

(19)



(11)

EP 2 989 294 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:

13.11.2019 Bulletin 2019/46

(51) Int Cl.:

F01C 1/44 (2006.01)

(86) Numéro de dépôt international:

PCT/EP2014/058519

(21) Numéro de dépôt: **14719756.0**

(22) Date de dépôt: **25.04.2014**

(87) Numéro de publication internationale:

WO 2014/174103 (30.10.2014 Gazette 2014/44)

(54) MACHINE VOLUMIQUE ROTATIVE A TROIS PISTONS

VOLUMETRISCHE DREHKOLBENMASCHINE MIT DREI KOLBEN

ROTARY VOLUMETRIC MACHINE WITH THREE PISTONS

(84) Etats contractants désignés:

**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(30) Priorité: **25.04.2013 FR 1353776**

(43) Date de publication de la demande:

02.03.2016 Bulletin 2016/09

(73) Titulaires:

- **Ambert, Jean-Pierre**
39140 Ruffey sur Seille (FR)
- **Genissieux, Vincent**
38100 Grenoble (FR)

(72) Inventeurs:

- **Ambert, Jean-Pierre**
39140 Ruffey sur Seille (FR)
- **Genissieux, Vincent**
38100 Grenoble (FR)

(74) Mandataire: **de Jong, Jean Jacques et al**
Omnipat

24, place des Martyrs de la Résistance
13100 Aix en Provence (FR)

(56) Documents cités:

EP-A1- 1 484 474 DE-A1- 1 451 741
DE-A1- 2 047 732 FR-A- 1 404 453
FR-A- 1 443 953 US-A- 3 563 680
US-A- 4 144 866

EP 2 989 294 B1

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

Description

DOMAINE TECHNIQUE DE L'INVENTION

[0001] La présente invention concerne une machine volumique rotative à trois pistons comportant une enceinte extérieure formant un stator dans laquelle se déplace un rotor formé de trois pistons articulés en leurs milieux sur une manivelle à trois branches.

[0002] La présente invention trouve une application particulièrement intéressante dans le domaine des moteurs à combustion, des turbines, des compresseurs, des pompes, des moteurs hydrauliques, des moteurs pneumatiques, des pompes à vide, et des moteurs à vapeurs.

ARRIÈRE PLAN TECHNOLOGIQUE DE L'INVENTION

[0003] Le principe des machines rotatives à trois pistons rotatifs dans une enceinte au moyen d'une manivelle a été décrit depuis longtemps, notamment dans le brevet US 3,349,757 (J.I.M. Artajo), la demande de brevet WO 94/16208 (B. Tan). Ces machines sont couramment utilisées comme moteur ou comme pompe.

[0004] Par la suite, ces machines rotatives à trois pistons ont été adaptées pour fonctionner dans des enceintes de machines rotatives à losange déformable (MRLD) présentant une géométrie extérieure non circulaire et adaptée pour recevoir un rotor en forme de losange déformable. Par ailleurs, des machines rotatives à losange déformable à quatre pistons chaînés présentent des particularités géométriques qui sont largement connues et divulguées notamment dans le brevet FR0805177 (V. Génissieux) ou encore dans la demande de brevet WO8600370 (Contiero).

[0005] La possibilité de faire tourner un rotor avec trois pistons articulés en leur milieu sur une manivelle à trois branches à 120° dans une enceinte présentant un profil de machine MRLD est connu et décrit notamment dans les brevets FR 1.404.353 (J. Lemaître, et al) et US 3,295,505 (A. Jordan).

[0006] Cependant, ces machines rotatives à trois pistons de l'état de la technique sont limitées et peu efficaces. En effet, seules les cavités à volume variable externes (cavités formées entre les pistons et l'enceinte) des machines sont fonctionnelles, c'est-à-dire qu'elles réalisent une fonction sur le fluide de travail en adéquation avec l'utilisation primaire de la machine, par exemple admission, compression, échappement pour un mode moteur ou encore aspiration, refoulement pour un mode pompe. Le volume central, c'est-à-dire formé sous les pistons, quant à lui est inutilisé ou utilisé comme fonction secondaire de la machine, elle permet par exemple de réaliser une fonction de refroidissement dans le brevet US 3,295,505 (A. Jordan) ou encore de lubrification dans d'autres applications.

[0007] Par conséquent, ces machines rotatives à trois pistons présentent une efficacité peu intéressante, notamment en comparaison aux machines à losange dé-

formable à quatre pistons.

[0008] Dans les brevets DE 1,451,741 et DE 2,047,732 de G. FINSTERHOELZL, la machine décrite, dont les géométries sont incompatibles avec les profils des enceintes de type MRLD, présente trois cavités à volume variable formées sous ses pistons, mais ces trois chambres n'assurent que des fonctions accessoires comme la lubrification. La cylindrée de ces trois chambres formées sous le piston est faible par rapport à celle des chambres externes, et ne peut intrinsèquement pas être augmentée et ne peut en aucun cas égaler la cylindrée des cavités à volume variable externes.

[0009] Dans ce contexte, l'invention vise à fournir une machine rotative à trois pistons présentant un ratio puissance/encombrement et un ratio puissance/masse plus intéressants que les machines à trois pistons de l'état de la technique, de l'ordre de 2 à 2,5 fois supérieurs, tout en étant plus avantageux économiquement que les machines à quatre pistons chaînés qui présentent un nombre important de pièces et sont de plus complexes à réaliser.

[0010] A cette fin, l'invention a pour objet une machine volumique rotative à trois pistons comportant une enceinte formant stator dans laquelle se déplace un ensemble rotatif formant rotor comprenant un vilebrequin coopérant mécaniquement avec les pistons, l'ensemble rotatif définissant à l'intérieur de ladite enceinte six chambres à volume variable dont le volume varie lors de la rotation de l'ensemble rotatif, chacun des pistons délimitant avec l'enceinte une chambre à volume variable dite chambre extrados et deux pistons consécutifs délimitant avec l'enceinte et le vilebrequin une chambre à volume variable dite chambre intrados, ladite machine étant caractérisée en ce que la géométrie des pistons et du vilebrequin est adaptée de manière à ce que chaque chambre intrados présente une cylindrée égale ou supérieure à la cylindrée des chambres extrados.

[0011] On entend par les termes « cylindrée égale », une cylindrée équivalente à $\pm 20\%$.

[0012] La machine rotative à trois pistons selon l'invention a pour avantage d'utiliser le volume interne entre les pistons de manière à former des chambres supplémentaires étanches, dites chambres intrados, par la complémentarité géométrique des pistons et du vilebrequin qui délimite des chambres intrados à volume variable lors de la rotation de la machine, de sorte que cette complémentarité est dynamique en ce que les surfaces complémentaires des pistons et du vilebrequin s'éloignent et se rapprochent (jusqu'à être en contact lorsque la chambre intrados est à son volume minimum ou proche de son volume minimum) alternativement au cours de la rotation pour créer cette variation de volume de la chambre intrados. Il convient de noter que les géométries des surfaces du piston et du vilebrequin délimitant la chambre intrados, dynamiquement complémentaires, sont liées par une fonction mathématique des différents paramètres géométriques de la machine.

[0013] La complémentarité géométrique dynamique

ainsi que la réalisation de profils particuliers des pistons et du vilebrequin est une condition sine qua non pour pouvoir réaliser une machine 3 pistons selon l'invention dont les chambres intrados ont une même cylindrée de travail que celle des chambres extrados ou une cylindrée supérieure, alors que les cylindrées des chambres intrados des machines rotative à trois pistons selon l'état de la technique sont plutôt généralement de l'ordre de 10% à 20% de la cylindrée des chambres extrados. Ainsi, grâce à l'invention il est possible de réaliser des fonctions dans les chambres intrados qui sont identiques aux fonctions réalisées dans les chambres extrados, soit les fonctions principales de la machine lorsqu'elle est utilisée en mode moteur thermique à combustion interne, moteur hydraulique, moteur pneumatique, moteur à vapeur, pompe, compresseur, pompe à vide, ou encore d'une combinaison de ces modes d'utilisation.

[0014] La complémentarité géométrique dynamique des pistons et du vilebrequin permet également de proposer une machine de réalisation simple et robuste par l'utilisation du principe de la transmission directe qui peut transmettre des couples importants sans utiliser un système différentiel à l'inverse des machines quatre pistons reliés connues dans l'état de la technique et des machines MRLD.

[0015] La machine rotative à trois pistons selon l'invention permet de réaliser des machines efficaces tout en réduisant le nombre de pièces utiles, en les simplifiant et par conséquent en réduisant le coût de réalisation d'une telle machine par rapport aux machines à quatre pistons reliés.

[0016] La réduction du nombre de pièces, la simplification de la transmission du couple des pistons vers le vilebrequin (ou inversement) ainsi que l'utilisation de trois pistons permet également de pouvoir miniaturiser la machine et donc obtenir des ratios puissance/encombrement et puissance/masse compétitifs et très supérieurs aux machines rotatives à trois pistons ou à quatre pistons chaînés connus de l'état de la technique.

[0017] La machine selon l'invention présente six chambres à volume variable qui sont toutes aptes à réaliser les différentes fonctions d'un cycle caractérisant le fonctionnement d'un moteur thermique à combustion interne, d'un moteur pneumatique, d'un moteur à vapeur, d'un moteur hydraulique, d'une pompe à vide, d'un compresseur, d'une pompe, etc.

[0018] La machine rotative à trois pistons selon l'invention présente une géométrie interne bien spécifique et différente des machines à quatre pistons, les pistons n'ayant pas de contact entre eux contrairement aux machines à quatre pistons formant une chaîne cinématique fermée, l'enseignement des machines à quatre pistons n'est par conséquent pas directement applicable aux machines rotatives à trois pistons selon l'invention présentant une géométrie interne différente et dont l'entraînement se réalise directement par les formes géométriques complémentaires entre les pistons et le vilebrequin.

[0019] La machine rotative à trois pistons selon l'in-

vention a également pour avantage de permettre l'intégration de moyens permettant de réaliser des fonctions additionnelles secondaires aux fonctions primaires principales intrinsèques au fonctionnement de la machine sans pour autant utiliser les chambres intrados ou extrados qui sont utilisables pour réaliser les fonctions primaires nécessaires à la fonction principale de la machine. Ainsi, à titre d'exemple des tels moyens peuvent être l'utilisation de pistons et d'un vilebrequin capacitif. On entend par capacitif la possibilité de stocker temporairement puis déstocker une partie du fluide en transit dans les chambres intrados et/ou extrados par l'intermédiaire de cavités escamotables. Dans une application où le fluide de travail est un liquide, cette capacité peut jouer le rôle de dispositif d'anti-blocage hydraulique.

[0020] Par ailleurs, en comparaison avec une machine de type MRLD avec quatre pistons reliés et formant une chaîne fermée, et présentant également des cavités à volume variable internes et externes, la machine rotative à trois pistons selon l'invention permet d'obtenir une cylindrée de la chambre intrados jusqu'à 70% supérieure à la cylindrée de la chambre intrados de la machine avec quatre pistons reliés, et une cylindrée totale par tour jusqu'à 22% supérieure à la cylindrée totale d'une machine rotative à quatre pistons reliés, les deux machines ayant les mêmes profils intérieurs ovoïdes de l'enceinte. En conséquence, la puissance développée par la machine étant proportionnelle au débit, la machine MRLD à trois pistons selon l'invention permet d'avoir une densité de puissance, par unité de volume ou par unité de masse, jusqu'à 22% supérieure aux machines à quatre pistons reliés de l'état de la technique.

[0021] La machine volumique rotative à trois pistons selon l'invention vise également à améliorer significativement l'efficacité énergétique des machines rotatives connues et citées précédemment, à 3 pistons ou à 4 pistons, c'est-à-dire améliorer le rendement global, et ce par les apports d'un certain nombre de moyens tels que :

- des moyens d'étanchéité dynamique axiale et/ou radiale réduisant significativement les pertes mécaniques, donc améliorant le rendement mécanique de la machine ;
- des moyens de réduction des volumes morts, améliorant ainsi le rendement volumétrique de la machine ;
- l'intégration de fonctions additionnelles secondaires permettant notamment l'augmentation du volume des chambres et une meilleure gestion des paramètres physiques des fluides de travail dans les six chambres, et/ou une motricité interne à la machine pour réduire les pertes mécaniques de la transmission et permettre une étanchéité totale avec l'extérieur de la machine ;
- des moyens aptes à améliorer l'écoulement des flux et la gestion des temps d'admission et d'échappement, de manière à réduire les pertes de charge.

[0022] La machine volumique rotative à trois pistons selon l'invention peut également présenter une ou plusieurs des caractéristiques ci-dessous, considérées individuellement ou selon toutes les combinaisons techniquement possibles :

- l'enceinte comporte un profil en accord avec les règles géométriques imposées dans les machines rotatives à losange déformable (MRLD) ;
- la cylindrée de chaque chambre intrados est jusqu'à 50% supérieure à la cylindrée des chambres extrados ;
- chaque piston présente une surface intrados présentant un profil complémentaire du profil de la surface extérieure du vilebrequin de sorte que chaque piston est apte à venir épouser la forme du vilebrequin lors de la rotation de la machine, jusqu'à contact entre la surface intrados du piston et la surface complémentaire du vilebrequin lorsque la chambre intrados est à son volume minimum ou proche de son volume minimum ; et suivant un principe de rapprochement et d'éloignement alternatifs desdites surfaces complémentaires l'une de l'autre au cours de la rotation de l'ensemble rotatif ;
- lesdits pistons s'articulent avec le vilebrequin au moyen d'une liaison pivot présentant un axe de basculement parallèle à l'axe de rotation du système rotatif, ladite liaison pivot étant formée par un cylindre de basculement agencé sur les pistons coopérant avec une cuvette de forme concave complémentaire dudit cylindre de basculement, dite cuvette de basculement, agencée sur le vilebrequin ;
- lesdits pistons s'articulent avec le vilebrequin au moyen d'une liaison pivot présentant un axe de basculement parallèle à l'axe de rotation du système rotatif, ladite liaison pivot étant formée par un cylindre de basculement agencé sur ledit vilebrequin coopérant avec une cuvette de forme concave complémentaire dudit cylindre de basculement, dite cuvette de basculement, agencée sur les pistons ;
- lesdits pistons s'articulent avec le vilebrequin au moyen d'une liaison pivot présentant un axe de basculement parallèle à l'axe de rotation du système rotatif, ladite liaison pivot étant formée par une charnière présentant des cylindres de basculement agencés alternativement sur le vilebrequin et sur les pistons, les cylindres de basculement coopérant avec des cuvettes de basculement, l'ensemble étant maintenu par un axe traversant les cylindres de basculement ;
- lesdits pistons s'articulent avec le vilebrequin au moyen d'une liaison pivot présentant un axe de basculement parallèle à l'axe de rotation du système rotatif, ladite liaison pivot étant formée par un cylindre de basculement indépendant du vilebrequin et des pistons, et coopérant avec deux cuvettes de forme concave complémentaire dudit cylindre de basculement, dites cuvettes de basculement, la première

re étant agencée sur les pistons la seconde étant agencée sur le vilebrequin ;

- lesdits pistons s'articulent avec le vilebrequin au moyen d'une liaison pivot présentant un axe de basculement parallèle à l'axe de rotation du système rotatif, ladite liaison pivot étant formée par un élément flexible encastré dans deux gorges agencées longitudinalement dans le vilebrequin et dans les pistons ;
- ledit élément flexible est formé par une lame flexible ou par un ensemble de lames flexibles juxtaposées ;
- ledit élément flexible est une pièce en matière souple dont l'armature présente une section apte à améliorer la résistance à la fatigue dudit élément flexible ;
- lesdits pistons et/ou ledit vilebrequin et/ou ladite enceinte présente(nt) des moyens aptes à apporter des fonctions additionnelles secondaires aux fonctions primaires principales de la machine réalisées dans les chambres extrados et intrados à volume variable ;
- lesdits moyens sont des volumes escamotables modifiant le volume des chambres intrados et/ou extrados ;
- lesdits moyens sont formés par des cavités axiales ou radiales dans lesquelles couissent des pistons poussés par des composants mécaniques aptes à exercer une force de poussée tels que des ressorts calibrés ;
- lesdits moyens sont formés par des cavités axiales ou radiales, fermées par une membrane souple assurant une étanchéité totale avec les chambres intrados et/ou les chambres extrados, et formant ainsi lesdits volumes escamotables ;
- lesdits moyens sont formés par des composants électromécaniques ou magnétiques adaptés pour transmettre un couple entre l'ensemble rotatif et un arbre d'entraînement, extérieur à l'enceinte ou traversant la machine en son centre ;
- les pistons présentent une géométrie adaptée pour réaliser des chambres intrados avec un volume mort compris entre 0% et 100% de la cylindrée de ladite chambre ;
- les pistons présentent une géométrie adaptée pour réaliser des chambres intrados présentant un taux de compression théorique égal à $\pm 20\%$ ou supérieur à celui des chambres extrados ; On entend par taux de compression théorique le rapport entre le volume géométrique maximum de la chambre et le volume géométrique mort résiduel, ce qui ne tient pas compte du débit de fuite de la chambre.
- les pistons présentent une géométrie adaptée pour réaliser des chambres intrados présentant un taux de compression théorique jusqu'à 290 ;
- ledit vilebrequin présente des encoches aménagées sur la surface extérieure du vilebrequin, lesdites encoches étant aptes à améliorer la trajectoire et à fournir un réglage des flux d'admission et d'échappement dans lesdites chambres intrados ;

- ladite enceinte est fermée latéralement par deux flasques présentant des ouvertures permettant l'admission et l'échappement de fluides dans les chambres intrados et/ou extrados ; lesdites ouvertures pouvant avantageusement être en communication exclusivement avec lesdites chambres intrados ;
- les pistons, les flasques, l'arbre et le vilebrequin comportent des moyens d'étanchéité pour réaliser une étanchéité dynamique radiale entre les pistons et l'enceinte et une étanchéité dynamique axiale entre les flasques et l'ensemble rotatif, lesdits moyens d'étanchéité étant formés par des paliers aérostatiques, ou hydrostatiques alimentés par un fluide de service sous pression ; les paliers aérostatiques ou hydrostatiques opérant directement entre deux surfaces antagonistes à étancher ou assurant une liaison pivot de joints tournants aptes à rouler sur l'enceinte lors de la rotation des pistons, de sorte que lesdits moyens d'étanchéité dynamiques réduisent significativement les pertes mécaniques et l'usure ;
- lesdits paliers aérostatiques ou hydrostatiques sont alimentés par un fluide de service sous pression véhiculé par une pluralité de canaux et de gorges ménagés à l'intérieur des pistons, des flasques, de l'arbre et du vilebrequin, de sorte que l'encombrement et la masse de la machine sont nullement impactés par la mise en oeuvre de ces moyens d'étanchéité dynamique ni par l'adjonction d'un générateur externe de ce fluide de service sous pression ;
- ledit fluide de service est avantageusement un piquage du fluide de travail de la machine ;
- ladite enceinte est fermée latéralement par deux flasques d'extrémité présentant des ouvertures permettant l'admission ou l'échappement de fluides dans les chambres intrados et/ou extrados, ladite enceinte comportant un troisième flasque libre en translation axiale dans l'enceinte formant entre l'ensemble rotatif et un flasque d'extrémité une préchambre d'admission ou une postchambre d'échappement de fluides ;
- ledit flasque libre en translation axiale comporte des moyens d'étanchéité pour assurer l'étanchéité entre les chambres intrados et/ou extrados et la préchambre formée par le flasque libre en translation ; lesdits moyens d'étanchéité étant assurés par la mobilité axiale du flasque libre en translation dans l'enceinte sous l'effet de la pression du fluide de travail, de sorte que les jeux mécaniques sont nuls entre les surfaces antagonistes de empilement axial constitué par le flasque libre en translation, l'ensemble rotatif et le flasque d'extrémité opposé, réduisant ainsi significativement les fuites du fluide de travail des chambres intrados et/ou extrados, et de sorte que cette mobilité axiale de l'un des deux flasques de fermeture des chambres intrados et extrados permet le rattrapage du jeu d'usure desdites surfaces antagonistes dudit empilement axial ;

- l'ensemble mobile comporte un actionneur de contre-poussée adapté pour équilibrer les pressions exercées de part et d'autre dudit flasque libre en translation axiale, de sorte que la pression de contact entre les surfaces antagonistes dudit empilement axial est quasi nulle, réduisant ainsi significativement les pertes mécaniques en frottement entre les surfaces antagonistes en frottement dans ledit empilement axial ;
- lesdits pistons présentent deux flancs latéraux, au moins un des deux flancs présentant une encoche radiale positionnée en regard d'une ou de plusieurs ouvertures agencées sur les flasques ;
- lesdits pistons présentent deux flancs latéraux et une surface extrados en regard de l'enceinte, chaque piston comportant un canal interne reliant la surface extrados à au moins un des deux flancs en regard d'une ou de plusieurs ouvertures agencées sur les flasques ;
- les pistons comportent des moyens d'étanchéité pour réaliser une étanchéité entre lesdits pistons et l'enceinte, lesdits moyens d'étanchéité étant formés par des joints tournants aptes à rouler sur l'enceinte lors de la rotation des pistons ou par des joints calibrables dont la pression de contact sur l'enceinte est ajustable en fonction de la pression dans les chambres intrados et/ou extrados, de sorte que lesdits joints réduisent significativement les pertes mécaniques et rattrapent le jeu d'usure ;
- au moins un piston présente une jupe solidarisée sur un des flancs latéraux dudit piston, ladite au moins une jupe présentant un profil supérieur similaire au profil extrados du piston.

[0023] L'invention sera mieux comprise à la lumière de la description qui suit et en référence aux figures dont la liste est donnée ci-dessous.

BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

[0024]

La figure 1 illustre l'intérieur d'un mode de réalisation de la machine rotative à trois pistons selon l'invention ;

La figure 2 illustre une vue éclatée en perspective du premier mode de réalisation de la machine rotative à trois pistons selon l'invention ;

Les figures 3 à 14 illustrent des variantes de réalisation de la liaison pivot de la machine rotative illustrée aux figures 1 et 2, où ;

- les figures 3 et 4 illustrent l'intérieur d'une machine rotative selon une première variante de réalisation ;
- les figures 5 et 6 illustrent l'intérieur d'une ma-

- chine rotative selon une deuxième variante de réalisation ;
- les figures 7 et 8 illustrent l'intérieur d'une machine rotative selon une troisième variante de réalisation ; 5
 - les figures 9 et 10 illustrent l'intérieur d'une machine rotative selon une quatrième variante de réalisation ; 10
 - les figures 11 et 12 illustrent l'intérieur d'une machine rotative selon une cinquième variante de réalisation ; 15
 - les figures 13 et 14 illustrent l'intérieur d'une machine rotative selon une sixième variante de réalisation ;
- La figure 15 est une vue en perspective d'une variante de réalisation d'un piston d'une machine rotative à trois pistons selon l'invention ;
- La figure 16 est une vue en perspective d'une variante de réalisation du vilebrequin d'une machine rotative à trois pistons selon l'invention ; 20
- La figure 17 est une vue en perspective d'une variante de réalisation de la machine rotative à trois pistons selon l'invention ; 25
- Les figures 18 à 29 illustrent l'évolution des cavités externes et internes d'une machine rotative à trois pistons selon l'invention, représentée par des vues en coupe simplifiée ; 30
- La figure 30 est un tableau indiquant les différentes fonctions réalisées par les cavités de la machine lors d'un tour de la machine lorsque celle-ci est utilisée comme moteur thermique à combustion interne ; 35
- La figure 31 est un tableau indiquant les différentes fonctions réalisées par les cavités de la machine lors d'un tour de la machine lorsque celle-ci est utilisée comme moteur pneumatique ou moteur à vapeur ; 40
- Les figures 32 et 33 sont des vues de détails d'une chambre intrados de la machine rotative selon l'invention selon deux modes de réalisation différents, représentées par une vue en coupe simplifiée ; 45
- Les figures 34 à 36 illustrent une autre variante de réalisation de la machine rotative selon l'invention dans lesquelles : 50
- la figure 34 est une vue en coupe de la machine rotative selon cette variante de réalisation ;
 - la figure 35 est une vue en perspective du vilebrequin selon cette variante de réalisation ; 55
 - la figure 36 est une vue en coupe radiale du vilebrequin illustré à la figure 35.

La figure 37 illustre schématiquement un piston comportant au niveau de sa surface extradors une première variante de réalisation d'un moyen d'étanchéité ;

Les figures 38 et 39 illustrent schématiquement l'extrémité d'un piston comportant une deuxième variante de réalisation d'un moyen d'étanchéité dans deux états différents ;

La figure 40 illustre schématiquement un piston comportant au niveau de sa surface extradors une troisième variante de réalisation d'un moyen d'étanchéité.

Les figures 41 à 44 illustrent une autre variante de réalisation de la machine rotative selon l'invention dans lesquelles :

- la figure 41 est une vue éclatée en perspective du vilebrequin selon cette autre variante de réalisation ;
- la figure 42 est une vue de côté du vilebrequin selon cette autre variante de réalisation ;
- la figure 43 est une vue en coupe du vilebrequin selon cette autre variante de réalisation, selon le plan de coupe A-A défini sur la figure 42 ;
- la figure 44 est une vue en perspective d'une alternative à l'une des pièces du vilebrequin selon cette autre variante de réalisation.

Les figures 45 et 46 illustrent les variations de couple brut théorique dans la machine rotative selon l'invention, utilisée en mode moteur pneumatique, ou à vapeur ou hydraulique, en comparaison avec d'autres machines équivalentes.

Les figures 47 et 48 illustrent une quatrième variante de réalisation d'un moyen d'étanchéité de la machine rotative selon l'invention, selon lesquelles :

- la figure 47 est une vue éclatée en perspective de la machine rotative dans laquelle le stator n'est pas représenté ;
- la figure 48 est une vue en coupe axiale, selon la même perspective que la figure 47, et suivant un plan incliné passant par l'axe de rotation de la machine.

Les figures 49 à 51 illustrent une cinquième variante de réalisation d'un moyen d'étanchéité de la machine rotative selon l'invention, selon lesquelles :

- la figure 49 est une vue éclatée en perspective de la machine rotative dans laquelle le stator et le premier flasque ne sont pas représentés ;
- la figure 50 est une coupe axiale de la machine rotative ;

- la figure 51 est une coupe radiale suivant le plan médian des pistons.

DESCRIPTION DÉTAILLÉE DE MODES DE RÉALISATION DE L'INVENTION

[0025] La figure 1 illustre une vue en coupe d'un premier mode de réalisation de la machine rotative à trois pistons selon l'invention et la figure 2 illustre une vue éclatée de l'ensemble de la machine de ce premier mode de réalisation.

[0026] La machine rotative à trois pistons 100 comporte une enceinte périphérique 2 formant stator et définissant l'enceinte de réception d'un ensemble mobile 30 formant rotor et étant constitué par un arbre central 4 solidaire ou non d'un vilebrequin 3 coopérant avec trois pistons 1.

[0027] Le stator 2 a une forme générale tubulaire de section ovale, dont le profil ovoïde est de préférence en accord avec les règles géométriques imposées dans les machines rotatives à losange déformable (MRLD). Ces règles de conception sont notamment connues et décrites dans les documents de l'état de la technique, comme par exemple la demande de brevet FR 2,493,397 de J.P. AMBERT. L'enceinte 2 est fermée latéralement par deux flasques 5a et 5b pouvant présenter des ouvertures 111 pour la circulation de fluides ainsi que des paliers 103 ou roulements en leurs centres pour le guidage en rotation de l'arbre 4 et/ou du vilebrequin 3.

[0028] Le vilebrequin 3, solidaire ou non de l'arbre 4, est indifféremment une pièce massive ou une pièce feuilletée présentant une largeur (dans le sens axial de la machine, c'est-à-dire dans le sens de l'axe de rotation de l'ensemble mobile 30) sensiblement équivalente à la largeur de l'enceinte 2. Le vilebrequin 3 présente alors un contact glissant avec les flasques 5a et 5b lors de la rotation de la machine 100.

[0029] Selon une variante de réalisation, la largeur du vilebrequin peut être inférieure à la largeur de l'enceinte 2 de sorte que le vilebrequin ne présente pas de contact avec les flasques 5a, 5b.

[0030] Les pistons 1 présentent une largeur égale à la largeur de l'enceinte 2, ou égale à la largeur du vilebrequin 3, et sont donc en contact glissant avec les flasques 5a et 5b bordant l'enceinte 2. Chaque piston 1 présente une surface extérieure 117 présentant une courbure cycloïde formant l'extrados du piston et une surface intérieure 118 formant l'intrados du piston 1.

[0031] Aux extrémités de leur surface extrados 117, les pistons 1 présentent deux zones de glissement 104, symbolisées par exemple par une rupture de la courbure cycloïde de la surface extrados 117. Ces zones de glissement 104 sont destinées à être en contact avec la surface intérieure de l'enceinte 2 et à favoriser l'étanchéité des pistons 1 lors du fonctionnement de la machine 100. Les zones de glissement 104 sont formées par des secteurs de cylindres de révolution 105 réalisant une rupture de forme avec la surface cycloïde extrados 117 ; les cy-

lindres de révolution 105 et la surface cycloïde extrados 117 étant tangents. Les cylindres de révolution 105 complets sont représentés en pointillés à la figure 1 pour une meilleure visibilité. Les cylindres de révolution 105 formant ces zones de glissement 104 peuvent présenter des diamètres plus au moins importants, y compris des diamètres nuls, formant ainsi des zones de glissement 104 plus ou moins grandes qui seront adaptées en fonction des besoins, des caractéristiques et de l'architecture de la machine rotative 100.

[0032] Les pistons 1 et le vilebrequin 3 coopèrent ensemble au moyen d'une liaison pivot 106 adaptée pour permettre le basculement et la rotation des pistons 1 dans l'enceinte 2, dont le profil intérieur est avantageusement un profil de type MRLD, pour permettre à la surface de l'intrados de venir épouser la surface complémentaire du vilebrequin 3, et pour permettre la transmission d'un couple des pistons 1 vers le vilebrequin 3 ou inversement.

[0033] Pour tourner dans un profil de type MRLD, la machine 100 selon l'invention présente également les caractéristiques géométriques suivantes :

- l'axe de basculement ou de rotation de la liaison pivot 106 est parallèle à l'axe central de rotation de l'arbre de transmission 4 et est positionné au milieu M d'un segment [AB] défini par la droite reliant les centres A et B des cylindres de révolution 105 formant les zones de glissement 104 des pistons 1 ;
- l'axe de basculement de la liaison pivot 106 et l'axe de rotation du vilebrequin 3 sont définis à une distance OM égale à la moitié du segment [AB].

[0034] Selon le premier mode de réalisation illustré aux figures 1 et 2, la liaison pivot 106 forme un moyen de basculement constitué par un cylindre de basculement 107 (partie mâle convexe de la liaison pivot 106) au milieu de la surface intrados 118 des pistons 1 coopérant avec une cuvette de basculement 127 présentant une forme concave complémentaire du cylindre de basculement 107 (partie femelle de la liaison pivot 106), aménagée dans le vilebrequin 3, le basculement du cylindre de basculement 107 dans la cuvette de basculement 127 permettant la rotation des pistons 1 dans l'enceinte 2 et le basculement alternatif des pistons 1 par rapport au vilebrequin 3 autour de la liaison pivot 106 assurant ainsi la variation de volume des chambres intrados 102.

[0035] Le cylindre de basculement 107 est étendu au moins sur une partie de la largeur du vilebrequin 3 tel que visible sur la figure 2. La surface de contact entre le cylindre de basculement 107 et la cuvette de basculement 127 s'étend sur un secteur angulaire suffisant pour interdire au cylindre de basculement 107 de sortir de la cuvette de basculement 127 ce qui provoquerait le coincement du piston 1 entre l'enceinte 2 et le vilebrequin 3. Ce secteur angulaire suffisant est directement dépendant des paramètres mathématiques de l'ovoïde de l'enceinte 2, de ceux de la surface intrados 118 et de ceux de la surface extérieure du vilebrequin 3.

[0036] Pour limiter les frottements de pivotement de la liaison pivot 106, des roulements peuvent avantageusement être logés dans les parties mâles du cylindre de basculement 107 ou dans les parties femelles de celle-ci, tels que par exemple des paliers lisses ou tout autre moyen de type de roulement apte à supporter ce mouvement alternatif de basculement et apte à résister au phénomène d'usure de contact et de fretting (usure dans le cas d'un contact à mouvement oscillatoire de faible amplitude).

[0037] Selon une première variante de réalisation de la liaison pivot illustrée aux figures 3 à 10, le cylindre de basculement 207, i.e. la partie mâle de la liaison pivot 206, est agencé sur le vilebrequin 3 et la cuvette concave de basculement 227, i.e. la partie femelle de la liaison pivot 206, est agencée sur le piston 1. Dans cette variante de réalisation, la partie femelle et la partie mâle présente une zone de contact de plus d'une demi-section du cylindre de basculement, i.e. supérieure à 180°. Cette zone de contact importante permet avantageusement la récupération de la force centrifuge du piston 1 par le vilebrequin 3.

[0038] Quelle que soit la variante de réalisation de la liaison pivot 106, le cylindre de basculement 207, c'est-à-dire la partie mâle, peut être un élément rapporté sur le vilebrequin 3 ou encore sur l'intrados du piston 1, de manière à simplifier la gamme de fabrication d'une telle machine et abaisser le coût de réalisation des pièces.

[0039] Selon une deuxième variante de réalisation de la liaison pivot (non illustrée), le cylindre de basculement est une pièce indépendante du vilebrequin 3 et des pistons 1. Dans cette variante de réalisation, le cylindre de basculement coopère avec deux cuvettes concaves de basculement agencées à la fois sur le vilebrequin 3 et sur les pistons 1.

[0040] La transmission du mouvement entre le vilebrequin 3 et les pistons 1 est assurée par une force tangentielle transmise entre la partie femelle et la partie mâle de la liaison pivot 106, 206, le sens de la transmission de la force tangentielle dépendant de la variante de réalisation de la liaison pivot 106, 206 mais également du sens de transmission du couple de rotation, c'est-à-dire des pistons 1 vers le vilebrequin 3 ou inversement.

[0041] Selon une troisième variante de réalisation de la liaison pivot, illustrée aux figures 11 et 12, la liaison pivot est formée par une liaison charnière 306 présentant des cylindres de basculement 307 agencés alternativement sur le vilebrequin 3 et sur les pistons 1, coopérant avec des cuvettes de basculement 317, l'ensemble étant maintenu par un axe 10 traversant les différents cylindres de basculement 307. Dans cette variante de réalisation, le basculement et la transmission des efforts sont réalisés par l'axe 10 de la charnière 306 qui a également pour fonction de reprendre l'effort centrifuge appliqué aux pistons 1.

[0042] Pour limiter les frottements et l'usure par contact, cette liaison pivot 106 peut être réalisée au moyen d'une matière présentant un coefficient de frottement fai-

ble et avec éventuellement un traitement de surface. Il est également envisagé de limiter les frottements de la liaison pivot 106, 206, 306 par l'emploi de composant de roulement adaptés, tels que par exemple des paliers lisses, des roulements à billes ou à aiguilles. Il est également envisagé de limiter les frottements de la zone de contact de la liaison pivot 106, 206, 306 par la création d'un film hydrodynamique, ou aérodynamique. Ce film hydrodynamique de faible épaisseur est produit par intégration d'une partie du débit du fluide compressé entre la partie mâle et la partie femelle de la liaison pivot 106, 206, 306 de manière à favoriser le glissement lors du basculement.

[0043] Selon une quatrième variante de réalisation de la liaison pivot 406, illustrée aux figures 13 et 14, la liaison de pivot 406 est formée par une ou plusieurs pièces flexibles ayant une forme générale de lame 15 s'étendant au moins sur une partie de la longueur du vilebrequin 3 et/ou des pistons 1. Ces lames flexibles 15 sont positionnées dans deux gorges 131, 132 agencées selon une direction parallèle à l'axe de basculement de la liaison pivot 406, respectivement dans les pistons 1 et dans le vilebrequin 3. Les lames flexibles 15 peuvent être réalisées par une superposition de lames fines flexibles, ou par l'utilisation d'une matière plastique souple, telle qu'un élastomère, présentant des caractéristiques mécaniques permettant de résister de manière avantageuse au phénomène de fatigue. Avantageusement, la pièce flexible peut également présenter une armature spécifique présentant une section apte à améliorer la résistance à la fatigue de la pièce flexible, telle que par exemple une section en forme de X.

[0044] Une telle lame flexible est par exemple montée compressée dans les gorges 131, 132, ce qui permet, par retour élastique de la lame, d'exercer un effort radial apte à améliorer l'étanchéité des contacts pistons/enceinte. Une telle lame flexible 15 permet également d'améliorer l'étanchéité entre chaque chambre intrados 102 de la machine 100. Dans cette variante de réalisation, les lames flexibles 15 assurent donc la fonction de pivotement, de transmission du couple et d'étanchéité de la liaison.

[0045] La surface extrados 117 des pistons délimite avec la paroi interne de l'enceinte 2 et les flasques 5a, 5b trois chambres extérieures 101, dites chambres extrados, formant des cavités à volume variable dont le volume varie entre un volume maximal et un volume minimal lors du mouvement relatif du rotor 30 par rapport au stator 2 ; ce volume minimal pouvant être à la limite nul suivant les paramètres mathématiques de l'ovoïde de l'enceinte 2 et ceux de la surface extrados 117.

[0046] La machine rotative 100 comporte également trois chambres 102, dites chambres intrados, chaque chambre intrados 102 étant intercalée entre deux chambres extrados 101. Les chambres intrados 102 sont délimitées par les faces intrados 118 de deux pistons 1 consécutifs, par les faces latérales 115 et par les faces des cylindres de révolution 105 des pistons 1 formant

une surface de jonction entre la surface extradados 117 et la surface intrados 118 des pistons 1, par la paroi intérieure de l'enceinte 2, par le vilebrequin 3 et par les flasques 5a, 5b. Les chambres intrados 102 forment également des cavités à volume variable dont le volume varie entre un volume maximal et un volume minimal lors du mouvement relatif du rotor 30 par rapport à l'enceinte 2, cette variation de volume étant avantageusement due au mouvement alternatif de basculement des pistons 1 par rapport au vilebrequin 3 autour de la liaison pivot 106 de sorte que les surfaces complémentaires du vilebrequin 3 et du piston 1 (formées par la surface intrados 118, les cylindres de révolution 105, et les faces latérales 115) s'éloignent et se rapprochent alternativement les uns des autres.

[0047] Selon le mode de réalisation illustré aux figures 1 et 2, le vilebrequin 3 présente une section circulaire. Toutefois, selon d'autres variantes de réalisation, le vilebrequin peut également présenter une section triangulaire comme illustrée aux figures 7 et 8, une section triangulaire curviligne comme illustrée aux figures 5 et 6, ou encore une section hexagonale comme illustrée aux figures 9 et 10. Quelle que soit la section du vilebrequin, les pistons associés présentent évidemment un profil intrados complémentaire de la surface extérieure du vilebrequin. Il est entendu que les variantes de réalisation de la liaison pivot 106 entre les pistons 1 et le vilebrequin 3 décrites précédemment sont applicables quel que soit le profil du vilebrequin 3.

[0048] Selon une autre variante de réalisation de l'invention, les pistons 1 peuvent comporter des jupes 17 fixées sur leurs flancs latéraux, une telle variante est illustrée à la figure 15. Les jupes 17 sont par exemple des éléments rapportés sur les pistons 1 dont le profil adopte celui de la face extradados 117 du piston 1 pour la partie supérieure et un profil circulaire ou autre pour la partie inférieure. Le profil de la partie inférieure et l'épaisseur des jupes 17 sont définis en fonction de l'application et du profil du piston 1 de manière à ne pas interférer avec l'arbre de transmission 4. Les jupes 17 flanquées sur les pistons 1 ont pour avantage de rigidifier le piston notamment lorsque les cylindres de révolution 105 formant les zones de glissement 104 de la surface extradados 117 présentent un faible rayon, ou lorsque l'épaisseur radiale du piston 1 est faible par rapport aux pressions exercées par le fluide dans les chambres 101, 102. Les jupes 17 permettent également de réaliser un réglage des admissions et des refoulements axiaux des fluides opérés au travers des ouvertures 111 dans les flasques 5a, 5b.

[0049] La circulation des fluides dans l'enceinte 2, et plus précisément dans les cavités formées par les chambres intrados 102 et extradados 101, se fait par une ou plusieurs ouvertures axiales 111 pratiquées dans une ou dans les deux flasques latérales 5a, 5b et/ou par une ou plusieurs ouvertures radiales (non représentées) pratiquées dans l'enceinte 2 ou dans le vilebrequin 3. Avantageusement, les ouvertures axiales 111 peuvent communiquer uniquement avec les chambres intrados 102,

de même pour les ouvertures radiales pratiquées dans le vilebrequin 3. La machine rotative 100 ne nécessite pas l'utilisation de clapet ou encore de soupape pour les admissions et les refoulements, les pistons 1, munis ou non de jupes 17, et/ou le vilebrequin 3 obstruant et découvrant alternativement les ouvertures axiales 111 et radiales lors de leur rotation. La forme, la section, le nombre, ainsi que les emplacements des ouvertures permettant l'entrée et la sortie de fluides étant définis en fonction des caractéristiques de fonctionnement de la machine rotative 100. Les ouvertures sont donc paramétrées en fonction de l'application, du fluide et des caractéristiques recherchées.

[0050] Comme vu précédemment, la machine rotative à trois pistons 100 présente six cavités à volume variable formées par les trois chambres intrados 102 et les trois chambres extradados 101. Chaque chambre intrados 102 est diamétralement opposée à une chambre extradados 101 et leurs variations de volumes (augmentation ou diminution) sont synchrones.

[0051] L'agencement particulier des pistons 1 et du vilebrequin 3 présenté précédemment ainsi que les dimensions des pistons 1 et du vilebrequin 3 définis avantageusement permettent de réaliser une machine rotative à trois pistons 100 présentant des chambres intrados 102 et des chambres extradados avec des cylindrées et/ou des taux de compression égaux à $\pm 20\%$, ou supérieurs aux cylindrées et/ou taux de compression des chambres extradados 101. La réalisation de six cavités à volume variable présentant la même ou sensiblement la même cylindrée permet de réaliser des machines opérant des fonctions primaires principales dans chacune de ces six chambres, avec un ratio puissance/encombrement et un ratio puissance/masse très intéressants pour diverses applications industrielles que les machines classiques à trois pistons ou à quatre pistons chaînés ne peuvent reproduire. Pour certaines applications, il peut également être intéressant de réaliser dans les chambres intrados des cylindrées ou des taux de compression supérieurs aux cylindrées et/ou aux taux de compression des chambres extradados. Avantageusement, la cylindrée de la chambre intrados 102 peut être jusqu'à 50% supérieure à la cylindrée de la chambre extradados 101.

[0052] Ainsi, une telle machine peut avantageusement être utilisée en mode moteur thermique à combustion interne, moteur hydraulique, moteur pneumatique, moteur à vapeur(s), pompe, pompe à vide ou encore en mode compresseur, chacune des cavités à volume variable correspondant donc à un état particulier en fonction d'un mode d'utilisation de la machine.

[0053] Une même machine volumique à 3 pistons selon l'invention peut combiner plusieurs modes d'utilisations différents au sein de ses six chambres intrados et extradados, simultanément ou successivement, et avantageusement jusqu'à 4 modes d'utilisation différents, telles que par exemple : un mode d'utilisation en compresseur dans les chambres extradados 101 et un mode d'utilisation en moteur de détente dans les chambres intrados 102,

ou encore un mode d'utilisation en pompe hydraulique dans les chambres intrados opérant dans le coté droit de la machine et un mode d'utilisation de moteur hydraulique dans les chambres intrados 102 opérant dans le coté gauche de la machine.

[0054] Les figures 18 à 29 illustrent différentes positions de la machine rotative à différents angles de rotation des pistons A, B et C et du vilebrequin avec un pas de 30° entre chaque figure. Ainsi la figure 18 illustre la position des pistons A, B, C dans une position dite de référence, c'est-à-dire à l'angle 0°, la figure 19 illustre la position des pistons A, B, C avec une rotation de 30° dans le sens horaire par rapport à la position des pistons de la figure 18, la figure 20 illustre la position des pistons A, B, C avec une rotation de 60° par rapport à la position des pistons A, B, C de la figure 18 et ainsi de suite jusqu'à la figure 29 qui représente la position des pistons A, B, C avec une rotation de 330° par rapport à la position des pistons A, B, C illustrée à la figure 18. L'ensemble des figures 18 à 29 illustre par conséquent douze positions des pistons A, B, C pour un tour de vilebrequin.

[0055] La figure 30 représente sous la forme d'un tableau, les différentes fonctions principales réalisées par les différentes cavités à volume variable de la machine en fonction de leur position dans l'enceinte lors d'un tour de vilebrequin lorsque la machine est utilisée en mode moteur thermique à combustion interne.

[0056] La figure 31 illustre également sous la forme d'un tableau, les différentes fonctions principales réalisées par les différentes cavités à volume variable de la machine en fonction de leur position dans l'enceinte lors d'un tour de vilebrequin lorsque la machine est utilisée en mode moteur pneumatique ou moteur à vapeurs ou moteur hydraulique.

[0057] La figure 45 illustre le couple moteur brut associé aux différentes fonctions principales des différentes cavités illustrées à la figure 31, lorsque celle-ci est utilisée en mode moteur pneumatique, ou moteur à vapeur ou moteur hydraulique, sous une pression de 10 bars du fluide de travail à l'admission. On entend par couple moteur brut théorique la somme des couples produits sur l'arbre par les forces pressantes sur les pistons, hors pertes mécaniques et hydrauliques. La figure 45 illustre ainsi:

- l'évolution du couple moteur brut produit par une chambre extrados seule sur un quart de tour du vilebrequin (90°) ;
- l'évolution du couple moteur brut produit par une chambre intrados seule sur un quart de tour du vilebrequin (90°) ;
- l'évolution du couple moteur brut produit par une cavité externe et par la cavité interne diamétralement opposée sur un quart de tour du vilebrequin (90°), et ce suivant la convention de nommage des chambres utilisée aux figures 18 à 31 ;

- l'évolution du couple moteur brut produit par l'ensemble des chambres de la machine sur un tour de vilebrequin.

[0058] La machine rotative à trois pistons 100 selon l'invention a pour avantage de ne présenter aucun point mort, c'est-à-dire que chaque temps moteur générateur de mouvement occupe un quart de tour (i.e. 90°) de la machine, chaque position du rotor comporte au moins un temps moteur comme illustré sur les figures 30 et 31. Il est à remarquer que (figure 31), pour le fonctionnement en mode moteur pneumatique ou moteur vapeur ou moteur hydraulique, le temps moteur d'une chambre intrados 102 est synchrone avec le temps moteur de la chambre extrados 101 opposée par rapport à l'axe de rotation de la machine.

[0059] Tel que décrit précédemment, les chambres intrados 102 peuvent présenter un volume mort qui est défini par le volume entre deux pistons 1, l'enceinte 2 et le vilebrequin 3 lorsque les pistons 1 sont au plus proche, symétriques par rapport à un plan radial passant par l'axe de rotation de la machine. En d'autres termes, le volume mort correspond au volume géométrique de la cavité lorsque celle-ci est à son volume minimum en fin d'échappement, ce volume géométrique peut donc contenir un volume résiduel du fluide de travail. Grâce à la géométrie spécifique des pistons 1 et du vilebrequin 3, le volume mort des chambres intrados 102 est soit important jusqu'à 100% de la cylindrée de la chambre intrados 102, soit très faible et inférieur à 5%. Dans certaines applications particulières, il peut être nécessaire de minimiser davantage ce volume mort de manière à optimiser le rendement et l'efficacité de la machine rotative. Dans de telle situation, le volume mort peut être davantage minimisé en modifiant la géométrie des faces latérales 115 des pistons 1 et/ou en minimisant le diamètre des cylindres de révolution 105 formant les zones de glissement 104. Un exemple de minimisation du volume mort est illustré aux figures 32 et 33 par la modification de la géométrie des pistons, la figure 32 illustrant le volume mort résiduel d'une chambre intrados 102 sans optimisation et la figure 33 illustrant le volume mort résiduel pour la même chambre intrados 102 avec optimisation. Une telle optimisation permet de passer d'un volume mort de 4% de la cylindrée de la chambre intrados 102 à un volume mort inférieur à 0,5% de la cylindrée, et avantageusement un volume mort théorique égal à 0, et de multiplier par exemple un taux de compression théorique par 4, soit jusqu'à une valeur de 150 et ce sans pour autant changer significativement la cylindrée des cavités intrados 102, cette cylindrée après optimisation du volume mort ayant varié seulement de 0,2%, et selon les profils de section du vilebrequin 3 cette cylindrée de la chambre intrados 102 peut être exactement identique avant et après optimisation de la réduction du volume mort de ladite chambre intrados 102. Il est à noter que la réduction de ce volume mort de la chambre intrados 102 met en oeuvre des fonctions mathématiques impliquant les pa-

ramètres géométriques de la machine 100 selon l'invention, concernant notamment les faces latérales 115 et les surfaces de jonction entre ces faces latérales 115 et, d'un côté la face intrados 118, de l'autre côté la face extrados 117.

[0060] De cette manière, il est possible de modifier la géométrie des pistons 1 et/ou du vilebrequin 3 pour obtenir des taux de compression théorique et/ou une cylindrée exactement identiques, avec une précision de 1/1000, entre les chambres extrados 101 et intrados 102.

[0061] Ainsi, la machine rotative selon l'invention permet de réaliser par exemple un moteur pneumatique ou un moteur à vapeur présentant une puissance égale ou supérieure à 3000 Watts à 1000 tours par minute sous une pression de 10 bars relatifs avec un encombrement réduit (incluant une préchambre de sur-chauffe située à l'extérieur de enceinte 2) : 14,5 cm de long, 11,2 cm de large et 10 cm de haut pour une cylindrée totale de 360 centimètres-cubes (cm^3), et donc un volume géométrique admis de 720 centimètres-cubes par tour de vilebrequin. Le couple moteur brut théorique (i.e. hors pertes mécaniques et hydrauliques) de ce moteur à vapeur selon l'invention (illustré à la figure 45) varie entre 61 et 85 Newtons.mètre (N.m), et son couple brut moyen sur un tour est de 78 N.m. En comparaison, une machine à vapeur alternative à double effet de cylindrée totale identique à celle de la machine 3 pistons selon l'invention possède un couple brut théorique moyen de 57 N.m, soit 27% inférieur, pour un encombrement et une masse très supérieurs. A titre de comparaison, la figure 46 illustre le couple moteur brut théorique, sur un tour de vilebrequin, ainsi que le couple moyen de différentes machines rotatives connues de l'état de la technique (machine MRLD à quatre pistons, machine rotative alternative à double effet). Ainsi, à titre comparatif, une machine rotative de type MRLD à 4 chambres extrados, de mêmes dimensions, de même encombrement extérieur et de même profil intérieur ovoïde de l'enceinte, possède un couple théorique moyen de 69,5 N.m, soit 10,9% inférieur à celui de la machine selon l'invention.

[0062] Selon une seconde application industrielle, la machine rotative selon l'invention peut être utilisée pour réaliser une micro-pompe, et avantageusement une micro-pompe doseuse lorsque les chambres intrados et les chambres extrados présentent une cylindrée identique. Une telle micro-pompe doseuse peut présenter une cylindrée totale de 0,907 cm^3 par tour (ou 907 microlitres par tour) pour un volume d'encombrement de 6,3 cm^3 . Dans une application de micro-pompe sans dosage, la cylindrée totale peut avantageusement être augmentée à plus de 1,1 cm^3 par tour, avec dans ce cas une cylindrée de la chambre intrados 41% supérieure à la cylindrée de la chambre extrados, et ce pour le même encombrement réduit : un diamètre extérieur de 20 mm pour une longueur axiale de 20 mm.

[0063] Dans cette application, le volume mort théorique de la chambre extrados est nul, et celui de la chambre intrados est inférieur à 0,35% de la cylindrée de la cham-

bre intrados, soit un taux de compression théorique de la chambre intrados de 290.

[0064] Une telle micro-pompe, réalisée dans un acier approprié, possède une masse d'environ 50 grammes, et permet une différence de pression supérieure à 20 bars pour la variante de plus grande cylindrée, supérieure à 100 bars pour la variante micro-pompe doseuse. Une telle micro-pompe peut fonctionner à des vitesses de rotation supérieures à 1000 tours par minute, et développe une puissance hydraulique de compression de l'ordre de 36 Watt à 1000 tours par minute pour un différentiel de pression de 20 bars.

[0065] Selon une troisième application industrielle, la machine selon l'invention peut être en moteur roue dans lequel le vilebrequin 3 est fixe en rotation et l'enceinte 2, constituant la roue, tourne. L'alimentation et le refoulement des fluides dans ce moteur roue est simple puisque axiale par l'arbre 4 et le vilebrequin 3 qui dans ce cas sont fixes en rotation, puis par le(s) cylindre(s) et cuvette(s) de basculement via des canaux spécialement aménagés pour accéder aux chambres extrados.

[0066] La machine rotative à trois pistons selon l'invention présente avantageusement des pistons, un vilebrequin et une enceinte massifs. Cette caractéristique particulière permet aux pistons, au vilebrequin et à l'enceinte de pouvoir comporter des moyens aptes à apporter des fonctions additionnelles secondaires aux fonctions dites primaires principales correspondant aux états de fonctionnement de la machine dans ses différents modes d'utilisation possibles : moteur thermique à combustion interne, moteur hydraulique, moteur pneumatique, moteur à vapeur(s), pompe, compresseur, pompe à vide ou encore une combinaison de ses modes. Ces fonctions additionnelles secondaires, peuvent toutefois améliorer sensiblement l'efficacité de la machine selon l'invention.

[0067] Selon un premier exemple de réalisation de fonction additionnelle secondaire, ces moyens peuvent être un système réalisant une fonction d'antiblocage hydraulique afin d'éviter le calage du mécanisme du fait de la propriété de non compressibilité des liquides, lors d'une application hydraulique de la machine selon l'invention. Ce premier exemple de réalisation est illustré aux figures 34 à 36. A cet effet, les pistons 1, et/ou le vilebrequin 3, et/ou l'enceinte 2 présentent des volumes escamotables 24 qui permettent d'augmenter le volume, et par conséquent la cylindrée des chambres intrados 102 et/ou extrados 101. Ces volumes escamotables sont formés par des cavités 20 axiales ou radiales dans lesquelles coulisent un ou des pistons 18 poussés par des ressorts 19, ou par tout autre composant apte à exercer une force de poussée, qui sont dimensionnés en fonction du comportement souhaité. Un exemple de réalisation de ce système d'antiblocage est illustré sur le vilebrequin 3 aux figures 35 et 36. Bien entendu ce système est également transférable sur les pistons 1, côté intrados 118 et/ou côté extrados 117, et sur l'enceinte 2.

[0068] Lorsque la pression dans la chambre 101,102 exerce un effort supérieur à la raideur du ressort 19, alors

le piston 18 est poussé vers le fond de la cavité 20, ce qui permet d'augmenter le volume maximal de la chambre. Lorsque la pression diminue en dessous de la valeur seuil du ressort 19, le piston 18 remonte, ce qui permet d'avoir des volumes morts proches de zéro.

[0069] L'utilisation d'un tel système, suivant ce premier exemple de réalisation ou son alternative décrite ci-après, permet d'augmenter le volume des chambres extradados jusqu'à 200% lorsqu'il est aménagé dans les pistons 1, et d'augmenter le volume des chambres intrados jusqu'à 70% lorsque ledit système est aménagé dans le vilebrequin 3 par rapport à leurs cylindrées initiales respectives dans une machine rotative à trois pistons selon l'invention ne comportant pas un tel système. Outre, l'augmentation du volume des chambres intrados et/ou extradados, ce système permet également :

- d'assurer un antiblocage de l'ensemble mobile 30 en fin d'échappement dans le cas d'un liquide résiduel dans une chambre lorsque la cavité est au point mort haut ; grâce à ce système le résidu est libéré après le point mort haut dans la chambre alors que celle-ci est passée au cycle suivant ;
- de retarder le début de l'échappement en fin d'admission, par le positionnement des ouvertures d'échappement, le système permettant une rétention du liquide et la réalisation d'une surpression à l'échappement.

[0070] Dans une alternative à ce premier exemple de réalisation de fonction additionnelle connexe apportée par ce(s) volume(s) escamotable(s) 24, les pistons 18 sont remplacés par une membrane souple et étanche 25 ; cette alternative est illustrée sur la figure 41, dans le cas d'une cavité 20 logée dans le vilebrequin 3, montrant une vue éclatée du montage avec la membrane 25 au repos. Sous l'effet d'une surpression dans la chambre intrados 102, cette membrane 25 se déforme vers l'intérieur de la cavité fermée 20 assurant ainsi l'une des deux fonctions expliquées ci-avant : antiblocage hydraulique en fin d'échappement et/ou rétentrice du liquide de travail en fin d'admission. La figure 43 est une vue en coupe, selon le plan de coupe A-A défini à la figure 42, de la déformation de la membrane souple et étanche 25 lorsque la pression P1 dans la chambre intrados 102 est supérieure à la pression P2 présente dans la cavité fermée 20. La plaque qui maintient la membrane 25 en place et serrée contre le vilebrequin 3 peut être avantageusement une grille, visible sur la figure 44, de sorte que la membrane 25 ne se déforme pas à l'intérieur de la chambre 102 lorsque la pression P1 est inférieure à la pression P2, cas par exemple où la chambre 102 est à l'admission et donc subit une possible dépression. L'un des avantages majeur de cette variante de conception des cavités 20 grâce à une membrane 25 est son étanchéité totale. En effet, lorsque la machine opère par exemple dans un environnement extérieur sous vide et/ou dont le circuit

du fluide de travail principal est sous vide, et/ou lorsque le fluide de travail en transit dans les chambres intrados et/ou extradados est incompressible, ces volumes escamotables 24 étanches restent pleinement opérationnels dans leur fonction. Le fluide présent dans la cavité fermée 20 peut être un gaz ou un liquide suivant la fonction assignée à ce volume escamotable, identique ou différent du fluide de travail dans les chambres intrados et/ou extradados ; sa pression peut être régulée par un dispositif complémentaire interne ou externe à la machine 100. Bien entendu ce système, détaillé ici pour le cas de volumes escamotable 24 dans le vilebrequin 3, est également adaptable sur les pistons 1, coté intrados 118 et/ou coté extradados 117, et sur l'enceinte 2.

[0071] Selon un deuxième exemple de réalisation de fonction additionnelle secondaire, les moyens aptes à apporter une fonction additionnelle à la machine peuvent être des composants électromécaniques ou magnétiques adaptés pour permettre la transmission du couple entre l'ensemble rotatif 30 et un arbre tournant extérieur à la machine (ou inversement) de sorte que les chambres de la machine peuvent être totalement étanchées par rapport à l'environnement extérieur de la machine. Lesdits composants électromécaniques ou magnétiques sont avantageusement logés dans le vilebrequin 3 ou dans les pistons 1 et coopèrent, à travers une paroi étanche et amagnétique, avec d'autres composants électromécaniques ou magnétiques logés soit dans les parois latérales 5a, 5b de la machine, soit à l'extérieur de celles-ci, soit dans l'arbre de rotation 4 de la machine traversant le vilebrequin 3 par son centre et non solidaire de celui-ci.

[0072] Selon un troisième exemple de réalisation, les moyens aptes à apporter une fonction additionnelle secondaire à la machine peuvent permettre d'améliorer la trajectoire des flux d'entrée (flux d'admission) et des flux de sortie (flux d'échappement) ainsi que de réguler les flux dans les chambres intrados 102. Pour cela, les moyens sont formés par des encoches axiales cylindriques ou coniques dans le vilebrequin 3. La figure 16 illustre à cet effet un exemple de réalisation d'un vilebrequin 3 présentant des encoches axiales coniques 114 ; la base du cône de l'encoche 114 étant orientée vers les ouvertures axiales 111 des flasques 5a, 5b.

[0073] Selon un quatrième exemple de réalisation, les moyens aptes à apporter une fonction additionnelle secondaire à la machine peuvent permettre d'améliorer la trajectoire des flux d'entrée (flux d'admission) et des flux de sortie (flux d'échappement) ainsi que de réguler les flux dans les chambres extradados 101. Pour cela, les moyens sont formés par des encoches dans les flancs des pistons 1. La figure 17 illustre à cet effet un exemple de réalisation de l'intérieur d'une machine rotative 100 selon l'invention présentant des pistons 1 avec des encoches 121 sur les flancs 116 formant un passage entre les flancs 116 et l'extrados 117. Les encoches 121 peuvent également être remplacées par un canal aménagé dans chaque piston reliant l'extrados 117 à l'un ou les deux flancs 116 du piston 1, faisant ainsi communiquer

au passage les fenêtres axiales 111 des flasques 5a, 5b avec les chambres extradados 101.

[0074] En outre, la machine rotative 100 selon l'invention présente également des moyens permettant de réaliser l'étanchéité des chambres intrados (102) et extradados (101). A cet effet, la machine rotative 100 présente :

- un moyen d'étanchéité dynamique entre les pistons 1 et le vilebrequin 3, et plus particulièrement entre le cylindre de basculement 107 et la cuvette de basculement 117 ;
- un moyen d'étanchéité dynamique au niveau de la surface extradados 117 des pistons et avantageusement au niveau des zones de glissement 104 ;
- des moyens d'étanchéité dynamique entre les flasques 5a, 5b et les pièces de l'ensemble rotatif 30, à savoir les pistons 1 et le vilebrequin 3.

[0075] Ces moyens d'étanchéité peuvent être des moyens d'étanchéité classiques utilisés couramment dans les machines rotatives à trois pistons ou dans les machines rotatives à losange déformable.

[0076] La figure 37 illustre un piston comportant au niveau de sa surface extradados 117 une première variante de réalisation d'un moyen d'étanchéité. Selon cette première variante de réalisation, l'étanchéité est réalisée par un joint cylindrique 13 positionné dans une gorge cylindrique ménagée dans le piston 1. La gorge cylindrique réalisée dans le piston 1 correspond sensiblement aux dimensions des cylindres de révolution 105 décrits précédemment formant la zone de glissement 104 du piston 1. Le joint cylindrique 13 est en liaison pivot avec le piston 1 de manière à autoriser sa rotation dans la gorge cylindrique ; l'utilisation de combinaisons de matières et/ou traitements de surfaces à propriétés tribologiques appropriées permet d'une part de réduire les pertes en frottement de ladite liaison pivot du joint cylindrique 13 dans le piston 1, et d'autre part d'assurer l'adhérence du joint cylindrique 13 contre la surface ovoïde de l'enceinte 2. Une amélioration de cette première variante de réalisation d'un moyen d'étanchéité (non représentée) consiste au montage de l'axe du joint cylindrique 13 sur des composants de roulement de dimensions adaptées, tels que des roulements à billes, à aiguilles ou des paliers lisses, lesdits composants de roulement de support de l'axe du joint 13 étant logés dans le piston 1 de telle sorte qu'ils puissent avoir un débattement radial contrôlé permettant ainsi un rattrapage du jeu d'usure entre le joint cylindrique 13 et l'enceinte 2. Ainsi, le joint cylindrique 13 roule sur la surface ovoïde de l'enceinte 2 limitant son usure et les pertes mécaniques. Il faut noter que le diamètre du joint cylindrique 13 est soigneusement calculé à partir des paramètres mathématiques de la machine 100 de sorte qu'il soit entièrement contenu dans l'extrémité du piston 1 et que l'épaisseur de matière entre son logement et la face latérale 115 soit suffisante pour garantir la résistance mécanique nécessaire. Une telle variante de réalisation de l'étanchéité par contact roulant

permet, par rapport aux moyens d'étanchéité de l'état de la technique, d'une part de minimiser significativement les pertes mécaniques en frottement entre le joint et l'enceinte et par conséquent d'améliorer l'efficacité de la machine, et d'autre part de rattraper le jeu d'usure du joint et par conséquent d'accroître la durée de vie de cette pièce d'étanchéité.

[0077] Les figures 38 et 39 illustrent l'extrémité d'un piston comportant une deuxième variante de réalisation d'un moyen d'étanchéité. Selon cette deuxième variante de réalisation, l'étanchéité est réalisée par un joint basculant 14 dont la pression de contact contre l'enceinte (non représentée) est assurée par la pression du fluide de travail dans les chambres intrados et extradados. Le profil du joint basculant 14 se décompose en quatre parties :

- une première partie 14a reprenant le profil du cylindre de révolution 105 de la zone de glissement 104 ;
- une seconde partie 14b circulaire de centre non confondu avec le centre du cylindre de révolution 105 et qui assure une liaison pivot avec le piston 1 ;
- une troisième partie 14c qui forme les surfaces de pression sur lesquelles le fluide des chambres intrados ou extradados vient exercer une pression ; le centre du pivotement du joint 14 étant distinct de l'axe du cylindre de glissement 105, le joint 14 exerce par pivotement une pression de contact sur la surface intérieure ovoïde de l'enceinte 2 aux lignes de contact.
- une quatrième partie 14d est un décrochement dans lequel vient se loger un élément ressort 12 empêchant au joint basculant 14 de sortir de son logement et maintenant une pression minimale de contact du joint 14 contre la surface intérieure ovoïde de l'enceinte 2.

[0078] Les figures 38 et 39 illustrent par conséquent deux états du joint basculant 14 d'un piston 1 à deux positions différentes dans la machine rotative. Une telle variante de réalisation permet également de minimiser les frottements entre le joint et l'enceinte 2 et par conséquent d'améliorer l'efficacité de la machine. Cette deuxième variante de réalisation permet également de :

- créer une pression de contact entre cette pièce d'étanchéité du piston 1 et l'enceinte 2 juste suffisante pour réaliser l'étanchéité, ce qui permet de limiter les pertes en frottement et l'usure des pièces ;
- rattraper les jeux d'usure.

[0079] La figure 40 illustre un piston comportant au niveau de sa surface extradados 117 une alternative de la deuxième variante de réalisation d'un moyen d'étanchéité décrit précédemment. Dans cette troisième variante, l'étanchéité est réalisée par un segment 11 poussé contre la surface intérieure ovoïde de l'enceinte 2 par la pression du fluide des chambres intrados et/ou extradados. Le

segment 11 est formé par une barre de section rectangulaire dont un des côtés présente une forme arrondie et de rayon équivalent au rayon du cylindre de révolution 105 de la zone de glissement 104. Cette face arrondie permet le déplacement du piston 1 le long de l'enceinte 2. Le segment 11 est logé dans une gorge axiale du piston 1 et est poussé par pression hydraulique ou pneumatique radialement vers l'enceinte 2. Des canaux 108 et 109 sont aménagés dans le piston 1 de manière à relier la gorge axiale respectivement à la chambre intrados 102 et à la chambre extrados 101 de la machine et de manière à permettre l'arrivée de fluide sous le segment 11 afin d'exercer une pression radiale sur le segment 11 qui exerce à son tour une pression sur la surface intérieure ovoïde de l'enceinte 2 pour réaliser l'étanchéité. Cette troisième variante de réalisation peut comporter de plus un système de clapets constitués, par exemple, par des billes d'obturation des canaux 108 et 109 enfermant le fluide sous pression dans la chambre de poussée du segment 11 au niveau de la gorge axiale. Un tel système permet d'assurer une pression de contact du segment 11 sur la surface intérieure de l'enceinte 2 juste suffisante pour assurer l'étanchéité, il permet également un rattrapage du jeu d'usure.

[0080] Les figures 47 et 48 illustrent une quatrième variante de réalisation d'un moyen d'étanchéité dynamique axiale entre les deux flasques 5a et 5b et les pièces de l'ensemble rotatif 30, à savoir les pistons 1 et le vilebrequin 3. La figure 47 est une vue éclatée en perspective de la machine 100 pour laquelle les ouvertures 111 pour la circulation de fluide de travail, illustrées à la figure 2, sont réparties en fenêtres d'admission 112 pratiquées dans le premier flasque 5a, et en fenêtres de refoulement 113 pratiquées dans le second flasque 5b.

[0081] Dans cette variante de réalisation, le flasque 5b est solidaire du stator 2 (représenté uniquement sur la figure 48). Un troisième flasque 119, également solidaire du stator 2, se positionne devant le flasque d'admission 5a, coté opposé aux chambres, de sorte qu'une pré-chambre d'admission 125 est créée entre les deux flasques 119 et 5a. Le flasque 5a est coulissant à l'intérieur du stator 2 suivant le sens axial de la machine, et comporte sur sa périphérie une première gorge destinée à recevoir un joint périphérique 123, et une seconde gorge, pratiquée à l'intérieur du passage cylindrique de l'arbre 4, destinée à recevoir un joint d'arbre 127. Les joints 123, 127 assurent l'étanchéité entre les chambres, extrados 101 et intrados 102, et la pré-chambre d'admission 125.

[0082] Lorsque la machine 100 est utilisée en mode moteur hydraulique ou moteur pneumatique ou encore moteur à vapeur, les chambres extrados 101 et intrados 102 opèrent une détente du fluide de travail. En conséquence, la pression, dite P1, correspondant à la pression du fluide de travail en amont des fenêtres d'admission 112 est supérieure ou égale à la pression, dite P2, de ce même fluide de travail dans les chambres intrados 102 et extrados 101 de la machine, en phase de détente puis

de refoulement.

[0083] Ainsi, la préchambre d'admission 125 reste continuellement sous pression maximale P1, c'est-à-dire celle du fluide de travail à l'admission dans la machine via le collecteur général d'admission 129. Cette pression constante dans la préchambre 125 assure une poussée du flasque d'admission 5a contre le rotor 30, et une poussée du rotor 30 contre le flasque de refoulement 5b, par-faisant ainsi l'étanchéité dynamique par contacts plan-plan sans jeu et le rattrapage du jeu d'usure entre les pistons 1 et le vilebrequin 3 d'une part et les flasques 5a, 5b d'autre part.

[0084] Le flasque d'admission 5a comporte également des orifices 124, permettant au fluide de travail présent dans la préchambre 125, sous pression maximale P1, d'accéder au fond des deux gorges du flasque 5a, i.e. au fond de la gorge périphérique et la gorge d'arbre, afin d'exercer une poussée du joint périphérique 123 contre la surface intérieure ovoïde du stator 2 et une poussée du joint d'arbre 127 contre l'arbre 4.

[0085] Afin de réduire les frottements et l'usure des flasques 5a et 5b à la fois contre les pistons 1 et le vilebrequin 3, ce moyen d'étanchéité, décrit dans cette variante de réalisation, peut être également complété par un actionneur de contre-poussée 126, logé de préférence dans le vilebrequin 3. Comme représenté sur les figures 47 et 48, cet actionneur de contre-poussée 126 peut être matérialisé par deux ressorts correctement dimensionnés en fonction des surfaces d'application des pressions P1 et P2 de chaque côté du flasque 5a ainsi que des caractéristiques du cycle de détente dans les chambres 101, 102, de manière à réduire au maximum les pressions de contact dans l'empilement axial constitué par le flasque 5a, les pistons 1, le vilebrequin 3 et le flasque 5b.

[0086] Avantagusement, la force de contre-poussée de cet actionneur 126 pourra être variable en fonction de l'angle de rotation et du temps de manière à ce que la force résultante de la force de contre-poussée de l'actionneur 126 additionnée à la force de poussée contre le flasque 5a du fluide de travail sous pression P2 dans les chambres extrados 101 et intrados 102, soit continuellement équivalente (et de sens opposé) à la force de poussée contre le flasque 5a du fluide de travail sous pression P1 dans la préchambre 125. Ainsi, les pressions de contact qui s'exercent entre les surfaces planes des flasques 5a, 5b et des pièces du rotor 30 sont très faibles voire nulles.

[0087] Enfin, ce moyen d'étanchéité dynamique peut être parachevé par de fines rainures, pratiquées soit sur les faces des flasques 5a, 5b situées côté chambres 101, 102 soit sur les flancs latéraux des pistons 1 et du vilebrequin 3. Ces fines rainures jouent ainsi le rôle de joints labyrinthes 156 (non visibles sur les figures 47 et 48). Cette amélioration de l'étanchéité dynamique peut également être obtenue par texturation des mêmes faces antagonistes de ces mêmes pièces, sous forme de micro-alvéoles dans lesquelles se crée un effet vortex à l'origine d'une portance aérodynamique entre les 2 faces

antagonistes en mouvement relatif.

[0088] Cette quatrième variante de réalisation d'un moyen d'étanchéité dynamique est applicable suivant les mêmes principes lorsque la machine 100 est utilisée en compresseur, ou pompe hydraulique, ou encore pompe à vide. En vertu du fait que la pression P2 du fluide de travail dans les chambres 101, 102 est inférieure ou égale à la pression P3 en aval des fenêtres de refoulement 113, alors le troisième flasque 119 est placé après le flasque 5b comportant les fenêtres de refoulement 113, coté opposé auxdites chambres intrados et extrados, formant avec ce dernier une post-chambre de refoulement. Dans ce cas, le flasque d'admission 5a est solidaire du stator 2 et le flasque 5b est couissant axialement dans le stator 2.

[0089] Cette quatrième variante de réalisation d'un moyen d'étanchéité dynamique est applicable suivant les mêmes principes lorsque la machine 100 comporte des ouvertures de circulation du fluide de travail radiales, c'est-à-dire pratiquées radialement dans l'enceinte 2 et/ou dans le vilebrequin 3, pour accéder aux chambres intrados 102 et/ou extrados 101. Alors, les 3 flasques 5a, 5b et 119 sont aveugles et la préchambre 125, ou la postchambre, est remplie du fluide de travail sous pression en amont, respectivement en aval, desdites ouvertures radiales.

[0090] Les figures 49 à 51 illustrent une cinquième variante de réalisation d'un moyen d'étanchéité dynamique de la machine rotative. Dans cette cinquième variante, le moyen d'étanchéité permet de réaliser une étanchéité axiale et radiale. L'étanchéité axiale est réalisée entre les deux flasques 5a et 5b et les pièces de l'ensemble rotatif 30, à savoir les pistons 1 et le vilebrequin 3, et l'étanchéité radiale est réalisée entre le piston 1 et le stator 2 via le contact d'un joint cylindrique 13 en roulement contre la surface intérieure ovoïde du stator 2 lors de la rotation de l'ensemble rotatif 30.

[0091] Le principe général de cette cinquième variante repose sur la mise en oeuvre de paliers aérostatisques, grâce à l'utilisation d'un fluide de service sous pression injecté dans les flasques 5a, 5b et à l'intérieur des pièces constituant le rotor 30. Ce fluide de service peut être indifféremment un gaz ou un liquide sous pression, dans ce second cas les paliers sont dits hydrostatiques. Idéalement, le fluide de service sous pression utilisé pour alimenter ces paliers aérostatisques est le fluide de travail de la fonction principale de la machine assurée dans les chambres extrados 101 et/ou intrados 102. Dans le cas où la machine 100 est un compresseur ou une pompe, une partie du débit du fluide de travail sous pression est détourné depuis une post-chambre en aval des fenêtres de refoulement 113. Dans le cas où la machine 100 est un moteur pneumatique, à vapeur ou hydraulique, une partie du débit du fluide de travail sous pression est piqué dans une préchambre en amont des fenêtres d'admission 112. Une alternative avantageuse de cette cinquième variante de moyen d'étanchéité dynamique, non illustrée sur les figures, consiste à prélever le fluide de service

directement dans les chambres intrados 102 et/ou extrados 101 par piquage du fluide de travail opérant la (ou les) fonction(s) principale(s) de la machine rotative 100. Dans l'exemple illustré sur les figures 49 à 51 où la machine 100 est un compresseur de gaz, approximativement 0,1% du débit de gaz comprimé et refoulé des chambres 101, 102 est nécessaire pour servir les 20 paliers aérostatisques placés dans les différentes pièces de la machine tels que décrits ci-dessous.

[0092] Les figures 50 et 51 sont respectivement des coupes axiale et radiale de la machine rotative 100 présentant un moyen d'étanchéité dynamique selon cette cinquième variante de réalisation. Les figures 50 et 51 illustrent plus particulièrement les différents canaux et gorges véhiculant le fluide de service sous pression depuis une post-chambre (non illustrée) située en aval des fenêtres de refoulement 113 jusqu'aux différents paliers aérostatisques mis en oeuvre dans le rotor 30 et les flasques 5a, 5b.

[0093] Dans cette variante de réalisation :

- l'arbre 4 de la machine est porté par deux paliers 103 qui sont des paliers aérostatisques d'arbre 152 de forme cylindrique logés dans chacun des flasques 5a, 5b ;
- le contact plan des flasques 5a, 5b contre le vilebrequin 3 est porté par deux paliers aérostatisques annulaires 151, également logés dans chacun des flasques 5a, 5b ;
- la liaison pivot 106 de basculement du piston 1 dans le vilebrequin 3 est un palier aérostatique poche 155, ladite poche de fluide de service sous pression pouvant être pratiquée indifféremment dans le cylindre de basculement 107 ou dans la cuvette de basculement 127. L'étanchéité de cette poche aérostatique 155 peut être complétée par des rainures labyrinthes radiales 156 pratiquées sur le cylindre de basculement 107 du piston 1 ou dans la cuvette de basculement 127 du vilebrequin 3 ;
- le contact plan de chacun des deux flancs de chaque piston 1 contre les flasques 5a, 5b est porté par deux paliers aérostatisques plans 153 logés dans chacun des deux flancs du piston 1 ;
- le joint cylindrique 13 est porté par un palier aérostatique semi-cylindrique 154, logé en bout de piston co-axialement au cylindre de révolution 105 décrit précédemment, et sensiblement de même diamètre intérieur que ce dernier. L'angle d'ouverture de ce palier aérostatique semi-cylindrique 154 permet au joint cylindrique 13, en liaison pivot avec son palier aérostatique semi-cylindrique 154, d'être constamment en contact roulant contre la surface intérieure ovoïde du stator 2.

[0094] Dans la variante présentée aux figures 49 à 51, ces paliers aérostatiques sont constitués soit d'une poche fluide sous pression dans l'une des 2 pièces antagonistes du contact glissant, comme illustrée au niveau de la liaison pivot 106, poche aérostatique dont les dimensions d'ouverture sont calculées en fonction de la pression de portance recherchée entre les surfaces antagonistes, soit par des matériaux poreux micro-alvéolés. Ces matériaux présentent l'avantage de créer un champ de pression très uniforme sur toute leur surface de diffusion du fluide de service sous pression et, dans le cas des contacts listés ci-dessus, la formation d'un mince film dudit fluide de service dans le jeu mécanique existant entre les surfaces antagonistes en mouvement relatif l'une par rapport à l'autre. En conséquence, les deux surfaces antagonistes glissent sur ce film de fluide de service sous pression. Ce film fluide opère un effet de portance des surfaces antagonistes qui ne se touchent plus, et assure donc leur étanchéité dynamique avec un coefficient de frottement extrêmement bas, dépendant de la viscosité du fluide de service utilisé (de l'ordre de 0,00001 lorsque ce fluide de service est de l'air). D'autres solutions mécaniques pour ces paliers aérostatiques, ou hydrostatiques, peuvent être mises en oeuvre en alternatives aux deux exemples de solutions décrits ci-dessus et illustrés dans cette cinquième variante de moyen d'étanchéité dynamique.

[0095] Les autres avantages majeurs de l'utilisation d'une partie du fluide de travail comme fluide de service pour alimenter les paliers aérostatiques sont d'une part sa disponibilité sur la machine 100 elle-même, ne nécessitant donc pas l'adjonction d'un générateur extérieur, et d'autre part la non pollution du fluide de travail en transit dans les chambres extradados 101 et intrados 102 par un fluide de nature différente tel que par exemple un lubrifiant traditionnel. En d'autres termes, le fluide de travail lui-même est utilisé comme lubrifiant.

[0096] Le fluide de service sous pression, piqué dans la post-chambre en aval des fenêtres de refoulement 113, traverse le flasque de refoulement 5b via un canal axial 141. Il remplit la gorge circulaire 142 pour permettre une diffusion en continu dans les canaux axiaux 144 du vilebrequin 3 en rotation par rapport au flasque 5b. Le fluide de service se propage également jusqu'au palier aérostatique d'arbre 152 et au palier aérostatique annulaire 151 via les canaux radiaux 143 pratiqués dans le flasque 5b. Depuis les canaux axiaux 144 du vilebrequin 3, le fluide de service sous pression gagne d'une part l'autre flasque 5a pour alimenter les deux autres paliers aérostatiques 151, 152, et d'autre part la liaison pivot 106 via les canaux radiaux 145 du vilebrequin 3. Les canaux d'accès du fluide de service sous pression à l'intérieur du vilebrequin 3 peuvent également être pratiqués dans l'arbre de rotation 4 de la machine. Dans la continuité du canal radial 145 du vilebrequin 3, le fluide de service sous pression remplit le palier aérostatique poche 155 formé dans la cuvette de basculement 127 et dont la force de pression s'exerce contre le cylindre de basculement 107,

portant celui-ci. La largeur de ce palier aérostatique poche 155 dans le plan radial est calculée de sorte que la continuité de la distribution du fluide de service entre le canal radial 145 du vilebrequin 3 et le canal radial 146 du piston 1 soit assurée quelle que soit la position du piston 1 au cours de la rotation du rotor 30. Enfin, depuis le canal radial 146 dans le piston 1, le fluide de service sous pression est véhiculé jusqu'aux paliers aérostatiques plans 153 et aux paliers aérostatiques semi-cylindriques 154 via les canaux terminaux axiaux 147 et les canaux terminaux radiaux 148.

[0097] Outre les avantages de réduction substantielle des frottements et d'usure, de non pollution du fluide de travail par un lubrifiant traditionnel, la réduction du nombre de pièces peut également être un avantage de cette cinquième variante de moyen d'étanchéité. En effet, telle que présentée sur les figures 49 à 51, les paliers aérostatiques, référencés 151, 152, 153, 154, 155, sont des pièces rapportées. Or, la majorité de ces paliers aérostatiques peut être regroupée sur le piston 1. Alors, une alternative avantageuse réside dans la fabrication du piston 1 entièrement dans un matériau poreux massif ; cette alternative présente l'avantage de supprimer tous les canaux internes référencés 146, 147, 148 nécessaires à la distribution du fluide de service dans le piston 1, ainsi que tous les paliers aérostatiques rapportés, référencés 153, 154, 155.

[0098] Le procédé de frittage des poudres peut être particulièrement approprié pour produire de tels pistons 1 poreux massifs, suivi d'une opération de calibrage pour obtenir les précisions dimensionnelle et géométrique recherchées, puis d'un traitement de surface pour étancher les faces du piston 1 non destinées à avoir une fonction de palier aérostatique, c'est-à-dire celles délimitant les chambres extradados 101 et intrados 102.

[0099] Pour résumer, la machine rotative selon l'invention présente avantageusement six cavités à volume variable présentant des cylindrées équivalentes, ou des cylindrées des chambres intrados supérieures aux cylindrées des chambres extradados. L'équivalence des cylindrées des différentes cavités dans une machine rotative à trois pistons est directement et principalement fonction (mais pas uniquement) des paramètres géométriques interdépendants suivants :

- le rayon du cylindre de basculement 107 ;
- le profil intrados 118 des pistons 1 en corrélation et en complémentarité dynamique avec le profil extérieur du vilebrequin 3, ces deux profils étant mathématiquement liés ;
- la géométrie des faces latérales 115 permettant notamment de modifier le volume mort de la chambre ;
- la géométrie des surfaces de jonction entre les faces latérales 115 et, d'un côté la face intrados 118, de l'autre côté la face extradados 117 ;
- l'emploi ou non d'un ou plusieurs volumes escamotables (24) dans le vilebrequin 3, et/ou dans les pistons 1 et/ou dans l'enceinte 2.

[0100] D'autres variantes et modes de réalisation de l'invention peuvent être envisagés sans sortir du cadre de l'invention telle que délimitée dans les revendications.

Revendications

1. Machine volumique rotative (100) comprenant :

- une enceinte tubulaire (2) de section ovale ;
- un vilebrequin (3) monté à rotation dans l'enceinte ; et
- trois pistons (1) dans l'enceinte, chacun articulé en son centre au vilebrequin et configuré pour avoir deux extrémités opposées (104) en contact continu avec l'enceinte lorsque le vilebrequin tourne par rapport à l'enceinte, d'où il résulte que chaque piston est soumis à un basculement alternatif autour de son articulation sur le vilebrequin ;

caractérisée en ce que chaque piston a deux surfaces intrados s'étendant radialement de chaque côté de l'articulation correspondante sur le vilebrequin, chaque surface intrados ayant un profil complémentaire du profil de la surface extérieure du vilebrequin, de sorte que le piston est apte à venir épouser la forme du vilebrequin suivant un principe de rapprochement et d'éloignement alternatifs au cours du basculement.

2. Machine volumique rotative selon la revendication 1, dans laquelle chacun des pistons (1) délimite avec l'enceinte (2) une chambre à volume variable dite chambre extrados (101) et deux pistons (1) consécutifs délimitent avec l'enceinte (2) et le vilebrequin (3) une chambre à volume variable dite chambre intrados (102), les pistons (1) et le vilebrequin (3) étant configurés de manière que chaque chambre intrados (102) présente une cylindrée égale ou supérieure à la cylindrée des chambres extrados (101).

3. Machine volumique rotative (100) selon la revendication 1, dans laquelle l'enceinte (2) comporte un profil en accord avec les règles géométriques imposées dans les machines rotatives à losange déformable.

4. Machine volumique rotative (100) selon la revendication 1, dans laquelle l'articulation (406) de chaque piston sur le vilebrequin comprend un élément flexible (15) encastré dans des gorges (131, 132) du vilebrequin (3) et du piston (1).

5. Machine volumique rotative (100) selon la revendication 1, comprenant :

- deux flasques (5a, 5b) fermant latéralement

l'enceinte ; et

- des paliers aérostatiques ou hydrostatiques (151, 152, 153, 154, 155) configurés pour réaliser une étanchéité dynamique radiale entre les pistons (1) et l'enceinte (2), et une étanchéité dynamique axiale entre les flasques (5a, 5b) et l'ensemble pistons-vilebrequin (30),

lesdits paliers étant configurés pour être alimentés par le fluide de service de la machine.

6. Machine volumique rotative selon la revendication 1, comprenant :

- deux flasques (5a, 5b) fermant latéralement l'enceinte (2), présentant des ouvertures (111) permettant l'admission et l'échappement de fluides dans des chambres à volume variable (102, 101) définies par les pistons ; et
- une encoche radiale (121) dans un flanc latéral de chaque piston (1), positionnée en regard d'une ou de plusieurs des ouvertures (111) des flasques (5a, 5b).

7. Machine volumique rotative selon la revendication 6, dans laquelle chaque piston (1) présente une surface extrados (117) en regard de l'enceinte (2) et un canal interne reliant la surface extrados (117) à ladite encoche dans le flanc latéral.

8. Machine volumique rotative selon la revendication 1, comprenant des joints tournants (13) dans chaque piston, aptes à rouler sur l'enceinte lors de la rotation des pistons (1).

9. Machine volumique rotative selon la revendication 1, comprenant des joints ajustables (14,11) dans chaque piston, dont la pression de contact sur l'enceinte (2) est ajustable en fonction de la pression dans des chambres à volume variable (102, 101) définies par les pistons.

10. Machine volumique rotative selon la revendication 1, comprenant :

- deux flasques d'extrémité (5b, 119) fermant latéralement l'enceinte (2) ; et
- un troisième flasque (5a) monté libre en translation axiale dans l'enceinte (2), formant entre les pistons et l'un des flasques d'extrémité une préchambre d'admission (125) ou une postchambre d'échappement de fluides.

11. Machine volumique rotative selon la revendication 1, comprenant des volumes escamotables agencés localement dans l'enceinte ou le vilebrequin, configurés pour accroître le volume d'une chambre à volume variable définie par les pistons.

12. Machine volumique rotative selon la revendication 11, dans laquelle les volumes escamotables incluent des cavités (20) dans lesquelles coulisser des pistons précontraints (18, 19).
13. Machine volumique rotative selon la revendication 12, dans laquelle les volumes escamotables incluent des cavités (20) rendues étanches par rapport aux chambres à volume variable par une membrane souple (25).
14. Machine volumique rotative selon la revendication 13, dans laquelle lesdites cavités (20) contiennent un fluide dont la pression est régulée en fonction de la pression dans les chambres à volume variable.

Patentansprüche

1. Volumetrische Drehkolbenmaschine (100), umfassend:
- ein röhrenförmiges Gehäuse (2) mit ovalem Querschnitt;
 - eine in dem Gehäuse rotatorisch angebrachte Kurbelwelle (3), und
 - drei Kolben (1) in dem Gehäuse, die jeweils in deren Mitte an der Kurbelwelle angelenkt und so konfiguriert sind, dass sie zwei entgegengesetzte Enden (104) in ständigem Kontakt mit dem Gehäuse haben, wenn sich die Kurbelwelle in Bezug auf das Gehäuse dreht, woraus sich ergibt, dass jeder Kolben alternierend um seine Anlenkung an der Kurbelwelle gekippt wird;
- dadurch gekennzeichnet, dass** jeder Kolben zwei Innenflächen hat, die sich radial auf jeder Seite der entsprechenden Anlenkung an der Kurbelwelle erstrecken, wobei jede Innenfläche ein Profil aufweist, das zu dem Profil der Außenfläche der Kurbelwelle komplementär ist, so dass der Kolben imstande ist, sich an die Form der Kurbelwelle nach einem Prinzip der alternierenden Annäherung und Beabstandung während des Kippens anzuschmiegen.
2. Volumetrische Drehkolbenmaschine nach Anspruch 1, wobei jeder der Kolben (1) mit dem Gehäuse (2) eine Kammer mit veränderlichem Volumen, bezeichnet als Außenkammer (101), begrenzt und zwei aufeinanderfolgende Kolben (1) mit dem Gehäuse (2) und der Kurbelwelle (3) eine Kammer mit veränderlichem Volumen, bezeichnet als Innenkammer (102), begrenzen, wobei die Kolben (1) und die Kurbelwelle (3) derart konfiguriert sind, dass jede Innenkammer (102) einen Hubraum aufweist, der gleich oder größer als der Hubraum der Außenkammern (101) ist.

3. Volumetrische Drehkolbenmaschine (100) nach Anspruch 1, wobei das Gehäuse (2) ein Profil in Übereinstimmung mit den geometrischen Regeln aufweist, die in Drehkolbenmaschinen mit verformbarem Rhombus gelten.
4. Volumetrische Drehkolbenmaschine (100) nach Anspruch 1, wobei die Anlenkung (406) jedes Kolbens an der Kurbelwelle ein flexibles Element (15) aufweist, das in Nuten (131, 132) der Kurbelwelle (3) und des Kolbens (1) eingebettet ist.
5. Volumetrische Drehkolbenmaschine (100) nach Anspruch 1, umfassend:

- zwei Flansche (5a, 5b), die das Gehäuse seitlich verschließen; und
- aerostatische oder hydrostatische Lager (151, 152, 153, 154, 155), die konfiguriert sind, um eine radiale dynamische Dichtung zwischen den Kolben (1) und dem Gehäuse (2) und eine axiale dynamische Dichtung zwischen den Flanschen (5a, 5b) und der Kolben-Kurbelwellenanordnung (30) bereitzustellen,

wobei die Lager so konfiguriert sind, dass sie von dem Betriebsfluid der Maschine versorgt werden.

6. Volumetrische Drehkolbenmaschine nach Anspruch 1, umfassend:
- zwei Flansche (5a, 5b), die das Gehäuse (2) seitlich verschließen und Öffnungen (111) zum Einlassen und Auslassen von Fluiden in durch die Kolben definierte Kammern (102, 101) mit veränderlichem Volumen aufweisen; und
 - eine radiale Kerbe (121) in einer Seitenflanke jedes Kolbens (1), die einer oder mehreren der Öffnungen (111) der Flansche (5a, 5b) zugewandt angeordnet ist.
7. Volumetrische Drehkolbenmaschine nach Anspruch 6, wobei jeder Kolben (1) eine dem Gehäuse (2) zugewandte Außenfläche (117) und einen inneren Kanal aufweist, der die Außenfläche (117) mit der Kerbe in der Seitenflanke verbindet.
8. Volumetrische Drehkolbenmaschine nach Anspruch 1, umfassend Rotationsdichtungen (13) in jedem Kolben, die imstande sind, während der Rotation der Kolben (1) auf dem Gehäuse zu rollen.
9. Volumetrische Drehkolbenmaschine nach Anspruch 1, umfassend in jedem Kolben einstellbare Dichtungen (14, 11), deren Anpressdruck an das Gehäuse (2) in Abhängigkeit von dem Druck in volumenvariablen Kammern (102, 101), die von den Kolben definiert sind, einstellbar ist.

10. Volumetrische Drehkolbenmaschine nach Anspruch 1, umfassend:

- zwei Endflansche (5b, 119), die das Gehäuse (2) seitlich verschließen; und
- einen dritten Flansch (5a), der in dem Gehäuse (2) axialtranslatorisch frei angebracht ist und zwischen den Kolben und einem der Endflansche eine Einlassvorkammer (125) oder eine Auslassnachkammer von Fluiden bildet.

11. Volumetrische Drehkolbenmaschine nach Anspruch 1, umfassend versenkbares Volumen, die lokal in dem Gehäuse oder der Kurbelwelle eingerichtet sind, die konfiguriert sind, um das Volumen einer von den Kolben definierten Kammer mit veränderlichem Volumen zu vergrößern.

12. Volumetrische Drehkolbenmaschine nach Anspruch 11, wobei die versenkbaren Volumen Hohlräume (20) einschließen, in denen vorgespannte Kolben (18, 19) gleiten.

13. Volumetrische Drehkolbenmaschine nach Anspruch 12, wobei die versenkbaren Volumen Hohlräume (20) einschließen, die in Bezug auf die Kammern mit veränderlichem Volumen durch eine flexible Membran (25) abgedichtet sind.

14. Volumetrische Drehkolbenmaschine nach Anspruch 13, wobei die Hohlräume (20) ein Fluid enthalten, dessen Druck in Abhängigkeit von dem Druck in den Kammern mit veränderlichem Volumen geregelt wird.

Claims

1. A positive displacement rotary machine (100) comprising:

a tubular enclosure (2) having an oval section; a crankshaft (3) rotationally mounted in the enclosure; and three pistons (1) inside the enclosure, each piston centrally articulated to the crankshaft and configured to have two opposite ends (104) in continuous contact with the enclosure as the crankshaft rotates with respect to the enclosure, whereby each piston undergoes alternative rocking about its articulation to the crankshaft; **characterised in that** each piston has two intrados surfaces extending radially on either side of the corresponding articulation to the crankshaft, each intrados surface having a profile complementary to the profile of the outer surface of the crankshaft, whereby each piston fits the outer surface of the crankshaft in an alternating

to and fro motion while rocking.

2. The rotary machine according to claim 1, wherein each of the pistons (1) delimits with the enclosure (2) an extrados chamber (101) of variable volume, and two consecutive pistons (1) delimit with the enclosure (2) and the crankshaft (3) an intrados chamber (102) of variable volume, wherein the pistons and the crankshaft are configured so that the displacement of each intrados chamber (102) is equal to or greater than the displacement of an extrados chamber (101).

3. The rotary machine (100) according to claim 1, wherein the profile of the enclosure (2) is designed based on geometric rules applicable to rotary machines with a deformable rhombus.

4. The rotary machine (100) according to claim 1, wherein the articulation (406) of each piston to the crankshaft comprises a flexible element (15) fitted in grooves (131, 132) of the crankshaft (3) and the piston (1).

5. The rotary machine according to claim 1, comprising:

two flanges (5a, 5b) laterally closing the enclosure; and aerostatic or hydrostatic bearings (151, 152, 153, 154, 155) configured to ensure radial dynamic sealing between the pistons (1) and the enclosure (2) and axial dynamic sealing between the flanges (5a, 5b) and the crankshaft and piston assembly (30); wherein the bearings are configured to be supplied with an operating fluid of the machine.

6. The rotary machine according to claim 1, comprising:

two flanges (5a, 5b) laterally closing the enclosure (2), including openings (111) for fluid intake and exhaust from variable volume chambers (102, 101) defined by the pistons; and a radial slot (121) in a lateral flank of each piston (1), positioned opposite one or more of the openings (111) in the flanges.

7. The rotary machine according to claim 6, wherein each piston (1) has an extrados surface (117) facing the enclosure (2), and an internal channel connecting the extrados surface (117) to the slot in the lateral flank.

8. The rotary machine according to claim 1, comprising rotating seals (13) at the opposite ends of each piston, configured to roll on the enclosure during rotation of the pistons (1).

9. The rotary machine according to claim 1, comprising adjustable seals (14, 11) at the opposite ends of each piston, whose contact pressure on the enclosure (2) is adjusted based on the pressure in variable volume chambers (102, 101) defined by the pistons. 5
10. The rotary machine according to claim 1, comprising:
- two end flanges (5b, 119) laterally closing the enclosure (2); and 10
- a third flange (5a) configured to freely slide axially in the enclosure (2), forming between the pistons and one of the end flanges a fluid intake pre-chamber (125) or a fluid exhaust post-chamber. 15
11. The rotary machine according to claim 1, comprising retractable volumes provided locally in the enclosure or the crankshaft, configured to increase the volume of a variable volume chamber defined by the pistons. 20
12. The rotary machine according to claim 11, wherein the retractable volumes include cavities (20) housing spring biased pistons (18, 19). 25
13. The rotary machine according to claim 12, wherein the retractable volumes include cavities (20) sealed off from said variable volume chambers by a flexible membrane (25). 30
14. The rotary machine according to claim 13, wherein said cavities (20) contain a fluid having a pressure regulated based on the pressure in the variable volume chambers. 35

40

45

50

55

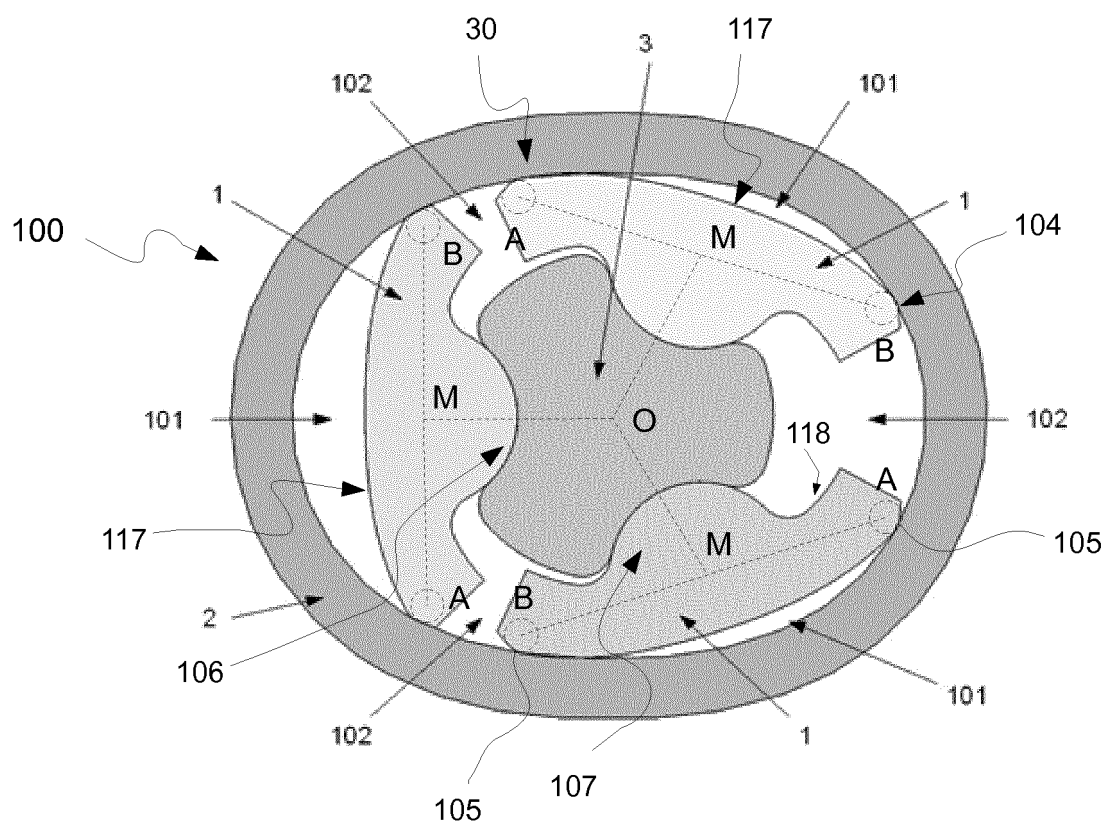


Fig. 1

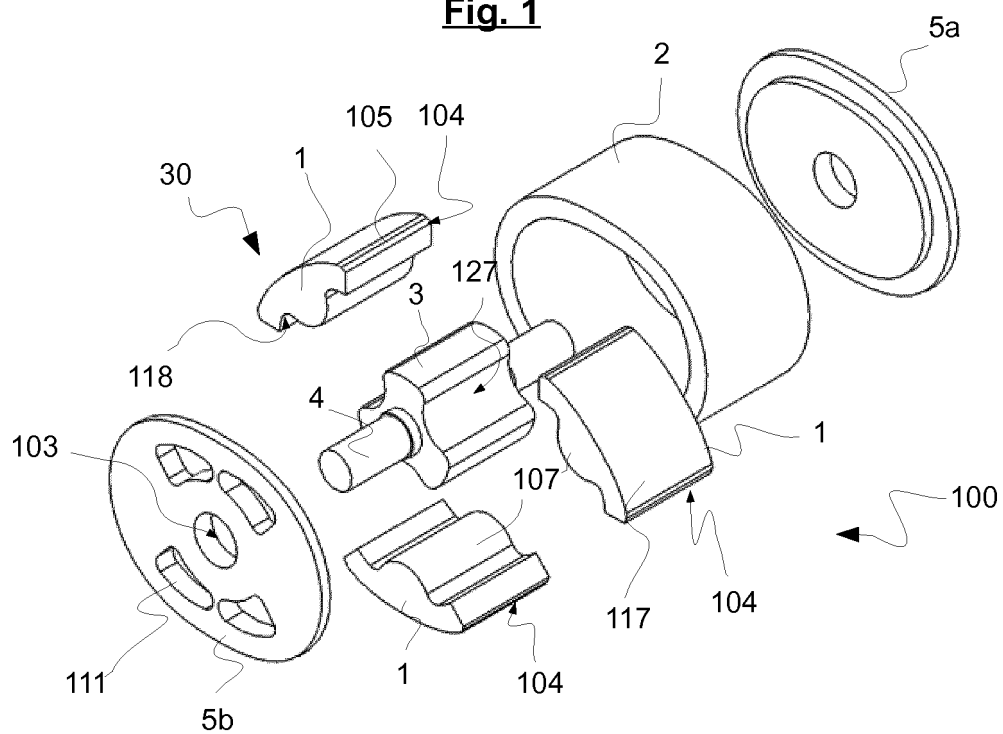


Fig. 2

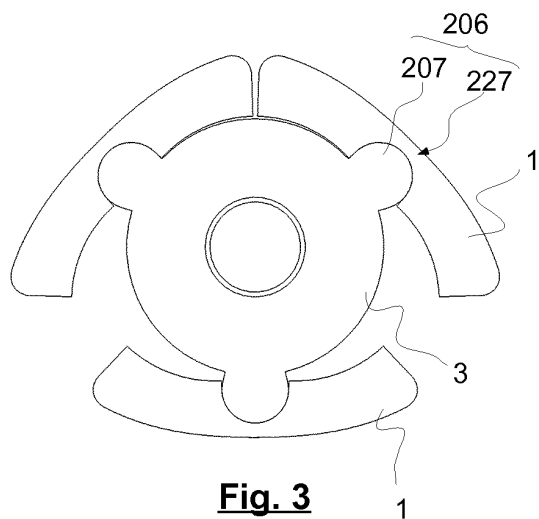


Fig. 3

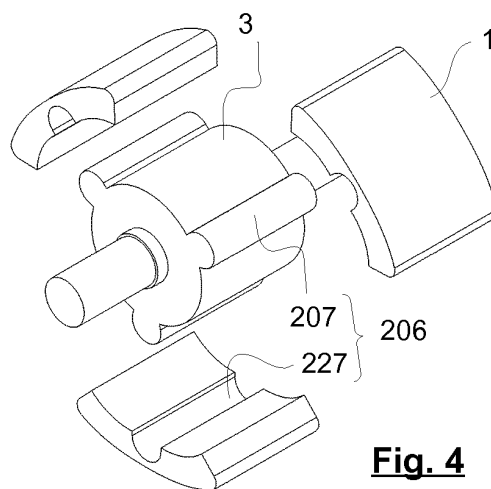


Fig. 4

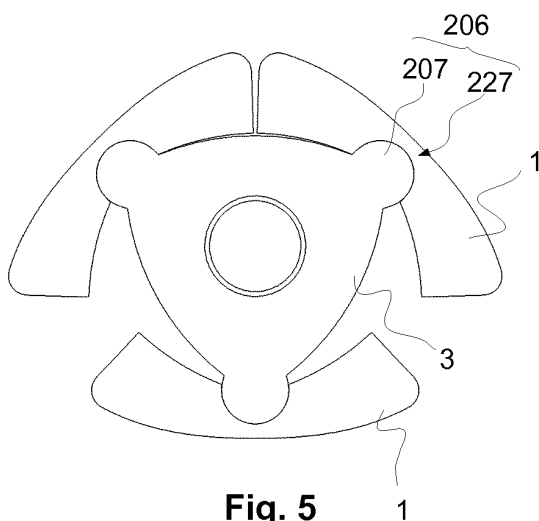


Fig. 5

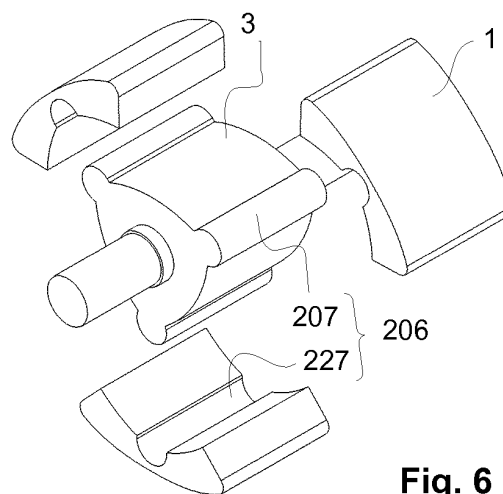


Fig. 6

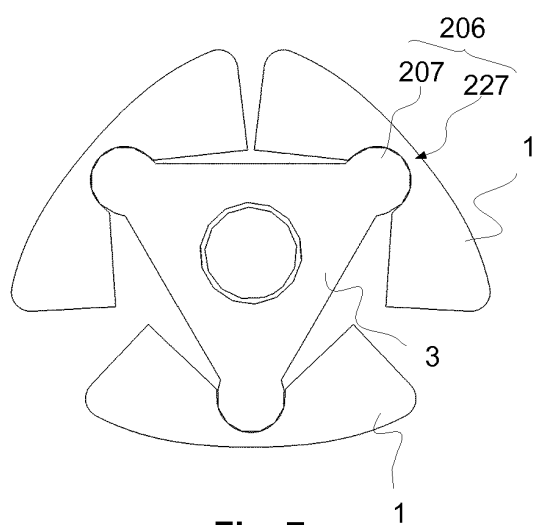


Fig. 7

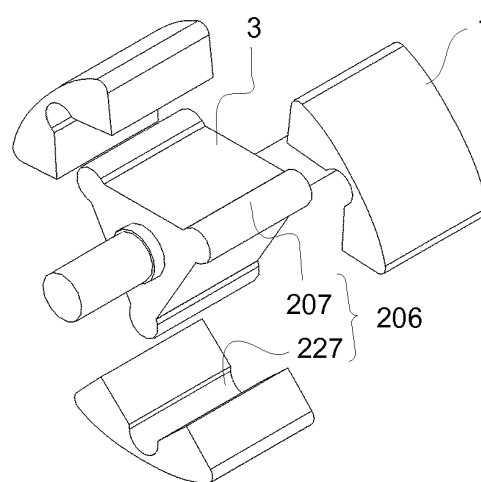


Fig. 8

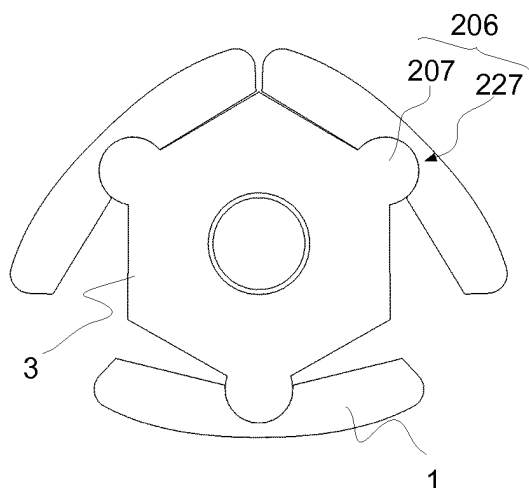


Fig. 9

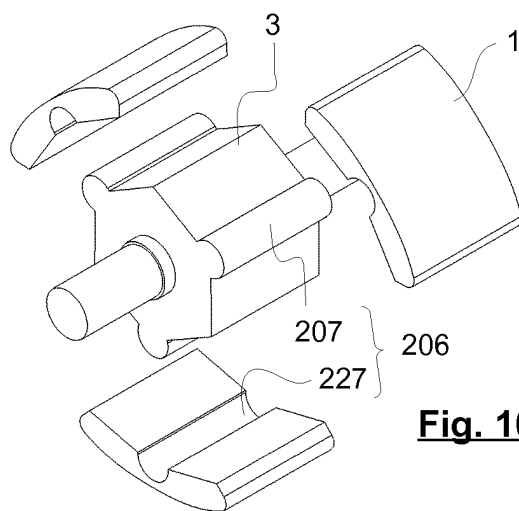


Fig. 10

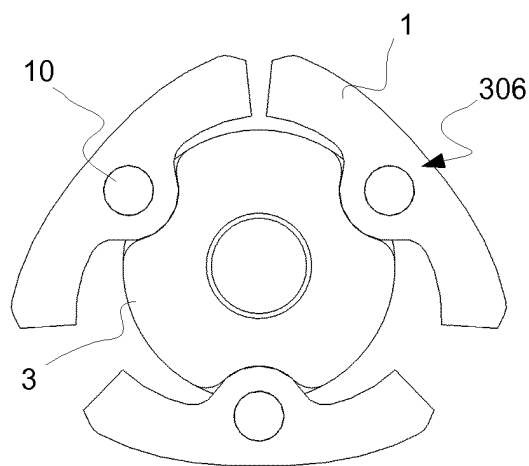


Fig. 11

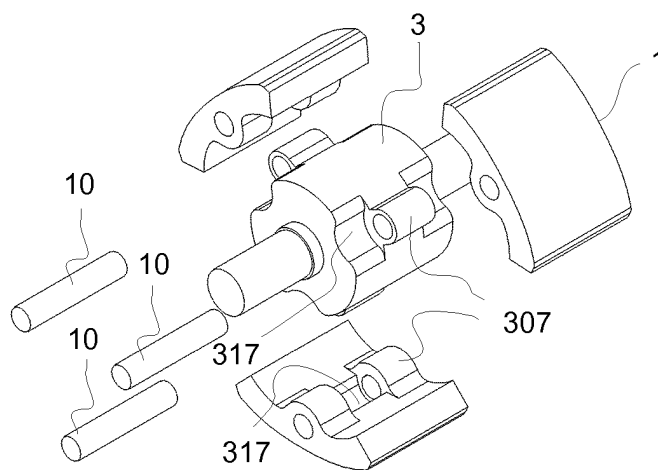


Fig. 12

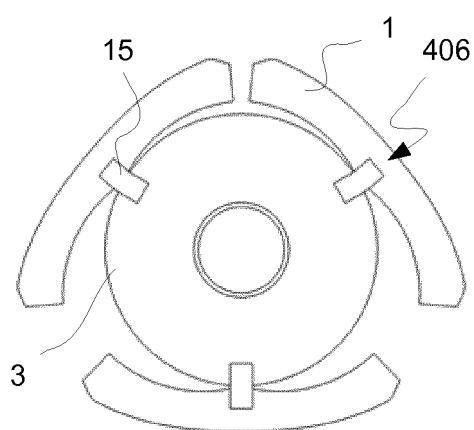


Fig. 13

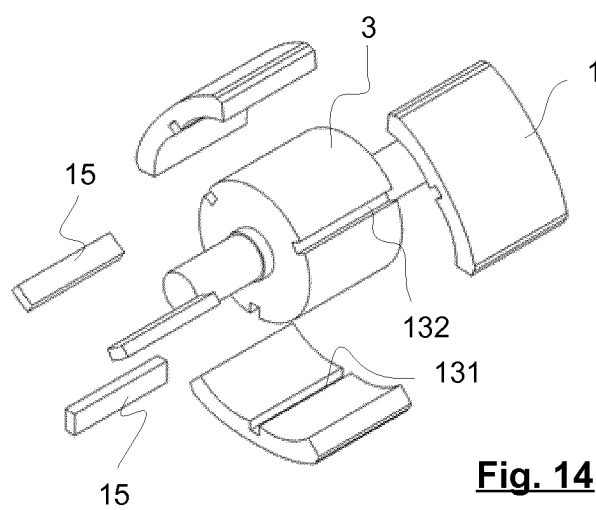
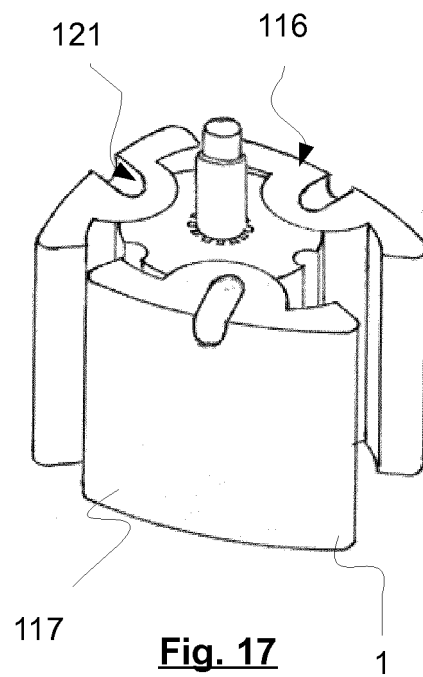
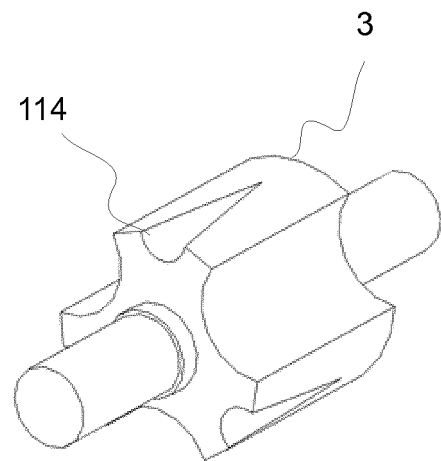
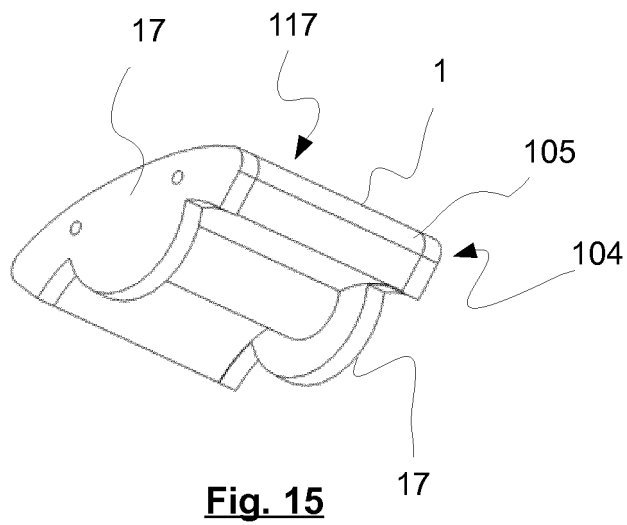


Fig. 14



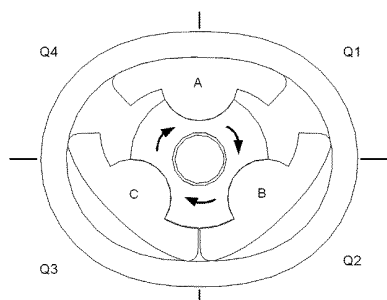


Fig. 18

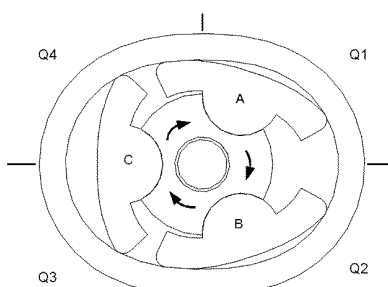


Fig. 19

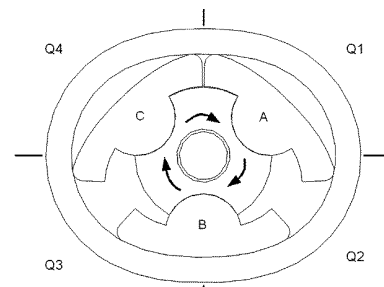


Fig. 20

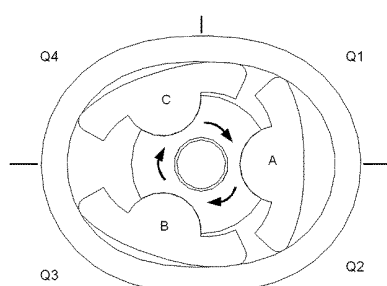


Fig. 21

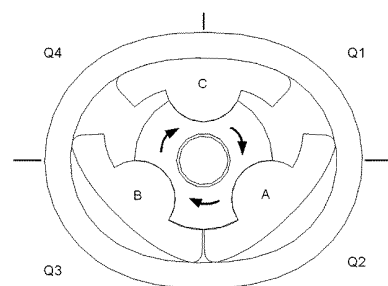


Fig. 22

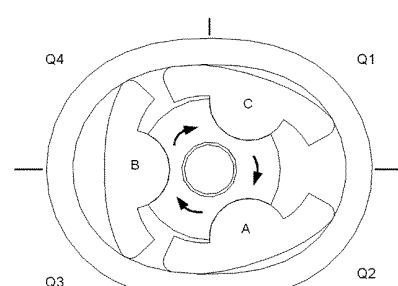


Fig. 23

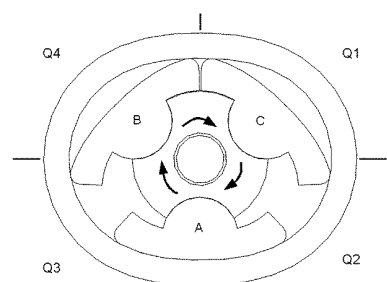


Fig. 24

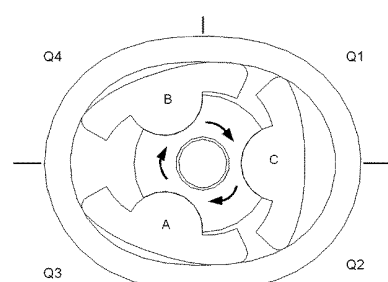


Fig. 25

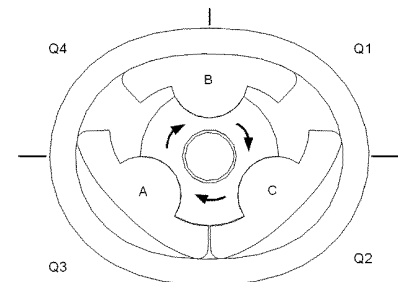


Fig. 26

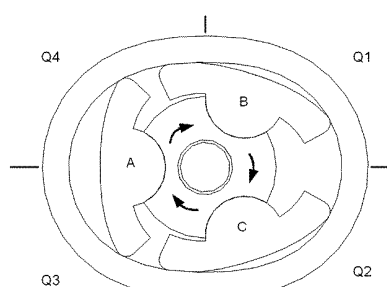


Fig. 27

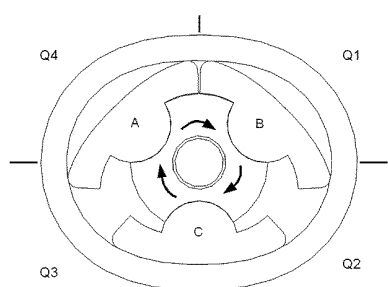


Fig. 28

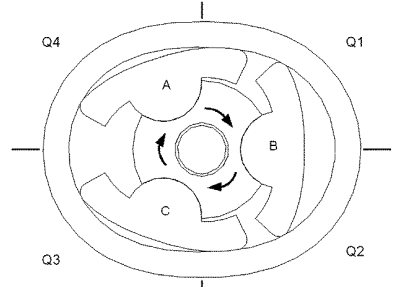


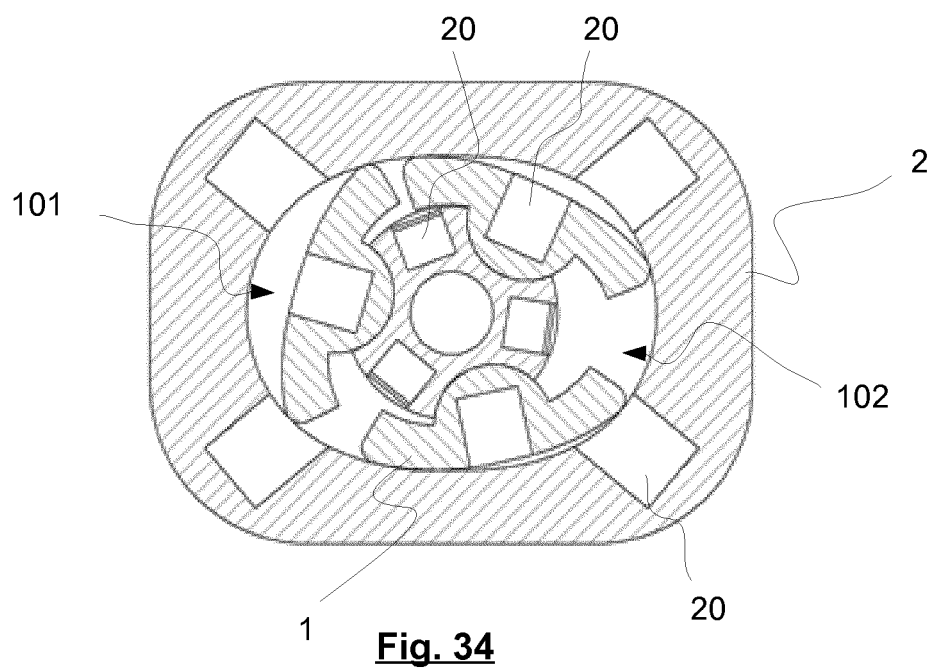
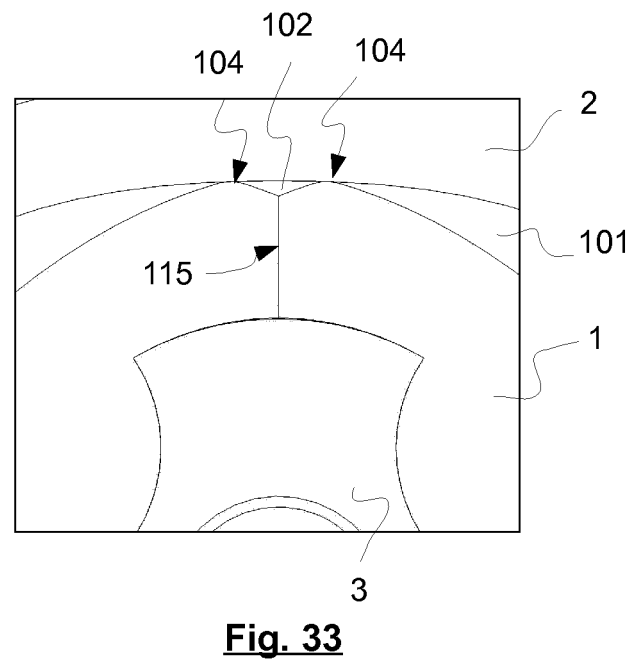
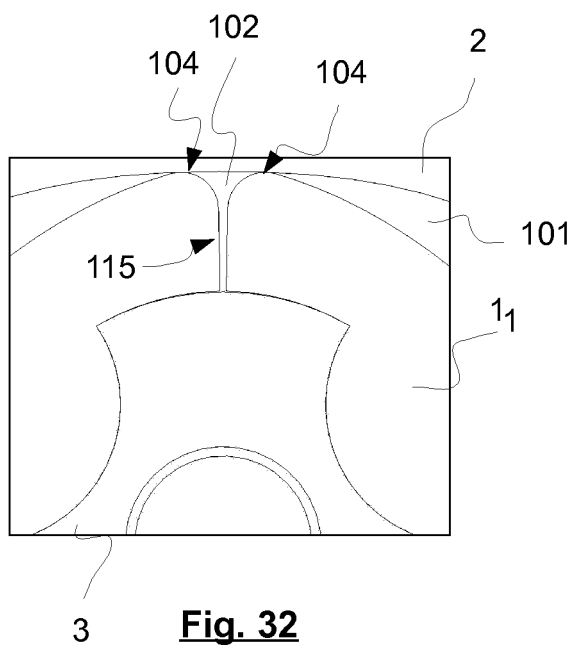
Fig. 29

EP 2 989 294 B1

Angle rotation	Chambre extrados A	Chambre intrados A-C	Chambre extrados C	Chambre intrados C-B	Chambre extrados B	Chambre intrados B-A	
0°							
30°	Explosion Détente (Moteur)	Compression	Admission	Admission	Échappement	(Moteur)	
60°			Compression			Admission	Échappement
90°		Explosion Détente (Moteur)			Compression		
120°	Échappement		Explosion Détente (Moteur)	Compression		Admission	Échappement
150°		Échappement			Explosion Détente (Moteur)		
180°	Admission		Échappement	Explosion Détente (Moteur)		Compression	Admission
210°		Admission			Échappement		
240°	Admission		Échappement	Explosion Détente (Moteur)		Compression	Admission
270°		Compression			Admission		
300°	Compression		Admission	Échappement		Explosion Détente (Moteur)	Compression
330°		Compression			Admission		
360°	Compression		Admission	Échappement		Explosion Détente (Moteur)	Compression

Fig. 30

Angle rotation	Chambre extrados A	Chambre intrados A-C	Chambre extrados C	Chambre intrados C-B	Chambre extrados B	Chambre intrados B-A
0°						
30°	Admission (Moteur)	Échappement	Admission (Moteur)	Admission (Moteur)	Échappement	Admission (Moteur)
60°			Échappement			Admission (Moteur)
90°		Admission (Moteur)			Échappement	
120°	Échappement		Admission (Moteur)	Échappement		Admission (Moteur)
150°		Admission (Moteur)			Échappement	
180°	Échappement		Admission (Moteur)	Échappement		Admission (Moteur)
210°		Admission (Moteur)			Échappement	
240°	Admission (Moteur)		Échappement	Admission (Moteur)		
270°					Échappement	Admission (Moteur)
300°	Admission (Moteur)	Échappement	Admission (Moteur)			
330°				Échappement	Admission (Moteur)	Échappement
360°	Échappement	Admission (Moteur)	Échappement			



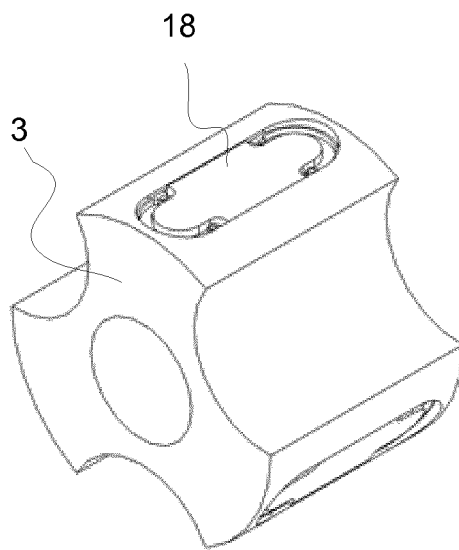


Fig. 35

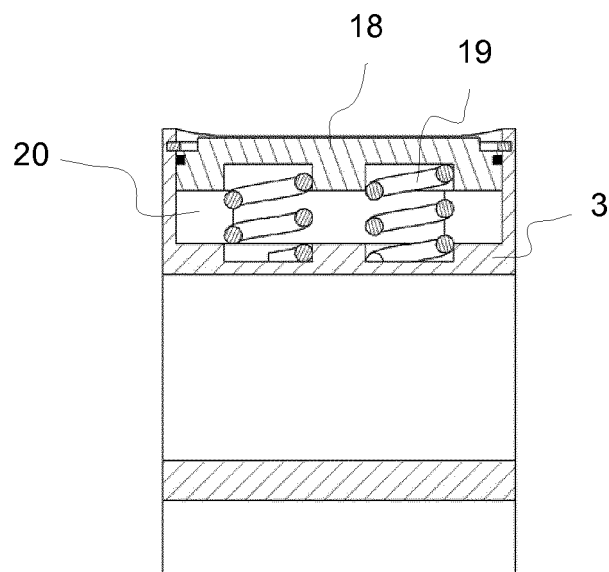


Fig. 36

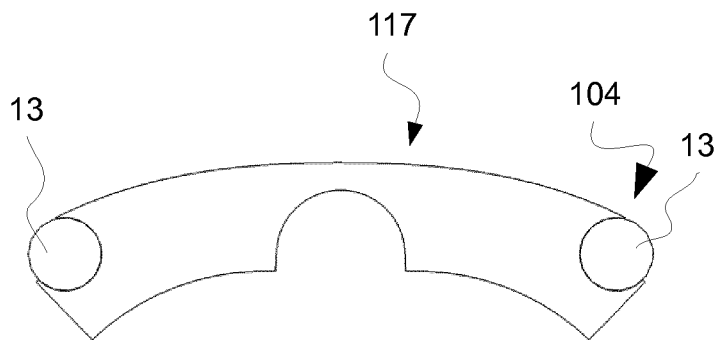


Fig. 37

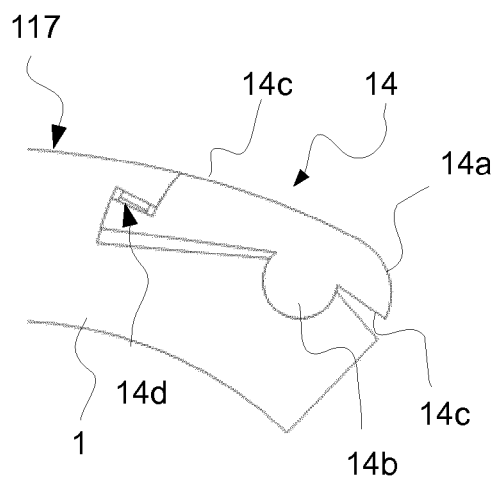


Fig. 38

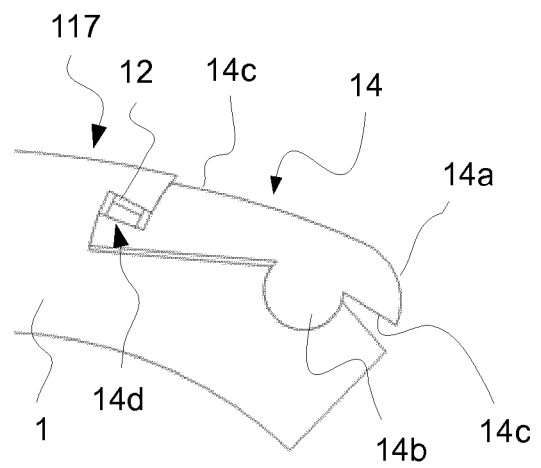


Fig. 39

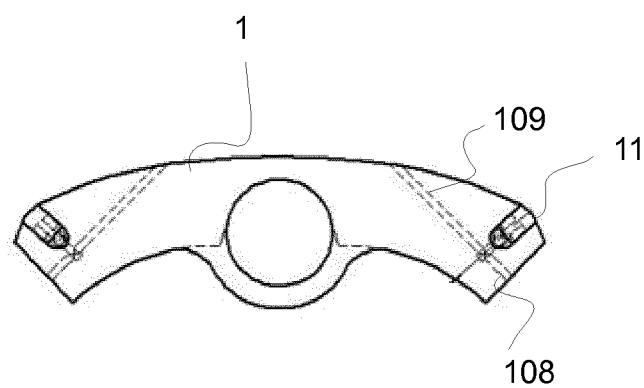


Fig. 40

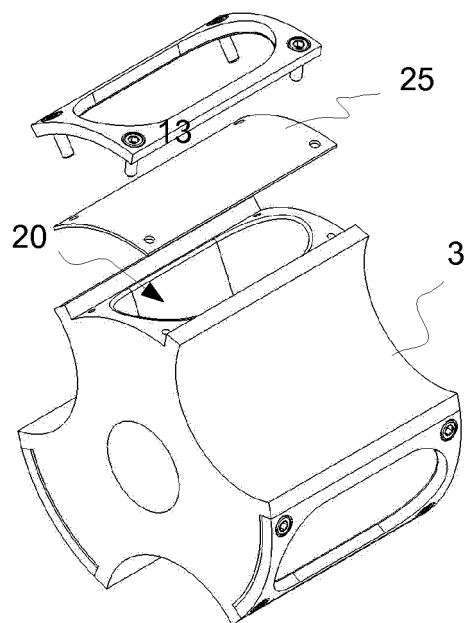


Fig. 41

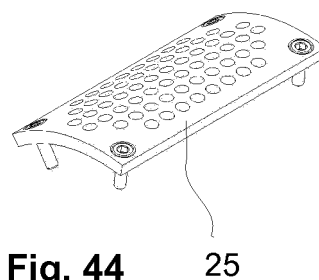


Fig. 44

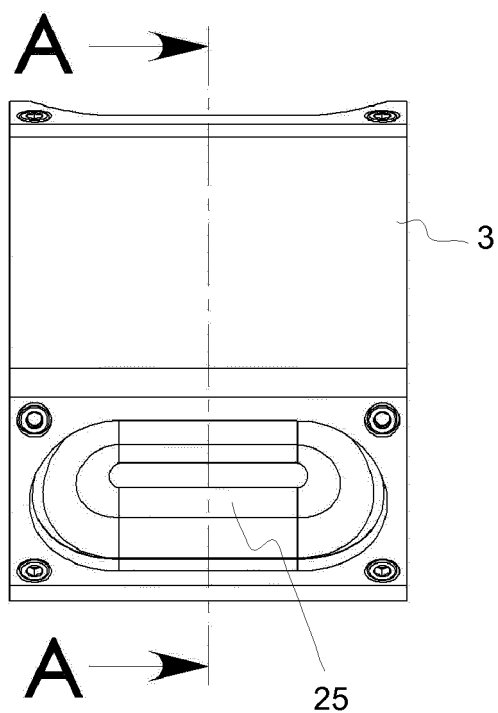


Fig. 42

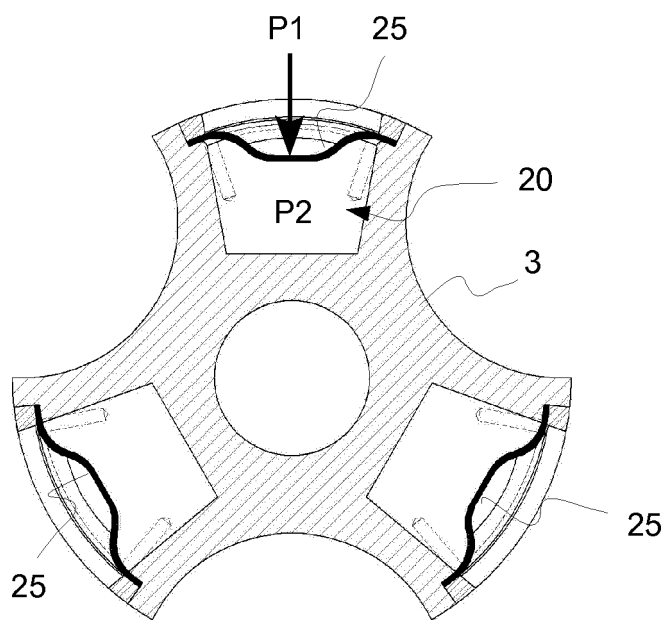


Fig. 43

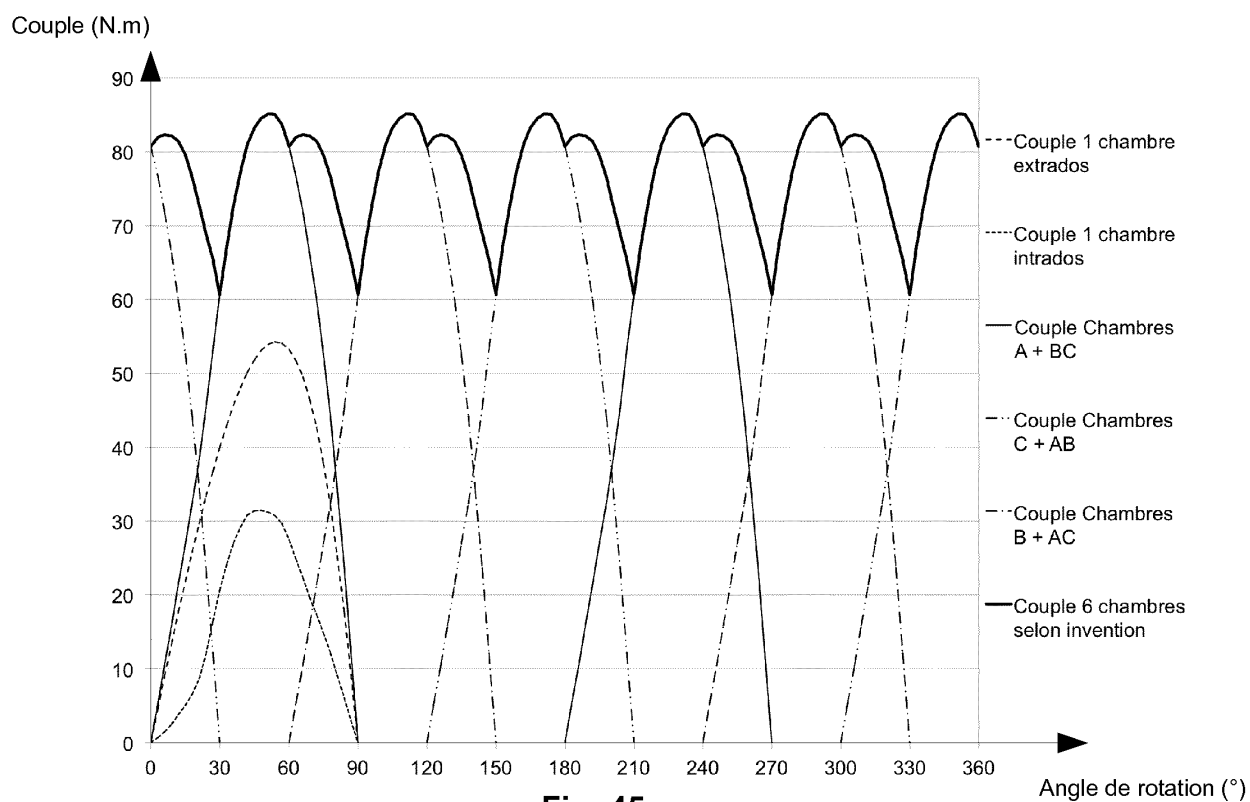


Fig. 45

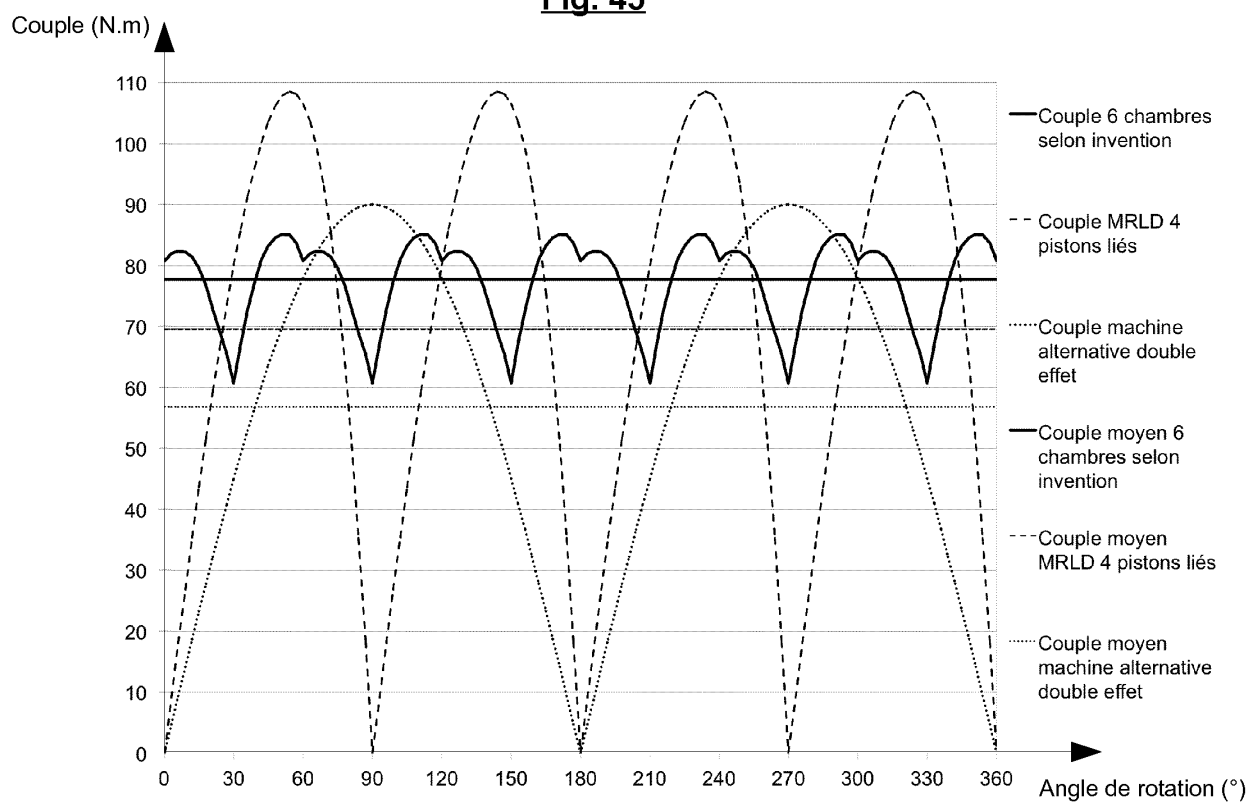


Fig. 46

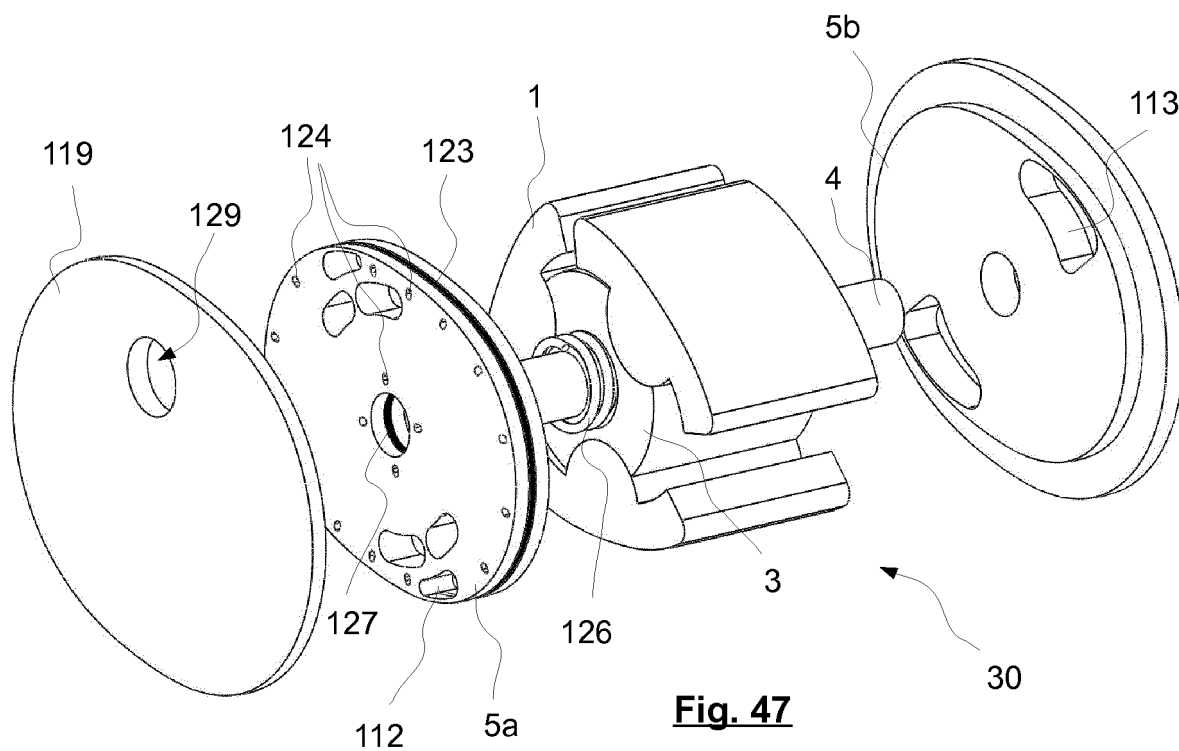


Fig. 47

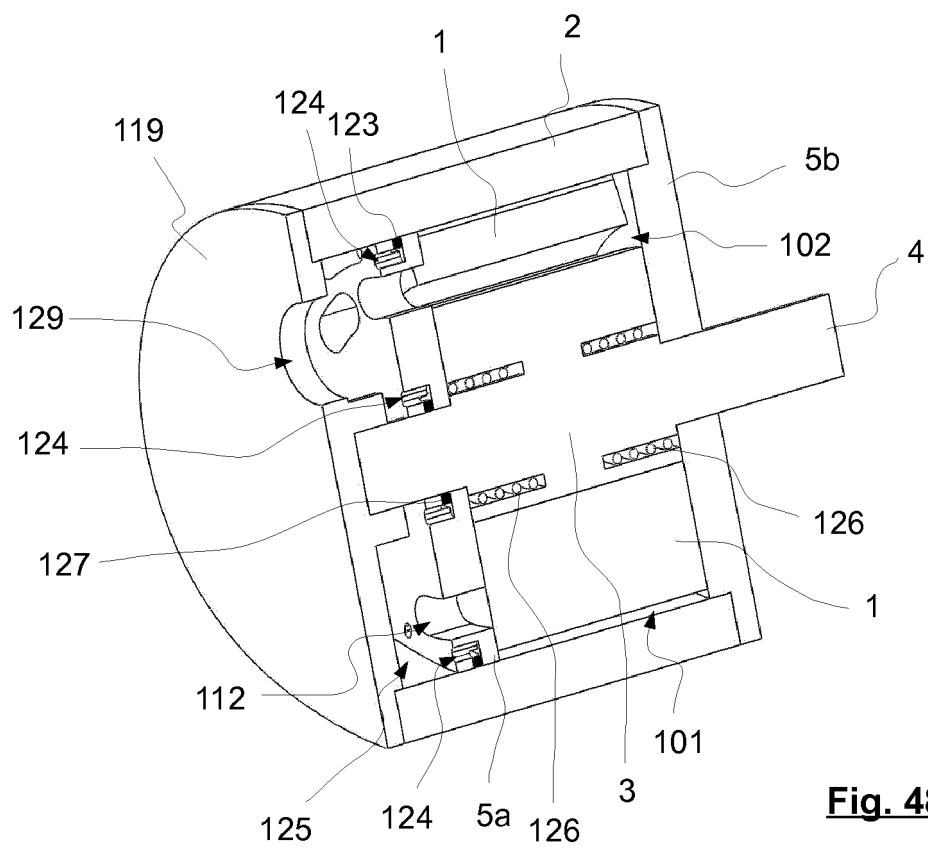


Fig. 48

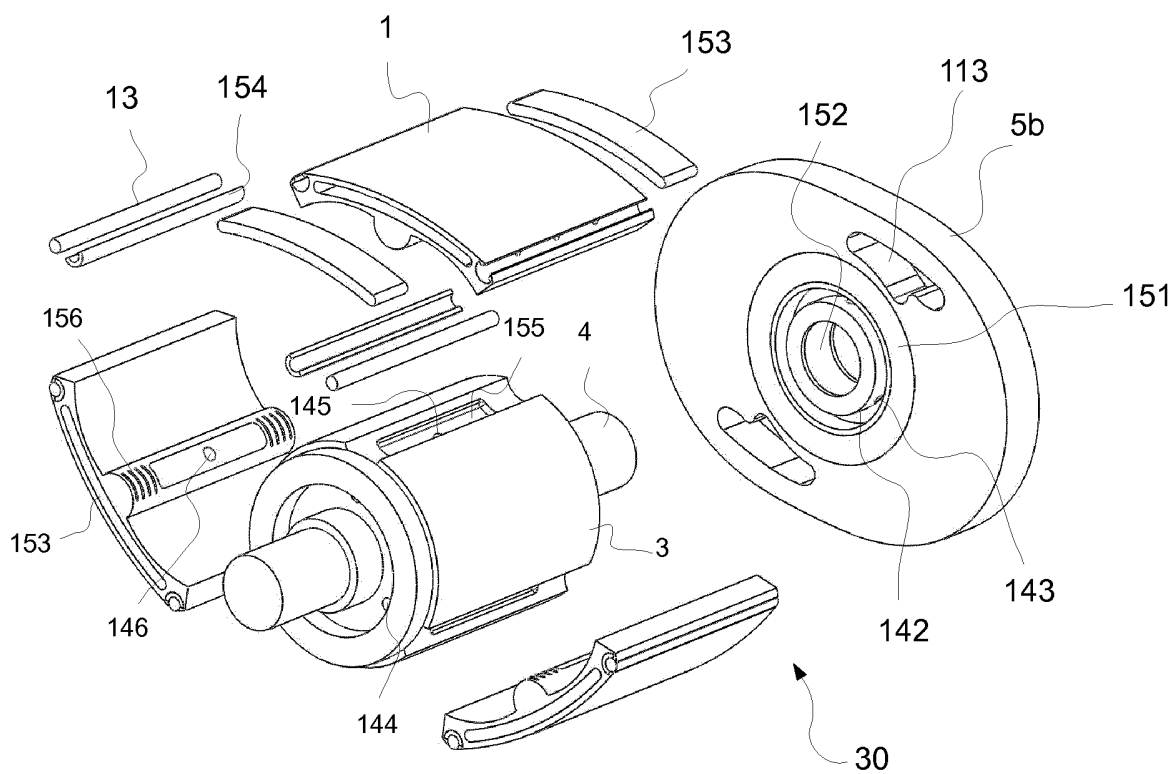


Fig. 49

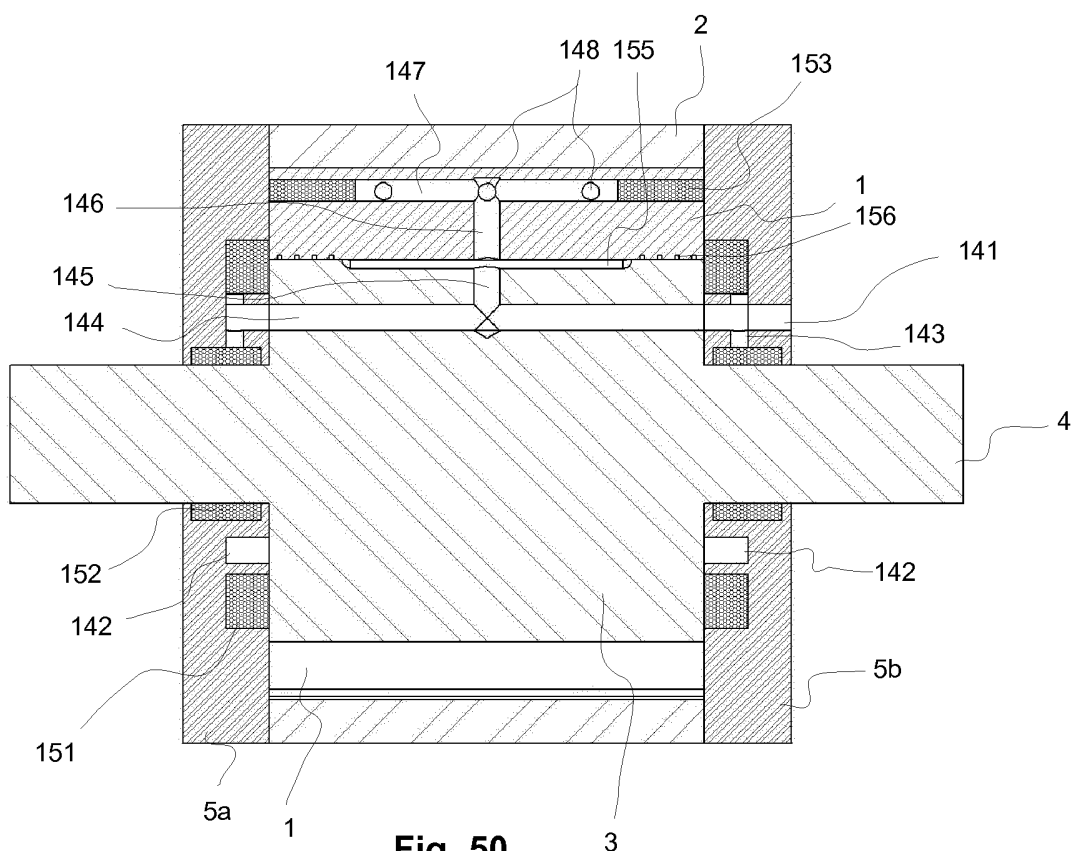


Fig. 50

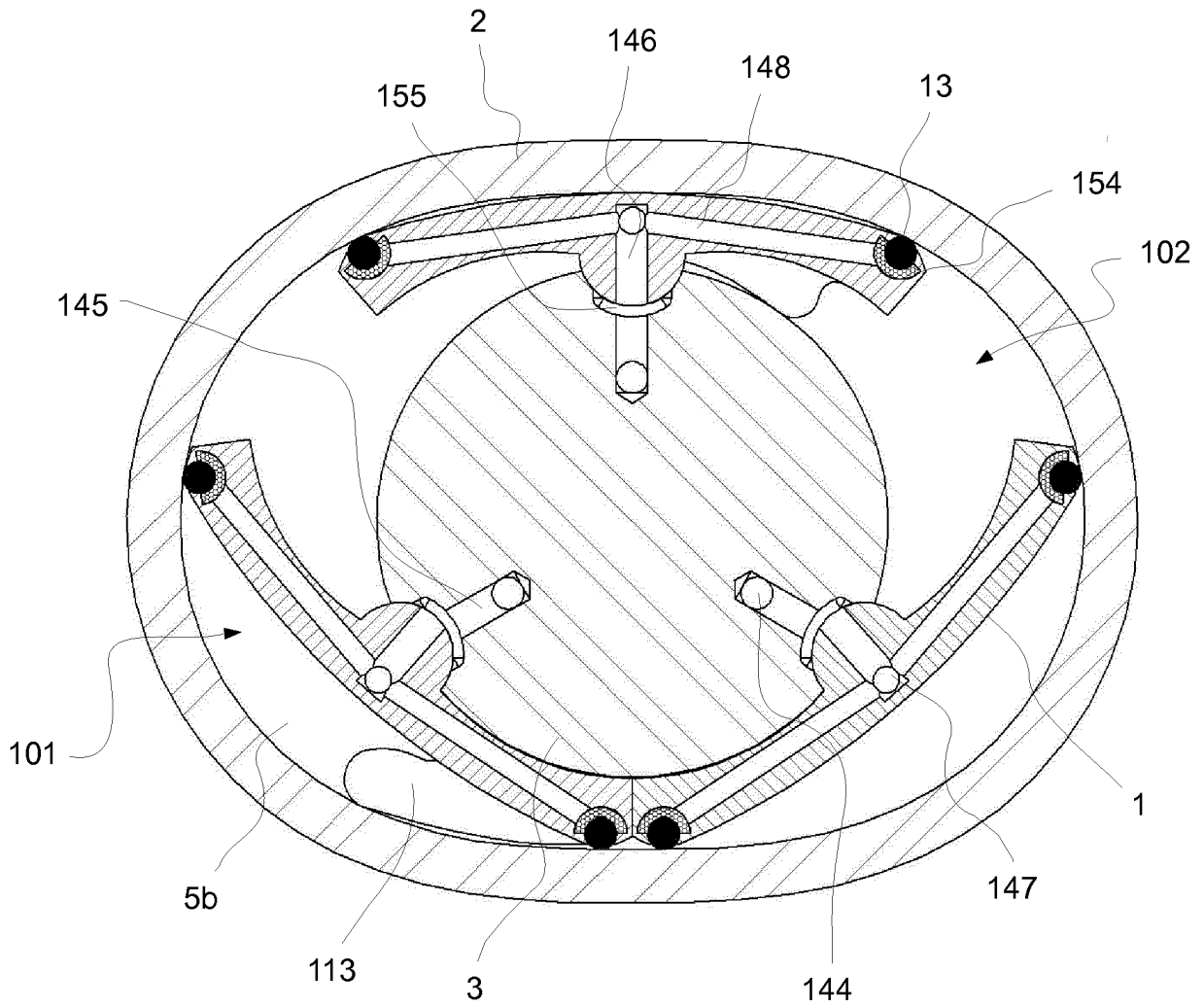


Fig. 51

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- US 3349757 A, J.I.M. Artajo [0003]
- WO 9416208 A, B. Tan [0003]
- FR 0805177, V. Génissieux [0004]
- WO 8600370 A, Contiero [0004]
- FR 1404353, J. Lemaître [0005]
- US 3295505 A, A. Jordan [0005] [0006]
- DE 1451741 [0008]
- DE 2047732, G. FINSTERHOELZL [0008]
- FR 2493397, J.P. AMBERT [0027]