.

[0120] Un changement de position du tiroir du distributeur provoque la mise en communication de la sortie du détendeur 10 avec la chambre de pilotage 100 et l'interruption de la communication entre la chambre de pilotage 100 et le canal X2.

Description du troisième mode de réalisation

[0121] La description qui suit est effectuée par comparaison avec le premier mode de réalisation préalablement décrit en référence aux figures 1A à 1C.

[0122] Dans la conception selon ce troisième mode de réalisation illustré à la figure 3, on met en avant la possibilité de désaxer la chambre de pilotage par rapport à la soupape 9 par l'intermédiaire d'un basculeur 14 reliant mécaniquement la soupape d'admission 9 à un vérin pneumatique V comportant la chambre de pilotage 100.

[0123] Le vérin V est désaxé ou décalé latéralement et il peut notamment être agencé à l'extérieur de la culasse 6 sous la forme d'un composant discret indépendant.

[0124] Cette conception permet de dimensionner plus aisément le vérin V et la chambre de pilotage.

[0125] Elle facilite aussi la fabrication et la maintenance, et elle permet de limiter les inconvénients dus aux fuites éventuellement présentes au niveau du piston P du vérin V illustré selon le premier mode de réalisation.

[0126] A titre d'exemple non limitatif, un vérin V de commande de l'ouverture de la soupape peut être du type dit « Muscle pneumatique » dont notamment le comportement force/course est quasi linéaire et dont la course est directement réglable par réglage de la valeur de sa pression d'alimentation.

[0127] Un tel vérin peut être utilisé avec une pression basse d'alimentation égale ou inférieure par exemple à 8 bars.

[0128] Ce type muscle pneumatique (Fluidic Muscle DMSP) est par exemple commercialisé sous la marque déposée « FESTO ».

[0129] Le basculeur 14 est monté pivotant autour d'un axe 15 qui est orthogonal à l'axe de coulissement de la soupape d'admission 9. L'une de ses extrémités est reliée directement ou indirectement à la tige 26 de la soupape, et son autre extrémité opposée est reliée à l'organe de sortie 17 du vérin décalé V.

[0130] Selon une première variante et comme illustré à la figure 4, on peut remplacer les deux valves A et B de la figure 3 par une valve ou distributeur à tiroir E.

[0131] Selon une autre variante et comme illustré à la figure 5, et par comparaison avec le mode de réalisation préalablement décrit en référence à la figure 3, on a représenté la possibilité de régler la position de l'axe 15 de pivotement du basculeur 14 et ainsi de faire varier la course de la soupape 9 en fonction des différentes phases de fonctionnement du moteur.

Description d'une cartouche intégrant une soupape

[0132] On a représenté à la figure 6 une cartouche 200 comportant un boîtier en deux parties inférieure 202 et supérieure 204 qui logent un guide externe de soupape 206 qui guide en coulissement la tige 26 d'une soupape 9 dont la tête inférieure 25 est illustrée en vis-à-vis d'un siège de soupape 20 intégré à la partie inférieure 202 du boîtier de la cartouche 200.

[0133] L'orifice d'admission 7 est formé dans la partie inférieure 202 du boîtier de la cartouche et il est ici cylindrique de section circulaire

[0134] Le tronçon supérieur de la tige 25 est conformé en un piston P creux dans lequel est reçu de manière étanche un guide interne de soupape 207.

[0135] Au sens de l'invention, la chambre de compensation 101 est ainsi agencée à l'interface entre la face supérieure 22 de la tige 25 - dans laquelle débouche le canal d'équilibrage 102 - et la portion de face inférieure en vis-à-vis 209 du guide interne 207.

[0136] Le guide externe 206 et la partie inférieure 202 du boîtier sont traversés par des passages 210 de mise à l'air libre.

[0137] A la figure 6, la soupape 9 est illustrée dans sa position haute maximale correspondant à la commande de son ouverture complète.

[0138] Cette position est déterminée par une surface de butée mécanique 212 portée par la partie supérieure 204 du boîtier contre laquelle la face supérieure 27 est en appui axial vers le haut.

[0139] Le piston creux P solidaire de la tige 25 est apte à être entraîné en coulissement axial dans les deux sens - entre sa position haute illustrée à la figure 6 et sa position basse dans laquelle la tête 25 est en appui axial vers le bas contre le siège 20 (Voir figure 7) - par un basculeur 14 qui est monté pivotant autour d'un axe fixe 15 porté par la partie supérieure 204 du boîtier de la cartouche 200.

[0140] L'extrémité libre 214 du basculeur 14 est apte à être reliée de manière articulée à la tige de sortie d'un actionneur ou vérin de commande qui est par exemple un muscle pneumatique tel qu'illustré à la figure 7.

[0141] **Description de la figure 7 intégrant une cartouche « d'admission » et une cartouche « d'échappement »**

[0142] A la figure 7 qui présente une symétrie générale par rapport à un plan vertical médian, on a représenté à la partie gauche une cartouche 200 d'admission et à la partie

droite une cartouche d'échappement 200' dont tous les composants sont désignés par les mêmes références numériques augmentées de l'indice « prime ».

Description du piston de la figure 8

- [0143] Conformément à l'invention, la culasse 6 est conçue et agencée de telle sorte que, lorsque le piston 2 est à son point mort haut, le volume résiduel compris entre le piston 2 et la culasse 6 est, par construction, réduit aux seuls jeux minimum permettant le fonctionnement sans contact entre le piston 2 et la culasse 6.
- [0144] La figure 8 illustre un exemple de conception d'un piston 2 particulièrement adapté à l'obtention de ce résultat.
- [0145] A cet effet, la face supérieure 30 du piston est une face plane qui s'étend dans un plan orthogonal à l'axe de coulissement du piston et – lorsque le piston 2 est à son point mort haut PMH correspondant à zéro degré d'angle du vilebrequin – cette face supérieure est ainsi apte à être adjacente, quasiment sans jeu axial, à la face inférieure 32 en vis-à-vis de la culasse 6.
- [0146] Afin de « combler » chaque volume mort correspondant à chaque orifice d'admission 7 (ou d'échappement 7') la face supérieure 30 comporte en saillie autant de pions ou doigts 220 (220') dont chacun est dimensionné (en diamètre et en hauteur) pour être reçu dans un orifice d'admission 7 (7').
- [0147] L'exemple illustré à la figure 8 comporte deux doigts 220 pour deux orifices d'admission et deux doigts 220' pour deux orifices d'échappement 7'.

Revendications

[Revendication 1]

Moteur à chambre active fonctionnant selon un cycle thermodynamique à trois phases comportant:

- une phase de transfert isobare et isotherme;
- une phase de détente polytropique avec travail;
- une phase d'échappement à pression ambiante;

ce moteur comportant:

- au moins un cylindre (1) alimenté par un gaz sous pression, préférentiellement par de l'air comprimé, contenu dans un réservoir de stockage à haute pression (12),
 - au moins un piston (2) qui est monté coulissant dans ce cylindre (1),
 - un vilebrequin (5) entraîné par le piston au moyen d'un dispositif bielle-manivelle (3,4) traditionnel,
 - une culasse (6) qui ferme à sa partie supérieure le volume du cylindre (1) qui est balayé par le piston (2), et qui comporte au moins un conduit d'admission (8) dans lequel s'écoule un flux de gaz sous pression de remplissage du cylindre, un orifice d'admission (7) du gaz sous pression au-dessus du piston, et au moins un orifice d'échappement et un conduit d'échappement, la culasse étant agencée de telle sorte que, lorsque le piston (2) est à son point mort haut, le volume résiduel compris entre le piston (2) et la culasse (6) est, par construction, réduit aux seuls jeux minimum permettant le fonctionnement sans contact entre le piston (2) et la culasse (6),
 - au moins une soupape d'admission (9) qui coopère de manière étanche avec un siège de soupape (20) formé dans la culasse (6) et qui délimite l'orifice d'admission (7),
- moteur dans lequel:
- le volume du cylindre (1) balayé par le piston (2) est divisé en deux parties distinctes dont une première partie constituant une chambre active (CA) qui est incluse dans le cylindre (1) et une deuxième partie constituant une chambre de détente (CD),
 - sous la poussée continue du gaz sous pression admis dans le cylindre (1), à pression constante de travail, le volume de la chambre active (CA) augmente en produisant un travail correspondant à la phase de transfert isobare et isotherme du cycle thermodynamique de fonctionnement,
 - l'admission du gaz sous pression dans le cylindre (1) est obturée dès que le volume maximal de la chambre active (CA) est atteint, la quantité

de gaz sous pression comprise dans ladite chambre active (CA) se détendant alors en repoussant le piston (2) sur la deuxième partie de sa course qui détermine la chambre de détente (CD) en produisant un travail correspondant à la phase de détente polytropique du cycle thermodynamique de fonctionnement,

-- le piston (2) ayant atteint son point mort bas, l'orifice d'échappement est alors ouvert pour réaliser la phase d'échappement (7) du cycle thermodynamique de fonctionnement pendant la remontée du piston sur la totalité de sa course jusqu'à son point mort haut,

-- le couple et le régime du moteur sont commandés par l'ouverture et la fermeture de la soupape d'admission (9) en permettant d'ouvrir la soupape d'admission (9), sensiblement au point mort haut de la course du piston, et en permettant, par la fermeture de la soupape (9), de modifier la durée et/ou le secteur angulaire de l'admission, ainsi que la section de passage de l'ouverture d'admission afin, en fonction de la pression du gaz comprimé contenu dans le réservoir de stockage (12) et de la pression en fin de la phase de détente, de déterminer la quantité de gaz sous pression admise ainsi que le volume de la chambre active (CA),

caractérisé en ce que:

- a) la soupape d'admission (9) est montée mobile en déplacement axial entre une position basse de fermeture dans laquelle elle est en appui étanche sur son siège de soupape (20), et une position haute d'ouverture,
- b) dans le sens de son ouverture, la soupape d'admission (9) se déplace axialement, dans le sens opposé à celui de l'écoulement du flux de gaz sous pression de remplissage du cylindre (1),
- c) dans sa position de fermeture, la soupape d'admission (9) est maintenue fermée sur son siège (20) par un ressort (13),
- d) les efforts axiaux s'exerçant sur la soupape d'admission (9) qui résultent de la pression régnant dans le conduit d'admission (8) et dans le cylindre (1) sont en permanence équilibrés,
- e) le moteur comporte un vérin pneumatique (V) de commande de l'ouverture de la soupape d'admission (9), sensiblement au point mort haut de la course du piston (2), pour provoquer le décollement de la soupape d'admission (9) de son siège (20) pour permettre l'établissement de la pression d'admission dans la chambre active (CA), la soupape parcourant alors sa course complète d'ouverture à l'encontre de l'effort exercé par le ressort de rappel (13),

- f) le vérin pneumatique(V) comporte un cylindre de vérin et un piston (P) qui est relié à la soupape d'admission (3) et qui délimite une chambre de pilotage (100) qui est reliée à une source (10) de gaz à basse pression,
- g) le moteur comporte un canal (X1) qui relie la source (10) de gaz à basse pression à la chambre de pilotage (100), et une valve une valve (A) commandée d'admission du gaz à basse pression dans la chambre de pilotage (100),
- i) le moteur comporte un canal (X2) de commande de fermeture de la soupape d'admission (9) qui relie la chambre de pilotage (100) à l'air libre ou à un système de récupération d'énergie (11), et une valve (B) commandée de vidange de la chambre de pilotage.

[Revendication 2] Moteur selon la revendication 1, caractérisé en ce que la source de gaz à basse pression est un détendeur (10) dont l'entrée est reliée au réservoir de stockage à haute pression (12) ou au conduit d'admission (8), et dont la sortie est reliée à la chambre de pilotage (100).

[Revendication 3] Moteur selon la revendication 2, caractérisé en ce que le détendeur (10) est un détendeur à pression de sortie variable commandée pour faire varier la valeur de la levée de la soupape d'admission (9) de son siège (20).

[Revendication 4] Moteur selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte un système (11) de récupération d'énergie, un canal (X3) qui relie le système (11) de récupération d'énergie à la partie supérieure du cylindre (1) située au-dessus du piston (2), et une valve une valve (C) commandée de vidange active du système de récupération d'énergie dans la partie supérieure du cylindre (1).

[Revendication 5] Moteur selon la revendication 4, caractérisé en ce que les valves d'admission (A), de vidange (B) et de vidange active (C) sont commandées selon le cycle suivant :

- i) ouverture de la valve d'admission (A) pour mettre la chambre de pilotage (100) en communication avec la source (10) de gaz basse pression et provoquer l'ouverture de la soupape d'admission (9) aux alentours du point mort haut du piston (B) pour mettre le conduit d'admission (8) en communication avec la chambre active (CA) du cylindre (1),
- ii) fermeture de la valve d'admission (A) et ouverture de la valve de vidange (B) lorsque le piston (2) atteint la limite (DD') demandée de la

chambre active (CA) pour provoquer une baisse de la pression dans la chambre de pilotage (100) et pour provoquer la fermeture de la soupape d'admission (9)

- iii) fermeture de la valve (B) et, lorsque la pression dans le cylindre (1) est inférieure ou égale à la pression dans le système de récupération d'énergie (11), ouverture de la valve de vidange active (C) pour introduire dans le cylindre (1) une charge qui s'ajoute à la charge préalablement admise dans la chambre active (CA),

- iv) fermeture de la valve de vidange active (C) lors de la remontée du piston (2).

[Revendication 6] Moteur selon la revendication 1, caractérisé en ce que le vérin pneumatique (V) de commande de l'ouverture de la soupape d'admission (9) est intégré à la culasse (6) et son piston (P) est solidaire de la tige (26) de la soupape d'admission (9).

[Revendication 7] Moteur selon la revendication 1, caractérisé en ce que le vérin pneumatique (V) de commande de l'ouverture de la soupape d'admission (9) est agencé à l'extérieur de la culasse, et en ce que l'organe de sortie (17) du vérin est reliée, directement ou indirectement, à la tige (26) de la soupape d'admission (9) par un organe (14) de transmission de mouvement.

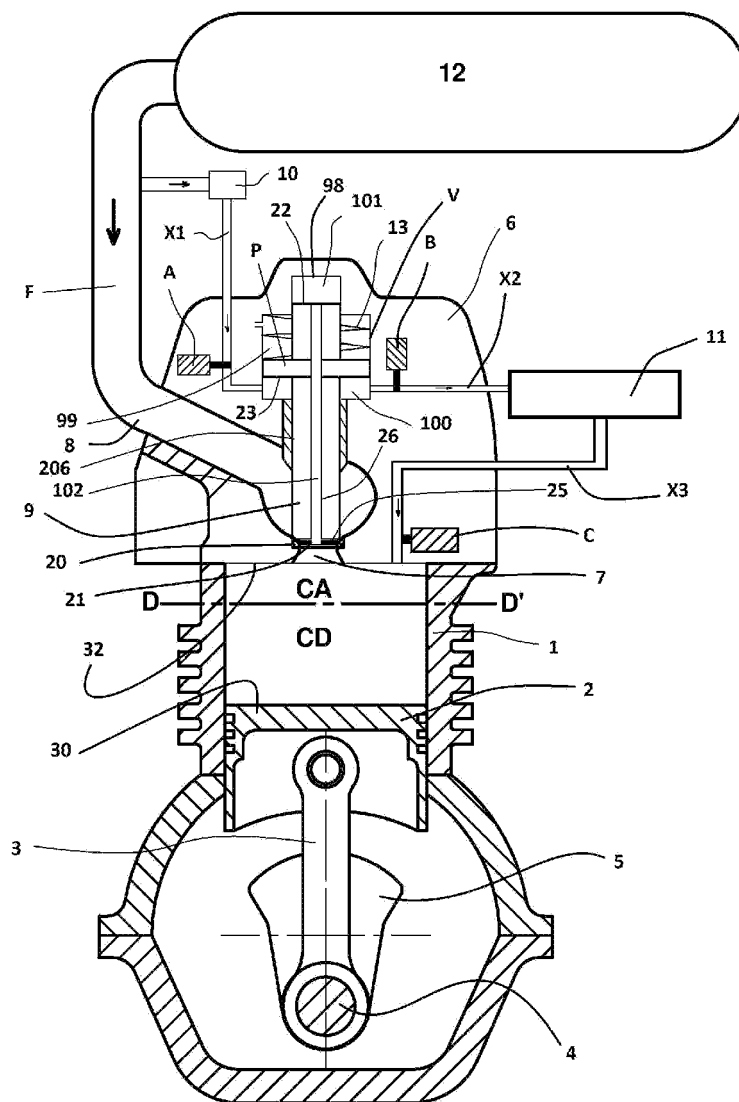
[Revendication 8] Moteur selon la revendication 7, caractérisé en ce que le vérin pneumatique (V) de commande de l'ouverture de la soupape d'admission (9) est un muscle pneumatique, et en ce que ledit organe de transmission de mouvement est un basculeur (14) qui est monté pivotant autour d'un axe (15) qui est orthogonal à l'axe de coulissement de la soupape d'admission (9) dont l'une des extrémités est reliée, directement ou indirectement, à la tige (26) de la soupape d'admission (9), et l'autre extrémité opposée est reliée à l'organe de sortie (17) du vérin pneumatique de commande.

[Revendication 9] Moteur selon la revendication 8, caractérisé en ce que la position de l'axe de pivotement (15) du basculeur est réglable entre ses deux extrémités opposées.

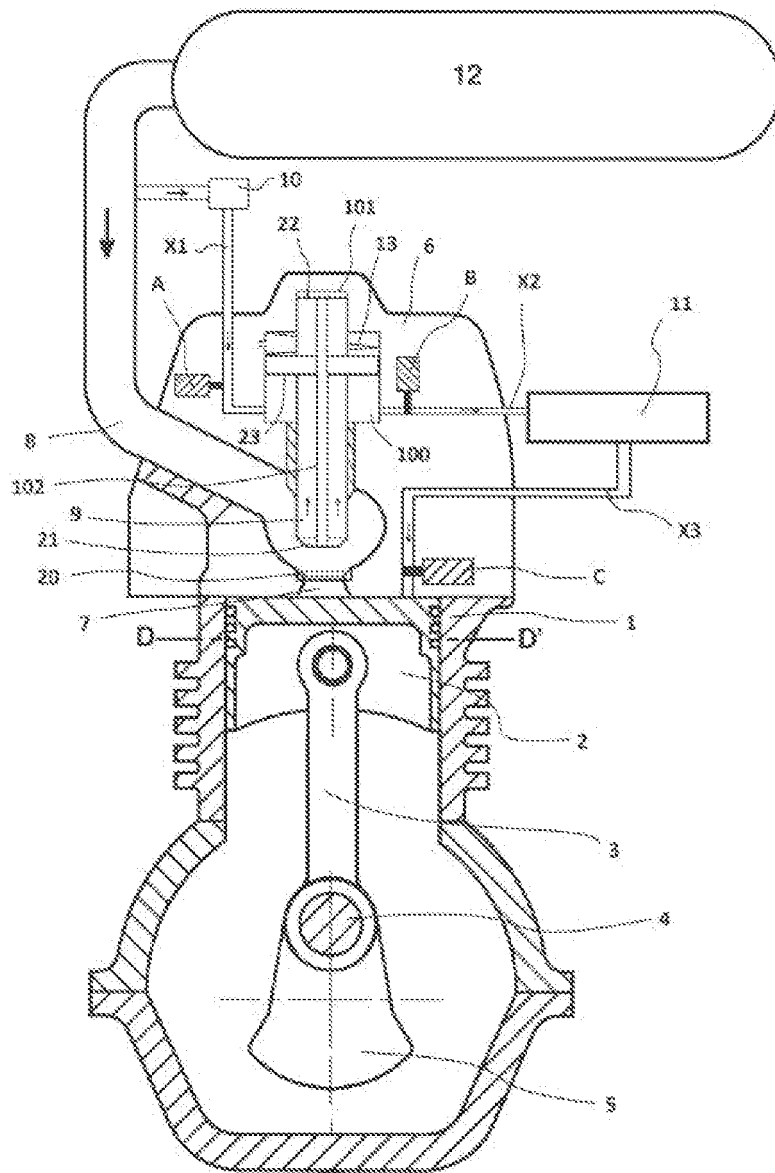
[Revendication 10] Moteur selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la tige (26) de la soupape d'admission est traversée axialement par un canal (102) d'équilibrage des pressions qui débouche dans une chambre (101) de compensation et dans la partie supérieure du cylindre (1).

[Fig. 1A]

3021347

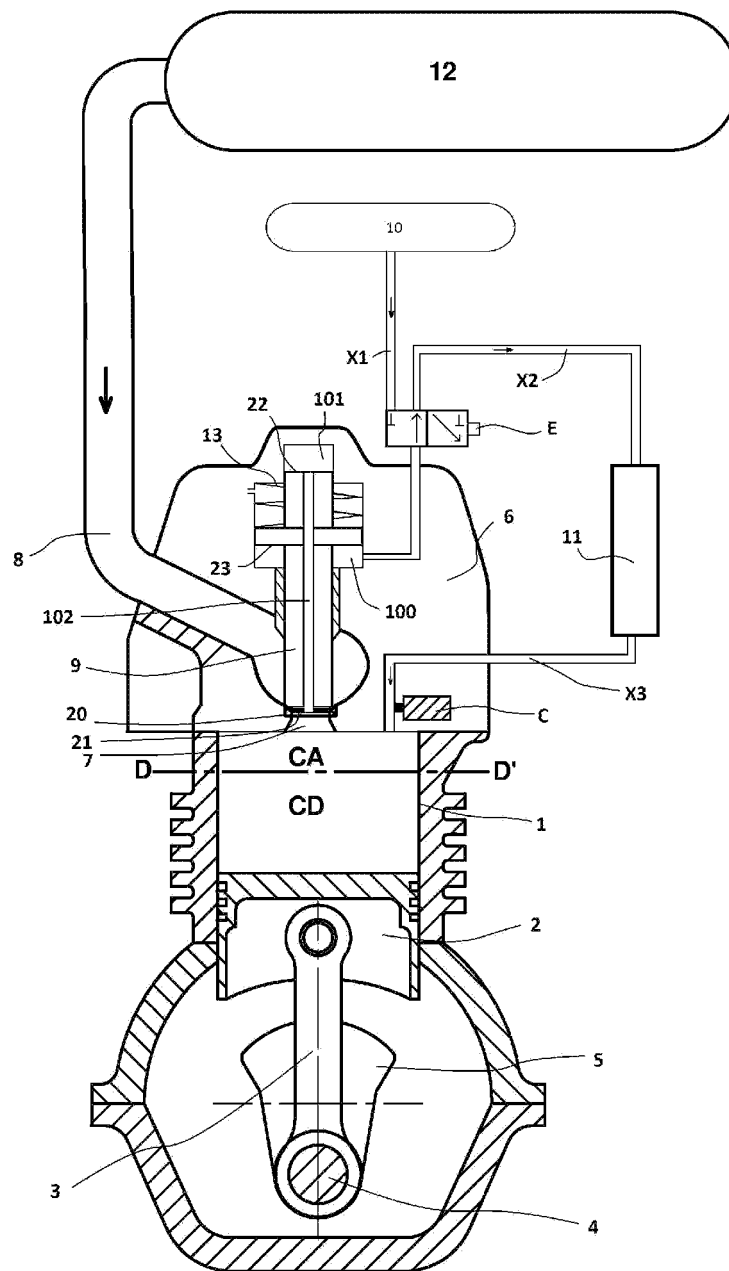
**FIG. 1A**

[Fig. 1B]



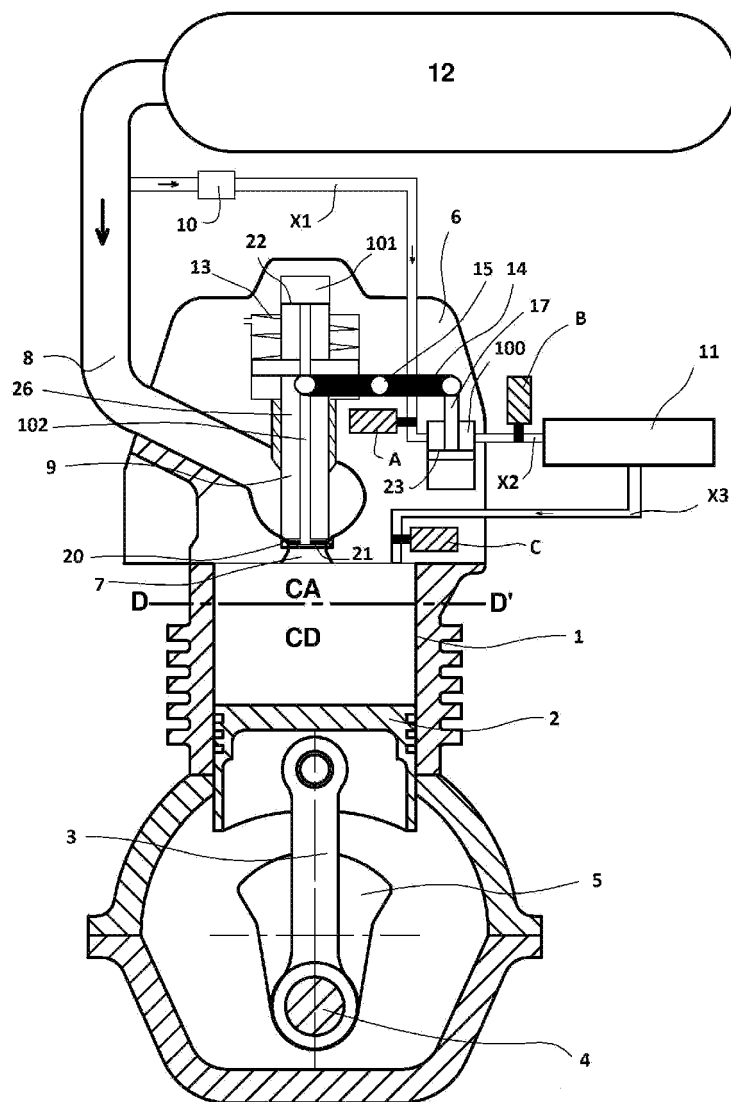
[Fig. 2]

3021347



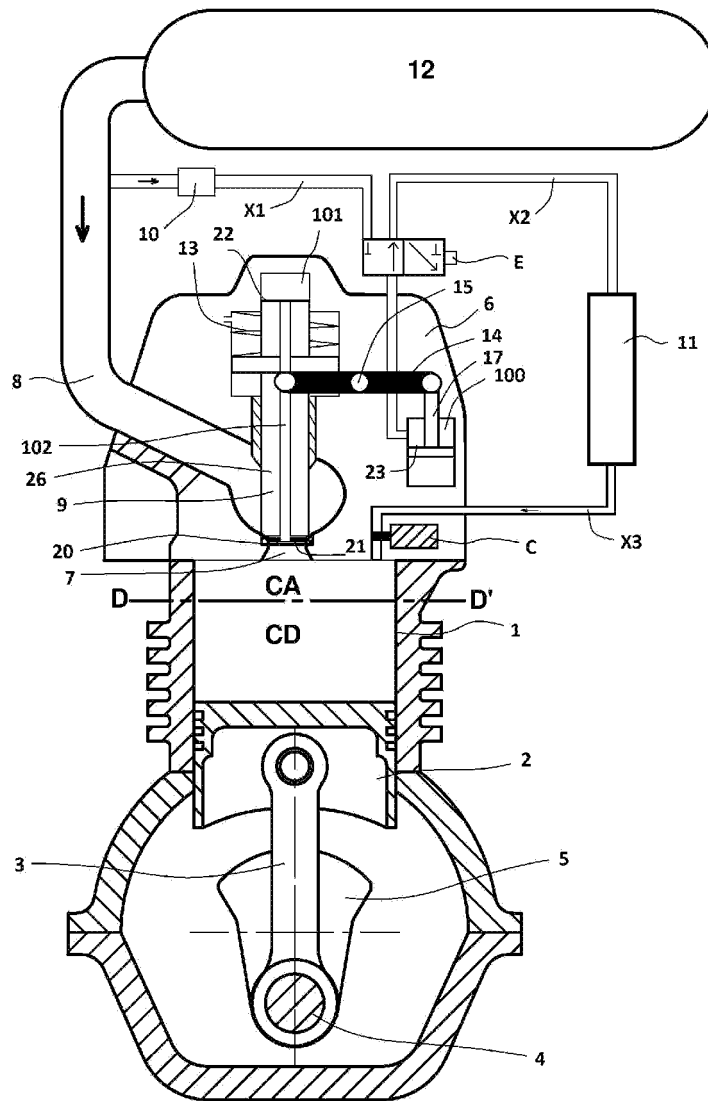
1

1



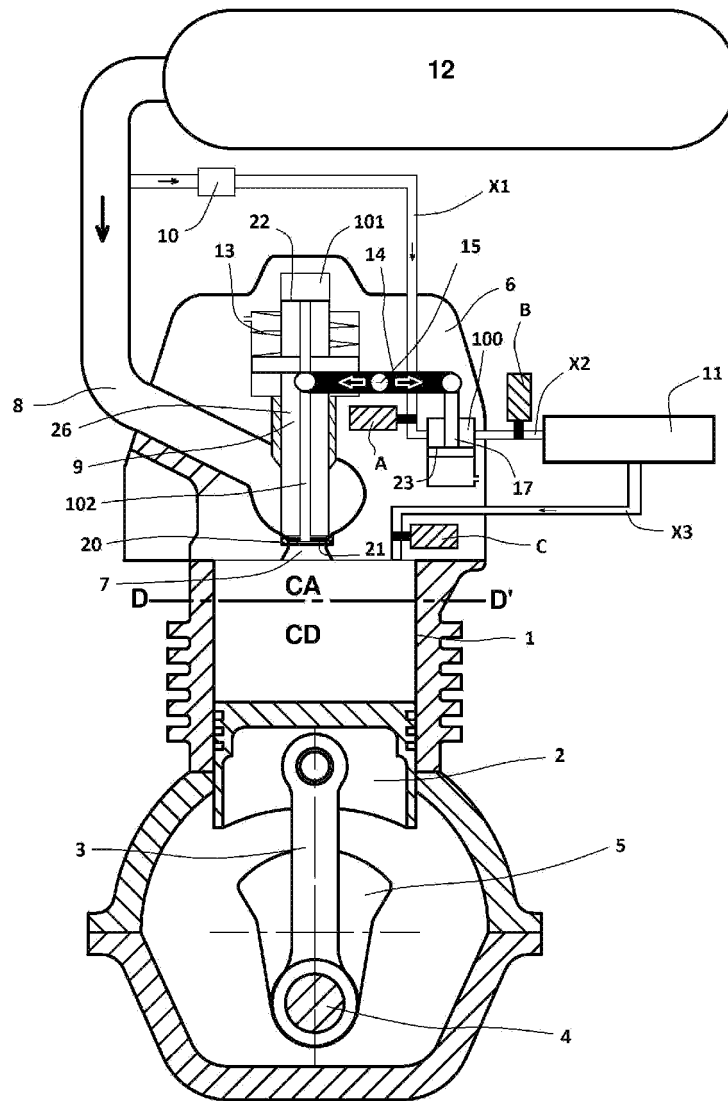
[Fig. 4]

3021347

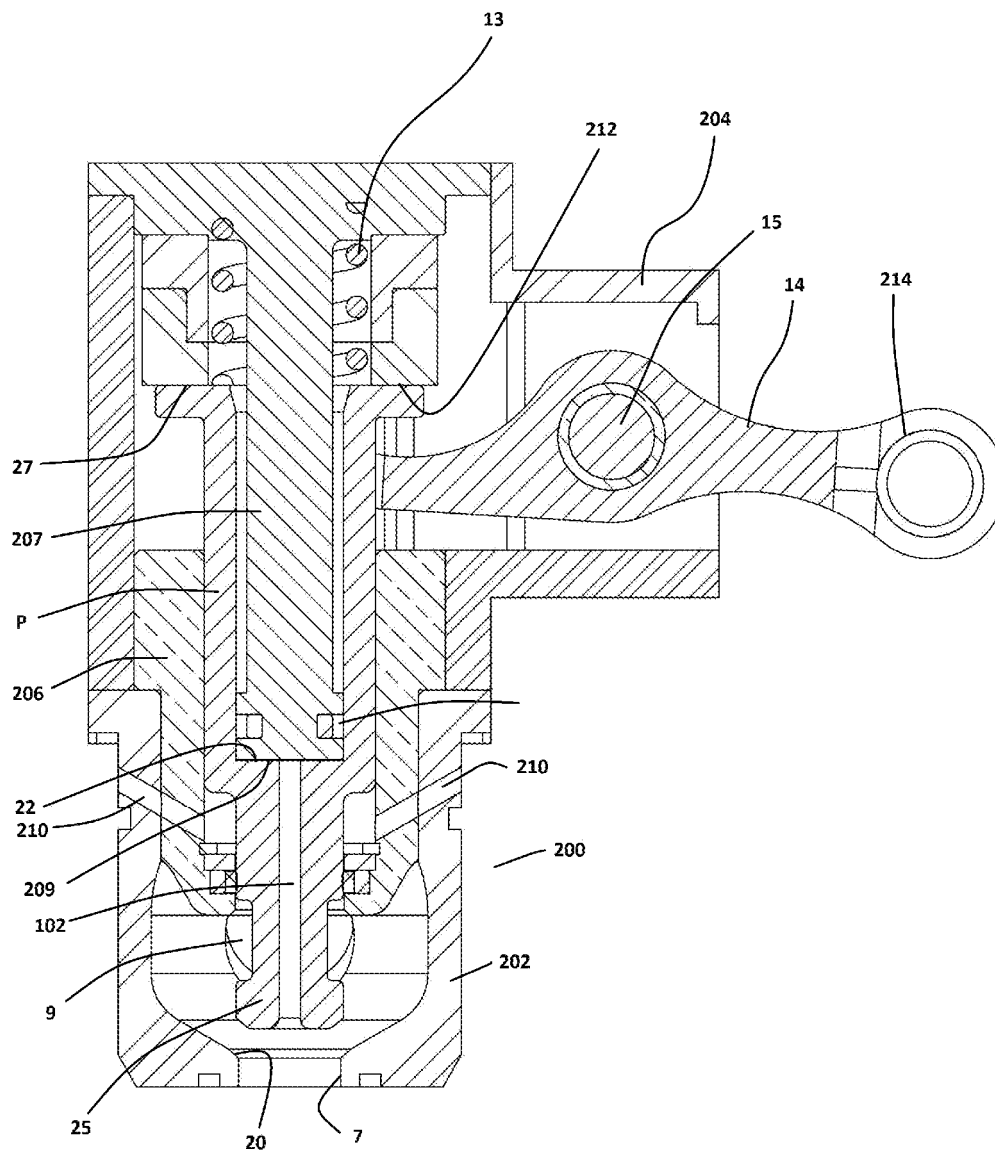


[Fig. 5]

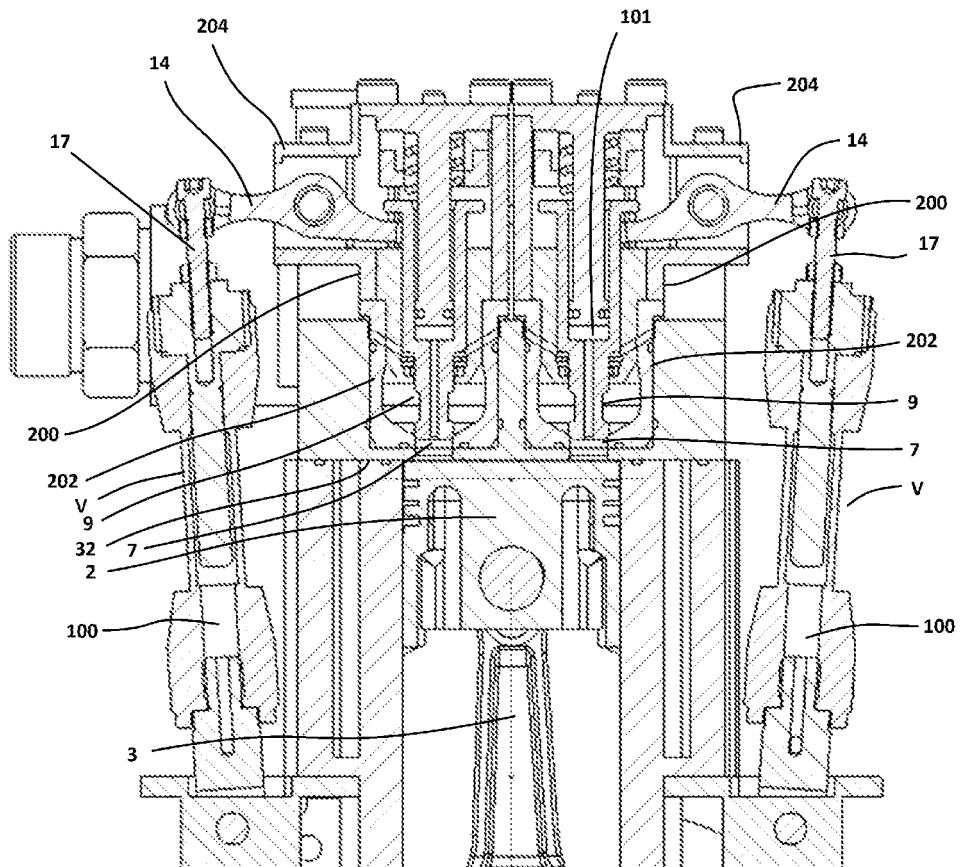
3021347



[Fig. 6]



[Fig. 7]



[Fig. 8]

