



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11) **EP 0 803 687 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention  
de la délivrance du brevet:  
**26.06.2002 Bulletin 2002/26**

(51) Int Cl.7: **F25B 9/14**

(21) Numéro de dépôt: **97400898.9**

(22) Date de dépôt: **22.04.1997**

(54) **Cryostat pour refroidisseur cryogénique et refroidisseurs comportant un tel cryostat**

Kryostat für Tiefsttemperatur-Kälteanlage und Kälteanlagen mit einem solchen Kryostat

Cryostat for cryogenic refrigerator and refrigerators comprising such a cryostat

(84) Etats contractants désignés:  
**DE FR GB NL**

(30) Priorité: **23.04.1996 FR 9605086**

(43) Date de publication de la demande:  
**29.10.1997 Bulletin 1997/44**

(73) Titulaire: **Thales Cryogenie S.A.**  
**75008 Paris (FR)**

(72) Inventeur: **Curlier, Patrick**  
**94117 Arcueil Cedex (FR)**

(74) Mandataire: **Simonnet, Christine et al**  
**Thomson-CSF Propriété Intellectuelle,**  
**13, Avenue du Président Salvador Allende**  
**94117 Arcueil Cédex (FR)**

(56) Documents cités:

<b>EP-A- 0 339 298</b>	<b>EP-A- 0 576 202</b>
<b>EP-A- 0 614 059</b>	<b>EP-A- 0 717 245</b>
<b>US-A- 3 220 201</b>	<b>US-A- 3 851 173</b>
<b>US-A- 4 425 764</b>	<b>US-A- 4 550 571</b>
<b>US-A- 4 569 203</b>	<b>US-A- 4 858 442</b>
<b>US-A- 5 293 748</b>	<b>US-A- 5 435 136</b>

**EP 0 803 687 B1**

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen, toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

## Description

**[0001]** La présente invention concerne la conception et la réalisation des refroidisseurs cryogéniques qui mettent en oeuvre un gaz de travail suivant un cycle thermodynamique en circuit fermé entre une chambre de compression et une chambre de détente, en passant par un accumulateur thermique dit régénérateur, qui assure un échange de récupération entre gaz chaud comprimé et gaz froid détendu.

**[0002]** Ces refroidisseurs comportent, de manière classique, un oscillateur de pression piloté pour faire varier le volume de la chambre de compression, et un doigt froid se terminant par la chambre de détente, en contact thermique avec un élément à refroidir, placé au fond d'une enveloppe d'isolation thermique. L'élément à refroidir est couramment un composant électronique qu'il s'agit de maintenir en fonctionnement à des températures comprises entre 60 °K et 200 °K, afin notamment d'améliorer le rapport signal sur bruit.

**[0003]** Dans un tel contexte, qui implique bien des domaines de l'industrie où il est utilisé des composants électroniques ou optoélectroniques, les refroidisseurs cryogéniques du type en question rencontrent un succès chaque jour grandissant, principalement quand ils sont conçus pour être fabriqués à faible coût sous des formes intégrant l'oscillateur de pression avec le doigt froid dans un même ensemble mécanique n'ayant plus besoin de conduites externes pour fermer le circuit de gaz de travail.

**[0004]** Mais, par ailleurs, la variété de leurs applications industrielles a entraîné le développement de différentes configurations technologiques de refroidisseurs en fonction du cycle de travail le mieux adapté aux circonstances. On les trouvera décrites dans leur principe dans un article de Damien Feger intitulé "Refroidissement des détecteurs optoélectroniques" paru dans "Techniques de l'Ingénieur, traité Electronique" pages E4070-1 à 11.

**[0005]** Cet article fait déjà état des particularités spécifiques à chaque configuration et des critères présidant au choix de l'une ou l'autre. En relation avec la présente invention, il convient de souligner en particulier que, d'une manière générale, les refroidisseurs du type à tube à gaz pulsé (TGP) pèchent par un rendement inférieur à celui des configurations à cycle de Stirling, alors que quand la notion de rendement perd de son importance, les refroidisseurs à tube à gaz pulsé prennent le pas sur les refroidisseurs à cycle de Stirling. Ne serait-ce que pour des questions de coût, ils ont l'avantage d'impliquer un nombre de pièces plus limité et une exigence moindre dans la réalisation des étanchéités. De ce dernier point de vue, on rappellera que les refroidisseurs à cycle de Stirling comportent un piston dit "déplaceur" qui est monté à coulissement dans le doigt froid terminé par la chambre de détente, d'où le besoin d'une étanchéité au gaz de type dynamique.

**[0006]** Les brevets US 3 220 201, US 4 858 442, et 5

293 748, décrivent des exemples de refroidisseur à cycle de Stirling.

**[0007]** Dans le but de diminuer encore le coût et d'apporter une meilleure souplesse d'utilisation des refroidisseurs dans toutes sortes d'applications, la présente invention se propose principalement de mettre à la disposition des utilisateurs un cryostat qui ne se limite pas à une enveloppe isolante apte à recevoir le doigt froid du refroidisseur, mais qui incorpore une partie de ses organes essentiels, sous une forme permettant leur adaptation interchangeable à différentes configurations.

**[0008]** Plus précisément, un cryostat pour refroidisseur cryogénique réalisé suivant l'invention s'adapte aisément, conformément à son caractère interchangeable, tant à une configuration à tube à gaz pulsé qu'à une configuration à cycle de Stirling, et que le pilotage de l'oscillateur de pression passe par un entraînement de type rotatif à vilebrequin ou de type linéaire, suivant les expressions utilisées par l'homme de l'art, telles qu'elles sont reprises notamment dans l'article déjà cité.

**[0009]** Par ses différentes caractéristiques telles qu'elles seront décrites et revendiquées ci-après, l'invention permet aussi d'apporter des améliorations sensibles à la construction des refroidisseurs intégrant un tel cryostat et à leur mode de pilotage. Les avantages qui en résultent concernent en particulier la combinaison du cryostat avec un oscillateur de pression dans un mode réalisation relevant d'une configuration à tube à gaz pulsé.

**[0010]** En outre, les particularités proposées pour les différents éléments constitutifs des cryostats selon l'invention présentent l'avantage de se prêter particulièrement bien aux modes de fonctionnement respectifs des deux types de refroidisseurs et d'améliorer leurs performances propres. Tel est le cas notamment des dispositions préconisées pour le régénérateur, qui a la charge d'absorber et libérer de la chaleur, alternativement, par rapport au gaz qui le traverse. Tel est le cas également d'un échangeur avantageusement prévu en zone froide, au niveau de la chambre de détente, pour favoriser le transfert thermique vers le composant à refroidir, ainsi que pour un échangeur se situant en zone chaude et sous pression qui est spécialement utile dans les refroidisseurs du type à gaz pulsé, pour favoriser une déperdition thermique vers l'extérieur.

**[0011]** Ainsi, l'invention a plus précisément pour objet un cryostat pour refroidisseur cryogénique mettant en oeuvre un circuit fermé de gaz de travail entre une chambre de compression située dans un carter d'oscillateur de pression associé et une chambre de détente située en fond du cryostat, en situation d'échange thermique avec un composant à refroidir, comportant à l'intérieur d'une enveloppe d'isolation thermique, solidaire d'une embase de montage sur ledit carter, un régénérateur thermique interposé sur le circuit du gaz de travail. Ce régénérateur est en disposition annulaire autour d'un volume axial s'étendant entre un échangeur froid

qui est en contact thermique avec le composant à refroidir et fait communiquer le régénérateur avec ledit volume axial en fond du cryostat. Le cryostat comporte aussi une couronne de distribution de gaz dans ledit régénérateur, en tête du cryostat, à partir d'un conduit percé à travers l'embase pour connexion à la chambre de compression. La couronne de distribution est formée par une pièce centrale se montant à travers ladite embase axialement en son centre. Ladite pièce centrale est montée de manière amovible dans ladite embase, notamment par vissage étanche. Ceci la rend facilement interchangeable entre un premier modèle pour fonctionnement du volume axial en piston gazeux dans un refroidisseur du type à tube à gaz pulsé, et un second modèle, présentant un alésage axial propre à être traversé par un piston déplaceur de refroidisseur à cycle de Stirling, introduit à coulissement étanche dans le même volume axial. Ainsi, on peut utiliser un même cryostat, construit suivant l'invention, sans rien changer d'autre à son dimensionnement ou à sa fabrication, pour l'intégrer avec un oscillateur de pression adapté de manière à constituer un refroidisseur répondant à l'une ou l'autre de ces configurations majeures.

**[0012]** Dans la pièce centrale suivant le modèle destiné à un refroidisseur fonctionnant suivant le principe du cycle à gaz pulsé, il est avantageusement ménagé au moins un canal de passage du gaz sous débit contrôlé entre un réservoir tampon de gaz formé à l'intérieur du carter de l'oscillateur de pression, et le volume axial interne au cryostat qui fonctionne en tube à gaz. Il est d'ailleurs avantageux d'y ajouter un ou plusieurs autres canaux à débit contrôlé permettant un prélèvement de gaz chaud directement en sortie de compression, au niveau de la couronne de distribution vers le régénérateur.

**[0013]** Dans le cas alternatif d'un refroidisseur mettant en oeuvre un cycle de Stirling, le volume interne se trouve au contraire occupé par le piston déplaceur, qui est préférentiellement plein, réalisé en un matériau de faible conductivité thermique, et qui ne laisse libre au gaz que le volume de la chambre de détente au fond du cryostat.

**[0014]** De préférence, la pièce centrale, avec sa couronne de distribution, est réalisée solidaire d'un tube central limitant ledit volume axial. Ce tube est alors avantageusement de même diamètre interne que l'alésage axial du modèle destiné à un raccordement du cryostat sur un refroidisseur à cycle de Stirling. Il peut donc constituer soit le tube contenant le gaz pulsé dans le premier modèle, soit le tube guide du piston déplaceur du refroidisseur dans le second cas.

**[0015]** Suivant une autre caractéristique de l'invention, il est associé au cryostat un échangeur chaud, se positionnant dans le volume interne en tête du cryostat. Son rôle se situe dans l'évacuation des calories qui s'effectue par déperdition thermique vers l'extérieur à travers l'embase et le carter de la partie compresseur du refroidisseur, réalisés à cette fin en matériau thermiquement conducteur. Il est spécialement utile dans la va-

riante de refroidisseur à tube à gaz pulsé, compte tenu de la chaleur à évacuer en sortie du tube à gaz, qui se rajoute à la chaleur emmagasinée par le gaz en retour du régénérateur.

**[0016]** En ce qui concerne du moins l'échangeur froid, mais le cas échéant également l'échangeur chaud, l'invention prévoit, suivant une caractéristique secondaire, que l'on peut appliquer avantageusement avec les autres en toute combinaison opérante, d'utiliser une structure à géométrie de révolution, faisant alterner autour de l'axe du cryostat, dans une disposition de marguerite, des zones massives en matériau bon conducteur thermique et des zones vides ouvertes au passage du gaz. En conséquence, ces zones se situent notamment à cheval, de part et d'autre, par rapport à un épaulement de centrage de l'extrémité du tube central.

**[0017]** Il est souvent avantageux de combiner un tel échangeur froid avec un feuilleté de grilles perforées ayant pour effet d'assurer une tranquillisation du flux gazeux au passage de l'échangeur.

**[0018]** Soulignons encore que dans un refroidisseur suivant l'invention construit pour fonctionner suivant le principe du tube à gaz pulsé, il est avantageux de ménager le volume tampon de gaz alimentant le piston gazeux à l'intérieur d'un piston de compression, qui à cet effet, du côté opposé à la chambre de compression, est directement ouvert dans une chemise de guidage dudit piston qui vient se raccorder sur la pièce centrale appropriée du cryostat.

**[0019]** Pour l'entraînement du piston dans un tel refroidisseur, piston unique de préférence, il est en général souhaitable d'avoir recours à des moyens de pilotage à moteur linéaire, dans la mesure où le coût en est plus faible que pour un pilotage rotatif.

**[0020]** Dans certaines applications, une configuration du type à moteur rotatif peut cependant se révéler utile. La solution préférée passe alors par des moyens de pilotage comportant un vilebrequin actionnant un mécanisme de transmission de mouvement par roulement à billes mobile dans une gorge ménagée transversalement à l'extérieur dudit piston.

**[0021]** Quelle que soit la forme de réalisation choisie pour le refroidisseur suivant l'invention, la disposition annulaire du régénérateur se prête particulièrement bien à une fabrication à partir d'une feuille enroulée sur elle-même. En outre, l'invention permet d'améliorer sensiblement l'efficacité des échanges thermiques recherchés, par rapport aux empilements de grilles ou de billes classiques, en utilisant pour cela une feuille en matériau convenable, qui a été au préalable usinée, notamment par procédé photolithographique, de sorte à former des bandes longitudinales distinctes à surface lisse et des barrettes transversales en surépaisseur réunissant ponctuellement les bandes successives.

**[0022]** Préférentiellement, les différentes bandes se succèdent sur la longueur du régénérateur. Elles forment des couches annulaires de surface lisse entrecoupées par les intervalles entre bandes et les barrettes in-

tercalées entre les couches contribuent à répartir le flux dans toutes les directions à chaque niveau de section transversale.

**[0023]** L'invention sera maintenant plus complètement décrite dans le cadre de caractéristiques préférées répondant au mieux aux propos de l'invention par leurs avantages, en faisant référence aux figures des dessins annexés qui les illustrent et dans lesquelles :

- La figure 1 représente en coupe longitudinale un cryostat suivant l'invention, vu dans ses spécificités plus particulièrement destinées à un accouplement avec un oscillateur de pression de sorte à constituer un refroidisseur cryogénique appliquant un cycle à tube à gaz pulsé ;
- La figure 2 montre les organes principaux du même cryostat, dans une vue éclatée, en s'intéressant au contraire à sa constitution pour accouplement avec l'oscillateur de pression d'un refroidisseur de type à cycle de Stirling ;
- La figure 3 schématise une forme de réalisation préférée du régénérateur thermique, valable dans l'un et l'autre cas ;
- La figure 4 montre une coupe transversale du cryostat au niveau de l'échangeur thermique disposé en zone froide du circuit de gaz de travail, dans la chambre de détente ;
- La figure 5 illustre le montage du cryostat de l'invention, avec sa pièce de distribution interchangeable suivant la figure 2, dans un cas d'application pratique où il sert à constituer un refroidisseur cryogénique à cycle de Stirling suivant l'invention, qui est ici du type à pilotage rotatif ;
- La figure 6 illustre, quant à elle, un autre mode de réalisation de l'invention, fournissant au total un refroidisseur à cycle TGP (tube à gaz pulsé), et elle montre en plus comment se concrétise préférentiellement, conformément à l'invention, un pilotage rotatif dans cette configuration de refroidisseur cryogénique.
- La figure 7 illustre en vue éclatée une conception particulière de l'échangeur froid associé à un feuillet de grilles de tranquillisation de gaz.
- La figure 8 représente, dans une coupe schématique partielle, une variante de l'échangeur froid faisant appel à une réalisation en deux parties concentriques.

**[0024]** Conformément à l'invention, le cryostat de la figure 1 est utilisé en combinaison avec un oscillateur de pression soit pour constituer un refroidisseur cryogé-

nique de type à gaz pulsé conformément à la figure 6, soit alternativement pour constituer un refroidisseur de type à cycle de Stirling conformément à la figure 5. Dans tous les cas, le refroidisseur ainsi constitué est de construction compacte, le cryostat et l'oscillateur de pression étant intégrés en un même ensemble mécanique.

**[0025]** Dès la figure 1, on peut observer que le cryostat suivant l'invention ne se limite pas, comme dans les réalisations connues, à une enveloppe d'isolation thermique destinée à recevoir un doigt froid préalablement constitué en tous ses organes fonctionnels nécessaires à la mise en oeuvre du cycle thermodynamique du gaz de travail. Au contraire, les organes fonctionnels passifs, qui ne sont pas soumis à des déplacements en cours de fonctionnement, sont prévus à demeure dans le cryostat, ce dernier étant construit de sorte à pouvoir se raccorder, alternativement au choix de l'utilisateur, au carter d'un oscillateur de pression relevant soit d'un refroidisseur spécifique pour mise en oeuvre d'un cycle de Stirling, soit d'un refroidisseur du type à tube à gaz pulsé.

**[0026]** C'est ainsi que dans le cryostat, on trouve, à l'intérieur d'une enveloppe d'isolation thermique 1 montée solidaire d'une embase 4 servant à son raccordement mécanique et pneumatique avec la partie oscillateur de pression du refroidisseur, deux viroles tubulaires concentriques, à savoir un tube central 3 et une paroi interne 2 de l'enveloppe 1, qui délimitent entre elles un espace annulaire occupé par un régénérateur thermique 5. Le régénérateur 5 est ainsi construit en disposition annulaire autour d'un volume axial 6, limité sur son pourtour par le tube central 3 parmi les deux viroles précédentes.

**[0027]** En pratique l'autre virole, qui limite extérieurement le régénérateur thermique, est donc ici directement constituée par la paroi interne 2 de l'enveloppe d'isolation thermique 1. Celle-ci est en effet, de manière en soi classique, du type à double paroi. Entre ses deux parois, elle est soit remplie d'un gaz d'inertage à faible point de condensation, soit soumise à un vide poussé, ce pour quoi elle est munie d'un port de chargement 25.

**[0028]** Dans d'autres réalisations toutefois, mais de manière généralement moins avantageuse, on préférera construire le régénérateur 5 avec ses propres enveloppes, dont une enveloppe externe qui est alors distincte de la paroi interne 2 de l'enveloppe d'isolation thermique et/ou une enveloppe interne qui est alors ajoutée contre le tube central 3.

**[0029]** En fond du cryostat, au-delà du régénérateur et de son enveloppe interne constituée par le tube 3, il est disposé un échangeur 8, qui constitue en fonctionnement l'échangeur froid du refroidisseur. Pour cela, cet échangeur est conçu et disposé de sorte à favoriser le transfert de la puissance frigorifique résultant de la détente du gaz de travail vers un composant à refroidir 21, tout en assurant une communication pneumatique permettant le passage du gaz de travail entre le fond du volume axial 6 et l'espace annulaire occupé par le ré-

générateur 5.

**[0030]** La virole intermédiaire du cryostat de l'invention, constituée par la paroi 2, est fermée en son extrémité inférieure, au fond du cryostat, par une plaque transversale 22 contre laquelle est apposé l'échangeur froid 8. Sur sa face opposée à cet échangeur vient se monter le composant 21, généralement par simple collage.

**[0031]** Quand l'élément à refroidir est constitué, comme illustré, par un composant électronique 21, par exemple un détecteur optoélectronique, il est nécessaire de pourvoir à sa liaison avec un circuit électrique véhiculant les signaux qu'il reçoit ou qu'il émet. On a donc fait apparaître sur la figure 1, une couronne de distribution électrique 23, dont les parties conductrices passent par des traversées étanches à travers la paroi externe de l'enveloppe d'isolation thermique 1, ainsi que des fils conducteurs 24 qui les relient ensuite au composant 21.

**[0032]** L'enveloppe 1 dans son ensemble a pour fonction de limiter les pertes thermiques par radiation ou convection au niveau des organes intervenant dans le cycle thermodynamique du refroidisseur complet dans la zone froide de celui-ci.

**[0033]** Ainsi qu'il apparaît sur la figure 1, sa paroi externe est soudée en sous-face de l'embase 4, tandis que sa paroi interne 2 est monolithique avec celle-ci. L'une et l'autre peuvent être réalisées en acier inoxydable.

**[0034]** Cependant, on peut aussi choisir, pour la paroi interne 2, une qualité d'acier inoxydable correspondant à un alliage à faible conductivité thermique, adaptée pour être compatible avec le gaz de travail utilisé, lequel est préférentiellement l'hélium dans le cas du régénérateur à feuille métallique enroulée comme décrit plus loin.

**[0035]** La paroi extérieure de l'enveloppe 1 est réalisée également en acier inoxydable, ou éventuellement en une qualité appropriée de verre, pour des raisons d'ordre économique.

**[0036]** Suivant le matériau choisi, il peut donc être nécessaire d'avoir recours à des jonctions verre/métal pour assurer l'étanchéité des soudures et des traversées électriques, ce qui toutefois posera d'autant moins de problèmes à l'homme de l'art que ce besoin se situe en des endroits sous pression statique.

**[0037]** En tête du cryostat, à l'extrémité supérieure de l'enveloppe thermiquement isolante 1 et du régénérateur 5, l'embase 4 se trouve au contraire en zone chaude du refroidisseur en fonctionnement, là où règne aussi une pression dynamique du gaz de travail, soumise à des pulsations de pression périodiques, imprimées par les éléments mobiles du refroidisseur lorsque le cryostat est raccordé au carter 50 d'un oscillateur de pression associé.

**[0038]** Dans cette zone chaude, il convient d'évacuer les calories du gaz revenant de la détente, après la récupération effectuée dans le régénérateur 5. Pour cela, il est prévu de réaliser l'embase 4 en un matériau de bonne conductivité thermique, généralement de l'acier

inoxydable, sous une forme favorisant les déperditions vers l'extérieur.

**[0039]** Dans l'embase 4 on distingue une collerette circulaire 16, percée de trous pour le passage des vis 48 assurant la fixation sur le carter 50 du refroidisseur, qui vient se raccorder en appui sur la face supérieure de la collerette 16, opposée à l'enveloppe thermique 1. On distingue aussi une bague 17, faisant partie de l'embase 4, qui assure le centrage des deux éléments l'un dans l'autre. Le raccordement étanche de ces deux éléments (cryostat et oscillateur de pression) vis-à-vis de l'extérieur est assuré par un joint 19, logé dans une gorge annulaire de la face supérieure de la collerette 16.

**[0040]** L'embase 4 livre passage, dans l'axe du système, à une pièce centrale 10, vissée de manière étanche dans la bague 17, laquelle est filetée intérieurement. Une gorge hexagonale 41, ménagée dans sa face plane supérieure, sert à sa manipulation lors du montage.

**[0041]** Comme on l'a déjà expliqué, cette pièce centrale du cryostat est conçue sous deux modèles différents qui, par leur géométrie extérieure, leur dimensionnement, et leur conception fonctionnelle, sont interchangeable dans une même construction de cryostat. Les deux modèles sont illustrés par la figure 1 et par la figure 2, suivant que le cryostat 30 est monté pour être accouplé avec les carters 50 ou 60 de l'un ou l'autre des deux oscillateurs de pression dans les deux variantes de refroidisseur montrées sur les figures 6 et 5 respectivement.

**[0042]** Dans tous les cas, cette pièce centrale, donc en particulier celle portant la référence 10 sur la figure 1, est ici constituée d'une seule pièce avec le tube interne 3 du cryostat.

**[0043]** D'autre part, elle forme une couronne de distribution 71, pour la répartition annulaire du gaz en tête du régénérateur 5. En conséquence, cette couronne se place au-dessus de celui-ci (dans la disposition verticale représentée, cryostat sous le carter 50), et plus précisément au centre de l'embase 4 en sa partie principale formée par la collerette 16.

**[0044]** Dans le mode de réalisation illustré, la couronne de distribution 71 présente une gorge circulaire 45, creusée dans sa face inférieure, qui vient en butée sur le régénérateur 5. Cette gorge communique par des orifices 46 avec une chambre annulaire 43, prolongée vers le haut en 42, qui est ménagée extérieurement dans la partie de la pièce centrale 10 se trouvant au niveau de la collerette 16, entre cette pièce et la face en vis-à-vis de l'embase 4.

**[0045]** C'est là que débouche un canal 39, percé à travers cette collerette de l'embase 4 jusqu'à communiquer, une fois le montage du refroidisseur terminé, avec un conduit 61 par lequel s'effectue la liaison pneumatique avec la chambre de compression située dans l'oscillateur de pression.

**[0046]** Pour le reste, la pièce centrale 10 est représentée sur la figure 1 dans le modèle convenant pour

un refroidisseur type TGP illustré par la figure 6.

**[0047]** Le second modèle de pièce centrale du cryostat, destiné lui à un refroidisseur à cycle Stirling, est montré sur la représentation schématique en disposition éclatée de la figure 2. Dans ce cas, le pièce centrale 20 est identique à la précédente extérieurement, mais intérieurement, elle comporte simplement un alésage axial 72, ménagé tout du long à travers elle, au même diamètre que le tube 3 dont elle prolonge le volume central.

**[0048]** En revenant à la figure 1, on observe la constitution des moyens d'alimentation du piston gazeux occupant le volume interne 6 du cryostat. A l'entrée de celui-ci débouche un canal 11, qui est percé axialement dans la pièce centrale 10 jusqu'à sa face supérieure, où il se termine par un orifice calibré 13 imposant un débit gazeux contrôlé.

**[0049]** Une autre liaison pneumatique, impliquant un ou plusieurs canaux, est assurée à travers la pièce 10, avec la chambre annulaire 43 de la couronne de distribution de gaz vers le régénérateur 5. On a ainsi fait apparaître un orifice calibré 14, sur un canal 12 débouchant dans le canal axial 11.

**[0050]** Les orifices calibrés des canaux 11-12 fonctionnent, de manière en soi classique, comme des vannes introduisant des impédances pneumatiques. Le canal principal 11 ainsi équipé procure en fonctionnement le déphasage utile entre l'onde de pression générée par l'oscillateur de pression et les variations de débit en résultant dans le tube contenant le gaz pulsé. L'impédance secondaire (canal 12) permet d'apporter une fraction du débit d'alimentation périodique du tube en la prélevant directement en sortie de compression, par dérivation de la circulation passant à travers le régénérateur et le tube. Ceci diminue la charge thermique sur le régénérateur et contribue à améliorer l'efficacité du refroidisseur, dans le cas d'un cycle à gaz pulsé.

**[0051]** La figure 1 montre enfin un échangeur 9, situé en zone chaude dans le volume central, au niveau de la couronne de distribution 71. Cet échangeur chaud peut éventuellement être réalisé de manière analogue à ce qui sera décrit plus loin pour l'échangeur froid, l'essentiel étant que, dans cette variante de réalisation du cryostat de l'invention, il vienne parfaire l'évacuation des calories excédentaires du cycle thermodynamique en complétant, à partir de la zone chaude du tube de gaz pulsé, les déperditions thermiques vers l'extérieur ayant lieu par le biais de l'embase 4, et accessoirement du carter d'oscillateur de pression associé.

**[0052]** Pour l'un et l'autre des deux types de refroidisseurs, le régénérateur thermique 5 est avantageusement constitué, comme il apparaît des figures 1 et 3, de manière à jouer pleinement son rôle d'accumulateur thermique pour la récupération ayant lieu, de manière en soi classique, entre le gaz de travail passant de la phase de compression à la phase de détente et le gaz de travail passant de la phase de détente à la phase de compression.

**[0053]** Dans le mode de réalisation préférentiel de l'invention décrit ici et illustré par la figure 3, un tel régénérateur se présente sous la forme d'une feuille continue qui est enroulée en une série de spires autour du tube central 3 qui limite le volume interne 6 du régénérateur, de manière à remplir, aussi complètement qu'il est possible dans la pratique industrielle, l'espace annulaire compris entre ce tube 3, qui forme sa virole enveloppe interne, et sa virole enveloppe externe associée, constituée par la paroi interne 2 de l'enveloppe isolante 1.

**[0054]** Les procédés d'usinage par photolithographie, qui sont connus en eux-mêmes, sont particulièrement intéressants en ce sens, dans la mesure où ils représentent des moyens technologiques particulièrement simples à mettre en oeuvre pour un prix de revient limité, quand il s'agit de conduire à la configuration illustrée par le détail de la figure 3.

**[0055]** Suivant cette configuration, la feuille qui est ainsi enroulée en spires consécutives jointives, forme une succession de bandes longitudinales distinctes 27, qui s'orientent perpendiculairement à l'axe du cryostat et qui sont séparées les unes des autres par des intervalles 28. Des barrettes 26 sont formées en surépaisseur des bandes et en travers de celles-ci dans le sens perpendiculaire. Elles sont régulièrement réparties sur toute la longueur et la hauteur de la feuille et disposées en quinconce, chacune réunissant deux bandes successives par dessus l'intervalle qui les sépare.

**[0056]** On réalise de cette manière, à la fois des couches de surfaces lisses qui seront léchées par le gaz de travail suivant son sens global de circulation sous l'effet des différences de pression mais qui sont périodiquement interrompues par les intervalles 28, et des barrières orientées transversalement aux bandes et aux intervalles entre deux spires consécutives de la feuille. Ceci permet d'obtenir une bonne distribution du gaz entre les couches, équilibrée dans toutes les directions d'une section transversale du régénérateur, ainsi que d'éviter l'apparition d'instabilités préjudiciables à l'efficacité des échanges, tout en créant la perte de charge importante qui est nécessaire au déphasage dans le pilotage de certains refroidisseurs.

**[0057]** En ce qui concerne le dimensionnement géométrique d'un régénérateur ainsi construit, on peut citer en exemple le cas d'une feuille de 100 à 200 microns d'épaisseur, creusée à mi-épaisseur par chaque face, pour un régénérateur de 2 à 3 millimètres d'épaisseur radiale. Les bandes et les intervalles entre elles peuvent, par exemple, être d'une même largeur, de l'ordre de 50 à 100 microns. La longueur transversale des barrettes 26 peut correspondre, ici encore à titre d'exemple, à 1,5 fois le pas de répétition des bandes longitudinales 27, avec une largeur environ moitié moindre et une distance entre deux barrettes successives décalées, équivalente à environ trois fois la largeur de chacune.

**[0058]** L'invention permet ainsi de tirer profit d'un rapport entre l'échange convectif local et les pertes de charges longitudinales qui, dans le cas de plaques parallèles

à l'axe du doigt froid, serait supérieur à la valeur que l'on peut obtenir par les empilements usuels de grilles ou de billes, cependant que, sous cette forme de réalisation pratique, elle permet d'assurer une meilleure distribution du débit de gaz entre les couches parallèles de surfaces lisses.

**[0059]** De la sorte, on parvient à équilibrer le débit de gaz de travail circulant entre les couches annulaires à surface parallèle à l'axe du cryostat de l'invention, et le débit de gaz circulant transversalement, dans toutes les directions radiales du régénérateur aux différents niveaux entre bandes successives. En conséquence, on évite les différences qui existent dans les régénérateurs connus entre le débit radial et le débit axial, alors que l'on peut constater qu'une telle différence de répartition entraîne des transferts thermiques déséquilibrés qui dégradent les performances des régénérateurs.

**[0060]** La présence des barrières 26, qui restent de faibles dimensions en regard de la longueur et de l'épaisseur du régénérateur, permet en outre d'introduire une interruption périodique du flux longitudinal entre les couches de bandes successives d'un bout à l'autre du régénérateur, et par là de stabiliser le débit gazeux global. Simultanément, comme ces barrettes jouxtent deux couches adjacentes de bandes, on obtient grâce à elles une réduction des pertes d'énergie thermique par conduction dans le sens longitudinal. Simultanément, on assure ainsi une réduction des pertes d'énergie thermique par conduction dans le sens longitudinal.

**[0061]** Par là même, on résout les problèmes qui, dans les refroidisseurs connus, sont liés aux variations de la viscosité du gaz de travail en fonction de la température locale, et qui causent des variations entraînant une instabilité intrinsèque du débit de gaz, et ainsi une faible efficacité du régénérateur.

**[0062]** Une telle réalisation du régénérateur 5 permet, d'une façon particulièrement avantageuse dans le cadre de la présente invention, d'obtenir un rapport entre l'échange convectif local et la perte de charge longitudinale très avantageux, tout en améliorant la distribution du débit de gaz entre les couches parallèles orientées longitudinalement, jusqu'à atteindre des performances de récupération thermique au moins équivalentes, si ce n'est supérieures à celles que l'on sait obtenir dans les réalisations connues par des régénérateurs à grilles transversales empilées ou à billes.

**[0063]** Une autre caractéristique commune aux deux variantes de refroidisseurs décrites ici, à titre d'exemples, concerne la réalisation de l'échangeur froid 8 mis en place en fond de l'enveloppe d'isolation thermique 1 du cryostat suivant l'invention, telle qu'elle est illustrée plus particulièrement par la figure 4.

**[0064]** On remarquera tout d'abord que, lors de la mise en place de la pièce centrale 10 ou 20 dans le cryostat, son centrage est assuré au niveau de la couronne de distribution 71, directement dans l'axe de l'embase 4 et sur la paroi interne 2 de l'enveloppe 1, jusqu'à pousser le régénérateur 5 en butée sur l'échangeur froid 8.

Dans la mesure où elle porte avec elle le tube central 3, cette pièce centrale est également centrée, à l'extrémité de ce dernier, grâce à un épaulement 34 formé en face supérieure de l'échangeur 8.

**[0065]** Cet échangeur froid est réalisé, conformément à ce qui ressort des figures 1, 2 et 4, sous une forme dite en marguerite. Il est constitué par une structure à géométrie de révolution, qui est réalisée en un matériau fortement conducteur tel que du cuivre ou de l'aluminium.

**[0066]** Cette structure fait alterner en étoile autour d'un noyau central 31, des zones vides 32 creusées à travers son épaisseur longitudinale et des zones massives 33 assurant la conduction thermique. Les unes et les autres s'étendent radialement à cheval par rapport à l'épaulement 34, de part et d'autre de l'extrémité du tube central 3. Elles laissent donc le gaz circuler librement entre le volume central 6 du cryostat (ou du moins la chambre de détente restant en fond du cryostat dans le cas d'un refroidisseur suivant la figure 5 appliquant un cycle de Stirling), en contournement de l'extrémité inférieure du tube central 3 reçue dans l'épaulement 34.

**[0067]** Un tel échangeur miniature, sous par exemple 5 mm de diamètre et 3 mm d'épaisseur, peut être fabriqué aisément par usinage électrochimique d'un barreau cylindrique, qui est ensuite découpé en tronçons.

**[0068]** Il permet d'apporter une surface d'échange importante pour un encombrement réduit, et sans créer de pertes de charge perturbatrices, tout en assurant une tranquillisation bénéfique en fond du tube 3 dans le cas où il reçoit du gaz pulsé. Aux fins de mieux tranquilliser le flux gazeux des feuilletés de grilles perforés sont interposés entre le tube 3 et les lobes de l'échangeur. Ils n'ont pas été représentés sur la figure 3.

**[0069]** Les mêmes avantages se retrouvent si les zones rayonnantes alternativement pleines et vides sont interverties. Le noyau 31 peut être en plus percé d'un passage vide en son centre, et il n'est pas nécessaire de laisser subsister une couronne périphérique de matériau, jointive en continu avec le tube central 3. Les zones massives forment des lobes de matériau échangeur, ici encore dans une configuration à cheval par rapport au diamètre du tube 3, dans laquelle les zones vides entre les lobes assurent le passage du gaz entre le régénérateur et soit la chambre de détente d'un refroidisseur à cycle Stirling, soit le fond du piston gazeux d'un refroidisseur à tube à gaz pulsé.

**[0070]** La figure 5 illustre la combinaison du cryostat des figures précédentes, utilisant la pièce centrale 20 de la figure 2, avec un oscillateur de pression répondant à la configuration d'un refroidisseur à cycle Stirling, dans lequel le pilotage est à moteur rotatif.

**[0071]** On a représenté schématiquement un système d'entraînement classique par un vilebrequin 51 dont l'excentrique est lié à deux bielles 53, 54, disposées à 90 degrés l'une de l'autre. A l'intérieur du carter 60, la bielle 53 est articulée sur l'extrémité du piston déplaceur 55, tandis que la bielle 54 est articulée sur le piston de

compression 56 qui limite la chambre de compression 57. Le gaz comprimé est véhiculé par des conduits 58, 59 jusqu'au canal 39 du cryostat alimentant la chambre de distribution 71 du cryostat, et de là le régénérateur 5.

**[0072]** Le piston déplaceur 55 est mobile axialement dans le volume interne 6 du cryostat 30. Il occupe quasiment tout ce volume, en ne laissant place au fond du tube 3 qui constitue son guide, qu'à l'épaisseur de la chambre de détente, considérablement agrandie sur la figure par rapport à la réalité pratique.

**[0073]** Il passe donc par l'alésage axial 72 de la pièce centrale 20. Son coulissement dans celle-ci est assuré sous étanchéité au gaz par un revêtement adapté appliqué sur sa surface périphérique.

**[0074]** La figure 6 utilise au contraire un oscillateur de pression conçu pour un refroidisseur type TGP dont le carter 50 est raccordé sur le cryostat autour de la pièce centrale 10 du modèle de la figure 1.

**[0075]** On voit donc sur cette figure 6 que l'échangeur chaud 9 est présent et que le volume interne 6 du cryostat est resté vide pour être occupé par le gaz pulsé et fonctionner comme un piston gazeux.

**[0076]** Dans le cas particulier illustré, le mode de pilotage est de type rotatif. L'arbre moteur est perpendiculaire à l'axe du système et, par un vilebrequin à axe décentré 66, il entraîne dans un mouvement oscillant, un piston unique 74.

**[0077]** Le piston 74 est mobile, verticalement sur la figure, dans l'axe du cryostat, dans une chemise formée à l'intérieur du carter 50.

**[0078]** Sur l'axe décentré 66 est montée la cage interne 68 d'un roulement à billes, dont la cage externe 67 est emprisonnée dans une gorge rectiligne 75 creusée latéralement dans la surface périphérique du piston 74, perpendiculairement à son axe et au plan de la figure. Cette disposition permet d'assurer le mouvement alternatif du piston tout en l'immobilisant en rotation.

**[0079]** La chambre de compression 63 est ménagée entre la face d'extrémité supérieure du piston et le carter 60. Elle est reliée, comme dans le cas précédent, par un perçage 62 et un conduit 61 au canal 39 débouchant dans la chambre de distribution du cryostat.

**[0080]** La face opposée du piston est creuse. on ménage ainsi, du côté opposé à la chambre de compression, un réservoir 65, de volume important par rapport au volume de gaz en circulation. La pression régnant dans ce réservoir reste donc pratiquement constante en fonctionnement.

**[0081]** C'est ainsi que le piston 74 ménage là, à l'intérieur de sa chemise de guidage, un réservoir qui est directement ouvert sur la partie centrale du cryostat et qui remplit la fonction de volume tampon pour la vanne sous débit contrôlé constituée par l'orifice calibré 13 de la figure 1, à l'alimentation du piston gazeux occupant la volume central 6.

**[0082]** Conformément à une variante de réalisation pratique restant dans le cadre de l'invention, on peut avantageusement appliquer la même disposition, mé-

nageant le réservoir tampon, directement ouvert sur la surface libre de la pièce centrale 10 en tête du cryostat, à l'intérieur du piston de compression, dans le cas d'un refroidisseur de type TGP dont le pilotage est assuré par moteur linéaire plutôt que par moteur rotatif.

**[0083]** Sur la figure 7 on a fait apparaître une variante de réalisation particulièrement avantageuse pour le fond du cryostat. La représentation éclatée, utilisée pour plus de clarté, montre schématiquement le régénérateur 5 entre le tube 3 de gaz pulsé et la paroi tubulaire 2, qui laisse place à l'échangeur froid 8 contre la plaque 22.

**[0084]** L'échangeur 8 est ici constitué de lobes 77 de matériau massif en disposition rayonnante autour d'un noyau central 34. Entre ces lobes 77 se situent les passages de gaz 78 qui font communiquer l'extrémité inférieure du régénérateur avec le volume axial du tube 3.

**[0085]** Le feuilleté de tranquillisation du flux gazeux, dont il a déjà été question, est représenté constitué par un empilement de grilles perforées 81 monté en section transversale du tube 3 à cette extrémité inférieure. Ces grilles peuvent être retenues par des pattes du tube 3, comme représenté, ou simplement coincées entre le bout du tube et l'échangeur 8 dans sa partie centrale limitée par un épaulement 79 de centrage du tube 3. Dans tous les cas, le gaz passant entre les lobes de l'échangeur se trouve devoir traverser l'empilement de grilles.

**[0086]** Cette circulation est matérialisée par des flèches sur la figure 8, qui concerne un autre mode de réalisation particulièrement avantageux dans la mesure notamment où il facilite une tranquillisation du flux gazeux au plus près de la plaque froide 22. L'échangeur froid y est réalisé en deux parties 83 et 84 emboltées concentriquement l'une dans l'autre; Chacune présente ses propres lobes de matériau d'échange thermique alternant avec des zones vides libres à la circulation gazeuse. Autrement dit, fonctionnellement l'échangeur est donc percé de canaux se répartissant en deux couronnes, l'une sous le régénérateur 5, l'autre en bout du tube 3. On voit en plus que la pièce interne 83 de l'échangeur est plus courte que la pièce externe 84 qui l'entoure et que, de la sorte, le bout du tube 3 vient se centrer dans la pièce 84 en butée sur la pièce 83.

**[0087]** Un empilement de grilles 82 constitue le feuilleté de tranquillisation du flux gazeux. Ces grilles sont interposées directement contre la plaque froide 22 entre celle-ci et les deux pièces 83 et 84 de l'échangeur. En cas de besoin, elles pourraient être bloquées dans l'échangeur en périphérie, en ménageant à cet effet un épaulement dans la pièce 84 formant la couronne annulaire de cet échangeur.

## 55 Revendications

1. Cryostat pour refroidisseur cryogénique mettant en oeuvre un circuit fermé de gaz de travail entre une

- chambre de compression située dans un carter d'oscillateur de pression associé et une chambre de détente située en fond du cryostat, en situation d'échange thermique avec un composant à refroidir, comportant à l'intérieur d'une enveloppe d'isolation thermique (1), solidaire d'une embase (4) de montage sur ledit carter (50, 60), un régénérateur thermique (5) interposé sur le circuit du gaz de travail, en disposition annulaire autour d'un volume axial (6) s'étendant entre un échangeur froid (8) qui est en contact thermique avec le composant à refroidir (21) et qui fait communiquer le régénérateur (5) avec ledit volume axial en fond du cryostat (30), **caractérisé en ce qu'il** comporte une couronne (71) de distribution de gaz dans ledit régénérateur (5), en tête du cryostat, à partir d'un conduit (39) percé à travers l'embase (4) pour connexion à la chambre de compression, ladite couronne de distribution (71) étant formée par une pièce centrale (10, 20) se montant de manière amovible et à travers ladite embase (4) axialement en son centre, et interchangeable entre un modèle convenant pour un refroidisseur de type à gaz pulsé dans lequel le volume axial (6) fonctionne en piston gazeux et un modèle convenant à un refroidisseur de type à cycle de Stirling dans lequel un piston déplaceur se déplace dans ledit volume axial.
2. Cryostat suivant la revendication 1, **caractérisé en ce que** ladite pièce centrale, avec ladite couronne de distribution (71), est solidaire d'un tube (3) limitant ledit volume axial (6).
  3. Cryostat suivant l'une des revendications 1 ou 2, **caractérisé en ce que** ladite pièce centrale présente, dans le modèle convenant à un refroidisseur de type à cycle de Stirling, un alésage axial propre à être traversé par un piston déplaceur du refroidisseur, introduit à coulissement étanche dans ledit volume axial (6).
  4. Cryostat suivant l'une quelconque des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** ledit échangeur froid (8) présente une structure à géométrie de révolution, faisant alterner autour de l'axe du cryostat, des zones massives (33) en matériau bon conducteur thermique et des zones vides (32) ouvertes au passage du gaz.
  5. Cryostat suivant la revendication 4, **caractérisé en ce que** lesdites zones vides (33) s'étendent de part et d'autre d'un épaulement (34) de centrage d'un tube central (3) limitant ledit volume axial.
  6. Cryostat suivant l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** ladite enveloppe d'isolation thermique (1) présente une paroi tubulaire interne (2) contiguë au régénérateur, fermée par une plaque (22) de réception du composant à refroidir, contre laquelle est apposé ledit échangeur froid (8).
  7. Cryostat suivant l'une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** ledit régénérateur est constitué d'une feuille enroulée sur elle-même dans l'espace annulaire compris entre une paroi interne (2) de ladite enveloppe (1) et un tube central (3) limitant ledit volume axial, dans le prolongement de ladite couronne de distribution, ladite feuille étant usinée, notamment par procédé photo-lithographique, de sorte à former des bandes distinctes (27) à surfaces lisses parallèles à l'axe du cryostat et des barrettes transversales (26) en surépaisseur réunissant ponctuellement les bandes successives.
  8. Cryostat suivant l'une quelconque des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce que** ladite couronne de distribution présente une face inférieure de butée sur ledit régénérateur dans laquelle est creusée une gorge circulaire (45) communiquant par des orifices régulièrement répartis avec une chambre annulaire (42, 43) ménagée extérieurement autour de ladite pièce centrale au niveau de l'embase (4) du cryostat, en communication avec ledit canal (39).
  9. Cryostat suivant l'une quelconque des revendications 1 à 8, **caractérisé par** un feuilleté de grilles de tranquillisation du flux gazeux interposé au fond dudit volume axial contre l'échangeur froid.
  10. Cryostat suivant l'une quelconque des revendications 1 à 9, **caractérisé en ce que** ladite embase (4) forme une bague (17) de montage de ladite pièce centrale (10, 20), dans le prolongement dudit volume axial (6).
  11. Refroidisseur, **caractérisé en ce qu'il** comporte un cryostat suivant l'une quelconque des revendications 1 à 10 correspondant au modèle adapté à un refroidisseur à cycle de Stirling, raccordé au carter (60) d'un oscillateur de pression comportant un piston déplaceur à pilotage synchronisé en déphasage avec un piston de compression et **en ce que** ledit piston déplaceur (55) est mobile axialement dans ledit volume interne (6) du cryostat (30) et passe à coulissement étanche dans un alésage axial (72) prévu à cet effet dans ladite pièce centrale (20) montée dans ladite embase du cryostat.
  12. Refroidisseur, **caractérisé en ce qu'il** comporte un cryostat suivant l'une quelconque des revendications 1 à 10 correspondant au modèle adapté un refroidisseur à gaz pulsé, raccordé au carter (50) d'un oscillateur de pression comportant des moyens de pilotage périodique d'un piston de com-

pression du gaz faisant varier le volume de la chambre de compression et un réservoir tampon de gaz à pression constante, et **en ce que** ladite pièce centrale (10) montée dans l'embase (4) du cryostat comporte des moyens de liaison pneumatique à débit contrôlé avec ledit réservoir (65).

13. Refroidisseur suivant la revendication 12, **caractérisé en ce que** ladite pièce centrale comporte, en plus d'un canal (11) de passage du gaz sous débit contrôlé entre ledit réservoir tampon de gaz à pression constante ménagé à l'intérieur du carter (50) de l'oscillateur de pression, et ledit volume axial (6) interne au cryostat, ce dernier se remplissant de gaz en fonctionnement pour constituer un piston gazeux en déphasage par rapport à la compression périodique, au moins un autre canal (12) à débit contrôlé, débouchant dans une chambre annulaire (42, 43) formée par ladite pièce centrale (10) réalisée conformément à la revendication 8.

14. Refroidisseur suivant la revendication 12 ou 13, **caractérisé en ce que** ledit volume tampon de gaz est ménagé à l'intérieur d'un piston de compression commandé par lesdits moyens de pilotage, qui est à cet effet directement ouvert, dans une chemise de guidage dudit piston, sur ladite pièce centrale (10) du cryostat.

15. Refroidisseur suivant l'une quelconque des revendications 12 à 14, **caractérisé en ce que**, dans une configuration du type à moteur rotatif, lesdits moyens de pilotage comportent un vilebrequin actionnant un mécanisme de transmission de mouvement par roulement à billes mobile dans une gorge ménagée transversalement à l'extérieur dudit piston.

## Claims

1. Cryostat for a cryogenic cooler using a closed working-gas circuit between a compression chamber located in an associated pressure oscillator casing and an expansion chamber located at the bottom of the cryostat, in a situation of heat exchange with a component to be cooled, comprising, inside a thermal insulation envelope (1), secured to a mounting baseplate (4) on the said casing (50, 60), a heat regenerator (5) inserted on the circuit of the working gas, in an annular arrangement around an axial volume (6) lying between a cold exchanger (8) which is in thermal contact with the component to be cooled (21) and which makes the regenerator (5) communicate with the said axial volume at the bottom of the cryostat (30), **characterized in that** it comprises a ring (71) for distributing gas in the said regenerator (5), at the top of the cryostat, from a

pipe (39) drilled through the baseplate (4) for connection to the compression chamber, the said distribution ring (71) being formed by a central part (10, 20) mounted detachably and through the said baseplate (4) axially at its centre, and interchangeable between a model suitable for a cooler of the pulsed-gas type in which the axial volume (6) operates as a gas piston and a model suitable for a cooler of the Stirling cycle type in which a displacer piston moves in the said axial volume.

2. Cryostat according to Claim 1, **characterized in that** the said central piece, with the said distribution ring (71), is secured to a tube (3) limiting the said axial volume (6).

3. Cryostat according to either of Claims 1 and 2, **characterized in that** the said central part has, in the model suitable for a cooler of the Stirling cycle type, an axial bore capable of being traversed by a displacer piston of the cooler, inserted so that it can slide in a sealed manner in the said axial volume (6).

4. Cryostat according to any one of Claims 1 to 3, **characterized in that** the said cold exchanger (8) has a structure with axisymmetric geometry, making solid regions (33) made of a good thermal conductor alternate around the axis of the cryostat with empty regions (32) open to the passage of the gas.

5. Cryostat according to Claim 4, **characterized in that** the said empty regions (33) lie on each side of a shoulder (34) for centring a central tube (3) limiting the said axial volume.

6. Cryostat according to any one of Claims 1 to 5, **characterized in that** the said thermal insulation envelope (1) has an inner tubular wall (2) contiguous with the regenerator, closed by a plate (22) accommodating the component to be cooled, to which the cold exchanger (8) is fixed.

7. Cryostat according to any one of Claims 1 to 6, **characterized in that** the said regenerator consists of a sheet wound over itself in the annular space between an inner wall (2) of the said envelope (1) and a central tube (3) limiting the said axial volume, in alignment with the said distribution ring, the said sheet being machined, in particular by a photolithographic process, so as to form distinct strips (27) with smooth surfaces parallel to the axis of the cryostat and transverse bars (26) in the form of an overthickness bringing together the successive strips at discrete points.

8. Cryostat according to any one of Claims 1 to 7, **characterized in that** the said distribution ring has a lower face for stopping on the said regenerator, in

which face a circular groove (45) is hollowed out, communicating via regularly spaced orifices with an annular chamber (42, 43) made externally around the said central part at the level of the baseplate (4) of the cryostat, in communication with the said channel (39). 5

9. Cryostat according to any one of Claims 1 to 8, **characterized by** a lamination of grids for calming the gas stream inserted at the bottom of the said axial volume against the cold exchanger. 10
10. Cryostat according to any one of Claims 1 to 9, **characterized in that** the said baseplate (4) forms a ring (17) for mounting the said central part (10, 20), in alignment with the said axial volume (6). 15
11. Cooler, **characterized in that** it comprises a cryostat according to any one of Claims 1 to 10 corresponding to the model suited for a Stirling cycle cooler, connected to the casing (60) of a pressure oscillator comprising a displacer piston driven in a synchronized manner so that it is out of phase with a compression piston and **in that** the said displacer piston (55) is able to move axially in the said inner volume (6) of the cryostat (30) and then changes to sliding in a sealed manner in an axial bore (72) provided for this purpose in the said central part (20) mounted in the said baseplate of the cryostat. 20 25 30
12. Cooler, **characterized in that** it comprises a cryostat according to any one of Claims 1 to 10 corresponding to the model suited for a pulsed-gas cooler, connected to the casing (50) of a pressure oscillator comprising means for periodically driving a piston for compressing the gas causing the volume of the compression chamber and a buffer reservoir of gas at constant pressure to vary, and **in that** the said central part (10) mounted in the baseplate (4) of the cryostat comprises means for pneumatic connection at a controlled flow rate with the said reservoir (65). 35 40
13. Cooler according to Claim 12, **characterized in that** the said central part comprises, in addition to a channel (11) for the passage of the gas at a controlled flow rate between the said buffer reservoir of gas at constant pressure made inside the casing (50) of the pressure oscillator, and the said internal axial volume (6) of the cryostat, the latter being filled with gas in operation in order to form a gas piston out of phase with respect to the periodic compression, at least one other channel (12) with a controlled flow rate, opening out into an annular chamber (42, 43) formed by the said central part (10) made according to Claim 8. 45 50
14. Cooler according to Claim 12 or 13, **characterized** 55

**in that** the said buffer volume of gas is made inside a compression piston controlled by the said drive means, which is for this purpose directly open, in a liner for guiding the said piston, on the said central part (10) of the cryostat.

15. Cooler according to any one of Claims 12 to 14, **characterized in that**, in a configuration of the rotary engine type, the said drive means comprise a crankshaft actuating a mechanism for transmitting movement by means of ball bearings which is able to move in a groove made transversely outside the said piston.

#### Patentansprüche

1. Kryostat für Tiefsttemperatur-Kühleinrichtung, der zwischen einer Verdichtungskammer, die sich in einem zugeordneten Druckoszillatorgehäuse befindet, und einer Entspannungskammer, die sich am Boden des Kryostaten befindet und mit einer zu kühlenden Komponente in Wärmeaustausch steht, einen geschlossenen Arbeitsgaskreis verwendet und innerhalb einer Wärmeisolerhülle (1), die mit einer Grundplatte (4) für die Anbringung am Gehäuse (50, 60) fest verbunden ist, einen in den Arbeitsgaskreis eingesetzten Wärmespeicher (5) umfaßt, der ringförmig um ein axiales Volumen (6) angeordnet ist, das sich zwischen einem Kältetauscher (8) erstreckt, der mit der zu kühlenden Komponente (21) in thermischem Kontakt steht und am Boden des Kryostaten (30) eine Verbindung zwischen dem Wärmespeicher (5) und dem axialen Volumen herstellt, **dadurch gekennzeichnet, daß** er einen Kranz (71) umfaßt, der im Wärmespeicher (5) am oberen Ende des Kryostaten Gas von einer durch die Grundplatte (4) verlaufenden Leitung (39), die eine Verbindung mit der Verdichtungskammer herstellt, verteilt, wobei der Verteilungskranz (71) durch ein Mittelteil (10, 20) gebildet ist, das über der Grundplatte (4) abnehmbar angebracht ist und axial durch deren Zentrum verläuft, und zwischen einem Modell, das geeignet ist für eine Kühleinrichtung des Typs mit pulsierendem Gas, in dem das axiale Volumen (6) als Gaskolben arbeitet, und einem Modell, das geeignet ist für eine Kühleinrichtung des Typs mit Stirling-Zyklus, in dem sich ein Verdrängerkolben in dem axialen Volumen verschiebt, austauschbar ist. 20 25 30 35 40 45 50
2. Kryostat nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Mittelteil, das den Verteilungskranz (71) aufweist, mit einem das axiale Volumen (6) begrenzenden Rohr (3) einteilig verbunden ist.
3. Kryostat nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Mittelteil in dem

- für eine Kühleinrichtung des Typs mit Stirling-Zyklus geeigneten Modell eine axiale Bohrung aufweist, durch die ein Verdrängerkolben der Kühleinrichtung verlaufen kann, der in das axiale Volumen (6) dicht gleitend eingesetzt ist. 5
4. Kryostat nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Kältetauscher (8) eine Struktur mit rotationssymmetrischer Geometrie aufweist, in der sich um die Mittelachse des Kryostaten massive Zonen (33) aus einem gut wärmeleitenden Material und Leerzonen (32), die für den Gasdurchlaß offen sind, abwechseln. 10
5. Kryostat nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, daß** sich die Leerzonen (33) beiderseits einer Schulter (34) für die Zentrierung eines das axiale Volumen begrenzenden Mittelrohrs (3) erstrecken. 15
6. Kryostat nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Wärmeisolierhülle (1) eine an den Wärmespeicher angrenzende röhrenförmige Innenwand (2) aufweist, die durch eine Platte (22) für die Aufnahme der zu kühlenden Komponente verschlossen ist, an der der Kältetauscher (8) anliegt. 20 25
7. Kryostat nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Wärmespeicher aus einer aufgewickelten Folie in dem ringförmigen Raum zwischen einer Innenwand (2) der Hülle (1) und einem das axiale Volumen begrenzenden Mittelrohr (3) in der Verlängerung des Verteilungskranzes gebildet ist, wobei die Folie insbesondere durch ein photolithographisches Verfahren in der Weise bearbeitet ist, daß getrennte Stege (27) mit glatten Oberflächen parallel zur Mittelachse des Kryostaten und transversale, überdicke Spangen (26), die die aufeinanderfolgenden Stege punktförmig miteinander verbinden, ausgebildet sind. 30 35 40
8. Kryostat nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Verteilungskranz eine untere Fläche aufweist, mit der er am Wärmespeicher anliegt und in der eine kreisförmige Nut (45) ausgespart ist, die durch regelmäßig verteilte Öffnungen mit einer ringförmigen Kammer (42, 43) in Verbindung steht, die auf Höhe der Grundplatte (4) des Kryostaten außen um das Mittelteil ausgebildet ist und mit dem Kanal (39) in Verbindung steht. 45 50
9. Kryostat nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **gekennzeichnet durch** einen Verbund aus übereinander angeordneten Gasströmungs-Beruhigungsgittern, der am Boden des axialen Volumens gegenüber dem Kältetauscher angeordnet ist. 55
10. Kryostat nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Grundplatte (4) einen Ring (17) für die Anbringung des Mittelteils (10, 20) in der Verlängerung des axialen Volumens (6) bildet. 5
11. Kühleinrichtung, **dadurch gekennzeichnet, daß** sie einen Kryostaten nach einem der Ansprüche 1 bis 10 enthält und, wenn sie dem für eine Kühleinrichtung mit Stirling-Zyklus geeignetem Modell entspricht, mit dem Gehäuse (60) eines Druckoszillators verbunden ist, der einen Verdrängerkolben umfaßt, der phasenverschoben zu einem Verdichtungskolben synchronisiert vorgesteuert wird, und daß der Verdrängerkolben (55) in dem inneren Volumen (6) des Kryostaten (30) axial beweglich ist und sich dicht gleitend in einer axialen Bohrung (72) bewegt, die hierzu in dem in der Grundplatte des Kryostaten angebrachten Mittelteil (20) vorgesehen ist. 20
12. Kühleinrichtung, **dadurch gekennzeichnet, daß** sie einen Kryostaten nach einem der Ansprüche 1 bis 10 enthält und, wenn sie dem für eine Kühleinrichtung mit pulsierendem Gas geeignetem Modell entspricht, mit dem Gehäuse (50) eines Druckoszillators verbunden ist, das Mittel zur periodischen Vorsteuerung eines Gasverdichtungskolbens, der das Volumen der Verdichtungskammer verändert, und einen Pufferspeicher für Gas mit konstantem Druck umfaßt, und daß das in der Grundplatte (4) des Kryostaten angebrachte Mittelteil (10) Mittel für eine Druckluftverbindung mit gesteuertem Durchsatz mit dem Speicher (65) umfaßt. 35 40
13. Kühleinrichtung nach Anspruch 12; **dadurch gekennzeichnet, daß** das Mittelteil zusätzlich zu einem Gasdurchlaßkanal (11) mit gesteuertem Durchsatz zwischen dem Pufferspeicher für Gas mit konstantem Druck, der in dem Gehäuse (50) des Druckoszillators ausgebildet ist, und dem inneren axialen Volumen (6) des Kryostaten, das sich im Betrieb mit Gas füllt, um einen Gaskolben mit Phasenverschiebung in bezug auf die periodische Verdichtung zu bilden, wenigstens einen weiteren Kanal (12) mit gesteuertem Durchsatz umfaßt, der in eine ringförmige Kammer (42, 43) mündet, die durch das gemäß Anspruch 8 verwirklichte Mittelteil gebildet ist. 45 50
14. Kühleinrichtung nach Anspruch 12 oder 13, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Gaspuffervolumen in einem Verdichtungskolben ausgebildet ist, der durch die Vorsteuerung gesteuert wird und hierzu in einem Führungsmantel des Kolbens direkt in das Mittelteil (10) des Kryostaten mündet. 55
15. Kühleinrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis

14, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Vorsteuer-  
mittel in einer Konfiguration des Typs mit rotieren-  
dem Motor eine Kurbelwelle enthalten, die einen  
Bewegungsübertragungsmechanismus über ein  
Kugellager betätigen, das in einer Nut, die transversal zur Außenseite des Kolbens ausgespart ist, be-  
weglich ist.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

FIG. 1

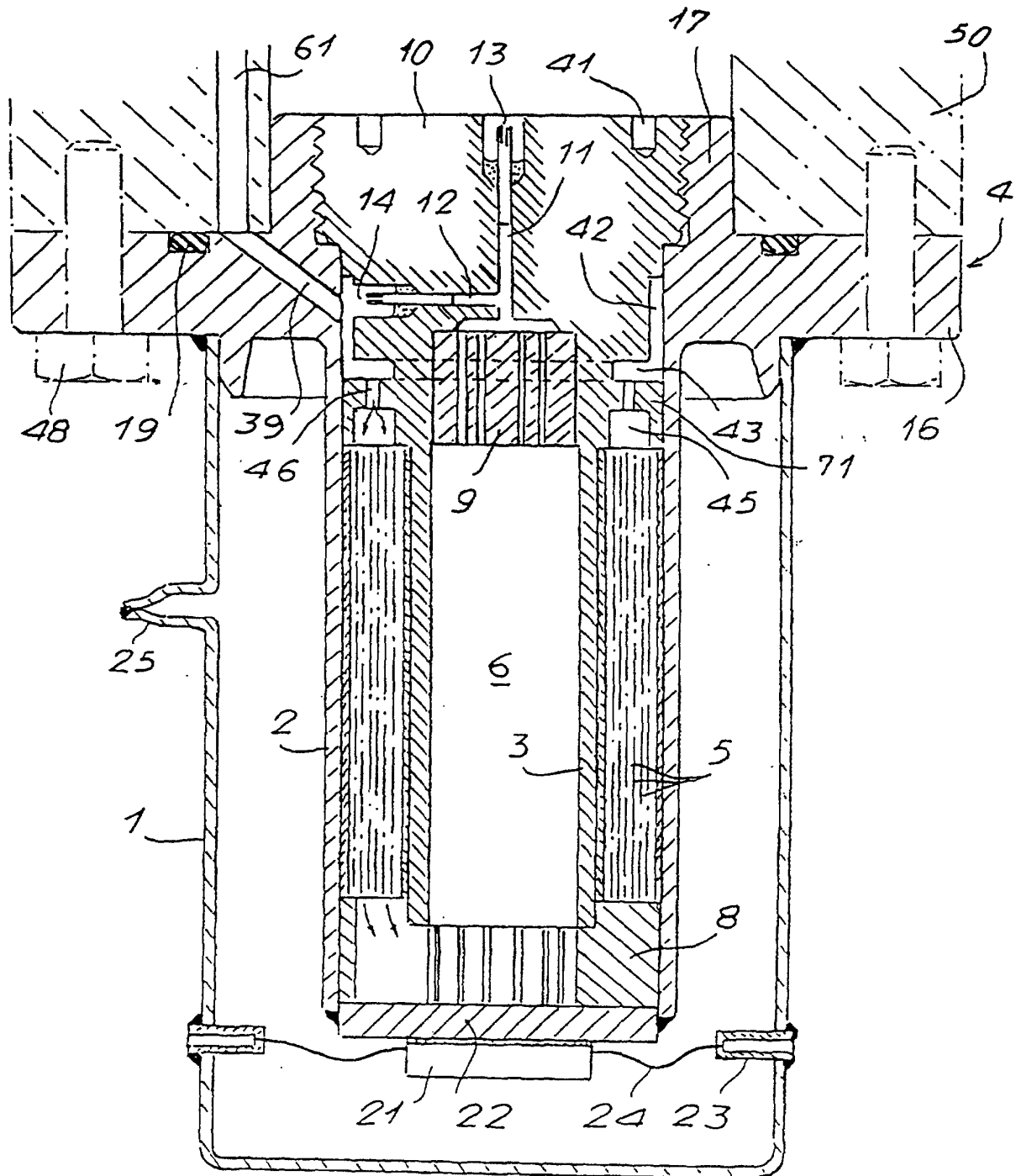


FIG. 2

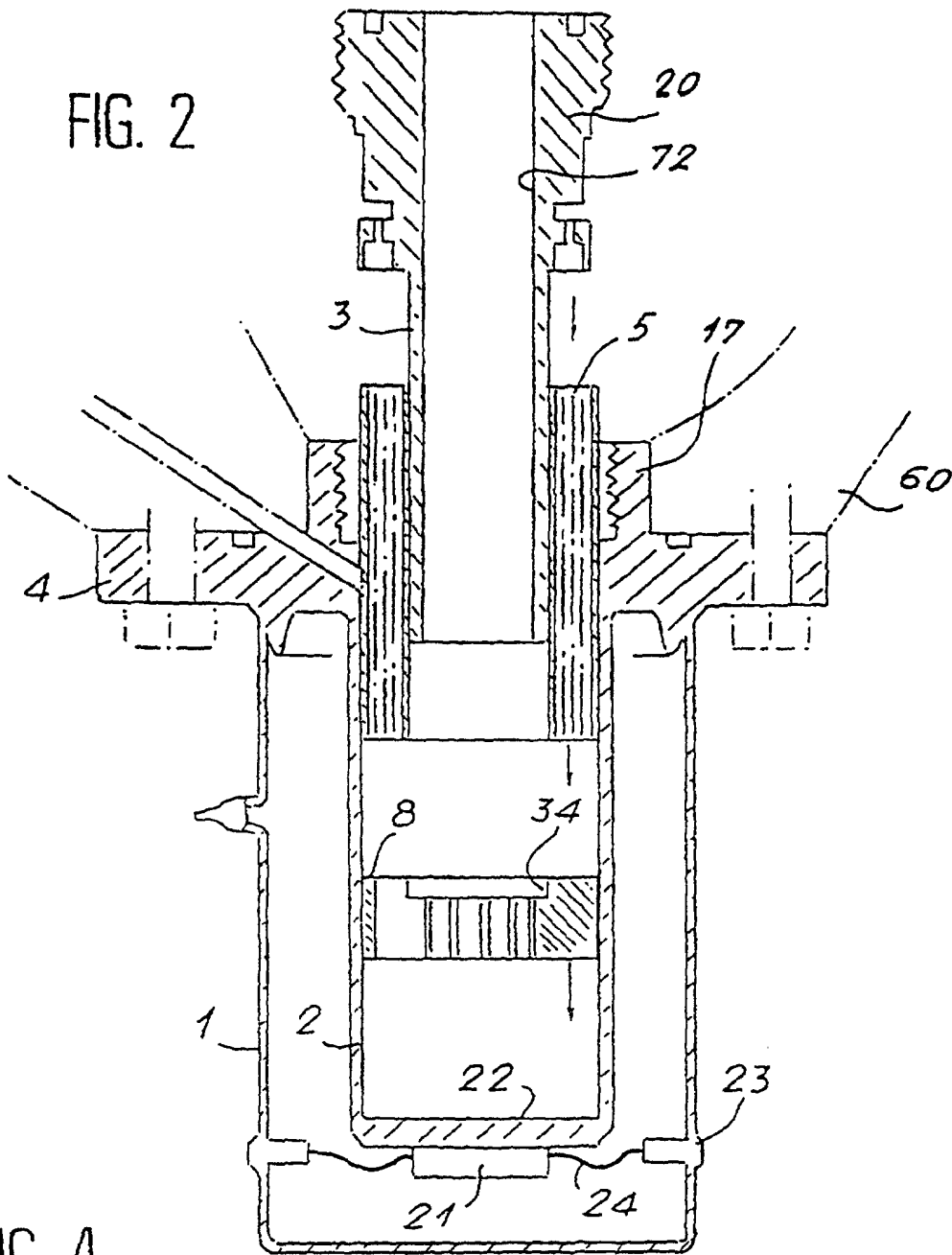


FIG. 4

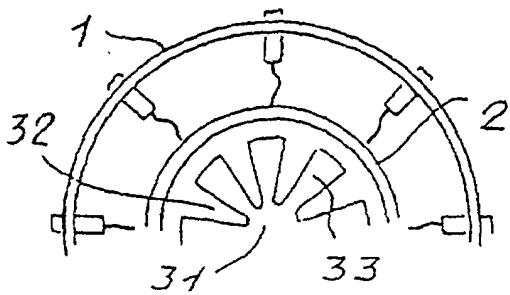
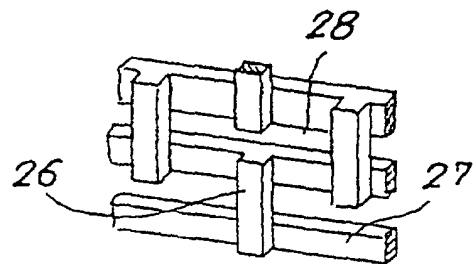


FIG. 3



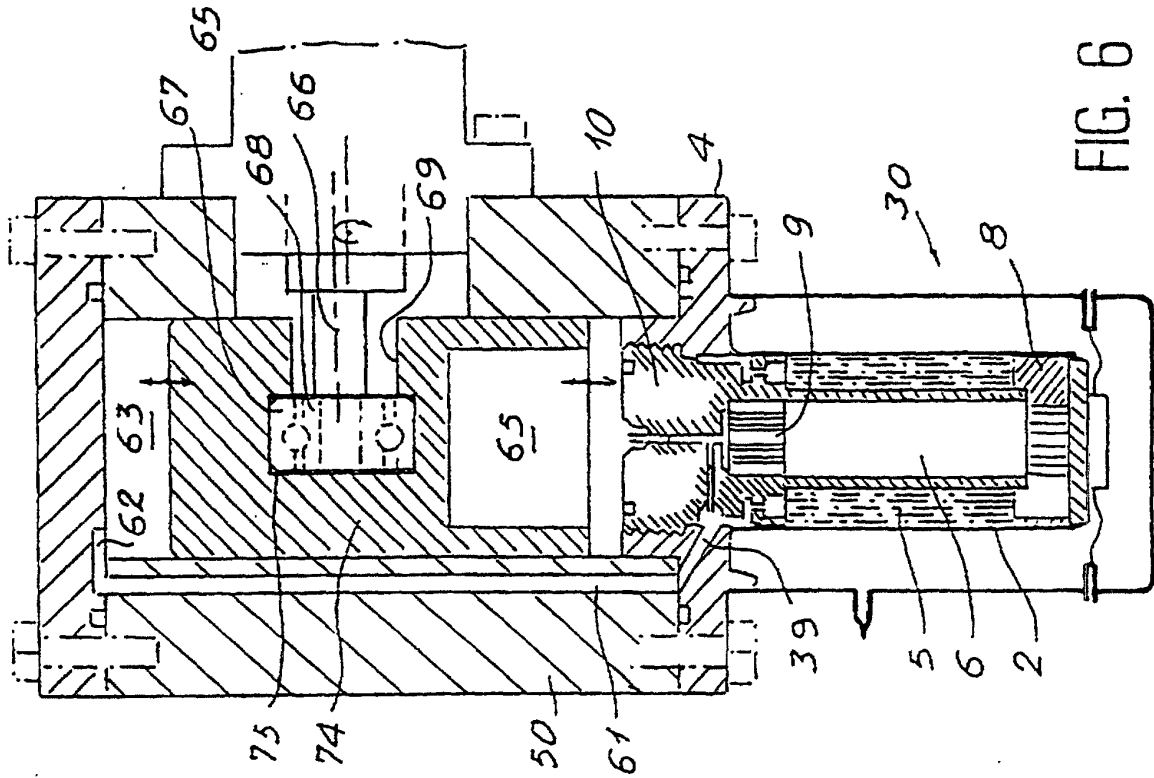


FIG. 6

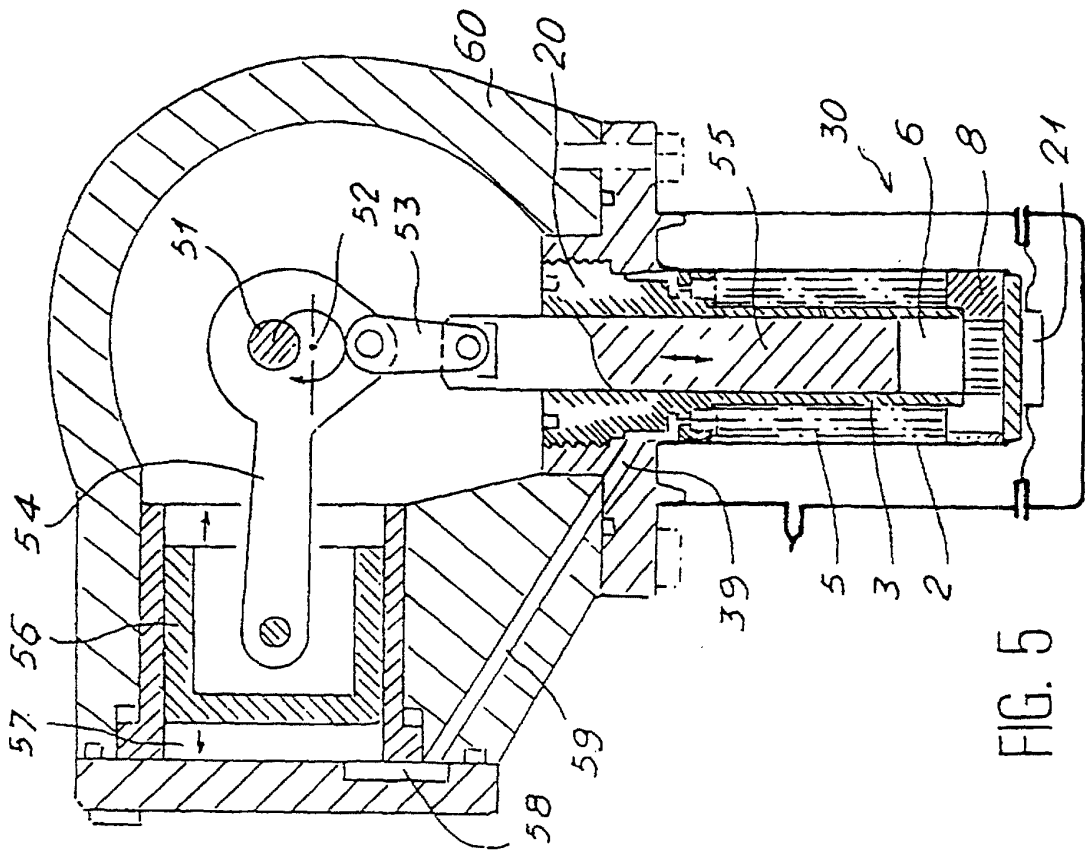


FIG. 5

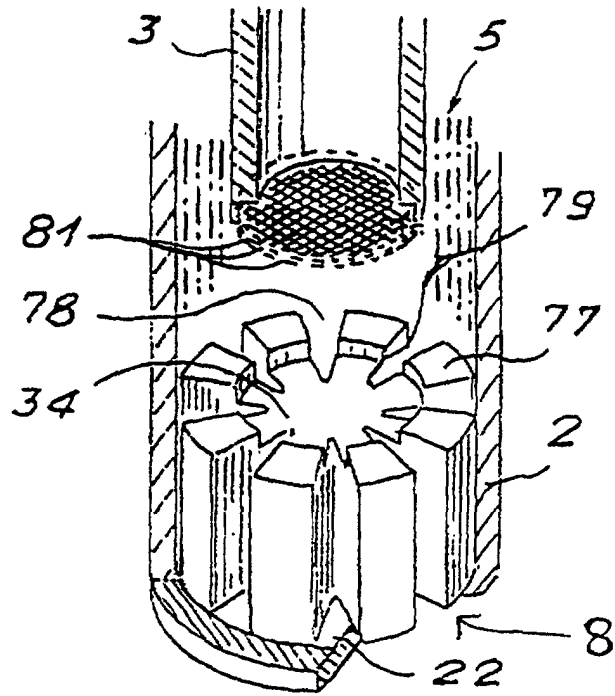


FIG. 7

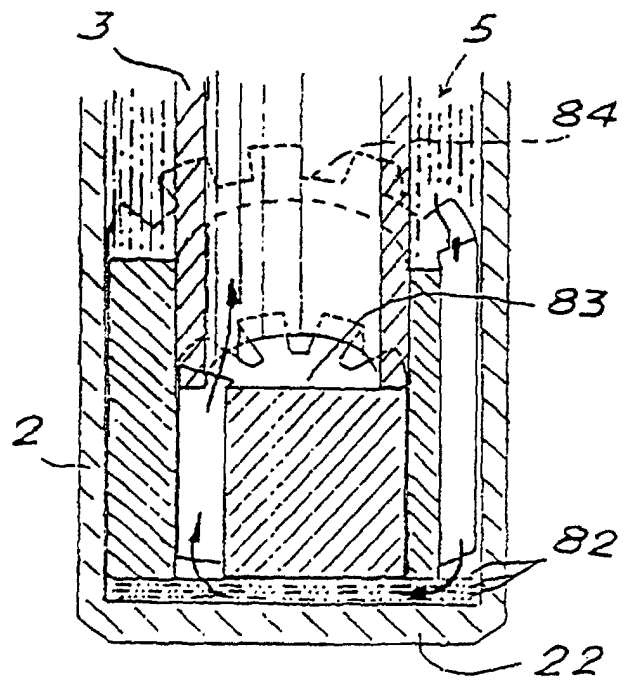


FIG. 8