

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 860 667 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
23.10.2002 Bulletin 2002/43

(51) Int Cl.7: **F25B 9/14**, F04B 35/04,
F04B 45/047

(21) Numéro de dépôt: **98400374.9**

(22) Date de dépôt: **17.02.1998**

(54) **Système de conditionnement de composants fonctionnant à température cryogénique**

Konditionierungsanordnung von bei Tiefsttemperatur arbeitenden Bauteilen

Conditioning system of components operating at cryogenic temperature

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

(30) Priorité: **21.02.1997 FR 9702083**

(43) Date de publication de la demande:
26.08.1998 Bulletin 1998/35

(73) Titulaire: **Thales Cryogenie S.A.**
78280 Guyancourt (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:
EP-A- 0 601 516 EP-A- 0 672 873
FR-A- 2 554 516 GB-A- 2 273 975
US-A- 5 269 147 US-A- 5 275 002
US-A- 5 303 555

EP 0 860 667 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 a pour objet un système de conditionnement destiné notamment au refroidissement des composants électroniques pendant leur fonctionnement, du type comportant pour cela un refroidisseur cryogénique propre à mettre en oeuvre un cycle thermodynamique impliquant périodiquement des phases alternatives de compression et de détente d'un gaz de travail tel que l'hélium. Un tel système est connu des documents EP-A-0 672 873 et US-A-5 275 002.

[0002] Elle trouvera avantageusement application dans tous les équipements utilisant des composants électroniques qui voient leurs performances améliorées quand ils sont maintenus à température cryogénique, comprise en général entre 80 °K et 200 °K. Parmi ces composants, on peut citer plus particulièrement les composants à base de matériaux supraconducteurs à température critique élevée, ainsi que les composants magnétoélectriques, pour lesquels les basses températures allongent le temps de relaxation magnétique.

[0003] Pour tirer le plein profit de l'amélioration des performances des composants telle qu'elle résulte directement de leur maintien à des températures aussi basses, il est apparu hautement souhaitable de concevoir des systèmes et dispositifs de refroidissement cryogénique spécialement adaptés. Il convient que, plutôt que de risquer de limiter ou perturber ces performances, ils soient aptes à recevoir les composants dans des conditions qui apportent leur propre contribution dans le même sens tendant à l'accroissement des performances, notamment par l'amélioration des caractéristiques électriques, l'augmentation de la sensibilité pour des signaux faibles, la réduction du bruit de fond.

[0004] Pour ce faire, l'invention vise essentiellement à assurer l'intégration des composants dans un système de conditionnement qui, tout en permettant leur refroidissement à température cryogénique dans des conditions particulièrement avantageuses, constitue également leur station d'accueil, du point de vue notamment de la résistance mécanique et de la stabilité thermique. Elle a aussi pour objectif de se placer toujours mieux dans la course actuelle à la miniaturisation, en prévoyant une construction de l'ensemble sous forme extrêmement compacte, et néanmoins solide, fiable pour de longues durées d'utilisation, et à prix compétitif. On verra plus loin qu'elle permet même de s'évader des dispositions classiques où le composant est disposé en bout d'un doigt froid à l'opposé d'un compresseur générant les variations de pression.

[0005] Dans ses modes de réalisation préférés, l'invention répond d'autant mieux aux objectifs énoncés ici que, pour un refroidisseur à pilotage pneumatique comme c'est le cas des refroidisseurs à tube de gaz pulsé, dérivés des refroidisseurs appliquant plus généralement un cycle de Stirling, elle permet d'éviter le recours à une chambre tampon de gaz maintenu à pression constante. Elle permet ainsi de s'affranchir de la limita-

tion des solutions classiques en ce qui concerne le volume du refroidisseur. En outre, une telle conception permet de supprimer l'essentiel des pièces mécaniques mobiles, avec les difficultés de leur ajustement, ce qui va dans le sens d'une meilleure qualité en fiabilité de construction et fonctionnement et en longévité.

[0006] Pour trouver des explications sur les solutions connues à ce jour, on pourra se référer utilement à un article de Damien Feger intitulé "Refroidissement des détecteurs optoélectroniques" paru dans "Techniques de l'Ingénieur, traité Electronique" pages E4070-1 à 11. Cet article restant souvent au niveau des principes, on pourra avoir intérêt à se reporter en plus à des réalisations concrètes décrites dans des textes de brevet déposés par la société demanderesse.

[0007] On rappellera simplement ici que le procédé thermodynamique appliqué dans les refroidisseurs du genre considéré consiste, au niveau de la théorie, à faire subir au gaz un cycle répétitif en circuit fermé comprenant une phase de compression et une phase de détente, de part et d'autre d'un régénérateur thermique qui assure une récupération thermique différée dans le temps entre gaz froid détendu et gaz chaud comprimé. Le régénérateur constitue donc une éponge thermique qui, alternativement, retient de la chaleur du gaz résultant de la phase de compression en l'accumulant, et la restitue ensuite au gaz issu de la phase de détente.

[0008] Le régénérateur est classiquement réalisé sous forme d'un tube allongé à une extrémité duquel se situe la zone froide en contact thermique avec le composant à refroidir. Il est rempli d'une structure poreuse, apportant une grande surface spécifique pour les échanges thermiques, qui est constituée en un matériau à faible conductivité thermique propre.

[0009] La présence d'un tel régénérateur étant générale des refroidisseurs connus à cycle de Stirling, la solution des refroidisseurs à gaz pulsé consiste essentiellement à remplacer le régénérateur déplaceur (alors monté mobile à coulissement dans le doigt froid) par un échangeur régénérateur fixe, et à compléter le circuit du gaz de travail par un tube dit de gaz pulsé, ou à pulsations, qui reçoit les impulsions en variation de pression en provenance du compresseur oscillateur de pression par l'intermédiaire d'une liaison pneumatique appropriée. En fonctionnement il s'y instaure une variation dynamique de pression correspondant à celle d'un piston gazeux, grâce à l'introduction d'un déphasage entre variations de pression et variations de débit créé par référence à un réservoir tampon à basse pression dont le volume est constant.

[0010] En pratique, ce déphasage est assuré grâce à la présence d'une ou deux valves sur le circuit de liaison pneumatique entre le tube à pulsations et d'une part le compresseur générateur des oscillations de pression, d'autre part le réservoir tampon à pression et volume constants. Ces valves sont généralement de simples orifices calibrés, dans le souci d'éviter les pièces mécaniques mobiles.

[0011] Dans le cadre de l'art antérieur qui vient d'être rappelé, l'invention a donc pour objet un système de conditionnement de composants fonctionnant à température cryogénique, à refroidissement par un gaz de travail soumis à un cycle thermodynamique en circuit fermé, suivant un cycle périodiquement répétitif impliquant des phases alternatives de compression et de détente, dans un refroidisseur du type à gaz pulsé dont le circuit de gaz de travail comporte un tube à pulsations s'étendant entre un échangeur froid en contact thermique avec le composant à refroidir et un échangeur chaud de réjection de chaleur vers l'extérieur.

[0012] Pour satisfaire aux objectifs principaux exposés précédemment, le système suivant l'invention présente une série de caractéristiques selon les revendications 1 et 17.

[0013] Suivant l'une de ses caractéristiques principales, l'invention consiste essentiellement à ménager le tubes à pulsations dans un bloc de forme parallélépipédique ou équivalente, constituant le coeur du refroidisseur et réalisé en une matière thermiquement isolante, qui supporte l'échangeur froid et l'échangeur chaud accolés respectivement contre deux faces latérales opposées dudit bloc, et qui supporte également, sur une face dite supérieure du même bloc, un dispositif de transfert thermique entre gaz froid détendu et gaz chaud comprimé.

[0014] Suivant une autre de ses caractéristiques principales, l'invention propose d'éviter les valves classiques de régulation débit/pression à l'alimentation d'un circuit unique de gaz pulsé, en disposant en série son tube à pulsations et son dispositif de transfert thermique entre gaz froid détendu et gaz chaud comprimé, constitué par un conduit à régénérateur de transfert thermique différé dans le temps, entre deux canaux d'alimentation sous des pressions périodiquement variables en opposition de phase.

[0015] Suivant encore une autre de ses caractéristiques principales, qui aura généralement la préférence, l'invention propose que le refroidisseur comporte deux circuits de gaz de travail similaires, opératifs en opposition de phase, dont les tubes à pulsations sont ménagés au sein d'un même bloc de matériau isolant thermiquement supportant l'échangeur froid et l'échangeur chaud, ceux-ci étant communs aux deux circuits, ainsi qu'un dispositif de transfert thermique entre gaz froid détendu et gaz chaud comprimé, constitué par un échangeur de récupération à contre-courant entre les deux flux de gaz alimentant les tubes à pulsations appartenant respectivement aux deux circuits de gaz de travail.

[0016] Le bloc principal intégrant l'échangeur chaud et l'échangeur froid constitue avec le dispositif de transfert thermique (notamment l'échangeur de récupération) ce que l'on appellera ici le module passif du système. Il est avantageusement enfermé dans un module d'encapsulation formant boîtier étanche et isolant, dont une paroi de fond supporte le composant à refroidir con-

tre l'échangeur froid.

[0017] A l'opposé, l'échangeur de récupération est de préférence constitué solidaire du bloc principal, contre une face supérieure de celui-ci qui est orientée parallèle à un plan commun aux deux tubes à pulsations. En réalisation pratique, le bloc est alors de forme parallélépipédique, et les échangeurs froid et chaud sont accolés sur ses faces latérales.

[0018] Par ailleurs, et suivant un mode de mise en oeuvre préféré de l'invention, il est prévu de fermer le boîtier par un couvercle qui constitue en même temps une plaque de réjection de chaleur s'écartant du bloc lui-même dans le prolongement de l'échangeur chaud. Ceci peut se concrétiser au mieux par une plaque plane de matériau thermiquement conducteur qui se monte directement sur l'échangeur chaud, dans la mesure où celui-ci, conformément à une autre caractéristique de l'invention, est réalisé sous la forme d'une structure thermiquement conductrice en équerre, recouvrant la face latérale gauche du bloc, et partiellement sa face supérieure en sa partie gauche.

[0019] Naturellement, il doit être entendu ici que toutes les expressions qui font référence à l'orientation (telles que supérieur ou inférieur, avant ou arrière, droite ou gauche, horizontal ou vertical) sont utilisées exclusivement pour faciliter la compréhension du lecteur. En effet, le fonctionnement reste le même quelle que soit la disposition du système dans l'espace.

[0020] Avec le même souci visant à une fabrication miniature compacte et à haut rendement, l'échangeur froid est formé, de préférence, par une structure en équerre thermiquement conductrice recouvrant la face latérale droite du bloc refroidisseur, et partiellement sa face inférieure en sa partie droite.

[0021] Tandis que la portion inférieure, dite horizontale, de cette équerre reçoit le composant à refroidir, il est alors particulièrement commode d'utiliser l'interface entre sa portion verticale et le bloc principal pour y ménager des canaux de communication appartenant à chacun des circuits de gaz de travail entre l'échangeur de récupération à contre-courant et leurs tubes à pulsations respectifs, ou le cas échéant, entre régénérateur et tube à pulsations d'un même circuit. Il est toujours souhaitable que le ou les flux gazeux aient à traverser une zone à surface d'échange importante contre la section d'extrémité du tube à gaz, ce qui s'obtient avantageusement par un micro-usinage approprié de la matière de l'échangeur froid en cet endroit.

[0022] Toutes les caractéristiques de l'invention qui viennent d'être mentionnées se prêtent à différentes variantes de configuration pour les deux circuits de gaz de travail couplés par les échangeurs.

[0023] Suivant une première variante, chaque circuit comporte, comme il est usuel, un régénérateur d'accumulation et restitution thermique différée entre gaz détendu et gaz comprimé, qui se place en série dans le prolongement du tube à pulsations sur le circuit correspondant. La configuration géométrique peut varier, no-

tamment suivant que régénérateur et tube à pulsations sont en ligne de part et d'autre de l'échangeur froid, ou qu'ils sont disposés parallèlement l'un à côté de l'autre, suivant la configuration dite en U, ou encore qu'ils sont en disposition concentrique.

[0024] La solution préférée dans le cadre de l'invention correspondant à la configuration en U. Les deux régénérateurs, appartenant respectivement à chacun des circuits de gaz de travail, sont alors ménagés parallèlement l'un à l'autre dans l'épaisseur de l'échangeur de récupération tel qu'il a été défini ci-dessus. En série avec les tubes, ils reçoivent les impulsions de pression en opposition de phase. Les canaux et orifices d'entrée du gaz sont disposés à une même extrémité, et ceux de sortie à l'autre extrémité, ce qui assure l'effet local de circulation à contre-courant.

[0025] Suivant une seconde variante, qui aura la préférence dans la plupart des applications de l'invention, les circuits de gaz de travail ne comportent plus ce genre de régénérateur. Dans ce cas, l'échangeur de récupération thermique à contre-courant n'a que son rôle propre à remplir. Conformément à l'un des modes de mise en oeuvre préférés de l'invention, il suffit qu'il soit configuré pour obliger le gaz de travail, dans chacun des deux circuits, à suivre un trajet laminaire en serpentins entre un orifice de communication avec des moyens oscillateurs de pression et un orifice de communication avec l'une des extrémités du tube à pulsations correspondant.

[0026] Un tel échangeur peut être avantageusement réalisé par un ensemble composite à trois couches, comprenant une couche intermédiaire en matériau conducteur formant séparateur entre des corrugations appropriées creusées dans deux couches extérieures pour former les trajets souhaités.

[0027] D'autres caractéristiques de l'invention concernent plus spécialement un module dit actif qui est combiné au système pour générer les oscillations de pression destinées à l'alimentation en pression périodiquement variable en opposition de phase, soit du régénérateur et du tube à pulsations d'un même circuit de gaz de travail, soit, de préférence, de l'un et l'autre des deux circuits de gaz de travail.

[0028] Pour l'essentiel, ce générateur ou oscillateur de pression, avantageusement accolé solidaire avec le boîtier ou module d'encapsulation, notamment contre une plaque de réjection de chaleur formant la face couvercle du boîtier, est de préférence de type comportant un élément flexible divisant une cavité ménagée en son sein en deux chambres différentes, de volumes complémentaires, qui sont en communication pneumatique avec les canaux d'alimentation, donc de préférence avec respectivement chacun des tubes à pulsations par l'intermédiaire de l'échangeur de récupération à contre-courant.

[0029] Un tel élément flexible, qu'il soit sous la forme d'une lame pivotante ou sous celle d'un disque fixe en son pourtour, peut être notamment commandé dans ses

déformations (de part et d'autre d'une position médiane dans ladite cavité) par tous moyens électriques appropriés en relation avec sa constitution.

[0030] D'autres modes de mise en oeuvre de la présente invention se traduisent par un système de conditionnement cryogénique de composants répondant aux mêmes particularités en ce qui concerne le coeur du refroidisseur, avec ses échangeurs froid et chaud associés, et respectant les mêmes principes pour la combinaison des trois modules, mais où l'un des tubes ménagés dans le module passif sert de régénérateur pour l'autre, sur un même circuit de gaz de travail.

[0031] En l'absence d'un échangeur spécial de récupération, un réservoir à pression constante peut être ménagé dans le module actif contenant le générateur de pression, notamment à l'arrière d'un simple compresseur à piston mobile. D'autre part, les canaux de communication entre le générateur de pression et le refroidisseur peuvent être adaptés pour offrir une section de passage calibrée assurant un déphasage entre débit et pression dans le circuit de gaz et mettre les deux tubes en série.

[0032] Le système de l'invention répondant aux particularités ci-dessus peut être adapté à un seul circuit de gaz de travail, dès lors qu'il passe par un tube à pulsations de pression ménagé dans le bloc coeur du refroidisseur et par un tube régénérateur accolé contre ce bloc dans le module passif. La notion de tube doit être comprise ici comme s'étendant à toutes formes de sections pour un conduit tubulaire. En particulier, le tube ou conduit de matériau régénérateur intégré sous forme d'une plaque accolée au bloc principal présentera de préférence une section rectangulaire.

[0033] Ce même mode de réalisation à un seul circuit de gaz de travail tire profit, conformément à l'invention, non seulement des différentes caractéristiques concernant les dispositions mécaniques, la conception des pièces et leur mode d'assemblage, mais aussi de la combinaison avec un générateur de pression à deux chambres complémentaires. Il ne s'agit plus alors d'alimenter deux circuits en opposition de phase, mais d'alimenter le tube à pulsations par une chambre, le régénérateur par l'autre.

[0034] L'invention sera maintenant plus complètement décrite dans le cadre de ses caractéristiques préférées et de leurs avantages, en faisant référence aux figures des dessins annexés qui en illustrent deux modes de réalisation particuliers, et dans lesquelles :

- la figure 1 représente schématiquement un système de conditionnement réfrigéré à deux circuits de gaz de travail, vu suivant une coupe longitudinale décalée par rapport à son axe médian ;
- la figure 2 est une coupe schématique de son oscillateur de pression considéré en vue de dessus par rapport à la figure 1 ;

- la figure 3 montre plutôt l'échangeur de récupération dans le même genre de coupe schématique ;
- la figure 4 montre les trois modules principaux du système dans leur apparence extérieure suivant une vue éclatée avant assemblage ;
- et la figure 5 illustre en perspective la constitution du module passif d'un système à un seul circuit de gaz de travail.

[0035] Les figures illustrent le système de conditionnement de composants suivant l'invention dans une réalisation particulièrement complète, intégrant dans un même ensemble mécanique, compact et solide, tous les moyens mécaniques et pneumatiques pour assurer :

- les fonctions d'un refroidisseur cryogénique à cycle thermodynamique mis en oeuvre dans un circuit fermé de gaz de travail au voisinage immédiat d'un composant électronique à refroidir,
- celles donc d'un générateur de pression associé, imposant périodiquement détente et compressions alternatives du gaz de travail dans ce circuit,
- celles d'un boîtier de protection formant aussi station d'accueil thermiquement isolante pour le composant et supportant ses connexions électriques avec l'extérieur.

[0036] Les figures 1 à 4 concernent un système à deux circuits de gaz pulsé couplés. Conformément à l'invention, refroidisseur et générateur de pression définissent en réalité deux circuits distincts de gaz de travail, qui opèrent suivant le même cycle thermodynamique, mais en opposition de phase l'un par rapport à l'autre.

[0037] Les deux circuits se combinent à de multiples niveaux, principalement par une interaction de leurs effets thermiques dans le refroidisseur et par leurs liaisons respectives à un même oscillateur générateur des variations de pression, mais aussi au niveau des échangeurs de chaleur avec d'une part le composant à refroidir, d'autre part avec l'extérieur en réjection de chaleur, plus le boîtier qui leur est commun.

[0038] Les deux circuits sont identiques dans leur définition hors fonctionnement, et ménagés parallèlement entre eux. Leurs différentes parties seront référencées par les mêmes chiffres, suivis de la lettre a ou b respectivement. Ils se placent l'un derrière l'autre dans la disposition de la coupe de la figure 1

[0039] Dans la conception mécanique de l'ensemble, on distingue :

- un module dit passif 10, qui constitue le refroidisseur proprement dit,
- un module dit actif 20, qui comporte l'oscillateur de

pression intégré,

- et un module d'encapsulation 30 formant boîtier pour le refroidisseur avec ses échangeurs.

[0040] Dans le module passif 10, le coeur du refroidisseur est essentiellement formé par un bloc parallélépipédique 11, constitué en un matériau massif à bonnes propriétés d'isolation thermique. On peut utiliser à cette fin du verre tel le Pyrex ou une matière céramique.

[0041] Deux tubes borgnes 1a et 1b sont creusés dans ce bloc 11. Ils appartiennent respectivement à chacun des circuits de gaz de travail, seul le tube 1a étant visible sur la coupe de la figure 1. En fonctionnement, chacun des tubes constitue le tube à pulsations de son propre circuit, en transmettant d'un bout à l'autre les ondes de pression générées depuis l'oscillateur, suivant le mode de fonctionnement d'un piston gazeux dans un cycle thermodynamique du type à gaz pulsé.

[0042] Comme il se doit d'une construction miniaturisée pour la mise en oeuvre d'un tel cycle, le refroidisseur intègre avec lui deux échangeurs, l'un 14 dans la zone chaude, l'autre 16 dans la zone froide. Toutefois, il est à remarquer que, conformément à l'invention, ces deux échangeurs sont communs aux deux circuits de gaz de travail. Ils sont l'un et l'autre réalisés en un matériau à forte conductivité thermique, fait notamment d'un métal ou d'un composé métallique, tel aluminium, silicium, saphir, oxyde de béryllium, nitrure d'aluminium, cupro-tungstène, molybdène.

[0043] L'échangeur froid 16 est directement en contact thermique avec le composant à refroidir 40, ce dernier étant appliqué dessus, et éventuellement fixé à lui par collage. Naturellement, il pourrait s'agir de plusieurs composants d'un même circuit électronique. Un matériau particulièrement bien adapté pour constituer cet échangeur est le silicium monocristallin d'orientation (110). Ce support conducteur peut en outre être percé de canaux micro-usinés améliorant les conditions d'échange thermique. Il en est ainsi dans l'exemple décrit pour sa zone qui se situe contre la section d'extrémité des tubes à pulsations.

[0044] Quant à l'échangeur chaud 14, il a pour rôle, comme il est classique, d'assurer la réjection de chaleur vers l'extérieur. Comme l'échangeur froid il est accolé à plat sur une face du bloc il en bout des tubes 1a-1b, mais à son opposé par rapport à ces derniers. Pour un refroidisseur à deux tubes horizontaux comme celui de la figure 1, les échangeurs 14 et 16 recouvrent les faces latérales du bloc 11, respectivement celle à droite, et celle à gauche, ici du côté fermé des tubes à pulsations.

[0045] Conformément à l'invention, le module passif 10 comporte en plus un troisième échangeur 13. Sa fonction première est d'assurer un transfert thermique entre gaz chaud comprimé et gaz froid détendu. Il s'agit donc d'une récupération thermique. Toutefois, dans la mesure où le système comporte deux circuits de gaz de travail couplés pour fonctionner en interaction, cet

échangeur de récupération est un échangeur à contre-courant entre deux conduits parallèles guidant les flux de gaz alimentant les deux tubes à pulsations. A cet effet, les conduits de gaz internes à l'échangeur 13 sont en liaison pneumatique, par des canaux de communication dont il sera question plus loin, avec le tube 1a ou 1b du même circuit de son côté ouvert, donc à droite sur la figure 1.

[0046] Du point de vue de la fabrication mécanique, cet échangeur 13 se présente sous la forme d'une plaque plane, plus ou moins épaisse suivant la section de passage nécessaire pour les flux de gaz. Et cette plaque est accolée fixe sur l'une des faces du bloc 11. Elle fait donc partie intégrante du refroidisseur, c'est-à-dire du module passif 10. Elle peut même être constituée directement par usinage approprié du même matériau que le bloc 11 dans certains cas.

[0047] Dans l'une des formes de mise en oeuvre de l'invention, qui cependant ne fait pas l'objet d'une figure spéciale dans les dessins annexés, l'échangeur 13 joue simultanément le rôle qui est dévolu, de manière classique, au régénérateur des refroidisseurs à cycle de Stirling. On parle ici d'un régénérateur fixe, puisque le cycle thermodynamique appliqué est du type à gaz pulsé.

[0048] Un tel cycle avec régénération thermique implique emmagasinement et restitution de chaleur de manière alternative au cours du cycle au sein d'un même tube, sur chaque circuit de gaz de travail individuel. A cet effet, le tube est rempli de billes de verres, ou d'une structure analogue à fort ρC_p offrant une grande surface spécifique dans un espace réduit, de manière à constituer une "éponge thermique".

[0049] Dans le cadre de l'invention, les tubes régénérateurs sont formés dans deux conduits parallèles ménagés au sein de l'échangeur. Comme les flux de gaz circulent en opposition de phase (de droite à gauche l'un dans un sens l'autre dans l'autre sur la figure 1), l'effet régénératif se combine avec l'effet récupératif spécifique que procure l'échange à contre-courant. Celui-ci est assuré par exemple par des microcanaux qui augmentent localement la conduction thermique à travers la masse de l'échangeur.

[0050] Cependant, la solution illustrée ici est celle d'un cycle exclusivement récupératif, afin d'éviter les contraintes du remplissage par un matériau régénérateur. On se contente alors d'imposer séparément aux deux flux de gaz des trajets de circulation respectifs à travers l'échangeur tels qu'il s'établisse un échange thermique efficace entre eux. En outre, les conduits dans l'échangeur sont parallèles par leurs entrées et sorties. De la sorte, l'échange se déroule à contre-courant du fait que dans le même temps, les deux flux de gaz s'y déplacent localement sous l'effet des impulsions de pression qu'ils reçoivent en opposition de phase.

[0051] Dans le cas de l'exemple choisi, l'échangeur est en pratique sous forme d'une masse de matériau thermiquement conducteur dans laquelle sont ménagés

deux conduits décrivant des trajets parallèles en serpentin. Ces deux conduits sont définis pour un écoulement essentiellement laminaire léchant des corrugations convenablement orientées.

[0052] D'une manière plus précise, l'échangeur 13, de construction miniature, est constitué par une plaque composite en trois couches. Les conduits 6a-6b sont creusés en surface des couches extérieures face à la couche intermédiaire. Cette dernière sert de séparateur et de conducteur thermique entre les deux circuits. Les deux couches extérieures n'ont pas tant besoin d'être conductrices. Par usinage photolithographique et assemblage des couches par collage (chimique ou électrochimique), on a su réaliser l'échangeur sous une épaisseur ne dépassant pas 1 millimètre.

[0053] Revenant maintenant aux échangeurs froid et chaud, on peut observer des figures qu'ils sont construits de manière particulière. Chacun est en forme d'une structure plate pliée en équerre autour d'une arête du bloc 11 formant le coeur du refroidisseur.

[0054] Ainsi, la structure en équerre formant l'échangeur froid 16 s'étend de la face latérale droite du bloc 11 à la partie droite de sa face inférieure. Le composant à refroidir 40 est fixé en contact thermique dessus, de préférence par collage. A l'opposé, la structure en équerre 14 formant échangeur chaud enveloppe le bloc sur sa partie gauche, en recouvrant à la fois une fraction de sa face supérieure et la totalité de sa face latérale.

[0055] En effet, il est prévu qu'en fonctionnement, la partie gauche du bloc 11, du côté où les tubes 1a et 1b sont fermés, constitue la zone chaude du refroidisseur. La zone froide se situe à l'inverse du côté droit du bloc 11, là où les tubes 1a et 1b s'ouvrent pour être mis en communication avec les moyens qui permettent d'y générer des pulsations de pression (oscillateur 20) par l'intermédiaire de l'échangeur à contre-courant 13.

[0056] En outre, une plaque plane 15, réalisée en un matériau fortement conducteur thermique, est rapportée sur le bloc 11 pour mieux assurer la réjection de chaleur vers l'extérieur. Toujours dans la disposition de la figure 1, elle se situe en réalité à l'écart de la face supérieure du bloc 11 dans toute sa partie droite, alors que sur la gauche elle est scellée sur l'échangeur chaud, par procédé électrochimique ou par collage. Elle se situe donc en prolongement de l'échangeur chaud pour l'évacuation de la chaleur à partir du bloc 11.

[0057] Comme on peut le constater sur les figures, et comme on l'a déjà indiqué, le coeur du refroidisseur, solidaire des échangeurs formant avec lui le module passif 10, et portant le composant collé sur sa face inférieure, est monté à l'intérieur du module d'encapsulation 30.

[0058] Ce dernier forme un boîtier étanche qui est fermé par un couvercle constitué par la plaque 15 de réjection de chaleur. Les dimensions de celle-ci sont suffisantes pour recouvrir la tranche supérieure 31 des parois du boîtier représentées verticales.

[0059] La paroi formant son fond 32 supporte un circuit imprimé 33 qui assure les connexions électriques

entre le composant 40 et des pattes de sortie 34, par l'intermédiaire de traversées isolantes étanches 36. Il est schématiquement illustré qu'à l'extérieur de l'ensemble, les pattes 34 se branchent sur un circuit imprimé 35 d'alimentation du composant 40 et d'exploitation des signaux électroniques qu'il fournit.

[0060] Par ailleurs, les dimensions du boîtier 30 épousent celles du bloc 11 en largeur (profondeur sur la figure 1), plus l'épaisseur des échangeurs en largeur. Sous réserve d'un collage étanche entre les surfaces en vis-à-vis, on pourra remplir l'environnement fermé par l'échangeur chaud d'un gaz inerte lourd, tel un mélange de xénon et de krypton. Cependant, il est préférable de faire régner le vide dans l'espace situé en dessous du bloc 11. En variante, on peut aussi prévoir de combler ces espaces vides par un matériau de remplissage ou par des variations de hauteur appropriées de la section rectangulaire du bloc principal.

[0061] Du côté droit de ce bloc, des orifices et canaux 2a et 2b sont délimités dans la structure de l'échangeur froid 16, plus exactement ici à son interface avec le bloc principal, de manière à assurer la communication entre chacune des extrémités ouvertes des tubes 1a et 1b respectivement et l'extrémité droite de l'échangeur à contre-courant 13. A l'extrémité gauche du même échangeur, on trouve des orifices 3a et 3b respectivement, qui sont percés de lui à travers la plaque couvercle 15 jusqu'à l'oscillateur de pression.

[0062] Pour la commodité de l'interprétation, la figure 1 montre les canaux et orifices 2a et 3a dans le même plan diamétral du tube à pulsations 1a, avant et après les circonvolutions dans l'échangeur 13. Leurs homologues de l'autre circuit de gaz de travail sont supposés se situer derrière. Pour des raisons de parallélisme des trajets à l'intérieur de l'échangeur 13 et d'identité entre leurs longueurs, on pourra préférer cependant une répartition croisée des entrées et sorties.

[0063] D'un autre point de vue, on remarque sur les figures que du côté chaud, les deux tubes à pulsations 1a et 1b, là où ils sont fermés borgnes à gauche, sont néanmoins reliés entre eux par un perçage capillaire. Ce capillaire 61 est représenté percé à travers la matière du bloc 11. Il pourrait tout aussi bien être ménagé à l'interface entre ce bloc et la matière de l'échangeur chaud 14. Sa présence suffit à jouer un rôle de déphaseur analogue à celui des valves classiques des refroidisseurs à tubes pulsés, dans la régulation du déphasage entre débit et pression à l'alimentation du tube pulsé, compte tenu du fait que cette alimentation est elle-même déphasée dans l'un des tubes par rapport à l'autre.

[0064] Le module actif 20, générant les pulsations de pression, est monté sur la plaque couvercle 15 comme il est montré sur les figures. Il est constitué par une masse de matériau conducteur thermique, globalement de forme parallélépipédique qui vient s'appliquer sur la face supérieure du module passif encapsulé. Toutefois, il s'étend en débord du boîtier 30 du côté chaud du refroidisseur,

et il est échancré en cet endroit pour former des ailettes 22 qui contribuent efficacement à l'évacuation de chaleur vers l'extérieur.

[0065] La masse 21 enferme une cavité étanche 23, laquelle contient un élément flexible qui la divise en deux chambres de volume variable en complément l'une de l'autre, de part et d'autre d'une position médiane de repos dudit élément où elles sont en équilibre de pression. Les deux chambres 4a et 4b appartiennent respectivement à chacun des circuits de gaz de travail. Pour cela, la paroi inférieure du module est percée de deux orifices 5a et 5b qui se placent exactement en correspondance avec les orifices homologues 3a-3b de la plaque 15.

[0066] Dans le mode de réalisation représenté, l'élément flexible qui sépare les deux chambres complémentaires est constitué par une lame pivotante 26. Il s'agit d'une lame rectangulaire qui est encastrée étanche dans la masse du module à l'une de ses extrémités, en 27 à droite sur la figure. Son autre extrémité est libre ; au cours des déformations de la lame, elle glisse en contact sur la paroi interne opposée de la cavité 23, qui est courbe à cet effet.

[0067] De part et d'autre de sa position médiane de repos, la lame 26 va jusqu'à des positions extrêmes symétriques où elle s'applique contre la paroi de la cavité 23. Une forme adaptée de cette paroi réduit la chambre correspondante à un volume nul au maximum de pression dans son circuit. En pratique, le jeu fonctionnel sur les trois tranches libres de la lame est de l'ordre de 50 microns.

[0068] Suivant une variante de mise en oeuvre de l'invention, la lame 26 est remplacée par un disque circulaire qui est flexible pour être déformé par son centre et qui est encastré étanche sur tout son pourtour dans la paroi de la cavité 23, laquelle est alors de section circulaire, du moins en cet endroit, c'est-à-dire dans son plan médian vertical.

[0069] A la lame 26 il est associé des moyens de commande électriques qui lui impriment un mouvement de déformation périodique, alternativement de part et d'autre du plan médian de la cavité 23. Ces moyens sont illustrés sur la figure 2 par deux couples d'électrodes. Chaque couple comportant une électrode 27a-27b solidaire de la lame 26 qui est portée à la tension de référence, et une électrode en regard 28a-28b dans la paroi de la cavité 23. Les électrodes externes de chaque couple, 28a et 28b, sont soumises à des tensions périodiques opposées, qui combinent leurs effets en attraction et répulsion de la lame 26.

[0070] On a fait apparaître schématiquement sur la figure 2, des fils 24 et 29 d'alimentation électrique des électrodes. Un circuit de commande non représenté assure la régulation des déformations de la lame 26 ; il est fixé plaqué sur le carter de l'oscillateur. Sur la figure 2, les électrodes externes apparaissent en volume dans la masse du carter de l'oscillateur, mais elles sont de préférence réalisées par de simples revêtements con-

ducteurs déposés sur la surface des parois de cavité 23, et alimentés comme les électrodes internes depuis la face droite de l'oscillateur.

[0071] Tout en restant dans le cadre de la présente invention, le mode de commande des déformations de l'élément flexible générant les oscillations de pression peut se concrétiser sous différentes variantes. En particulier on peut utiliser une lame rectangulaire en matériau piézo-résistif multi-couches dans laquelle sont enchâssées deux électrodes en Kovar, les contacts électriques étant procurés par des dépôts métalliques au niveau de son encastrement dans le carter de l'oscillateur.

[0072] Le carter 21 du module actif est par exemple en alumine, matériau à bonne conduction thermique et à grande résistance électrique. Il est métallisé sur sa face inférieure pour être scellé par soudure sur la plaque 15.

[0073] A titre d'exemple, un système de conditionnement tel que décrit et illustré par les figures peut être réalisé, en vue d'une puissance frigorifique de 100 mW à 180 °K pour une température ambiante de 30 °C, sous des dimensions de 35 mm par 25 mm par 25 mm, avec un boîtier en céramique présentant une épaisseur de parois de 1,5 à 2 millimètres, et un oscillateur assurant des impulsions de pression à une excursion maximale de 20 % par rapport à une pression de chargement de 2 bars.

[0074] L'invention n'étant pas limitée au mode de réalisation préféré décrit ci-dessus en référence aux figures 1 à 4, on rappellera que l'échangeur 13, décrit dans le cadre d'un cycle purement récupératif, peut être remplacé par un dispositif de transfert thermique différé entre gaz froid détendu et gaz chaud comprimé, impliquant de remplir les conduits de gaz d'un matériau emmagasinant l'énergie thermique pour la restituer ensuite au cours des phases du cycle. Le conduit appartenant à chaque circuit joue alors le rôle d'un tube régénérateur, en série avec le tube à pulsations correspondant entre des canaux de communication avec la chambre associée du générateur de pression. Si nécessaire, les différents canaux peuvent être calibrés dans la section de passage qu'ils offrent au gaz de travail.

[0075] La figure 5 des dessins annexés illustre une variante du système de l'invention dans laquelle l'oscillateur tel que déjà décrit est utilisé en combinaison avec un module passif similairement encapsulé dans son boîtier, mais dans laquelle le coeur du refroidisseur ne comporte plus qu'un circuit de gaz de travail, incluant un tube à pulsations en série avec un dispositif de récupération thermique de type régénératif.

[0076] Le coeur du refroidisseur comporte un tube à pulsations unique 51 creusé longitudinalement dans le bloc principal 11. La structure générale du module passif est construite comme ci-dessus. Le tube 51 débouche à l'interface avec l'échangeur froid 16, dans une zone où sa matière est micro-usinée pour augmenter sa surface spécifique en communication avec un canal vertical 52. Du côté opposé, on voit l'échangeur chaud 14,

qui est ici formé d'une seule pièce avec la plaque 53 du dispositif de récupération surmontant le bloc 11.

[0077] Contrairement au cas précédent, le tube 51 débouche également du côté gauche du bloc 11, dans un canal 54 qui ferme le circuit de gaz par communication avec l'une des chambres de l'oscillateur de pression (chambre 4a de la figure 2). L'autre chambre, par un canal 55, communique avec l'extrémité gauche du régénérateur 56 formé dans la plaque 53, du côté chaud du refroidisseur. Du côté froid, le circuit de gaz se ferme entre le régénérateur 56 et le tube 51 par le canal 52 déjà mentionné.

[0078] Le régénérateur 56 forme un conduit de section aplatie ménagé dans la plaque 53. L'effet de régénération par récupération du travail développé à la source chaude est obtenu en le constituant par un matériau fait d'une mosaïque de plots de verre micro-usinés par photolithographie en surface d'une plaque de verre, sous des dimensions de 100 à 200 microns. La plaque 53 est donc constituée en réalité par deux plaques de verre assemblées, avec une plaque pleine 58 recouvrant la plaque microusinée 57.

[0079] Dans le refroidisseur ainsi constitué, le fonctionnement conforme à un cycle régénératif à gaz pulsé est assuré par l'oscillateur comme il le serait par un second piston de compresseur à double effet en lieu et place des valves de déphasage et du réservoir tampon des solutions classiques. Parmi les avantages obtenus, on supprime ainsi les volumes morts, qui sont toujours pénalisants, surtout aux échelles miniatures.

[0080] Enfin, on aura compris dans toutes les formes de réalisation décrites, il sera commode de faire largement appel aux techniques de collage chimique ou électrochimique pour assembler les différentes pièces constituant les modules du système de l'invention, aux techniques de photolithographie et perçage ultrasonique pour réaliser les usinages, et aux techniques de soudage verre/métal ou céramique/métal pour ce qui est des traversées électriques étanches.

Revendications

1. Système de conditionnement de composants fonctionnant à température cryogénique, à refroidissement par un gaz de travail soumis à un cycle thermodynamique en circuit fermé, suivant un cycle périodiquement répétitif impliquant des phases alternatives de compression et de détente, dans un refroidisseur du type à gaz pulsé dont le circuit de gaz de travail comporte un tube à pulsations (1a, 1b) s'étendant entre un échangeur froid (16) en contact thermique avec le composant à refroidir et un échangeur chaud (14) de réjection de chaleur vers l'extérieur,

caractérisé en ce que ledit refroidisseur (30) comporte deux circuits de gaz de travail similaires, opératifs en opposition de phase, dont les tubes à

pulsations (1a, 1b) sont ménagés au sein d'un même bloc (11) de matériau isolant thermiquement supportant ledit échangeur froid (16) et ledit échangeur chaud (14), ceux-ci étant communs aux deux circuits,

ainsi qu'un dispositif de récupération (13) pour un transfert thermique à contre-courant entre les deux flux de gaz alimentant les tubes à pulsations appartenant respectivement aux deux circuits de gaz de travail.

2. Système suivant la revendication 1, **caractérisé en ce que** ledit bloc est enfermé, avec ledit échangeur chaud et ledit échangeur froid, dans un module d'encapsulation formant boîtier étanche et qui présente une paroi de fond formant support du composant à refroidir contre ledit échangeur froid.
3. Système suivant la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** ledit dispositif de récupération est un échangeur configuré pour obliger le gaz de travail, dans chacun des deux circuits, à suivre en parallèle un trajet laminaire en serpentín entre un canal de communication avec des moyens oscillateurs de pression et un canal de communication avec l'une des extrémités du tube à pulsations correspondant.
4. Système suivant la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** ledit dispositif de récupération (13) est constitué par une masse de matériau thermiquement conducteur intégrant des régénérateurs d'accumulation thermique et échange différé entre gaz chaud et gaz froid qui appartiennent respectivement à chacun desdits circuits de gaz de travail et qui sont disposés parallèles entre un orifice de communication avec des moyens oscillateurs de pression et un orifice de communication avec l'une des extrémités du tube à pulsations correspondant.
5. Système suivant la revendication 3 ou 4, **caractérisé en ce que** ledit dispositif de récupération (13) est constitué solidaire dudit bloc (11) contre une face supérieure de celui-ci parallèle à un plan commun aux deux tubes à pulsations desdits circuits de gaz de travail.
6. Système suivant l'une quelconque des revendications 2 à 5, **caractérisé en ce qu'il** comporte une paroi formant couvercle en fermeture dudit boîtier qui est formée par une plaque de réjection de chaleur (15) en matériau thermiquement conducteur s'écartant dudit bloc (11) dans le prolongement dudit échangeur chaud (14).
7. Système suivant l'une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** ledit échangeur chaud (14) est formé par une équerre thermique-

ment conductrice recouvrant une face latérale gauche et, partiellement, une face supérieure dudit bloc en sa partie gauche.

- 5 8. Système suivant la revendication 7 combinée à la revendication 6, **caractérisé en ce que** la plaque de réjection de chaleur (15) est montée sur l'échangeur chaud en équerre (14) en sa partie recouvrant partiellement ladite face supérieure du bloc (11).
- 10 9. Système suivant l'une quelconque des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce que** ledit échangeur froid (16) est formé par une équerre thermiquement conductrice recouvrant une face latérale droite et, partiellement, une face inférieure dudit bloc (11) en sa partie droite.
- 15 10. Système suivant la revendication 9, **caractérisé en ce que** des canaux de communication appartenant à chacun des circuits de gaz de travail entre l'échangeur de récupération à contre-courant (13) et leurs tubes à pulsations respectifs (1a, 1b) sont ménagés à l'interface entre ledit bloc (11) et l'échangeur froid (16) en sa portion recouvrant sa face latérale droite.
- 20 11. Système suivant l'une quelconque des revendications 2 à 6, **caractérisé en ce qu'il** comporte un oscillateur de pression pour générer des impulsions en variation de pression dans chacun desdits circuits en opposition de phase, alternativement en compression et détente, qui est accolé solidaire avec ledit boîtier.
- 25 12. Système suivant la revendication 11, **caractérisé en ce que** ledit oscillateur de pression est accolé contre une plaque de réjection de chaleur (15) formant la paroi couvercle du boîtier conformément à la revendication 6.
- 30 13. Système suivant la revendication 11 ou 12, **caractérisé en ce que** l'oscillateur de pression est de type comportant un élément flexible (26) divisant une cavité (23) ménagée dans ledit oscillateur en deux chambres différentes (4a-4b), de volumes complémentaires, qui sont en communication pneumatique avec respectivement chacun des tubes à pulsations par l'intermédiaire de l'échangeur de récupération à contre-courant (15).
- 35 40 14. Système suivant la revendication 13, **caractérisé en ce que** ledit élément flexible (26) est associé à des moyens électriques de commande de ses déformations de part et d'autre d'une position médiane dans ladite cavité (23), pour créer des impulsions périodiques de pression dans lesdits circuits qui sont alternativement en haute pression dans l'un et en basse pression dans l'autre.
- 45 50 55

15. Système suivant la revendication 14, **caractérisé en ce que** lesdits moyens de commande électriques comportent des électrodes fixes (28a-28b) d'attraction respectivement d'électrodes opposées (27a-27b) portées par ledit élément flexible (26) et des circuits d'alimentation des électrodes et de régulation fixés sur ladite masse. 5
16. Système l'une quelconque des revendications 11 à 15, **caractérisé en ce que** l'oscillateur de pression est sous la forme d'une masse (21) de forme parallélépipédique présentant des ailettes de diffusion thermique dans une partie se plaçant en débord du boîtier (30) du côté de l'échangeur chaud quand il est accolé sur la plaque de réjection thermique (15) suivant la revendication 6. 10
17. Système de conditionnement de composants fonctionnant à température cryogénique, à refroidisseur du type à gaz pulsé dont le circuit de gaz de travail comporte un tube à pulsations (51) de pression s'étendant entre un échangeur froid (14) en contact thermique avec le composant à refroidir et un échangeur chaud (14) de réjection de chaleur vers l'extérieur, **caractérisé en ce que** ledit tube à pulsations (51) est ménagé au sein d'un bloc de matériau isolant thermiquement (11) supportant ledit échangeur froid et ledit échangeur chaud, et **en ce qu'un** autre conduit tubulaire (56) ménagé parallèlement contre ledit bloc est connecté en série avec ledit tube à pulsations (51) sur ledit circuit et rempli d'un matériau régénérateur assurant une récupération thermique différée dans le temps. 20 25
18. Système suivant la revendication 17, **caractérisé en ce que** ledit bloc (11) est enfermé dans un module d'encapsulation formant boîtier étanche et qui présente une paroi de fond formant support du composant à refroidir contre ledit échangeur froid. 30 35
19. Système selon la revendication 18, **caractérisé en ce qu'il** comporte une paroi formant couvercle en fermeture du boîtier, formée par une plaque de réjection de chaleur (15) en matériau thermiquement conducteur s'écartant dudit bloc (11) dans le prolongement dudit échangeur chaud (14). 40 45
20. Système selon l'une des revendications 18 ou 19, **caractérisé en ce qu'il** comporte, montés solidaires dudit boîtier un oscillateur de pression à double effet pour générer des impulsions périodiques de pression, alternativement en compression et détente, qui parviennent en opposition de phase respectivement aux extrémités dudit tube à pulsation (51) et dudit conduit régénérateur (56) à l'opposé des extrémités où ils sont en communication l'un avec l'autre. 50 55

21. Système selon la revendication 20, **caractérisé en ce que** ledit oscillateur de pression est accolé contre un couvercle de celui-ci formant également plaque de réjection de chaleur pour le bloc refroidisseur.
22. Système selon l'une des revendications 17 à 21, **caractérisé en ce que** ledit échangeur chaud (14) est formé par une équerre thermiquement conductrice recouvrant une face latérale gauche et, partiellement, une face supérieure dudit bloc en sa partie gauche.
23. Système selon la revendication 19 combinée à la revendication 22, **caractérisé en ce que** la plaque de réjection de chaleur (15) est montée sur l'échangeur chaud en équerre (14) en sa partie recouvrant partiellement ladite face supérieure du bloc (11).
24. Système selon l'une des revendications 17 à 23, **caractérisé en ce que** ledit échangeur froid (16) est formé par une équerre thermiquement conductrice recouvrant une face latérale droite et, partiellement, une face inférieure dudit bloc (11) en sa partie droite.

Patentansprüche

1. Konditionierungssystem für Bauteile, die bei Tiefsttemperatur in Betrieb sind, zum Kühlen durch ein Arbeitsgas, das einem thermodynamischen Zyklus in einem geschlossenen Kreislauf, gemäß einem sich periodisch wiederholenden Zyklus unterzogen wird, der abwechselnde Verdichtungs- und Entspannungsphasen beinhaltet, in einem Kühler mit pulsierendem Gas, dessen Arbeitsgaskreislauf ein Pulsationsrohr (1a, 1b) umfaßt, das sich zwischen einem kalten Austauscher (16) in thermischem Kontakt mit dem zu kühlenden Bauteil und einem heißen Austauscher (14) zum Ableiten von Wärme nach außen erstreckt, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Kühler (30) zwei ähnliche Arbeitsgaskreisläufe aufweist, die gegenphasig wirksam sind, und deren Pulsationsrohre (1a, 1b) innerhalb ein und desselben Blocks (11) aus einem wärmeisolierenden Material ausgebildet sind, welcher den kalten Austauscher (16) und den heißen Austauscher (14) trägt, wobei diese den zwei Kreisläufen gemeinsam sind, sowie eine Vorrichtung zur Wiedergewinnung (13) für eine Wärmeübertragung im Gegenstrom zwischen den zwei Gasströmen, die die Pulsationsrohre speisen, die jeweils zu den zwei Arbeitsgaskreisläufen gehören.
2. System nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Block mit dem heißen Austauscher

und dem kalten Austauscher in einem Einkapselungsmodul eingeschlossen ist, das ein dichtes Gehäuse bildet und das eine Bodenwand aufweist, die den Träger des zu kühlenden Bauteils gegenüber dem kalten Austauscher bildet.

5

3. System nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Vorrichtung zur Wiedergewinnung ein Austauscher ist, der gestaltet ist, um das Arbeitsgas in jedem der zwei Kreisläufe zu zwingen, parallel einem laminaren Schlangenweg zwischen einem Kanal zur Verbindung mit Druckschwingungsmitteln und einem Kanal zur Verbindung mit einem der Enden des entsprechenden Pulsationsrohrs zu folgen. 10
4. System nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Vorrichtung zur Wiedergewinnung (13) aus einer Masse aus einem wärmeleitenden Material besteht, die Regeneratoren zur Wärmespeicherung und zum zeitverzögerten Austausch zwischen heißem Gas und kaltem Gas integriert, welche jeweils zu jedem der Arbeitsgaskreisläufe gehören und die parallel zwischen einer Öffnung zur Verbindung mit Druckschwingungsmitteln und einer Öffnung zur Verbindung mit einem der Enden des entsprechenden Pulsationsrohrs angeordnet sind. 15
5. System nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Vorrichtung zur Wiedergewinnung (13) einteilig mit dem Block (11) an einer oberen Fläche desselben parallel zu einer mit den zwei Pulsationsrohren der Arbeitsgaskreisläufe gemeinsamen Ebene gebildet ist. 20
6. System nach einem der Ansprüche 2 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, daß** es eine Wand aufweist, die einen Deckel zum Verschließen des Gehäuses bildet, welche aus einer Wärmeableitungsplatte (15) aus einem wärmeleitenden Material ausgebildet ist, die sich vom Block (11) in der Verlängerung des heißen Austauschers (14) ausbreitet. 25
7. System nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, daß** der heiße Austauscher (14) durch einen wärmeleitenden Winkel gebildet ist, der eine linke Seitenfläche und teilweise eine obere Fläche des Blocks an seinem linken Teil bedeckt. 30
8. System nach Anspruch 7 und Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Wärmeableitungsplatte (15) an dem Teil des winkelförmigen heißen Austauschers (14) montiert ist, der teilweise die obere Fläche des Blocks (11) bedeckt. 35
9. System nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **da-** 40

durch gekennzeichnet, daß der kalte Austauscher (16) aus einem wärmeleitenden Winkel gebildet ist, der eine rechte Seitenfläche und teilweise eine untere Fläche des Blocks (11) an seinem rechten Teil bedeckt.

10. System nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, daß** Verbindungskanäle, die zu jedem der Arbeitsgaskreisläufe gehören, zwischen dem Austauscher zur Wiedergewinnung im Gegenstrom (13) und ihren jeweiligen Pulsationsrohren (1a, 1b) an der Grenzfläche zwischen dem Block (11) und an dem Teil des kalten Austauschers (16), der seine rechte Seitenfläche bedeckt, ausgebildet sind. 45
11. System nach einem der Ansprüche 2 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, daß** es einen Druckoszillator umfaßt, um gegenphasige Druckänderungsimpulse in jedem der Kreisläufe abwechselnd in Verdichtung und Entspannung zu erzeugen, welcher fest an das Gehäuse angefügt ist. 50
12. System nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Druckoszillator an eine Wärmeableitungsplatte (15) angefügt ist, die die Deckelwand des Gehäuses nach Anspruch 6 bildet. 55
13. System nach Anspruch 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Druckoszillator ein Druckoszillator des Typs mit einem biegsamen Element (26) ist, das einen Hohlraum (23), der in dem Oszillator ausgebildet ist, in zwei verschiedene Kammern (4a-4b) mit komplementären Volumina aufteilt, die mit jeweils jedem der Pulsationsrohre durch den Austauscher zur Wiedergewinnung im Gegenstrom (15) in pneumatischer Verbindung stehen.
14. System nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, daß** das biegsame Element (26) mit elektrischen Mitteln zum Steuern seiner Verformungen auf beiden Seiten einer mittleren Position in dem Hohlraum (23) verbunden ist, um periodische Druckimpulse in den Kreisläufen zu erzeugen, die abwechselnd auf hohem Druck im einen und auf niedrigem Druck im anderen liegen.
15. System nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, daß** die elektrischen Steuermittel feststehende Elektroden (28a-28b) zum Anziehen bzw. entgegengesetzte Elektroden (27a-27b), die von dem biegsamen Element (26) getragen werden, und Schaltungen zur Versorgung der Elektroden und zur Regelung aufweisen, die an der Masse befestigt sind.
16. System nach einem der Ansprüche 11 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Druckoszillator in

Form einer Masse (21) mit Quaderform vorliegt, welche Thermodiffusionsflügel in einem Teil aufweist, der über das Gehäuse (30) hinausragend auf der Seite des heißen Austauschers seinen Platz hat, wenn er an die Wärmeableitungsplatte (15) nach Anspruch 6 angefügt ist.

17. Konditionierungssystem für Bauteile, die bei Tiefsttemperatur in Betrieb sind, mit einem Kühler mit pulsierendem Gas, dessen Arbeitsgaskreislauf ein Druckpulsationsrohr (51) umfaßt, das sich zwischen einem kalten Austauscher (14) in thermischem Kontakt mit dem zu kühlenden Bauteil und einem heißen Austauscher (14) zum Ableiten von Wärme nach außen erstreckt, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Pulsationsrohr (51) innerhalb eines Blocks aus einem wärmeisolierenden Material (11) ausgebildet ist, welcher den kalten Austauscher und den heißen Austauscher trägt, und daß eine weitere röhrenförmige Leitung (56), die parallel am Block ausgebildet ist, mit dem Pulsationsrohr (51) in dem Kreislauf in Reihe geschaltet ist und mit einem Regeneratormaterial gefüllt ist, das eine zeitverzögerte Wärmewiedergewinnung gewährleistet.
18. System nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Block (11) in einem Einkapselungsmodul eingeschlossen ist, das ein dichtes Gehäuse bildet und das eine Bodenwand aufweist, die den Träger des zu kühlenden Bauteils gegenüber dem kalten Austauscher bildet.
19. System nach Anspruch 18, **dadurch gekennzeichnet, daß** es eine Wand aufweist, die einen Deckel zum Verschließen des Gehäuses bildet, welche aus einer Wärmeableitungsplatte (15) aus einem wärmeleitenden Material ausgebildet ist, die sich vom Block (11) in der Verlängerung des heißen Austauschers (14) ausbreitet.
20. System nach einem der Ansprüche 18 oder 19, **dadurch gekennzeichnet, daß** es einteilig mit dem Gehäuse montiert einen doppelwirkenden Druckoszillator umfaßt, um periodische Druckimpulse, abwechselnd in Verdichtung und Entspannung, zu erzeugen, die jeweils gegenphasig die Enden des Pulsationsrohrs (51) und der Regeneratorleitung (56) entgegengesetzt zu den Enden, wo sie miteinander in Verbindung stehen, erreichen.
21. System nach Anspruch 20, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Druckoszillator an einen Deckel desselben angefügt ist, der auch eine Wärmeableitungsplatte für den Kühlblock bildet.
22. System nach einem der Ansprüche 17 bis 21, **dadurch gekennzeichnet, daß** der heiße Austauscher (14) aus einem wärmeleitenden Winkel gebil-

det ist, der eine linke Seitenfläche und teilweise eine obere Fläche des Blocks an seinem linken Teil bedeckt.

23. System nach Anspruch 19 und Anspruch 22, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Wärmeableitungsplatte (15) an dem Teil des winkelförmigen heißen Austauschers (14) montiert ist, der teilweise die obere Fläche des Blocks (11) bedeckt.
24. System nach einem der Ansprüche 17 bis 23, **dadurch gekennzeichnet, daß** der kalte Austauscher (16) aus einem wärmeleitenden Winkel gebildet ist, der eine rechte Seitenfläche und teilweise eine untere Fläche des Blocks (11) an seinem rechten Teil bedeckt.

Claims

1. System for conditioning components operating at a cryogenic temperature, with cooling by a working gas undergoing a thermodynamic cycle in a closed circuit, following a periodically repetitive cycle involving alternating compression and expansion phases, in a cooler of the pulsed-gas type whose working-gas circuit comprises a pulse tube (1a, 1b) lying between a cold exchanger (16) in thermal contact with the component to be cooled and a hot exchanger (14) for removing heat to the outside, **characterized in that** the said cooler (30) comprises two similar working-gas circuits operating in phase opposition, whose pulse tubes (1a, 1b) are made within the same block (11) of thermally insulating material supporting the said cold exchanger (16) and the said hot exchanger (14), both of the latter being common to the two circuits, and a recovery device (13) for countercurrent heat transfer between the two gas streams feeding the pulse tubes belonging respectively to the two working-gas circuits.
2. System according to Claim 1, **characterized in that** the said block is enclosed, with the said hot exchanger and the said cold exchanger, in an encapsulation module forming a sealed casing and which has a bottom forming a support for the component to be cooled against the said cold exchanger.
3. System according to Claim 1 or 2, **characterized in that** the said recovery device is an exchanger configured to force the working gas, in each of the two circuits, to follow in parallel a laminar coiled path between a channel communicating with pressure oscillation means and a channel communicating with one of the ends of the corresponding pulse tube.

4. System according to Claim 1 or 2, **characterized in that** the said recovery device (13) consists of a solid block of thermally conducting material incorporating heat accumulation regenerators and delayed exchange between a hot gas and a cold gas which belong respectively to each of the said working-gas circuits and which are arranged in parallel between an orifice communicating with pressure oscillation means and an orifice communicating with one of the ends of the corresponding pulse tube. 5
5. System according to Claim 3 or 4, **characterized in that** the said recovery device (13) is formed so as to be securely fastened to the said block (11) against an upper face thereof parallel to a plane common to the two pulse tubes of the said working-gas circuits. 10
6. System according to any one of Claims 2 to 5, **characterized in that** it comprises a wall forming a lid closing the said casing, which wall is formed by a heat-removal plate (15) made of a thermally conducting material, separated from the said block (11) by the extension of the said hot exchanger (14). 15
7. System according to any one of Claims 1 to 6, **characterized in that** the said hot exchanger (14) is formed by a thermally conducting angle bracket overlapping a left lateral face and, partially, the left part of an upper face of the said block. 20
8. System according to Claim 7 combined with Claim 6, **characterized in that** the heat-removal plate (15) is mounted on the hot exchanger in the shape of an angle bracket (14) in its part partially overlapping the said upper face of the block (11). 25
9. System according to any one of Claims 1 to 8, **characterized in that** the said cold exchanger (16) is formed by a thermally conducting angle bracket overlapping a right lateral face and, partially, the right part of a lower face of the said block (11). 30
10. System according to Claim 9, **characterized in that** communication channels belonging to each of the working-gas circuits between the countercurrent recuperator exchanger (13) and their respective pulse tubes (1a, 1b) are made at the interface between the said block (11) and the cold exchanger (16) in its portion overlapping its right lateral face. 35
11. System according to any one of Claims 2 to 6, **characterized in that** it comprises a pressure oscillator in order to generate pulses of varying pressure in each of the said circuits in phase opposition, alternating between compression and expansion, which oscillator is securely fastened to the said casing. 40
12. System according to Claim 11, **characterized in that** the said pressure oscillator is fastened against a heat-removal plate (15) forming the lid of the casing according to Claim 6. 45
13. System according to Claim 11 or 12, **characterized in that** the pressure oscillator is of the type comprising a flexible element (26) dividing a cavity (23) made in the said oscillator into two different chambers (4a-4b), of complementary volumes, which are in pneumatic communication with each of the pulse tubes respectively via the countercurrent recuperator exchanger (15). 50
14. System according to Claim 13, **characterized in that** the said flexible element (26) is combined with electrical means for controlling its deformations on either side of a mid-position in the said cavity (23), in order to create periodic pressure pulses in the said circuits which alternate between high pressure in one and low pressure in the other. 55
15. System according to Claim 14, **characterized in that** the said electrical control means comprise fixed electrodes (28a-28b) for attracting opposite electrodes (27a-27b) respectively, borne by the said flexible element (26), and circuits for powering the electrodes and for control, these being fastened to the said solid block.
16. System according to any one of Claims 11 to 15, **characterized in that** the pressure oscillator is in the form of a solid block (21) of parallelepipedal shape having heat distribution fins in a part placed so as to overlap the casing (30) on the side of the hot exchanger when it is fastened to the heat-removal plate (15) according to Claim 6.
17. System for conditioning components operating at cryogenic temperature, with a cooler of the pulsed-gas type whose working-gas circuit comprises a pressure pulse tube (51) lying between a cold exchanger (16) in thermal contact with the component to be cooled and a hot exchanger (14) for removing heat to the outside, **characterized in that** the said pulse tube (51) is made within a block of thermally insulating material (11) supporting the said cold exchanger and the said hot exchanger, and **in that** another tubular duct (56) made in parallel against the said block is connected in series with the said pulse tube (51) on the said circuit and filled with a regenerating material providing heat recovery delayed in time.
18. System according to Claim 17, **characterized in that** the said block (11) is enclosed, in an encapsulation module forming a sealed casing and which has a bottom forming a support for the component

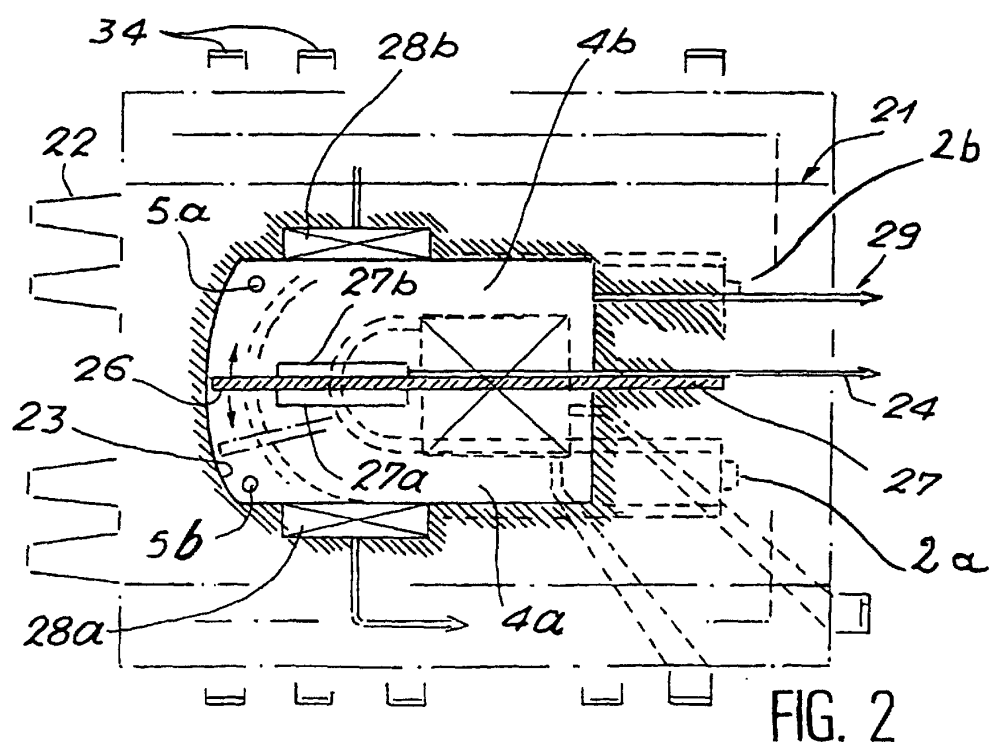
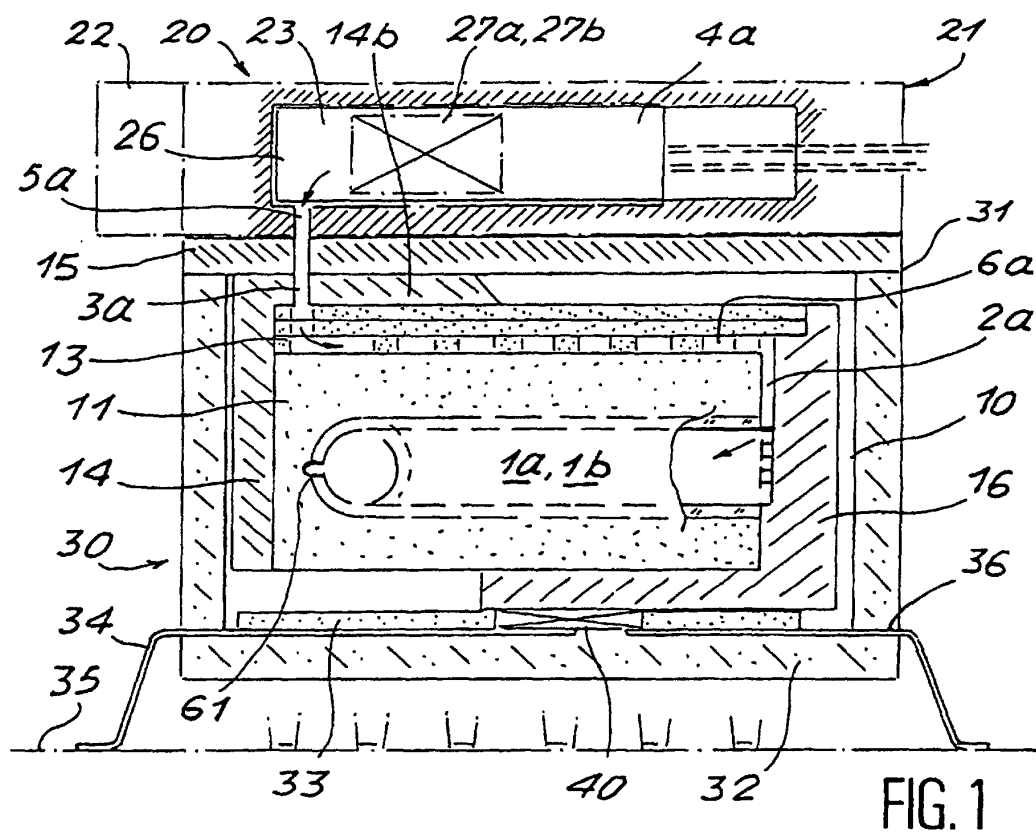
to be cooled against the said cold exchanger.

19. System according to Claim 18, **characterized in that** it comprises a wall forming a lid closing the casing, which wall is formed by a heat-removal plate (15) made of a thermally conducting material, separated from the said block (11) by the extension of the said hot exchanger (14). 5
20. System according to either of Claims 18 or 19, **characterized in that** it comprises, mounted securely to the said casing, a double-acting pressure oscillator in order to generate periodic pressure pulses alternating between compression and expansion, which occur in phase opposition at the ends of the said pulse tube (51) and of the said regenerating duct (56), respectively, away from the ends where they are in communication with each other. 10 15
21. System according to Claim 20, **characterized in that** the said pressure oscillator is fastened against a lid thereof also forming a heat-removal plate for the cooling block. 20
22. System according to one of Claims 17 to 21, **characterized in that** the said hot exchanger (14) is formed by a thermally conducting angle bracket overlapping a left lateral face and, partially, the left part of an upper face of the said block. 25 30
23. System according to Claim 19 combined with Claim 22, **characterized in that** the heat-removal plate (15) is mounted on the hot exchanger in the shape of an angle bracket (14) in its part partially overlapping the said upper face of the block (11). 35
24. System according to one of Claims 17 to 23, **characterized in that** the said cold exchanger (16) is formed by a thermally conducting angle bracket overlapping a right lateral face and, partially, the right part of a lower face of the said block (11). 40

45

50

55



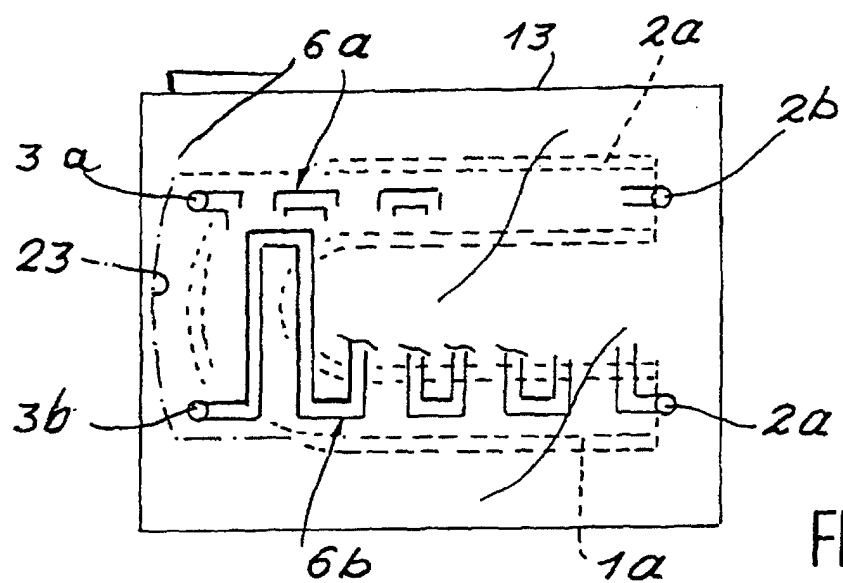


FIG. 3

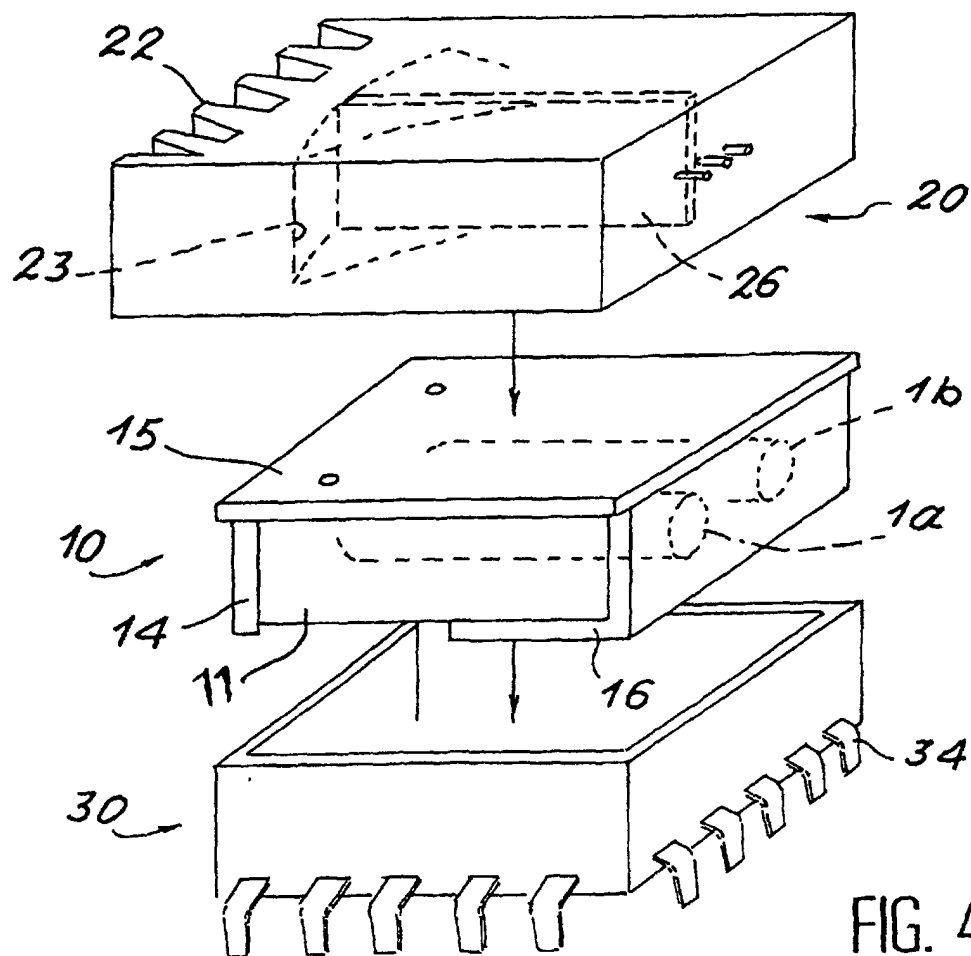


FIG. 4

FIG. 5

