

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 81 06544

(54) Module d'échangeurs thermiques pour moteur Stirling.

(51) Classification internationale (Int. Cl.³). F 02 G 1/053.

(22) Date de dépôt 1^{er} avril 1981.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du
public de la demande B.O.P.I. — « Listes » n° 40 du 8-10-1982.

(71) Déposant : Société dite : SOCIETE ECA, résidant en France.

(72) Invention de : Michel Jean Paul Darche et Stig Carlqvist.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Cabinet Barnay,
80, rue Saint-Lazare, 75009 Paris.

On sait que les moteurs Stirling sont des moteurs thermiques à pistons et chauffage externe, dans lesquels le gaz de travail, hélium ou hydrogène, circule alternativement d'un cylindre à un autre en traversant
5 un échangeur tubulaire où il est chauffé, une matrice métallique poreuse, dite régénérateur, où il prend ou cède de la chaleur et un autre échangeur tubulaire où il est refroidi. Les deux échangeurs lui permettent également de conserver sa température quand il est comprimé ou
10 détendu dans les cylindres.

Un tel moteur - à deux cylindres - est représenté schématiquement sur la figure 1. Une liaison cinématique, par bielles et vilebrequin est prévue entre les deux pistons de telle manière que le mouvement du piston du cylindre
15 "froid" B soit déphasé de 90° par rapport à celui du cylindre "chaud" A. Quand, à partir de la position représentée sur la figure, le vilebrequin F tourne d'environ un sixième de tour dans le sens indiqué par la flèche, le piston du cylindre A bouge peu, le piston du cylindre B
20 comprime le gaz maintenu froid par le refroidisseur C. Au sixième de tour suivant, la gaz est transféré du cylindre B au cylindre A en étant chauffé par le régénérateur D et le réchauffeur E. Au sixième de tour suivant, le piston du cylindre B bouge peu, le piston du cylindre A détend
25 le gaz maintenu chaud par le réchauffeur E. Au demi-tour suivant, le gaz est transféré du cylindre A au cylindre B en étant refroidi par le régénérateur D et le refroidisseur C et un nouveau cycle recommence. Au cours du cycle complet, comme dans tout moteur thermique, il y a apport de chaleur
30 à haute température (dans le réchauffeur), rejet de chaleur à basse température (dans le refroidisseur) et fourniture de travail (sur le vilebrequin). Le chauffage dans le réchauffeur E est généralement fourni par le passage des gaz de combustion de matières diverses et le refroidissement dans le refroidisseur C par un courant d'eau
35 froide.

Un tel schéma connu peut être modifié conformément à la figure 2. Le volume variable froid

est disposé non pas au-dessus, mais au-dessous du piston du cylindre B, du côté de la liaison cinématique. Le principe de fonctionnement du moteur n'est pas changé, à condition que le mouvement du piston du cylindre B soit en avance de phase de 90° par rapport à celui du piston du cylindre A, ainsi que le montre la figure.

Le schéma de la figure 2 permet de concevoir le montage en série de plusieurs éléments moteurs tels que celui de la figure 2, comme le suggèrent les départs de tubulures représentés sur les cylindres A et B. On obtient alors un moteur à pistons à double effet dans lequel chacun des piston travaille sur ses deux faces et dont la puissance, pour une cylindrée donnée, est sensiblement doublée. En outre, les dispositifs d'étanchéité du moteur vers l'extérieur sont situés sous les volumes variables froids des cylindres, de sorte que leur réalisation est moins difficile. Les divers éléments moteurs, généralement au nombre de trois à six, forment de préférence une chaîne fermée selon un arrangement dû à RINIA. Ce principe a été retenu pour la quasi-totalité des moteurs Stirling existants.

Dans la pratique, il est nécessaire, pour le bon fonctionnement thermodynamique, que les conduits chauds, entre A et E sur la figure 2, et les conduits froids, entre B et C, constituant des volumes morts et causant des chutes de pression, soient raccourcis au maximum; il est également nécessaire, pour réduire les déformations, les jeux et les frottements, que la liaison cinématique entre les diverses tiges de pistons soit simplifiée au maximum; il est nécessaire enfin, lorsque le chauffage est effectué par des gaz de combustion, que les tubes du réchauffeur E soient groupés en une tête chauffante unique permettant de répartir uniformément le chauffage.

On obtient un moteur très compact, satisfaisant aux conditions précédentes, en disposant quatre cylindres en carré. Les tiges de pistons peuvent être parallèles et actionner un plateau incliné ("swash-plate" ou "wobble-plate") ou un double vilebrequin (moteur en H); elles peuvent également être inclinées en V

et actionner un simple vilebrequin (moteur en double V). Ces diverses dispositions sont les plus généralement adoptées dans les moteurs Stirling actuels.

- En contrepartie de la compacité, ces moteurs
- 5 Stirling perdent le caractère modulaire qu'aurait pu leur offrir le montage en série de plusieurs éléments ^{moteurs} conformes au schéma de la figure 2. Ils sont constitués par un bloc moteur unique dans lequel seuls des petits composants tels que les régénérateurs, les refroidisseurs ou les
- 10 pistons sont fabriqués en plusieurs exemplaires identiques.

- L'objet de la présente invention est un module d'échangeurs thermiques pour moteur Stirling, comprenant un réchauffeur tubulaire, un régénérateur et un refroidisseur tubulaire, ainsi qu'au moins une partie de
- 15 cylindre, caractérisé par le fait qu'il est conçu pour permettre la réalisation d'un moteur Stirling à double effet par montage de plusieurs modules identiques sur un bloc moteur équipé de pistons en ligne reliés à un vilebrequin et qu'il est composé d'une tête de cylindre,
- 20 d'un ensemble régénérateur-refroidisseur d'axe parallèle à celui de la tête de cylindre et relié rigidement à cette dernière par un carter renfermant les tubes du réchauffeur, celui-ci étant du type à chauffage indirect, et, situé à la base du refroidisseur, d'un dispositif de raccordement
- 25 assurant la connexion du conduit froid entre le refroidisseur et un cylindre correspondant à un module adjacent.

- La conception modulaire, conforme à l'invention, offre de nombreux avantages. Les divers éléments moteurs composant le moteur étant rigoureusement identiques, y
- 30 compris en ce qui concerne les conduits chauds et froids raccordant les échangeurs au bloc moteur, le fonctionnement du moteur est parfaitement régulier. Le dessin et les essais de mise au point sont réduits grâce à l'existence d'ensembles identiques dans le moteur. Les coûts de
- 35 fabrication des pièces et de montage des ensembles pour essais globaux, construction de moteurs et fourniture de rechanges sont réduits par suite de l'accroissement du nombre de composants identiques. La maintenance exige

un stock de pièces moins important. Des moteurs différant par la forme ou le nombre de cylindres peuvent aisément être construits à partir des mêmes modules.

La paroi extérieure du refroidisseur d'un module
5 selon l'invention est de préférence réalisée en un matériau souple de manière à être capable d'absorber, avec déformation concomitante des tubes de refroidissement, les effets des dilatations thermiques du réchauffeur par rapport au bloc moteur dues aux fortes différences de
10 température apparaissant en fonctionnement entre ces éléments.

Afin de pouvoir donner aux conduits froids entre modules d'un même moteur une longueur sensiblement égale, que ces conduits relient deux modules adjacents ou deux modules séparés par un autre module, il est prévu selon
15 l'invention que le dispositif de raccordement^{monté} à la base du refroidisseur d'un module puisse prendre deux configurations distinctes offrant des longueurs de connexion différentes, de manière à compenser les différences de distance entre modules. Un tel dispositif peut être constitué par une plaque épaisse formant le fond du refroidisseur et offrant, en situation excentrée par rapport
20 à l'axe du refroidisseur, une ouverture faisant communiquer le volume intérieur de ce dernier avec un conduit percé dans l'épaisseur de ladite plaque, perpendiculairement audit axe, par l'intermédiaire d'un raccord coudé
25 logé dans une cavité en regard de ladite ouverture partageant ledit conduit en deux portions de longueur inégale, la liaison au cylindre adjacent s'effectuant soit par l'une, soit par l'autre de ces portions suivant l'orientation du raccord coudé par rapport à ladite plaque.
30 Pour un conduit froid reliant deux modules contigus, on utilisera ainsi la configuration "longue"; pour un conduit froid reliant deux modules séparés par un troisième, on utilisera la configuration "courte", conjointement avec
35 un conduit auxiliaire. Afin de faciliter l'accès au raccord coudé pour le retourner lorsqu'on désire passer d'une configuration à l'autre, il convient que l'ouverture excentrée précitée soit percée dans une pièce auxiliaire

amovible s'emboîtant dans un logement creusé dans ladite plaque et communiquant avec ladite cavité.

Un module selon l'invention peut ne comprendre que la tête du cylindre correspondant, celle-ci étant
5 reliée de manière étanche à la chemise dudit cylindre, laquelle fait partie du bloc moteur. Il peut toutefois être préférable d'incorporer aussi au module la chemise du cylindre, laquelle est alors solidaire de la tête du cylindre et est reliée à sa base de manière étanche au
10 corps du bloc moteur. Cette dernière disposition permet de placer le joint d'étanchéité nécessaire pour la jonction avec le bloc moteur dans une région où les conditions de température et de pression sont moins sévères, savoir dans la partie froide du cylindre.

15 La conception modulaire des échangeurs thermiques selon l'invention permet d'obtenir à la fois :

- des ensembles moteurs compacts avec des circuits gazeux courts, d'égales longueurs et ne se croisant pas;
- une cinématique pour quatre ou six cylindres en
20 ligne avec un seul vilebrequin, selon la technique automobile la plus courante;
- des sous-ensembles de formes simples et identiques entre eux;
- une grande accessibilité aux divers composants des
25 moteurs, facilitant le démontage et la maintenance.

La description qui va suivre, en regard des dessins annexés à titre d'exemples non limitatifs, permettra de bien comprendre comment l'invention peut être mise en pratique.

30 La figure 3 représente un module d'échangeurs thermiques selon l'invention, en coupe verticale suivant la ligne III-III de la figure 5.

La figure 4 représente le fond du refroidisseur du module de la figure 3, dans une autre configuration.

35 La figure 5 représente en plan un moteur Stirling à quatre cylindres en ligne formé par la réunion de quatre modules selon l'invention sur un bloc moteur.

On reconnaît sur la figure 3 les divers éléments

représentés schématiquement sur la figure 2, savoir une tête de cylindre 12, un réchauffeur 22, un régénérateur 32 et un refroidisseur 42, cet ensemble constituant, avec un dispositif 52 de raccordement de conduit froid, un module selon l'invention.

Le réchauffeur 22, du type à chauffage indirect, est constitué par un carter 5 et de nombreux tubes 6 (dont deux seulement ont été représentés) placés à son intérieur, qui mettent en communication la chambre chaude 7 de la tête de cylindre 12 et le régénérateur 32. Au carter 5 est soudée l'extrémité d'un caloduc 62 véhiculant un agent caloporteur (sodium, potassium ou eutectique de ces deux métaux) entre une source de chaleur non représentée et le réchauffeur 22. Les tubes 6, au nombre de plusieurs dizaines, offrent des formes variées de manière à présenter sensiblement la même longueur tout en étant très proches les uns des autres. Portés à une température de l'ordre de 700°C, ils conduisent en l'échauffant le gaz de travail (hélium ou hydrogène) à une pression pouvant atteindre 250 bars.

Le régénérateur 32 se compose d'un carter 9 où débouchent les tubes 6 du réchauffeur 22 et qui renferme un bloc cylindrique poreux 10 constitué par un empilage comprimé de fines toiles métalliques ou par un bloc de mousse métallique ou de céramique poreuse.

Le carter 9 du régénérateur 32 et la tête de cylindre 12 sont assez hauts et minces pour que la température à leur base soit bien inférieure à la température imposée à leur sommet par le réchauffeur 22. La section du régénérateur 32 est environ le double en surface de celle de la tête de cylindre 12.

Le carter 5 du réchauffeur 22 est rigidement relié, savoir par brasage, à la tête de cylindre 12 et au carter 9 du régénérateur 32.

En fonctionnement, le sodium (par exemple) est rendu gazeux dans un évaporateur situé à l'autre extrémité, non représentée, du caloduc 62 par un dispositif de chauffage tel qu'un four pouvant utiliser des

combustibles divers, un accumulateur de chaleur à sels fondus, un récepteur de rayonnement solaire, etc. Dans le réchauffeur 22, le sodium se condense sur les tubes 6 en chauffant le gaz contenu dans ceux-ci et retourne
5 sous forme liquide par le caloduc 62 vers le dispositif de chauffage. Le transport du sodium liquide est favorisé soit par la pesanteur, d'où la légère pente visible sur le dessin, soit par un revêtement intérieur poreux 8 du caloduc, en fines toiles métalliques, soit par une
10 pompe, l'arrivée du gaz et le départ du liquide se faisant alors par deux tubes caloducs différents.

Le caloduc 62, le réchauffeur 22, le régénérateur 32 et le haut de la tête de cylindre 12 sont enveloppés d'un revêtement épais, non représenté, assurant leur
15 isolation thermique.

Le refroidisseur 42 est constitué par un faisceau de plusieurs centaines de tubes très fins 15, rectilignes et parallèles à l'axe 16 sur lequel sont montés en alignement le régénérateur 32 et le refroidisseur 42,
20 cet axe étant lui-même parallèle à l'axe 48 de la tête de cylindre 12. Ces tubes sont brasés de manière étanche à deux plaques perforées 17, 18 reliées par une enveloppe cylindrique 19. La plaque perforée supérieure 17 est assujettie à la base du carter 9 du régénérateur 32 au
25 moyen d'une bague 20 à double filetage, avec interposition d'un joint torique 25. La plaque perforée inférieure 18 comporte un orifice d'entrée (non visible sur la figure 3) et un orifice de sortie 26 pour l'eau de refroidissement. Cette dernière, introduite dans une chambre inférieure
30 27, gagne l'espace environnant les tubes 15, limité par une virole cylindrique 28, à travers un trou 29 percé centralement dans une tôle transversale 30, monte le long des tubes 15 puis redescend dans l'espace annulaire compris entre la virole 28 et l'enveloppe 19 pour s'évacuer par
35 le conduit de sortie 26.

Sous la plaque perforée inférieure 18 est fixé au moyen de vis 35 un fond 36 épais, de contour circulaire, dans la face supérieure duquel est creusé

centralement un évidement circulaire où se loge une pièce 37 percée parallèlement à l'axe 16 d'une ouverture 38 excentrée qui débouche dans un espace d'entrée 59 en forme d'entonnoir. Au-dessous de cet évidement, le fond 5 36 est percé d'un conduit diamétral 39 ainsi que d'une cavité partageant le conduit 39 en deux segments de longueur inégale et dans laquelle se loge une pièce creuse 40 formant coude de raccordement entre l'ouverture excentrée 38 et le conduit 39. Suivant l'orientation 10 de la pièce 40 dans la cavité qui la reçoit, la longueur à l'intérieur du fond 36 du conduit de sortie du ^{que} refroidisseur 42 peut prendre deux valeurs suivant/c'est le long segment du conduit 39 qui est utilisé (figure 3) ou le court (figure 4). Pour que l'orifice de sortie 15 45a ou 45b du segment utilisé du conduit 39 reste du même côté, on oriente de manière appropriée le fond 36 sous le refroidisseur 42, comme le montrent les figures 3 et 4, tandis qu'on obture l'orifice 45b ou 45a du segment inutilisé par un bouchon 46. L'orifice de sortie est connecté 20 par un ensemble de raccordement 60 rigide (bride, écrous et joint) au bas du cylindre correspondant à un module adjacent, soit directement, soit à l'aide d'un conduit intermédiaire 47 (cf figure 5), le fond du refroidisseur 42 étant mis selon le cas en configuration 25 "longue" ou en configuration "courte" de manière que la longueur totale des conduits froids soit sensiblement constante.

Lorsqu'un module est en fonctionnement, son réchauffeur 22 est porté à une température d'environ 700° 30 et l'enceinte 5 de celui-ci s'allonge horizontalement de 1 à 2 mm de plus que le bloc moteur. Pour éviter des contraintes thermiques excessives, le module est laissé légèrement souple au niveau du refroidisseur 42, dont les tubes peuvent se déformer en S, avec une flèche correspondante. 35 Pour donner au refroidisseur la souplesse voulue tout en canalisant l'eau de refroidissement, l'enveloppe cylindrique 19 est constituée par une peau souple en élastomère, ou par un soufflet métallique.

Sur la figure 3, deux variantes de réalisation de la partie de cylindre annexée au module ont été représentées, de part et d'autre de l'axe 48 du cylindre. Dans la variante de gauche, la chemise 49 du cylindre fait
5 partie du bloc moteur et est reliée à la tête de cylindre 12 avec interposition d'un joint d'étanchéité 50. Celui-ci étant soumis à de sévères contraintes dues à la pression et à la température qui peuvent atteindre à cet
10 endroit des valeurs respectives de 250 bars et 250°C, il peut être préférable d'utiliser la variante de droite, dans laquelle la tête de cylindre 12 et la chemise 49a constituent une seule pièce, reliée au bloc moteur 55 avec un joint d'étanchéité 50a interposé. Le joint se
15 trouve ainsi reporté à la base, bien refroidie, de la chemise, ce qui est favorable à sa longévité.

Pour réaliser un moteur Stirling, plusieurs modules tels que celui que l'on vient de décrire sont réunis et assemblés (grâce à des vis de fixation 58) sur le bloc moteur 55 (figure 5), au nombre de quatre
20 dans le présent exemple. Ces modules 1, 2, 3, 4 sont placés côte à côte, alternativement dans un sens et dans l'autre, les cylindres étant alignés suivant l'axe 56 d'un unique vilebrequin actionnant un arbre de sortie 57. Sur cette figure sont visibles les têtes de cylindre 11, 12, 14, les réchauffeurs 21, 23, 24, le régénérateur 31, les
25 refroidisseurs 41, 42, 43, le dispositif de raccordement 54 et les quatre caloducs 61, 62, 63, 64. Le fond du refroidisseur 42 du module 2, monté dans la configuration "longue" de la figure 3, est relié directement à la base
30 du cylindre correspondant à la tête 11 du module 1 ; le fond de refroidisseur 43 du module 3 est de même relié à la base du cylindre correspondant à la tête 14 du module 4. Une liaison analogue, mais par l'intermédiaire d'un conduit 47, est effectuée entre le fond des
35 refroidisseurs 41 et 44 (dans la configuration "courte" de la figure 4) et respectivement la base des cylindres correspondant aux têtes 13 et 12. Il apparaît bien sur la figure 5 que tous les conduits froids présentent

à peu près la même longueur et, par suite, le même volume. Les modules fonctionnent ainsi dans l'ordre 1-2-4-3. Les mouvements des pistons dans les cylindres sont déphasés de 90° dans le même ordre, conformément au schéma de la figure 2, grâce à une forme appropriée donnée au vilebrequin du moteur.

L'invention s'applique également au cas d'un moteur Stirling à six cylindres en ligne. Les modules d'échangeurs thermiques fonctionnent alors dans l'ordre 1-2-4-6-5-3. Les mouvements des pistons dans les cylindres sont déphasés de 120° dans le même ordre grâce à une forme appropriée du vilebrequin du moteur. Il en résulte que les variations du volume froid dans les éléments moteurs conformes au schéma de la figure 2 sont déphasés de 60° par rapport à celles des volumes chauds (au lieu de 90° dans le cas du moteur à quatre cylindres). Les connexions froides entre respectivement les refroidisseurs des modules 2 et 5 et les cylindres correspondant aux modules 1 et 6 sont réalisées par liaison vissée directe des fonds de refroidisseur. (en configuration conforme à la figure 3), tandis que les liaisons froides entre respectivement les refroidisseurs des modules 4, 1, 6 et 3 et les cylindres correspondant aux modules 2, 3, 4 et 5 nécessitent l'interposition de conduits intermédiaires 47, les fonds des refroidisseurs desdits modules étant en configuration conforme à la figure 4.

Les caloducs 61, 62, 63, 64 soudés aux divers modules d'échangeurs thermiques 1, 2, 3, 4 ne sont pas en général tous identiques, tel qu'il apparaît sur la figure 5. Leur forme est adaptée aux liaisons à établir avec la ou les sources thermiques du moteur.

REVENDECATIONS

1.- Module d'échangeurs thermiques pour moteur Stirling, comprenant un réchauffeur tubulaire, un régénérateur et un refroidisseur tubulaire, ainsi qu'au moins une partie de cylindre, caractérisé par le fait qu'il est conçu pour permettre la réalisation d'un moteur Stirling à double effet par montage de plusieurs modules (1,2,3,4) identiques sur un bloc moteur (55) équipé de pistons en ligne reliés à un vilebrequin et qu'il est composé d'une tête de cylindre, d'un ensemble régénérateur-refroidisseur d'axe (16) parallèle à celui de la tête de cylindre et relié rigidement à cette dernière par un carter (5) renfermant les tubes (6) du réchauffeur, celui-ci étant du type à chauffage indirect, et, situé à la base du refroidisseur, d'un dispositif de raccordement assurant la connexion du conduit froid entre le refroidisseur et un cylindre correspondant à un module adjacent.

2.- Module selon la revendication 1, caractérisé par le fait que la paroi extérieure (19) du refroidisseur est réalisée en un matériau souple et est capable d'absorber, avec déformation concomitante des tubes de refroidissement (15), les effets des dilations thermiques du réchauffeur par rapport au bloc moteur.

3. - Module selon la revendication 1 ou 2, caractérisé par le fait que le dispositif de raccordement monté à la base du refroidisseur peut prendre deux configurations distinctes offrant des longueurs de connexion différentes.

4. - Module selon la revendication 3, caractérisé par le fait que le dispositif est constitué par une plaque épaisse (36) formant le fond du refroidisseur et offrant, en situation excentrée par rapport à l'axe (16) du refroidisseur, une ouverture (38) faisant communiquer le volume intérieur de ce dernier avec un conduit (39) percé dans l'épaisseur de ladite plaque, perpendiculairement audit axe, par l'intermédiaire d'un raccord coudé (40) logé dans une cavité en regard de ladite ouverture partageant ledit conduit en deux portions de longueur

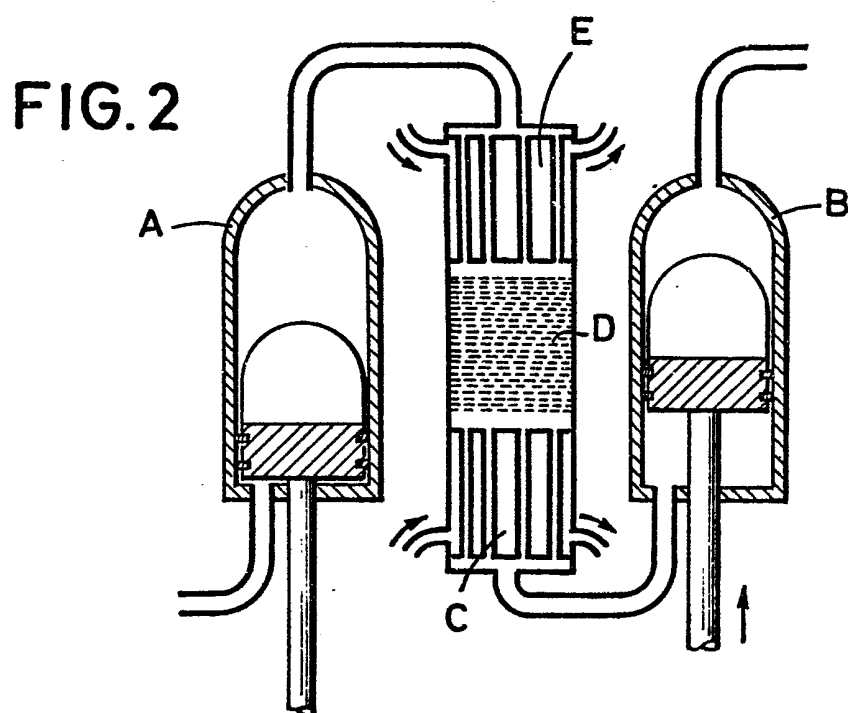
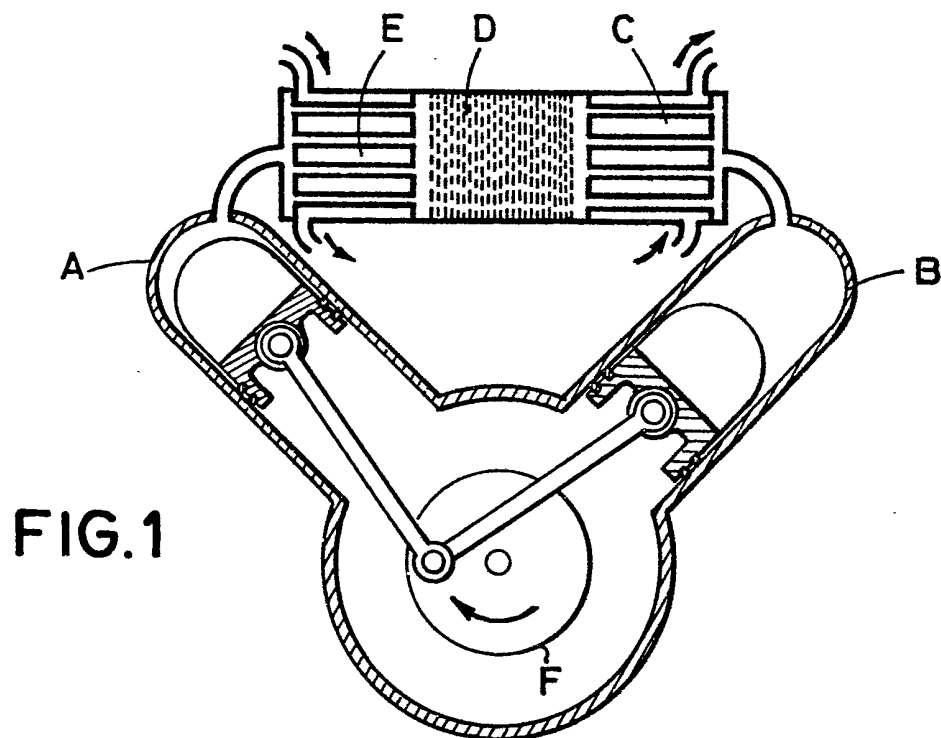
inégal, la liaison au cylindre adjacent s'effectuant soit par l'une, soit par l'autre de ces portions suivant l'orientation du raccord coudé par rapport à ladite plaque.

5 5.- Module selon la revendication 4, caractérisé par le fait que l'ouverture excentrée est percée dans une pièce amovible s'emboîtant dans un logement creusé dans ladite plaque (36) et communiquent avec ladite cavité.

10 6.- Module selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé par le fait que la tête de cylindre est reliée de manière étanche à la chemise (49) du cylindre correspondant, laquelle fait partie du bloc moteur (55).

15 7.- Module selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé par le fait que la tête de cylindre est solidaire de la chemise (49a) du cylindre correspondant et que ladite chemise est reliée à sa base de manière étanche au corps du bloc moteur (55).

1/3



2/3

FIG. 3

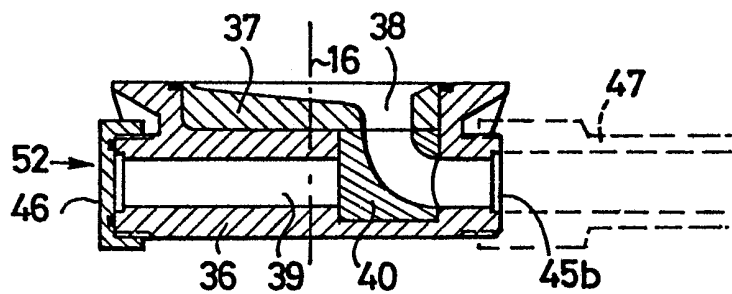
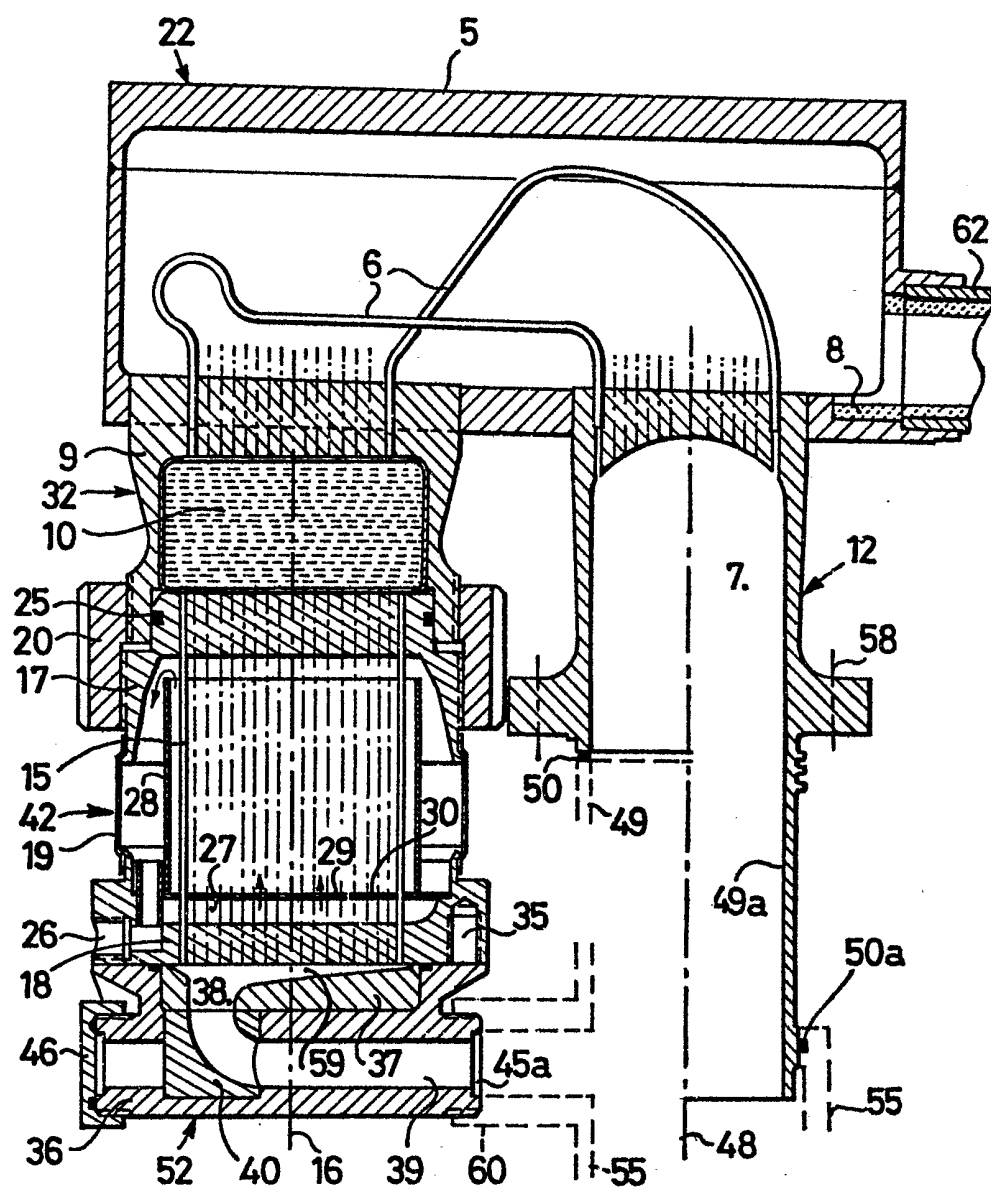


FIG.4

FIG.5

