



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
23.10.2002 Bulletin 2002/43

(51) Int Cl.7: **F04C 18/02, F01C 17/06,
F04C 23/00, F04C 27/00,
F04C 29/00, F25B 9/06**

(21) Numéro de dépôt: **02077846.0**

(22) Date de dépôt: **06.02.1997**

(84) Etats contractants désignés:
DE GB IT

(30) Priorité: **17.07.1995 FR 9508608**

(62) Numéro(s) de document de la (des) demande(s)
initiale(s) en application de l'article 76 CBE:
96925790.6 / 0 839 258

(71) Demandeur: **Commissariat A L'Energie Atomique
75752 Paris 15ème (FR)**

(72) Inventeur: **Claudet, Gérard
38700 La Tronche (FR)**

(74) Mandataire: **Poulin, Gérard et al
Société BREVATOME
3, rue du Docteur Lancereaux
75008 Paris (FR)**

Remarques:

Cette demande a été déposée le 16 - 07 - 2002
comme demande divisionnaire de la demande
mentionnée sous le code INID 62.

(54) **Dispositif de détente à spirales pour des températures cryogéniques**

(57) Le dispositif de détente de fluide à l'état gazeux
ou liquide ou en double phase, se caractérise en ce qu'il
comporte un compartiment de détente comprenant :

- une première spirale (72),
- une seconde spirale (70) disposée à l'intérieur de
cette première spirale,
- des moyens (52, 63) pour permettre un mouvement
de translation circulaire, sans rotation propre, de la
seconde spirale à l'intérieur de la première, lors de
la détente d'un fluide, et
- des moyens (55, 82, 92, 120, 156) pour contrôler la
vitesse de rotation de la spirale mobile lors de son
mouvement.

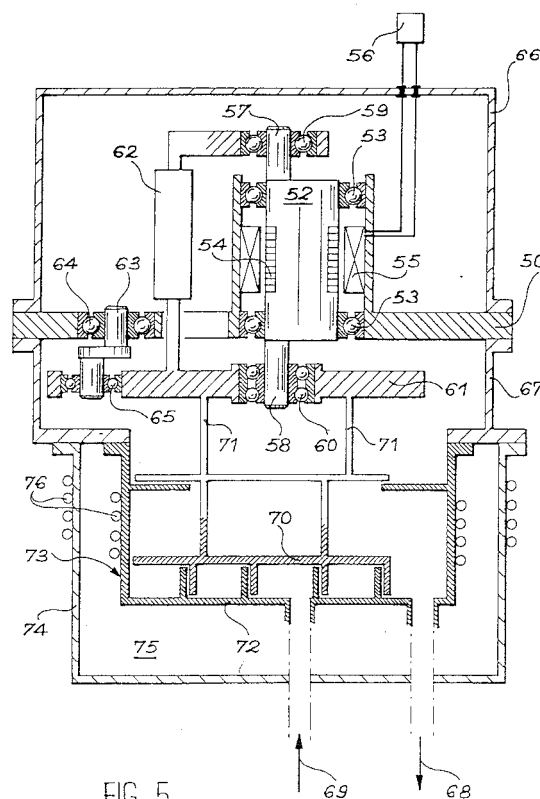


FIG. 5

Description

Domaine technique et art antérieur

[0001] L'invention concerne le domaine des machines de détente cryogénique.

[0002] Les cycles à gaz de réfrigération cryogénique peuvent être classés en deux catégories selon que le procédé considéré met en oeuvre, soit une circulation périodique en va et vient, soit une circulation permanente dans une direction définie du gaz.

[0003] Dans les cycles à circulation alternée, le gaz échange de la chaleur avec un accumulateur thermique ou un régénérateur de chaleur qui retient la chaleur lorsque le gaz circule dans un sens, et la restitue lors du retour en sens inverse.

[0004] Les cycles à circulation alternative les plus connus sont les cycles de Stirling, de Gifford Mac Mahon, ou encore le cycle à tube de pulsation. Ce dernier est généralement réservé à la production de faibles puissances frigorifiques de l'ordre de la fraction de watt vers 4 Kelvin, de la dizaine de watts vers 15 Kelvin, et de la centaine de watts vers 80 Kelvin.

[0005] Une description schématique de dispositifs correspondants est donnée sur les figure 1A à 1C.

[0006] La figure 1A représente une machine de Stirling. Un compresseur 1 ou oscillateur de pression est constitué d'un piston actionné mécaniquement par un vilebrequin 2.

[0007] La machine de Gifford et Mac Mahon, illustrée sur la figure 1B, se caractérise par un compresseur de gaz 3 avec une entrée 4 à basse pression et une sortie 5 à haute pression, permanentes et reliées à la machine frigorifique proprement dite 10 par un clapet d'entrée 6 et un clapet 7 de sortie respectivement, qui sont ouverts à tour de rôle pour engendrer les cycles de pression nécessaires.

[0008] La machine frigorifique 10, qui est reliée à ces compresseurs 1 et 3 est la même dans les deux cas. Elle consiste en un tube 9 dans lequel coulisse un piston déplaceur 11 qui divise le contenu du tube 9 en deux chambres à volume variable, reliées entre elles par une dérivation 12, sur laquelle un régénérateur de chaleur 13 est installé. La chambre reliée au compresseur 1 ou 3 est à la température T2 (correspondant à la source chaude), et l'autre chambre est à la température T3 de la source froide. Le piston déplaceur 11 fait passer le gaz comprimé, de la chambre à la température T2, vers la chambre à la température T3, en échangeant sa chaleur avec le régénérateur de chaleur 13 en réponse aux élévations de pression dans le compresseur. La détente du gaz est produite lorsqu'il occupe principalement la chambre à la température T3, puis le gaz est réchauffé en traversant le régénérateur de chaleur 13 vers la chambre à température T2 avant de subir un nouveau cycle. Le régénérateur de chaleur 13 a en effet la propriété de restituer au gaz y circulant dans un sens la chaleur qu'il a prise précédemment au gaz circulant en

sens inverse. Dans la réalisation de la figure 1B, la chambre à la température T2 communique avec le compresseur 3 par l'entrée 4 et la sortie 5 ; dans les réalisations de la figure 1A, la liaison du compresseur 1 à la chambre du compresseur à la température T2 est réalisée par un conduit unique de prise de pression 15.

[0009] A partir de l'illustration de la figure 1A, on conçoit que les machines ainsi alternatives sont le siège de deux ondes périodiques dans le volume de détente 15, l'une de pression et l'autre de débit. Il est possible de contrôler le déphasage de ces deux ondes par des moyens mécaniques qui commandent les mouvements du piston compresseur 1 ou des clapets 6 et 7, généralement à la température ambiante, et du piston déplaceur 11 qui peut, pour les applications en cryogénie, devoir fonctionner à de très basses températures. On arrive alors effectivement à la situation recherchée où la détente maximale, c'est-à-dire l'absorption de chaleur maximale, est simultanée au débit de gaz maximal dans la source froide T3.

[0010] La figure 1C illustre une machine à tube de pulsation. Elle comprend un oscillateur de pression 16, symbolisé par un compresseur mécanique, un régénérateur de chaleur 17 relié au compresseur 16 par un conduit de prise de pression 18 et un tube de pulsation 19 qui s'embranché à l'extrémité du régénérateur de chaleur 17 opposée à l'oscillateur de pression 16. Le tube de pulsation 19 est fermé à l'extrémité opposée au régénérateur de chaleur 17. Par l'effet combiné des différents volumes et étranglements, le déphasage nécessaire à l'effet frigorifique des ondes de débit et de pression est obtenu par des moyens totalement statiques dans le tube de pulsation 19, qui est donc libre ou dépourvu de tout objet mobile tel qu'un piston déplaceur. Plus précisément, le tube de pulsation 19 est étranglé près du régénérateur de chaleur 17, où la source froide SF est située, alors que la source chaude SC est située à l'extrémité opposée du tube de pulsation 19, au bout d'une portion élargie et par exemple cylindrique de celui-ci. La colonne de gaz est mise en oscillations entretenues, et les dimensions et la forme des différents éléments de l'appareil permettent de choisir la fréquence de fonctionnement pour obtenir le déphasage des ondes de débit et de pression qui permet d'extraire effectivement de la chaleur à la source froide, pour la transférer vers la source chaude.

[0011] Les cycles à circulation continue sont, eux, mieux adaptés à la production de puissances élevées.

[0012] De telles machines, fonctionnant sur le principe du cycle de Brayton et du cycle de Claude sont respectivement illustrées sur les figures 2A et 2B. Elles sont constituées d'arrangements différents des trois composants principaux suivants :

- un compresseur 20 recycle le gaz du niveau de basse pression (BP), habituellement voisin de la pression atmosphérique, jusqu'au niveau de haute pression, généralement compris entre 15 et 30 bars en-

viron,

- un ou des échangeurs de chaleur 22 à contre-courant assurent le prérefroidissement du gaz comprimé par échange avec le gaz à basse pression,
- une ou des machines de détente 23 sont la ou les véritables sources de production frigorifique. On utilise, soit des machines 23 dans lesquelles le gaz fournit un travail mécanique, soit de simples étranglements ou vannes de détente 24 où le gaz subit une perte de charge.

[0013] Le cycle de Brayton (figure 2A) peut fonctionner avec de l'azote si la source froide désirée 25 est à une température supérieure à 80 Kelvin. Pour les températures plus basses, le gaz de cycle sera généralement l'hélium.

[0014] Le cycle de Claude de la figure 2A correspond plutôt à un cycle à hélium, dont la source froide 26 est un bain d'hélium liquide.

[0015] Les machines de détente susceptibles de produire du travail mettent en application le premier principe de la thermodynamique selon lequel la somme des quantités de chaleur Q et de travail W mis en jeu dans un cycle de transformations réversibles est nulle :

$$W+Q=0$$

[0016] Une détente avec travail permettra donc toujours d'absorber de la chaleur, mais elle nécessite l'utilisation de machines dont les pièces froides sont en mouvement.

[0017] Une détente sans travail ou à enthalpie constante n'absorbe pas de chaleur, mais elle est généralement utilisée à proximité immédiate de la courbe de saturation du fluide pour réaliser le changement de phase par détente du gaz qui se trouve partiellement liquéfié.

[0018] La détente avec travail est effectuée, soit dans des turbines quand le débit est suffisant, soit dans des machines à piston un peu mieux adaptées aux faibles débits.

[0019] Dans les deux cas, le gaz en cours de détente ne peut pratiquement pas échanger de chaleur avec la source froide et la détente obtenue est dite adiabatique ou isentropique.

[0020] Pour certaines applications, il pourrait être préférable d'obtenir les conditions d'une détente isotherme permettant d'extraire plus de chaleur à condition d'assurer un échange de chaleur permanent avec un faible écart de température entre la source froide et le gaz en cours de détente.

[0021] Tant pour les turbines que pour les machines à piston, la détente avec changement de phase est à proscrire pour éviter la destruction mécanique, soit de la turbine déséquilibrée par des gouttelettes, soit du piston soumis aux "coups" du liquide qui risque de s'y accumuler.

[0022] Même en limitant leur utilisation hors de la pré-

sence de liquide grâce à des températures ou des pressions suffisamment élevées, les machines de détentes couramment utilisées induisent de nombreuses difficultés de conception ou d'utilisation.

5 **[0023]** Les turbines de détente doivent tourner à des vitesses élevées, de plusieurs dizaines ou plusieurs centaines de milliers de tours par minute, et sont généralement supportées par des paliers sans contact, le plus souvent à gaz.

10 **[0024]** Pour traiter de faibles débits, les turbines sont mal adaptées à la miniaturisation.

[0025] En effet, quand le diamètre diminue jusque vers des tailles centimétriques, le jeu entre les parties mobile et fixe de la turbine prend une importance relative croissante, et le débit de fuite détendu sans travail fait chuter l'efficacité. Quand les buses d'injection où le gaz circule à vitesse sonique doivent être réduites à des diamètres du dixième de millimètre, les conditions d'écoulement deviennent rapidement perturbées et sources d'irréversibilités, ou simplement sujettes aux impuretés.

20 **[0026]** Les détendeurs à piston sont, a priori, mieux adaptés que les turbines pour traiter des débits réduits, mais leur fiabilité est fortement conditionnée par la réalisation de l'étanchéité frottante entre piston et cylindre, et par l'existence de clapets froids avec les mécanismes de commande associés.

Exposé de l'invention

30 **[0027]** L'objet de l'invention concerne une solution originale permettant de réaliser des machines de refroidissement de fluide par détente, en particulier cryogénique (soit isentropique, soit, si nécessaire, isotherme) mieux adaptées que les turbines et machines à piston pour traiter de faibles débits avec une bonne efficacité, et une bonne fiabilité, tout en étant insensible à la présence de liquide ou de fluide en double phase.

35 **[0028]** L'invention a pour objet un dispositif d'abaissement de température d'un fluide par détente du fluide, à l'état gazeux ou liquide ou en double phase, caractérisé en ce qu'il comporte un compartiment de détente comprenant :

- 45 - une première spirale,
- une seconde spirale disposée à l'intérieur de cette première spirale,
- des moyens pour permettre un mouvement de translation circulaire, sans rotation propre, de la seconde spirale à l'intérieur de la première, lors de la détente d'un fluide, et
- 50 - des moyens pour contrôler la vitesse de rotation de la spirale mobile lors de son mouvement.

55 **[0029]** Ce dispositif permet de diminuer la température du fluide grâce à la détente réalisée dans le compartiment de détente. Il y a donc refroidissement du fluide dès sa sortie de ce compartiment.

[0030] L'invention met en oeuvre des pièces en mouvement sans contact et sans recours à des clapets. Ce dispositif est compatible avec une miniaturisation pour traiter de faibles débits. De plus, il peut accepter, sans aucun problème, la formation de fluide diphasique au cours de la détente. Il peut, en outre, comporter dans une des spirales au moins un circuit d'échange de chaleur permettant de tendre vers des conditions isothermes.

[0031] Les moyens permettant le mouvement de translation circulaire, sans rotation propre, peuvent prendre diverses formes. Ils peuvent par exemple comporter :

- deux arbres excentrés, chacun étant lié à la spirale mobile par une extrémité en rotation autour d'un axe fixe par rapport au dispositif,
- ou au moins une pièce déformable liée par une de ses extrémités à une partie fixe du dispositif et dont l'autre extrémité est liée à la spirale mobile,
- ou des moyens magnétiques exerçant sur la spirale mobile ou sur une partie fixe par rapport à la spirale mobile, des forces telles que la translation puisse avoir lieu en interdisant toute rotation.

[0032] En outre, des moyens peuvent être prévus pour contrôler la vitesse de rotation de la spirale mobile lors de son mouvement.

[0033] Ainsi, dans le cas d'un mouvement avec deux excentriques, l'un d'eux peut porter le rotor d'un frein électrique, le stator étant fixe par rapport au dispositif.

[0034] Dans le cas d'un mouvement avec pièces déformables, la spirale mobile peut être liée à une pièce autour de laquelle une douille excentrique est en rotation, une pièce liée à la douille excentrique pouvant supporter le rotor d'un frein électrique.

[0035] La rotation de cette douille peut se faire avec, sur au moins une de ses deux faces, un palier sans contact, du type magnétique ou à gaz.

[0036] Un moyen de contrôle du jeu axial entre les deux spirales peut être prévu. Les spirales peuvent être, par exemple, des spirales d'Archimède ou définies par une succession d'arcs de cercle.

[0037] Un système de détente de fluide peut comporter au moins deux étages de détente, chacun comportant un dispositif selon l'une des formes décrites ci-dessus. Un arbre commun peut éventuellement permettre un mouvement en phase des spirales mobiles des différents dispositifs de détente.

[0038] Une machine de détente cryogénique peut donc comporter un compresseur, un échangeur et un dispositif ou un système de détente tels que décrits ci-dessus.

Brève description des figures

[0039] De toute façon, les caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront mieux à la lumière de la

description qui va suivre. Cette description porte sur les exemples de réalisation, donnés à titre explicatif et non limitatif, en se référant à des dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1A à 1C illustrent respectivement des machines de Stirling, Gifford et à tube de pulsation,
- les figures 2A et 2B illustrent des machines de Brayton et de Claude,
- les figures 3A à 3D illustrent le principe de fonctionnement d'un compartiment de détente d'un dispositif selon l'invention,
- la figure 3E représente un mode de réalisation avec 4 spirales,
- les figures 4A à 4C représentent une vue en coupe d'un compartiment de détente d'un dispositif soit adiabatique soit isotherme selon l'invention,
- la figure 5 représente une première réalisation de l'invention,
- les figures 6 à 9 représentent d'autres réalisations de l'invention,
- la figure 10 représente un détendeur à trois étages, conforme à l'invention.

25 Description détaillée de modes de réalisation

[0040] Le principe de l'invention repose sur l'utilisation d'un compartiment de détente comportant, comme illustré sur les figures 3A à 3D et 4A, une première spirale fixe 28 et une seconde spirale 30 disposée mobile à l'intérieur de la première.

[0041] Chaque spirale repose ou est liée à un fond plat 32, 34.

[0042] Le gaz à détendre est introduit par un tube d'admission 36. Un échappement peut être prévu. Ainsi, des jeux réduits 40, 42, assurés entre la partie supérieure des cloisons 28, 30 des spirales et les fonds plats 32, 34 permettent au fluide de s'échapper à l'extérieur de la spirale mobile, puis de la spirale fixe (flèche référencée 44 sur la figure 4).

[0043] Le gaz ne peut circuler qu'en augmentant de volume (détente) et en exerçant une force sur la paroi mobile 30 (travail), soumise à un mouvement de translation circulaire. Du fait de ce mouvement, chaque point de la spirale 30 décrit un cercle, la partie mobile restant en permanence parallèle à elle-même.

[0044] Les figures 3A à 3D illustrent le déroulement de l'expansion du gaz en différentes étapes, par lesquelles on peut suivre l'évolution d'une fraction du gaz, de quart de tour en quart de tour. Ce gaz passe par les volumes continuellement croissants 46, 48, 50, 52, puis enfin 54, avant échappement.

[0045] Le volume du gaz en cours de détente est à chaque instant limité par une cloison de la spirale fixe et une cloison de la spirale mobile, qui deviennent tangentes tous les 180 degrés, en suivant leur développée.

[0046] Ces points de tangence procurent une étanchéité totale ou partielle selon que les pièces sont en

contact ou de préférence séparées par un jeu réduit 40, 42.

[0047] Le mouvement de translation circulaire revient à faire glisser les points de tangence le long du profil de la spirale fixe, permettant ainsi au gaz considéré de se déplacer du centre vers l'extérieur de la spirale en augmentant de volume.

[0048] Un très large éventail est offert pour la réalisation des pièces en spirale concernées :

- les profils en spirale pourront être des spirales d'Archimède (le rayon R d'une telle spirale varie linéairement avec l'angle à partir d'un même centre ($R=a\theta$)),
- les profils pourront être définis par une succession d'arcs de cercle, de centres différents et de rayons différents, soit par exemple à chaque demi-tour, soit encore à chaque quart de tour.

[0049] Selon les débits à traiter et les taux de détente à obtenir, on pourra optimiser la géométrie, soit en utilisant une spirale unique, soit plusieurs spirales imbriquées en nombre quelconque.

[0050] Un exemple de réalisation à plusieurs spirales est illustré sur la figure 3E. Deux spirales fixes 27 et 29 sont disposées symétriques, à 180° par rapport à un axe de symétrie Δ . Deux spirales mobiles 31 et 33 deviennent tangentes alternativement sur une face avec la spirale 27 et sur l'autre face avec la spirale 29.

[0051] Les épaisseurs des cloisons des spirales pourront être choisies constantes ou variables pour optimiser leur résistance mécanique et leur encombrement.

[0052] Les matériaux pouvant être utilisés satisferont de préférence à la condition que les deux pièces (fixe et mobile) soient compatibles, du point de vue de leur dilatation, de telle sorte que les jeux réduits soient obtenus aux conditions nominales de fonctionnement à basse température. Pour réduire les déformations, la préférence sera donnée aux matériaux à faible dilatation, tels que les composites par exemple à fibre de carbone, ou les alliages métalliques (comme l'Invar). Pour tendre vers des conditions isothermes le cuivre ou l'aluminium seront plus favorables. Pour la partie mobile on pourra utiliser des matériaux à faible densité, comme le titane ou les alliages légers, suffisamment résistants pour limiter les forces d'inertie et les déformations associées.

[0053] Des matériaux plastiques peuvent également être utilisés. Ils peuvent se présenter sous forme massive. Ils peuvent aussi être localement rapportés (sous forme de segments ou de dépôts superficiels), soit pour limiter les effets de possibles frottements, soit pour obtenir, par usure progressive, un effet de rodage amenant les pièces à adapter leur forme l'une à l'autre. On cherchera, de préférence, à atteindre le meilleur compromis entre un faible contact et une faible fuite.

[0054] Les avantages essentiels de l'invention résident dans la possibilité offerte de réaliser une détente,

avec travail du gaz, en utilisant des pièces en mouvement sans contact, et sans recours à des clapets.

[0055] Le débit du dispositif peut être ajusté par réglage de sa vitesse de rotation. A cet effet, des moyens pour régler la vitesse de rotation peuvent être prévus. Des exemples en seront donnés plus loin.

[0056] Un dispositif conforme à l'invention peut travailler à vitesse lente. Pour un débit fixé, une vitesse lente amènera l'utilisation de chambres plus volumineuses, donc moins sensibles à la miniaturisation pour traiter de faibles débits.

[0057] Un avantage déterminant de l'invention résulte de son aptitude à accepter sans aucune contre-indication la formation, par détente, de fluide diphasique, dont la phase liquide peut éventuellement être évacuée vers l'échappement sans difficulté.

[0058] Des variantes du dispositif de la figure 4A sont données sur les figures 4B et 4C. Sur la figure 4B, une source froide à serpentin 35 est fixée contre le fond plat 34 de la spirale fixe. Sur la figure 4C, une source froide 37 est intégrée dans les parois de la spirale fixe : un fluide peut donc circuler dans ces parois.

[0059] La figure 5 représente un détendeur cryogénique dont les parties fixes sont supportées par une structure 50 qui porte deux arbres 52, 63 à excentrique.

[0060] L'arbre 52 centré sur les roulements 53 comporte un frein électrique composé d'un rotor 54 et d'un stator 55 permettant de contrôler la vitesse de rotation et d'extraire le travail de détente vers un récepteur 56 de charge adaptable.

[0061] L'arbre 52 est muni de deux axes excentrés 57 et 58 qui permettent, par l'intermédiaire des roulements 59 et 60 et d'un bras 62, une liaison mécanique avec un plateau mobile 61. Le bras 62 permettant un positionnement très stable et précis. La masse de ce bras peut, par ailleurs, être choisie pour amener le centre de gravité de l'ensemble mobile au niveau désiré.

[0062] Le plateau mobile 61 est lié par le deuxième arbre excentré 63 monté sur les roulements à bille 64 et 65. Le mouvement de cet arbre 63 est en phase avec celui de l'arbre 52, de sorte que le mouvement du plateau 61 soit une translation circulaire, sans rotation.

[0063] Toutes les parties mécaniques décrites ci-dessus fonctionnent à la température ordinaire dans un boîtier 66 et une platine 67, qui contiennent le fluide de cycle 68. Ce dernier peut être, par exemple, de l'hélium à la pression d'échappement du détendeur, voisine de la pression atmosphérique.

[0064] Le gaz comprimé 69 exerce un travail en mettant en mouvement la spirale mobile 70 et le plateau 61, fixés tous deux à au moins un élément de liaison 71. Le plateau et la spirale fixe 72, portée par un tube 73, sont protégés des apports de chaleur extérieurs par une enceinte 74, qui permet également de mettre sous vide le volume 75 par des moyens classiques, non représentés.

[0065] Les éléments de liaison 71 et le tube 73 ont une extrémité chaude et une extrémité froide. Ils sont

de préférence dimensionnés pour être mécaniquement rigides, tout en occasionnant une fuite thermique minimale vers le circuit de gaz à détendre.

[0066] Un circuit de refroidissement auxiliaire 76, par exemple alimenté en azote liquide vers 80 K, permet de réduire les fuites thermiques vers les plateaux 70 et 72.

[0067] Dans un liquéfacteur d'hélium à cycle de Claude, tel que celui illustré sur la figure 2B des détendeurs du type de celui de la figure 5 peuvent être utilisés avec du gaz 69 et les plateaux 70 et 72 travaillant, au premier étage, vers 50 à 60 Kelvin ou, au deuxième étage, vers 15 à 20 Kelvin.

[0068] Pour sa part le dernier étage de détente, où s'opère la liquéfaction partielle, fonctionne vers 5 à 7 Kelvin et, dans ce cas, le circuit auxiliaire 76 sera de préférence alimenté par les étages précédents à 50 K ou 20 K.

[0069] Sous l'effet de la détente du gaz 69 dans le compartiment à spirales 70, 72, la spirale mobile est entraînée en mouvement. Ce dernier est transmis, par les éléments de liaison 71, au plateau 61. Les arbres excentrés 52, 63, en phase, permettent de bloquer la composante de rotation propre du mouvement de la spirale mobile. Il reste le mouvement de translation rotative de cette dernière, donc du plateau 61 et du bras 62. Grâce aux axes 57, 58 excentrés, l'arbre 52 est entraîné en rotation. Le frein électrique (stator 55 et rotor 54) permet de contrôler la vitesse de cette rotation, donc de la rotation des axes 57, 58 et donc la vitesse du mouvement de translation rotative de la spirale mobile 70.

[0070] D'autres solutions peuvent être trouvées pour interdire la rotation de la spirale mobile. On peut recourir, par exemple, à des éléments déformables tels qu'un réseau de fibres ou de ressorts, une extrémité de chaque fibre ou ressort étant fixée à la spirale mobile ou à son fond plat, tandis que l'autre extrémité est liée à la partie fixe du dispositif.

[0071] Une solution, mettant en oeuvre un élément déformable, est illustrée sur la figure 6. La spirale mobile 77 est liée, par des éléments de liaison 78 à un plateau mobile 79 dont la rotation propre est bloquée par un soufflet 83. Ce dernier est fixé, à sa partie inférieure, au plateau 79, et à sa partie supérieure, à une partie fixe 84 du dispositif. Le soufflet permet en outre de séparer l'atmosphère de la partie 86 de l'enceinte, où des vapeurs de lubrifiant peuvent exister, de la partie 87 de l'enceinte réservée au gaz de cycle à haute pureté. Un arbre 80 à excentrique 85 fixe la course de translation circulaire du plateau 79. Cet arbre 80 est en rotation autour de son axe 88, fixe par rapport au dispositif. L'axe 85 est en rotation autour de l'axe fixe 88. L'arbre 80 peut supporter également le rotor 81 d'un frein électrique dont le stator est désigné par la référence 82. Le dispositif est, par ailleurs, identique ou similaire à celui décrit ci-dessus en liaison avec la figure 5.

[0072] Une autre solution met en oeuvre des moyens magnétiques, exerçant des forces telles que la translation puisse avoir lieu en interdisant la rotation.

[0073] Le principe de cette solution est illustré sur la figure 7. La pièce mobile 88 ou plutôt le fond plat, ou de dessus, de la spirale mobile est solidaire d'un barreau 89, soit ferromagnétique, soit à aimantation permanente. Tous deux sont placés dans le champ magnétique d'un dipôle extérieur 90 dont les lignes de champ parallèles fixent l'orientation de la pièce.

[0074] La pièce mobile 88 et son barreau 89 sont représentés dans trois positions différentes. Ces parties peuvent être liées à un plateau tel que le plateau 79 de la figure 6, ce dernier étant lui-même guidé par un excentrique unique, ainsi que décrit ci-dessus en liaison avec cette même figure 6.

[0075] Une autre variante capable d'assurer la transmission mécanique du mouvement de translation circulaire sera utilisée de préférence pour sa plus grande compacité et la plus grande facilité d'équilibrage dynamique. Cette variante est illustrée sur la figure 8.

[0076] Le socle fixe 91 supporte le stator du frein électrique 92 et l'extrémité chaude d'un soufflet 93. Ce dernier est destiné au blocage en rotation de la spirale mobile 94.

[0077] La partie mobile est composée du plateau central 95 relié à la spirale mobile 94 par les éléments de liaison 96.

[0078] Une douille excentrique 97, libre en rotation, est centrée dans le socle 91 par le roulement 99 et supporte le plateau central 95 au moyen du roulement 98.

[0079] La translation circulaire de la spirale mobile 94 est transformée en rotation de la douille 97 dont la vitesse est contrôlée par le frein électrique 92.

[0080] Un équilibrage dynamique est obtenu, d'une part par une cale 100 qui permet d'amener dans le plan des roulements 98 et 99 le centre de gravité de l'ensemble mobile 94, 96, 95, 100 et, d'autre part, par des cales 101 et 102, qui permettent de balancer toutes les inerties appliquées horizontalement à l'intérieur du roulement 99.

[0081] Toutes les solutions décrites précédemment utilisent différentes variantes mécaniques mais restent essentiellement conçues pour fonctionner à la température ordinaire.

[0082] L'utilisation de paliers cryogéniques sans contact (par exemple paliers magnétiques ou paliers à gaz) peut aussi donner lieu à une deuxième famille de solutions. Cette solution présente l'avantage d'une plus grande rigidité mécanique pour permettre d'assurer un meilleur contrôle de la position respective des spirales fixes et mobiles destinées à la mise en oeuvre de l'invention.

[0083] Un exemple, illustré sur la figure 9, utilise en combinaison des paliers à gaz radiaux et une butée axiale magnétique. On aurait aussi bien pu utiliser l'inverse, ou toute autre combinaison imaginable entre ces deux technologies connues.

[0084] L'exemple de la figure 9 représente un détendeur d'hélium à 7 K et environ 15 bars qui, par détente, va sortir de la spirale vers 4,5 K, sous 1 bar, en double

phase, avec une forte proportion de liquide.

[0085] La même solution pourrait, a fortiori, être utilisée pour la détente d'hélium à toute autre température comme par exemple 20 K ou 60 K, ou à toute autre pression.

[0086] La même solution pourrait, de même, être utilisée pour la détente de tout autre gaz comme par exemple l'hydrogène, le néon ou l'azote, aux niveaux adaptés de température et de pression.

[0087] Le gaz à détendre entre par la conduite 111 à 7 Kelvin, il fournit son travail entre la spirale fixe 112 et la spirale mobile 113, avant de sortir sous forme de mélange liquide-vapeur par la conduite 134.

[0088] L'équipage mobile, actionné par la spirale 113, est reliée par les éléments de liaison 115 au plateau 116 qui met en rotation la douille excentrique 117, maintenue en position axiale par la liaison 118 au roulement à bille 119 situé dans la partie chaude, à 300 K, et qui est freiné et contrôlé en vitesse par le frein électrique 120.

[0089] Le plateau 116 est bloqué en rotation par le soufflet 121, lui-même fixé au carter chaud 122.

[0090] La rotation de la douille 117 permet d'entretenir, sur ses deux faces, deux paliers à gaz hydrodynamiques 123 et 124, qui assurent le mouvement sans contact à l'intérieur du cryostat 125. Ce cryostat est protégé des entrées de chaleur parasites par les circuits de refroidissement auxiliaires 126, qui maintiennent le plateau 116 de la douille 117, et les paliers 123 et 124 ainsi qu'un écran thermique 127, vers 20 Kelvin et par le circuit 128, alimenté vers 80 K en azote liquide, qui est relié à l'écran 129.

[0091] Toutes les parties froides sont installées dans une enceinte à vide 130, dont les moyens de pompage ne sont pas représentés.

[0092] Le jeu axial entre les deux spirales 112 et 113 est de préférence contrôlé avec rigueur pour rester voisin de quelques centièmes de millimètres.

[0093] Ce jeu, mesuré par un capteur de position froid 131, est contrôlé par un régulateur 132 qui agit sur l'électroaiman 133, par attraction contrôlée d'une plaque ferromagnétique 134.

[0094] Pour éviter d'avoir à générer des efforts trop importants dans l'électroaimant 133, on peut soit perforer la paroi du soufflet 121 pour le mettre en équipression, soit contrôler la pression interne du soufflet 121 à une valeur voisine de la pression de détente du mélange obtenu dans la conduite de sortie 134.

[0095] Un détendeur selon l'un des modes de réalisation décrits ci-dessus peut être utilisé pour réaliser un cycle de Brayton, comme décrit dans l'introduction à la présente demande, en liaison avec la figure 2A.

[0096] L'invention ne se limite pas à la réalisation de détendeurs monoétages n'utilisant qu'une seule paire de spirales, l'une étant fixe et l'autre mobile.

[0097] En particulier, elle peut être mise en oeuvre de telle sorte qu'un même équipage mécanique et un même jeu de suspension puissent servir au fonctionnement de plusieurs détendeurs. Par exemple, pour réa-

liser un réfrigérateur à cycle de Claude comme illustré sur la figure 2B, un même équipage mécanique peut être utilisé pour faire fonctionner un détendeur à trois étages représenté sur la figure 10, où on a volontairement réuni en combinaison plusieurs des variantes décrites précédemment.

[0098] Au premier étage, l'hélium entre sous 15 bars et 80 Kelvin par la conduite 141, et il ressort détendu à 1,1 bar et 50 Kelvin en 142.

[0099] Le deuxième étage travaille entre 15 bars, 25 Kelvin (au point 143) et 1,2 bar, 15 Kelvin (au point 144).

[0100] Le troisième étage reçoit (en 145) du gaz sous 15 bars à 7 Kelvin, qui ressort (en 146) à 4,4 K en mélange liquide-gaz sous 1,3 bar.

[0101] Une variante possible pour rendre la détente sur troisième étage plus isotherme pourrait être de revêtir le plateau de la spirale fixe 171 d'un condenseur 180 où pourrait se condenser directement de l'hélium liquide alimentant la source froide.

[0102] Les trois spirales mobiles 147, 148, 149 sont liées à un même arbre 150, dont les sections sont décroissantes avec le niveau de température.

[0103] L'arbre 150 est solidaire d'un plateau 151, à température ambiante, et d'un plateau 152, à température égale à environ 30 Kelvin.

[0104] Le plateau 151 actionne en rotation la bague excentrée 153 montée sur les roulements à bille 154 et 155. Cette bague est contrôlée en vitesse par le frein 156.

[0105] Au niveau du plateau froid 152, une autre technologie est utilisée, qui est la mise en rotation d'une bague excentrée 157. Elle pourrait elle aussi être freinée mais, sur la figure 10, elle est représentée libre.

[0106] La bague excentrée 157 est maintenue en position par une butée verticale magnétique 158. Elle est centrée radialement par deux paliers à gaz hydrodynamiques 159 et 160 qui pourraient tout aussi bien être remplacés par des paliers magnétiques, soit à aimants permanents, soit à supraconducteurs, d'une nature à définir selon le niveau de température.

[0107] Les spirales fixes 171, 172 et 173 sont solidaires d'un carter 174 qui sera isolé par une enceinte à vide (dont on a seulement ébauché l'amorce 175 sans en représenter les moyens de pompage).

[0108] Les circuits de gaz sont séparés les uns des autres par des soufflets 176 et 177. Un autre soufflet 178 sépare le circuit cryogénique du carter 179 qui peut, soit fonctionner à une pression différente, soit contenir des vapeurs de lubrifiant si les roulements 154 et 155 sont graissés.

[0109] Les soufflets 176, 177 et 178 contribuent, par ailleurs, à fixer en rotation l'équipage mobile solidaire des plateaux 151 et 152 et de l'arbre 150 pour contrôler le mouvement désiré de translation circulaire.

[0110] L'exemple a été donné d'un détendeur à trois étages pour réaliser un cycle de Claude. Il est possible de réaliser un détendeur avec un nombre différent d'étages (soit deux, soit un nombre $N > 3$). De même, il est

possible d'utiliser toute combinaison des divers modes de réalisation exposés ci-dessus.

[0111] Dans tous les exemples décrits précédemment, la position respective des spirales fixes et mobiles doit, de préférence, pouvoir être ajustée précisément, pour limiter les jeux tant dans le sens axial que dans le sens radial. Les moyens de réglage utilisés restent tout à fait classiques et n'ont pas été représentés pour éviter d'alourdir les illustrations. On peut, par exemple, utiliser des cales d'épaisseur adaptée pour les réglages axiaux et prévoir des moyens de réglage de l'entraxe des arbres excentriques pour ajuster les courses. On peut aussi envisager des opérations de rodage en position afin d'éliminer d'éventuels défauts de surface ou de géométrie.

Revendications

1. Dispositif d'abaissement de température par détente de fluide à l'état gazeux ou liquide ou en double phase, **caractérisé en ce qu'il** comporte un compartiment de détente comprenant :
 - une première spirale (28, 72, 112, 171, 172, 173),
 - une seconde spirale (30, 70, 77, 94, 113, 147, 148, 149) disposée à l'intérieur de cette première spirale,
 - des moyens (52, 63 ; 80, 83, 85 ; 93, 95, 97 ; 116, 117, 121) pour permettre un mouvement de translation circulaire, sans rotation propre, de la seconde spirale à l'intérieur de la première, lors de la détente d'un fluide, et
 - des moyens (55, 82, 92, 120, 156) pour contrôler la vitesse de rotation de la spirale mobile lors de son mouvement.
2. Dispositif selon la revendication 1, les moyens permettant un mouvement de translation circulaire, sans rotation propre, comportant deux arbres à excentrique (52, 63), chacun étant lié à la spirale mobile (170) par une extrémité en rotation autour d'un axe fixe par rapport au dispositif.
3. Dispositif selon la revendication 1, les moyens permettant un mouvement de translation circulaire, sans rotation propre, comportant au moins une pièce déformable (83, 93, 121) liée par une de ses extrémités à une partie fixe (84, 122) du dispositif, et dont l'autre extrémité est liée à la spirale mobile (77, 94, 113).
4. Dispositif selon la revendication 3, la ou les pièces déformables comportant un soufflet (83, 93, 121, 176-178), un réseau de fibres ou de ressorts.
5. Dispositif selon la revendication 1, les moyens per-
- mettant un mouvement de translation circulaire, sans rotation propre, étant des moyens magnétiques (90) exerçant sur la spirale mobile ou sur une partie fixe (88) par rapport à la spirale mobile, des forces telles que la translation puisse avoir lieu en interdisant toute rotation.
6. Dispositif selon la revendication 5, la pièce mobile (88) étant solidaire d'au moins un élément (89) ferromagnétique ou à aimantation permanente, des moyens étant prévus pour générer une aimantation dont les lignes de champ fixent l'orientation de la pièce mobile.
7. Dispositif selon l'une des revendications 3 à 6, comportant en outre un arbre à excentrique (80) lié à la spirale mobile (77) par une extrémité en rotation autour d'un axe fixe par rapport au dispositif.
8. Dispositif selon l'une des revendications 3 à 6, la spirale mobile étant liée à une pièce autour de laquelle une douille excentrique est en rotation.
9. Dispositif selon la revendication 2, un des excentriques (52) portant le rotor (54) d'un frein électrique, le stator (55) étant fixe par rapport au dispositif.
10. Dispositif selon la revendication 7, l'arbre à excentrique (80) supportant le rotor (81) d'un frein électrique, dont le stator (82) est fixe par rapport au dispositif.
11. Dispositif selon la revendication 8, une pièce liée à la douille excentrique (97) supportant le rotor d'un frein électrique, dont le stator (92) est fixe par rapport au dispositif.
12. Dispositif selon l'une des revendications 8 ou 11, la rotation de la douille se faisant sur au moins une de ses deux faces par un palier (123, 124, 159, 160) sans contact.
13. Dispositif selon la revendication 12, le palier étant du type magnétique.
14. Dispositif selon la revendication 12, le palier étant du type à gaz.
15. Dispositif selon l'une des revendications 12 à 14, comportant en outre un moyen de contrôle du jeu axial entre les deux spirales.
16. Dispositif selon l'une des revendications 11 à 15, la rotation de la douille ayant lieu dans un cryostat.
17. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 16, les spirales étant des spirales d'Archimède.

18. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 16, les spirales étant définies par une succession d'arcs de cercle.
19. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 18, les cloisons des spirales étant à hauteur variable. 5
20. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 19, chaque spirale étant liée à un fond plat (32, 34). 10
21. Dispositif selon la revendication 20, un jeu réduit étant assuré, au moins à la température de fonctionnement du dispositif, entre la partie supérieure de la cloison d'une spirale et le fond plat de l'autre spirale. 15
22. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 21, les matériaux dont sont constitués les deux spirales étant à faible coefficient de dilatation thermique. 20
23. Dispositif selon la revendication 22, les spirales comportant un matériau composite à fibre de carbone ou un alliage métallique.
24. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 23, des matériaux plastiques étant utilisés, au moins localement, au moins dans la partie d'une des deux spirales située en regard du fond (32, 34) de l'autre spirale. 25
30
25. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 24 utilisant dans au moins une des spirales un circuit d'échange de chaleur en liaison avec la source froide pour rendre la détente plus isotherme. 35
26. Système de détente de fluide, comportant au moins deux étages de détente, chaque étage comportant un dispositif selon l'une des revendications 1 à 25.
27. Système selon la revendication 26, un arbre commun (150) permettant un mouvement en phase des spirales mobiles (147, 148, 149) des différents dispositifs de détente. 40
28. Machine de détente cryogénique comportant un compresseur (20), un échangeur de chaleur (22) et un dispositif de détente selon l'une des revendications 1 à 25. 45
29. Machine de détente cryogénique comportant un compresseur (20), des échangeurs de chaleur (22) et un système de détente selon l'une des revendications 26 ou 27. 50

55

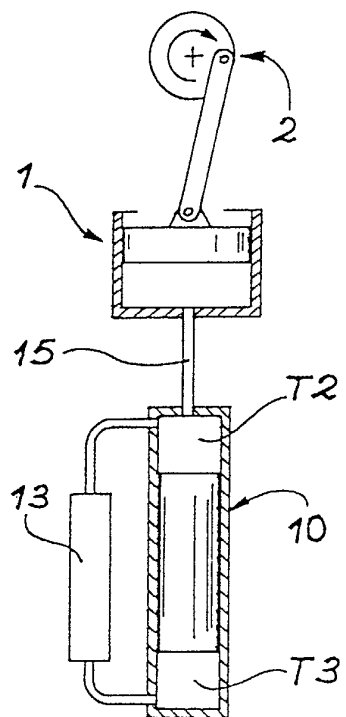


FIG. 1A

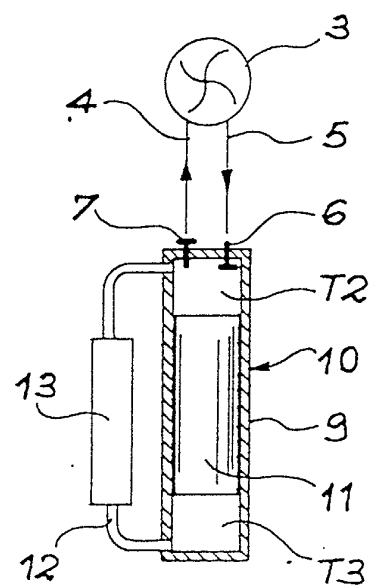


FIG. 1B

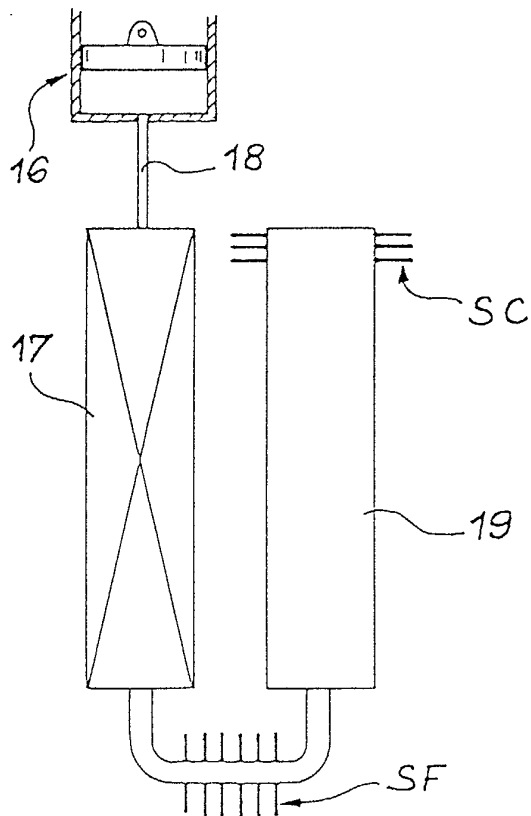


FIG. 1C

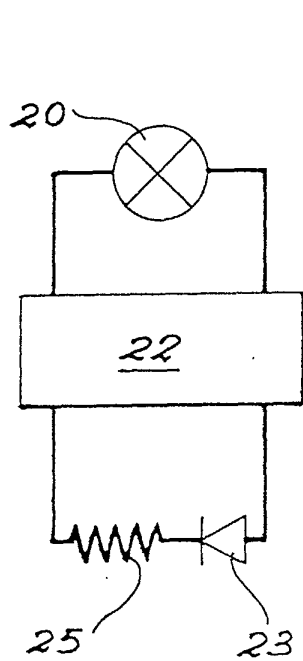
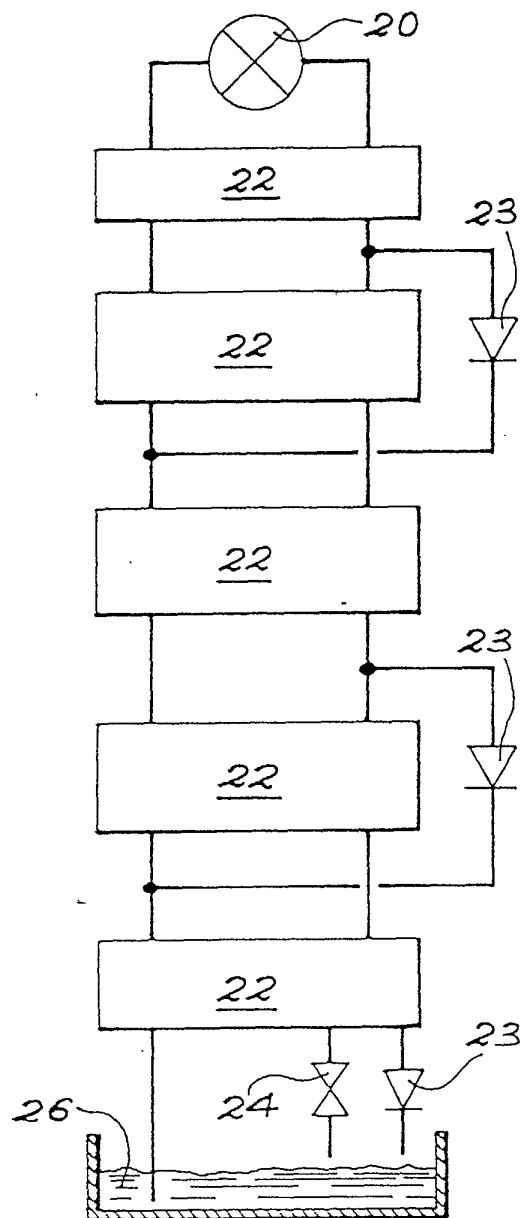
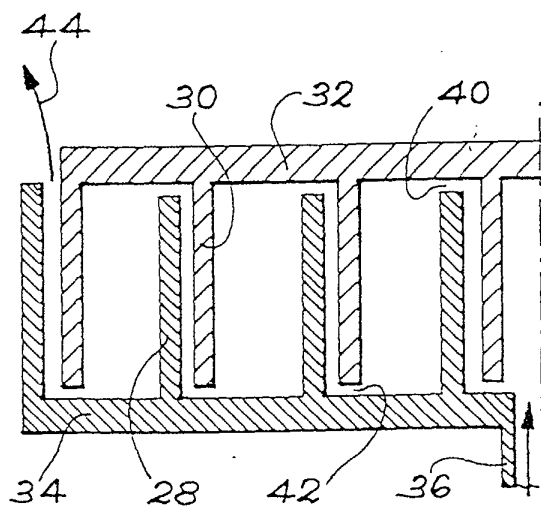
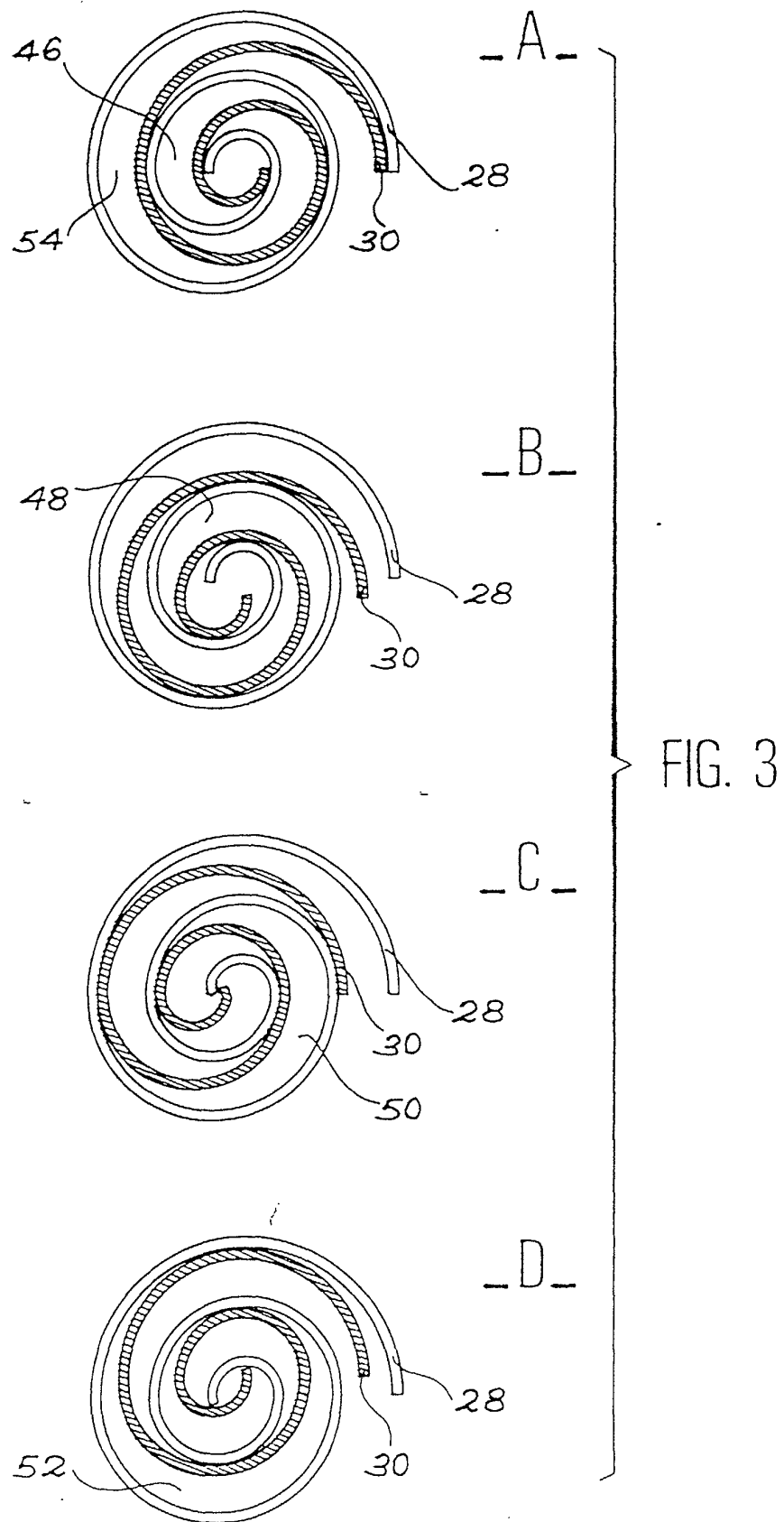


FIG. 4 A





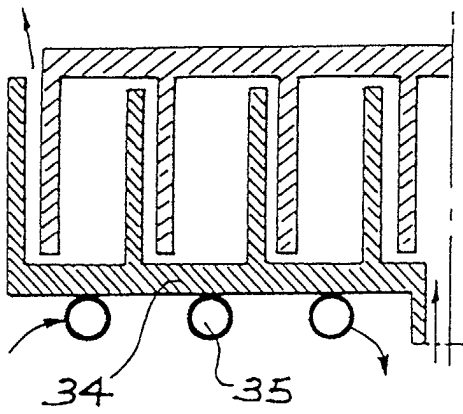


FIG. 4B

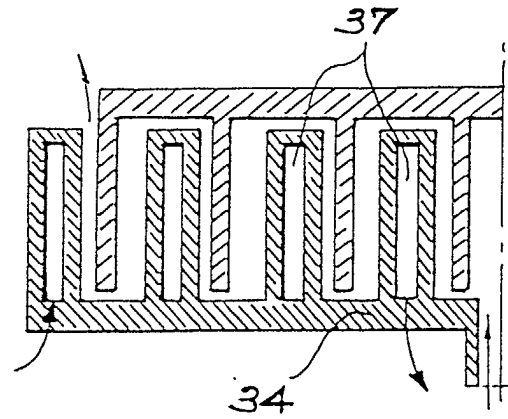


FIG. 4C

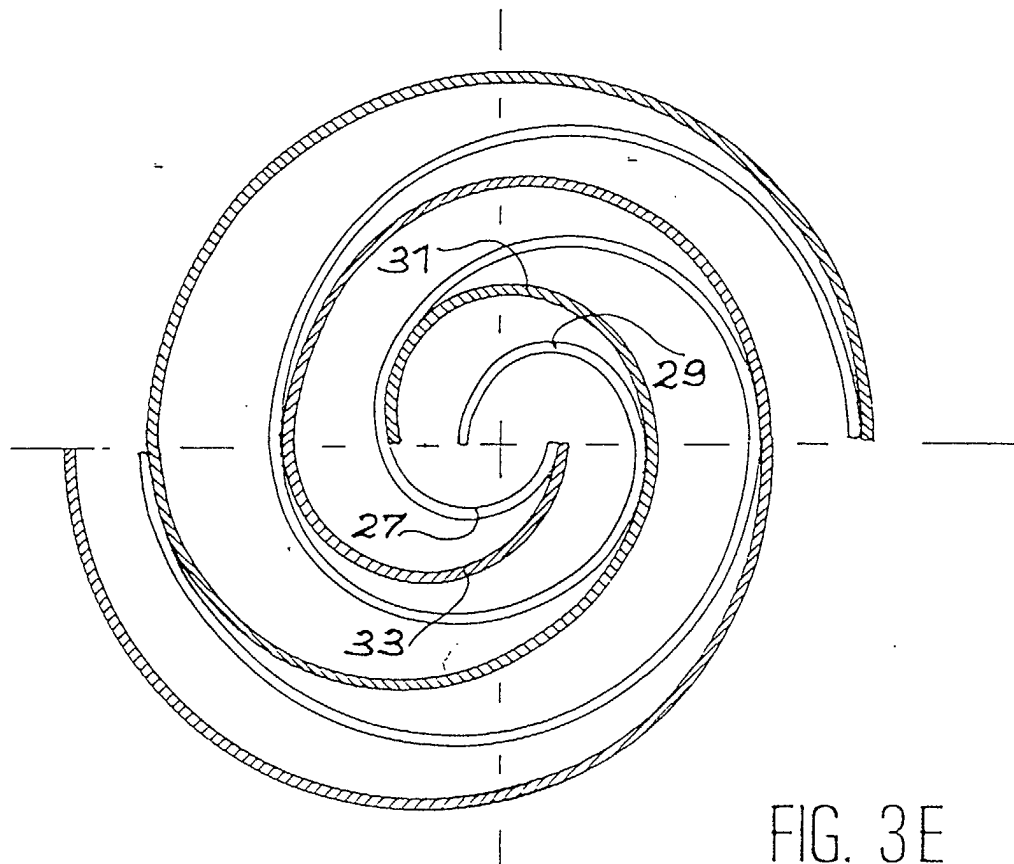
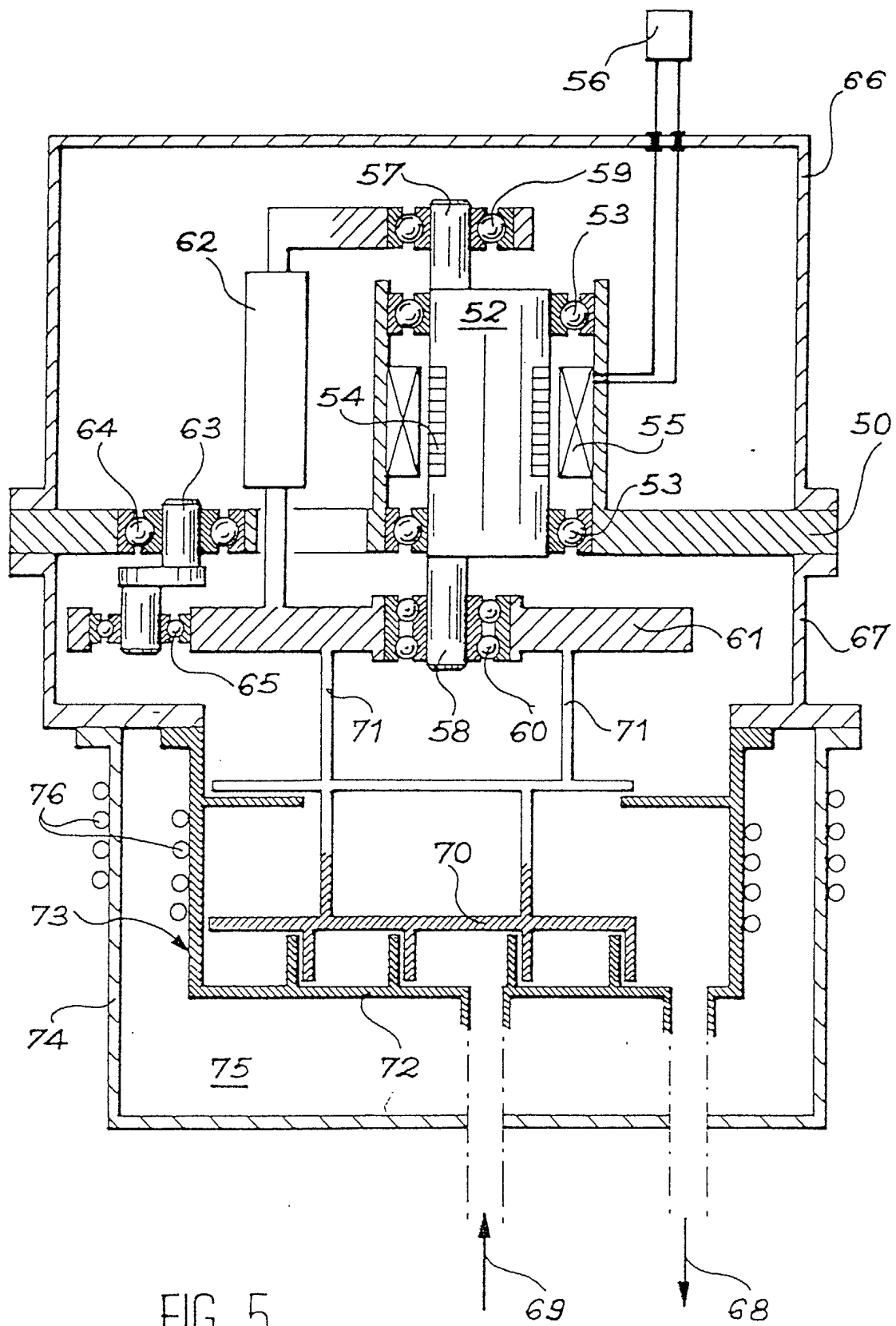
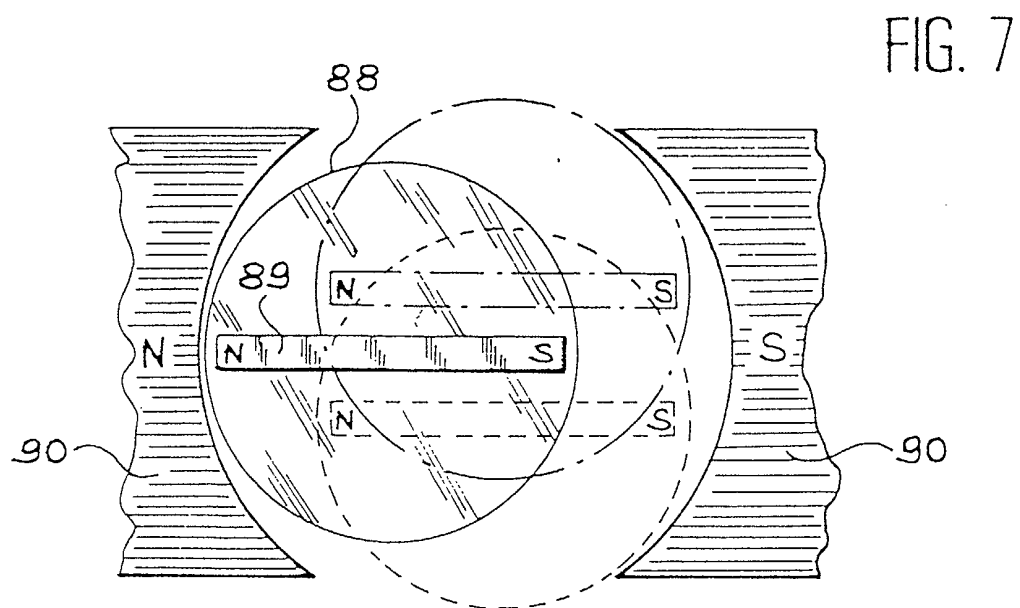
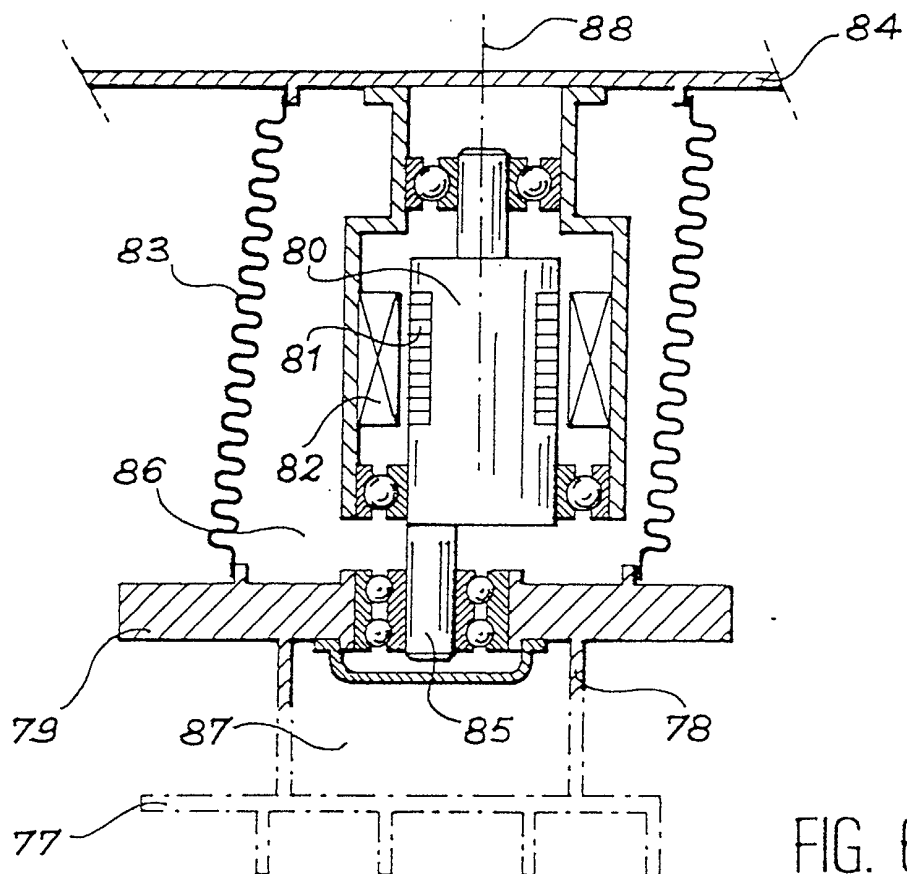


FIG. 3E





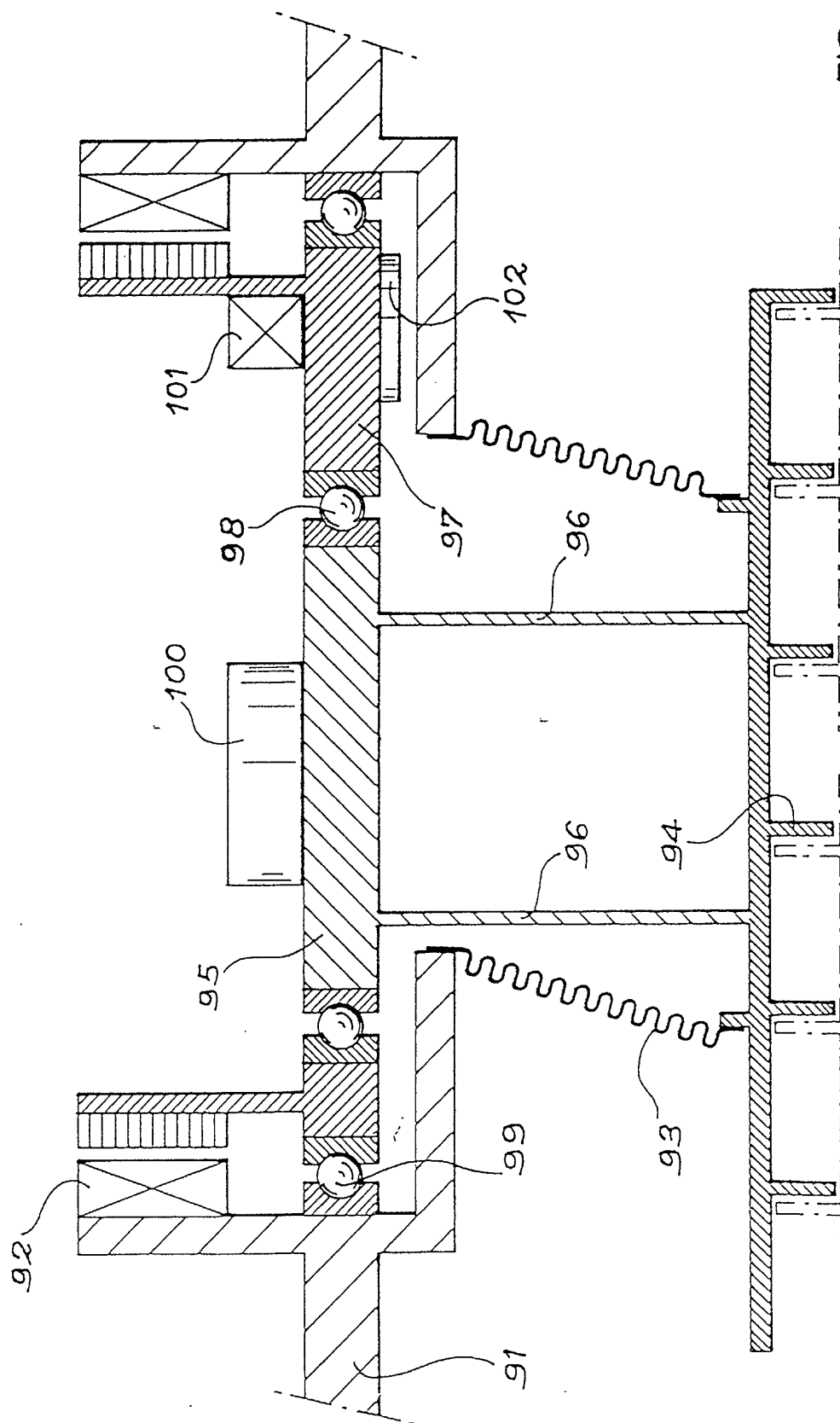
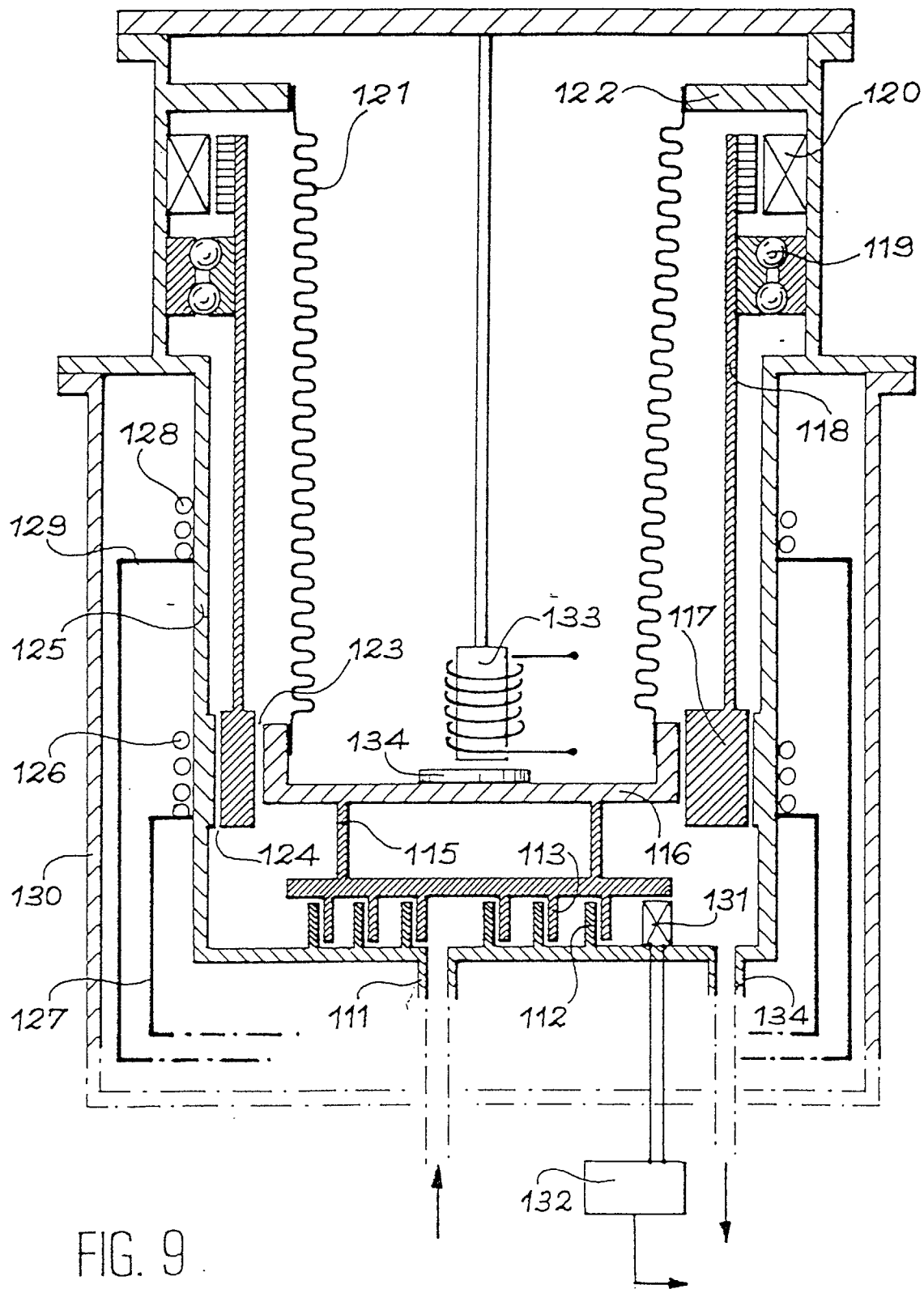


FIG. 8



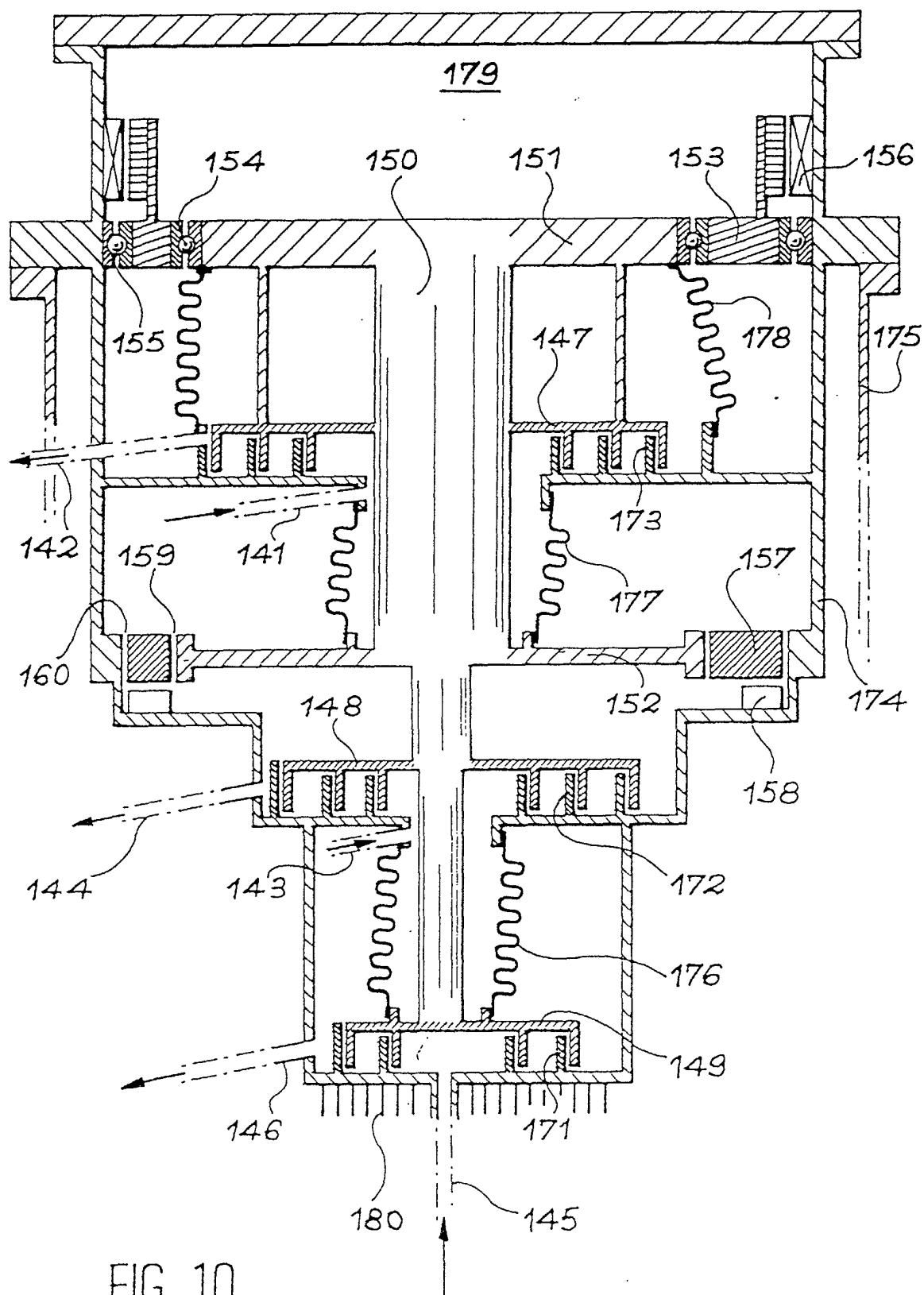


FIG. 10