



(11) **EP 4 308 801 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
12.03.2025 Bulletin 2025/11

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
F01K 7/32 ^(2006.01) **F01K 25/08** ^(2006.01)
F01K 25/10 ^(2006.01) **F02G 1/044** ^(2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **22714863.2**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
F01K 7/32; F01K 25/08; F01K 25/103

(22) Date de dépôt: **15.03.2022**

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/EP2022/056726

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2022/194878 (22.09.2022 Gazette 2022/38)

(54) **MACHINE THERMIQUE**
WÄRMEKRAFTMASCHINE
HEAT ENGINE

(84) Etats contractants désignés:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Etats de validation désignés:
MA TN

(30) Priorité: **17.03.2021 FR 2102659**

(43) Date de publication de la demande:
24.01.2024 Bulletin 2024/04

(73) Titulaire: **Cixten**
67460 Souffelweyersheim (FR)

(72) Inventeur: **BERTHELEMY, Pierre-Yves**
67460 Souffelweyersheim (FR)

(74) Mandataire: **Hege, Frédéric**
Hege Conseils
1 Place Gutenberg
67000 Strasbourg (FR)

(56) Documents cités:
DE-A1- 102009 023 979 DE-A1- 102012 011 514
FR-A1- 3 002 286 FR-A1- 3 078 997
US-A1- 2006 059 912 US-A1- 2015 152 809
US-A1- 2017 130 671

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

Description

[0001] [La présente invention concerne le domaine des machines thermiques. Document US2006/059912 A1 décrit un exemple d'une telle machine thermique.

[0002] Le pilotage des machines thermiques telles que des moteurs Stirling classiques, pour lesquels il existe un couplage mécanique des pièces en mouvement, est complexe car la vitesse de rotation dépend principalement de la différence de température entre la source chaude et froide. De ce fait, le cycle thermodynamique réel de ce type de machine thermique est très éloigné du cycle idéal de Stirling, composé de deux transformations isochores et de deux isothermes. Le rendement est ainsi bien inférieur au rendement théorique.

[0003] Des améliorations ont été apportées pour améliorer le cycle et se rapprocher au maximum du cycle théorique. Ainsi la publication WO2010/043469A1 propose par exemple une méthode de pilotage d'une machine thermique à cycle de Stirling à pistons fluidiques. Le procédé est basé sur le cycle de Stirling dans lequel le déplacement du fluide thermodynamique se fait avec une gestion du fluide de travail. Cette logique comporte l'inconvénient majeur que le fluide de travail transite entre les parties chaudes et froides occasionnant des pertes de chaleur importantes. De plus, la compression isotherme nécessite une régulation par le biais d'un compresseur hydraulique.

[0004] La publication WO84/00399A1 divulgue un exemple de découplage mécanique entre les positions du déplaceur et les positions du piston de travail pour un moteur Stirling alimenté en chaleur par une combustion externe. Le système travaille cependant avec un piston hydraulique supplémentaire au piston de travail, ce qui complexifie le moteur et le pilotage de l'ensemble, d'autant plus qu'une pompe est intégrée entre les pistons pour compresser l'air avant de le mélanger au combustible.

[0005] Un autre domaine de procédé de conversion de chaleur basse température en électricité sont les systèmes ORC (Organic Rankine Cycle) qui tirent parti du changement de phase d'un fluide organique. Ces systèmes peuvent théoriquement récupérer de l'énergie à partir de sources à très basses températures mais ne sont aujourd'hui pas économiquement viables pour des températures inférieures à 100 degrés Celsius. Ils nécessitent en outre une gestion continue du cycle en fonction des températures des sources froide et chaude pour assurer que le fluide est bien monophasique, c'est-à-dire soit gazeux, soit liquide, lors de la traversée des organes de détente et de compression. Par ailleurs, un compresseur est indispensable pour réaliser la compression entre la partie basse pression et la partie haute pression.

[0006] La présente invention a pour but de pallier au moins l'un de ces inconvénients et vise à proposer une solution de machine thermique alternative.

[0007] A cet effet, l'invention concerne une machine

thermique selon la revendication 1.

[0008] L'invention sera mieux comprise, grâce à la description ci-après, qui se rapporte à plusieurs modes de réalisation préférés, donnés à titre d'exemples non limitatifs, et expliqués avec référence aux dessins schématiques annexés, dans lesquels:

[Fig. 1] la figure 1 représente un schéma global représentatif de la machine thermique en fonction du type de module,

[Fig. 2] la figure 2 représente le diagramme Température T- Entropie S d'un cycle thermodynamique de la machine thermique pour le dioxyde de carbone,

[Fig. 3] la figure 3 représente une vue schématique d'une machine thermique selon une première variante de l'invention illustrant la première unité de pilotage,

[Fig. 4] la figure 4 représente une vue schématique d'une machine thermique selon une deuxième variante de l'invention illustrant la première unité de pilotage,

[Fig. 5] la figure 5 représente une vue schématique d'un module pour machine thermique illustrant une deuxième unité de pilotage selon une première possibilité,

[Fig. 6] la figure 6 représente une vue schématique d'un module pour machine thermique illustrant la deuxième unité de pilotage selon une deuxième possibilité,

[Fig. 7] la figure 7 représente une vue schématique d'un module pour machine thermique illustrant la deuxième unité de pilotage,

[Fig. 8] la figure 8 représente une vue schématique d'une machine thermique avec une architecture dite en opposition de phase selon un premier exemple,

[Fig. 9] la figure 9 représente une vue schématique d'une machine thermique avec une architecture dite en opposition de phase selon un deuxième exemple,

[Fig. 10] la figure 10 représente une vue schématique d'une machine thermique avec une architecture dite en opposition de phase selon un troisième exemple,

[Fig. 11] la figure 11 représente une vue schématique d'une machine thermique avec une architecture dite en opposition de phase selon un quatrième exemple,

[Fig. 12] la figure 12 représente une vue schématique d'une machine thermique avec une architec-

ture dite en opposition de phase selon le troisième exemple et illustre son fonctionnement,

[Fig. 13] la figure 13 représente une vue schématique d'une machine thermique avec une architecture dite en opposition de phase selon le troisième exemple et illustre son fonctionnement,

[Fig. 14] la figure 14 représente une vue schématique d'une machine thermique avec une architecture dite en opposition de phase selon le troisième exemple et illustre son fonctionnement,

[Fig. 15] la figure 15 représente une vue schématique d'une machine thermique avec une architecture dite en opposition de phase selon le troisième exemple et illustre son fonctionnement,

[Fig. 16] la figure 16 représente une vue schématique d'une machine thermique avec une architecture dite en opposition de phase selon le troisième exemple et illustre son fonctionnement,

[Fig. 17] la figure 17 représente une vue schématique d'une machine thermique avec une architecture dite en opposition de phase selon le troisième exemple et illustre son fonctionnement,

[Fig. 18] la figure 18 représente une vue schématique d'une machine thermique selon la première variante de l'invention dans laquelle le limiteur de pression est remplacé par un accumulateur de pression additionnel,

[Fig. 19] la figure 19 représente une vue en coupe d'un module comprenant une cartouche.

[0009] Une machine thermique est apte et destinée à réaliser au moins une conversion d'énergie thermique en énergie mécanique comprenant au moins un fluide thermodynamique et apte et destinée à mettre en œuvre un cycle thermodynamique comprenant au moins une phase de chauffage isochore 1-2, optionnellement une phase de chauffage isobare 2-3, une phase de détente 3-4 et une phase de refroidissement isobare 4-1 (figure 2).

[0010] La machine thermique comprend au moins :

une première source de chaleur 1 à une première température T_1 configurée pour contenir et transmettre une énergie thermique à au moins un fluide caloporteur (figure 1),

une deuxième source de chaleur 2 à une deuxième température T_2 configurée pour contenir et transmettre une énergie thermique à au moins un fluide caloporteur, les première et deuxième températures T_1 et T_2 étant différentes (figure 1),

au moins un module 3, 3' pour le déplacement du fluide thermodynamique alternativement entre une partie froide 4 reliée à la première source de chaleur 1 et une partie chaude 5 reliée à la deuxième source de chaleur 2 (figures 3 à 16),

ledit au moins un module 3, 3' comprenant au moins la partie froide 4,

ledit au moins un module 3, 3' comprenant un premier circuit d'alimentation du fluide caloporteur A, B raccordé à la première source de chaleur 1 et à la partie froide 4,

ledit au moins un module 3, 3' comprenant au moins la partie chaude 5,

ledit au moins un module 3, 3' comprenant un deuxième circuit d'alimentation du fluide caloporteur C, D raccordé à la deuxième source de chaleur 2 et à la partie chaude 5,

ledit au moins un module 3, 3' comprenant au moins une chambre apte et destinée à contenir ledit au moins un fluide thermodynamique et laquelle est raccordée à au moins une sortie d'alimentation en fluide thermodynamique G à une première pression P_1 ou à une sortie d'alimentation en fluide hydraulique E à une deuxième pression P_2 ,

au moins une première unité de conversion 6 d'une différence de pression du fluide thermodynamique en énergie mécanique comprenant au moins un circuit 7 lequel comprend au moins des moyens de conversion mécanique, de préférence un moteur 8, ladite première unité de conversion 6 étant reliée à la sortie d'alimentation en fluide thermodynamique G (figures 4 et 11) ou à la sortie d'alimentation en fluide hydraulique E (figures 3, 8 à 10).

[0011] Conformément à l'invention, la machine thermique est caractérisée en ce que ledit au moins un module 3, 3' comprend en outre au moins un déplaceur mobile dans ladite chambre alternativement entre la partie froide 4 et la partie chaude 5,

ladite chambre étant apte et destinée à contenir ledit au moins un fluide thermodynamique à haute pression présentant des pressions comprises entre 50 bars et 300 bars et à l'état supercritique,

en ce qu'elle comprend au moins une première unité de pilotage au moins en partie disposée dans la première unité de conversion 6 agencée au moins pour contrôler la phase dans laquelle se trouve le cycle thermodynamique dans ledit au moins un module 3, 3',

et en ce qu'elle comprend une deuxième unité de pilotage dudit au moins un module 3, 3' agencée pour piloter le déplacement dudit au moins un déplaceur alternativement entre la partie chaude 5 et la partie froide 4.

[0012] Avantageusement, la machine thermique selon l'invention permet la conversion de chaleur, préférentiellement à basse température, c'est à dire pour des première et deuxième sources de chaleur 1, 2 dont la température T1, T2 n'excède pas 150 degrés Celsius, en énergie mécanique. Cette conversion se fait suivant un cycle thermodynamique fermé utilisant un fluide thermodynamique préférentiellement en phase supercritique alternativement chauffé et refroidi via la première source de chaleur 1 et la deuxième source de chaleur 2. Comme l'illustre la figure 2 le cycle thermodynamique comprend au moins une phase de chauffage isochore 1-2, optionnellement une phase de chauffage isobare 2-3, une phase de détente de préférence polytropique 3-4 et une phase de refroidissement isobare 4-1. Le cycle thermodynamique supercritique contient un chauffage isochore 1-2 qui est complété par un chauffage isobare 2-3 si la pression lors du chauffage dépasse une valeur limite déterminée entre 100 bars et 200 bars. Lorsque le fluide thermodynamique est du dioxyde carbone, les domaines de pression du fluide thermodynamique sont typiquement entre 74 bars et 350 bars, préférentiellement 74 bars et 250 bars et les domaines de températures sont entre 0 degré Celsius et 150 degrés Celsius, préférentiellement entre 10 degrés Celsius et 100 degrés Celsius. Ces différentes phases du cycle thermodynamique peuvent être pilotées afin de moduler le cycle thermodynamique réel suivi par le fluide thermodynamique. Ceci permet d'influencer en continu le rendement et la puissance moyenne. La première unité de conversion 6 permet avantageusement la conversion de la pression du fluide thermodynamique à la sortie d'alimentation en fluide thermodynamique G ou du fluide hydraulique à la sortie d'alimentation en fluide hydraulique E en mouvement mécanique. La récupération de l'énergie par la première unité de conversion 6 peut ainsi se faire en utilisant un fluide hydraulique différent du fluide thermodynamique (figures 3, 8 à 10) ou directement avec le fluide thermodynamique (figures 4 et 11). La première unité de pilotage permet le contrôle de l'état d'achèvement de chaque phase de transformation thermodynamique et donc du cycle thermodynamique, notamment par la détection des points du cycle thermodynamique par exemple par la détection de pression et/ou de débit comme décrit ci-après. La deuxième unité de pilotage permet de déplacer alternativement le fluide thermodynamique dans la chambre de la partie froide 4 à la partie chaude 5 et de moduler l'apport en chaleur du module 3, 3'. Par exemple, la deuxième unité de pilotage permet la gestion de la pression et/ou du débit en provenance des première et deuxième sources de chaleur 1, 2 comme décrit ci-après. Il en résulte que le rendement de la

machine thermique et sa puissance volumique moyenne peuvent en conséquence être modulés à volonté, en offrant la possibilité d'optimiser l'un ou l'autre en fonction de la disponibilité des première et deuxième sources de chaleur 1, 2.

[0013] Le déplaceur est une ou plusieurs pièces mécaniques.

[0014] De préférence, la détente 3, 4 est polytropique, c'est-à-dire qu'elle n'est ni isotherme, ni adiabatique. Ainsi, la détente est variable et peut se rapprocher soit d'une détente isotherme 3, 4' ou d'une détente adiabatique 3, 4" (figure 2).

[0015] De préférence, la phase de chauffage isochore 1-2 ne correspond pas à un chauffage isochore idéal/théorique, mais la phase de chauffage s'approche de cette isochore idéale ou théorique avec une valeur de déviation qui est de préférence comprise entre 0 et 20 pourcents.

[0016] De préférence, la phase de chauffage isobares 2-3 et/ou la phase de refroidissement 4-1 ne correspondent pas à des isobares idéales/théoriques, mais s'en approchent avec une valeur de déviation qui est de préférence comprise entre 0 et 20 pourcents.

[0017] Le module 3 comprend au moins une chambre apte et destinée à contenir un fluide thermodynamique à haute pression, c'est à dire pour des pressions comprises entre 50 bars et 300 bars préférentiellement comprises entre 80 bars et 250 bars, et à l'état supercritique et laquelle est raccordée à la sortie d'alimentation en fluide thermodynamique G. Le module 3 est dit basique. C'est le cas notamment pour les modules 3 décrits dans les figures 4 et 11.

[0018] Dans le cas où le module 3' comprend en outre un piston hydraulique 36 raccordé à la sortie d'alimentation en fluide hydraulique E, ce module 3' est dit hybride. C'est le cas notamment pour les modules 3' décrits dans les figures 3, 8 à 10.

[0019] De manière alternative, le module 3 dit basique peut être raccordé à un piston hydraulique 36 qui est en dehors du module 3. Chaque module 3 ou association de modules 3 basiques peut être couplé à un ou plusieurs piston(s) hydraulique(s) 36 haute pression en dehors du ou des module(s) 3 et maintenu(s) en température par une des première/deuxième sources de chaleur 1, 2. Le piston hydraulique 36 permet ainsi de transmettre la pression du fluide supercritique à un fluide hydraulique. Un rapport de réduction hydraulique, non représenté, peut également être réalisé au sein du piston hydraulique 36 de sorte à modifier les caractéristiques de la pression et du volume d'huile déplacé. Cela peut avoir un certain avantage dans certains cas pour faciliter le dimensionnement du système de charge, notamment pour s'adapter aux caractéristiques pression/débit du moteur hydraulique 12. Si aucun rapport de réduction n'est nécessaire, alors le piston hydraulique 36 peut être sous forme de piston dit « liquide », c'est-à-dire sans interface solide entre les deux fluides à condition qu'ils soient non miscibles et non solubles entre eux. Cela permet d'éviter des

perles par frottement de joints.

[0020] Comme l'illustre la figure 3, selon une première variante de réalisation de l'invention, ladite première unité de conversion 6 comprend au moins un accumulateur de pression 11 hydraulique relié en aval des moyens de conversion mécanique, de préférence du moteur 8, lequel est un moteur hydraulique 12, ledit accumulateur de pression 11 étant apte et destiné à maintenir la pression du circuit 7 supérieure ou égale à la pression critique du fluide thermodynamique.

[0021] Avantageusement, l'accumulateur de pression 11 assure que la pression du fluide hydraulique dans le circuit 7 soit maintenue au-dessus ou égale à la pression critique du fluide thermodynamique pour tout le cycle thermodynamique et notamment pendant la phase de refroidissement isobare. Pour le dioxyde carbone, cette pression critique est sensiblement égale à 73,77 bars. Par conséquent, la pression préchargée de l'accumulateur de pression 11 est de préférence comprise entre 73 et 85 bars, préférentiellement égale à 80 bars. Dans cette configuration le fluide thermodynamique contenu dans un ou plusieurs module(s) 3' dit hybrides est alternativement chauffé, puis refroidi et travaille contre une pression assimilée quasi constante de l'accumulateur de pression 11. Les différences de pression du fluide thermodynamique, puis du fluide hydraulique sont converties en énergie mécanique par le moteur hydraulique 12.

[0022] Comme l'illustre la figure 4, selon une deuxième variante de réalisation de l'invention, ladite première unité de conversion 6 comprend au moins un accumulateur de pression 11 relié en aval des moyens de conversion mécanique, de préférence du moteur 8 lequel est une turbine à fluide thermodynamique 14 préférentiellement à l'état supercritique, ledit accumulateur de pression 11 étant apte et destiné à maintenir la pression du circuit 7 supérieure ou égale à la pression critique du fluide thermodynamique.

[0023] Avantageusement, l'accumulateur de pression 11 assure que la pression du fluide thermodynamique dans le circuit 7 soit maintenue au-dessus ou égale à la pression critique du fluide thermodynamique pour tout le cycle thermodynamique et notamment pendant la phase de refroidissement isobare. Pour le dioxyde carbone, cette pression critique est sensiblement égale à 73,77 bars. Par conséquent, la pression préchargée de l'accumulateur de pression 11 est de préférence comprise entre 73 et 85 bars, préférentiellement égale à 80 bars. Dans cette configuration le fluide thermodynamique contenu dans un ou plusieurs module(s) 3 dit basique(s) est alternativement chauffé puis refroidi et travaille contre une pression assimilée quasi constante de l'accumulateur de pression 11. Les seules différences de pression du fluide thermodynamique sont converties en énergie mécanique par la turbine à fluide thermodynamique 14.

[0024] De préférence, ladite première unité de pilotage comprend au moins un organe de mesure de pression et/ou de débit 9 agencé pour contrôler la phase dans laquelle se trouve le cycle thermodynamique et en parti-

culier pour déterminer l'achèvement de chaque phase du cycle. Ledit organe de mesure de pression et/ou de débit 9 est de préférence disposé entre la chambre et ledit accumulateur de pression 11.

[0025] Avantageusement, ladite première unité de pilotage permet grâce au moins à un organe de mesure de pression et/ou de débit 9 disposé dans le circuit 7 ou dans la chambre de suivre l'évolution des différentes phases du cycle thermodynamique grâce à la mesure de la pression du fluide thermodynamique ou hydraulique dans la chambre ou dans le circuit 7 et/ou grâce à la mesure du débit du fluide hydraulique dans le circuit 7. Cet organe de mesure de pression et/ou de débit 9 est disposé en amont du moteur 8 ou au niveau du moteur 8. Cette configuration permet le contrôle de l'état d'achèvement de chaque transformation thermodynamique et donc du cycle thermodynamique, notamment par la détection 11 des points du cycle par détection et suivi de pression et/ou de débit du fluide thermodynamique ou du fluide hydraulique.

[0026] De préférence comme l'illustrent les figures 3 et 4, selon la première variante de réalisation de l'invention et la deuxième variante de réalisation, ladite première unité de pilotage comprend deux organes de mesure de pression et/ou de débit 9 du circuit 7 sous la forme d'un capteur de pression 90 et d'un capteur de vitesse de rotation 10.

[0027] Le capteur de vitesse de rotation 10 est disposé au niveau du moteur 8 et permet une mesure indirecte du débit dans le circuit 7. Par exemple, le capteur de vitesse de rotation 10 peut permettre via la mesure du débit du fluide hydraulique dans le circuit 7 de conclure qu'à la fin de la phase de chauffage isobare, le système est à l'équilibre.

[0028] Le capteur de pression 90 permet une mesure directe de la pression du fluide hydraulique dans le circuit 7 (figure 3) ou une mesure directe de la pression du fluide thermodynamique dans le circuit 7 (figure 4).

[0029] Selon la première variante de réalisation illustrée à la figure 3, ledit organe de mesure de pression et/ou de débit 9 est disposé entre la sortie d'alimentation en fluide hydraulique E et ledit accumulateur de pression 11. Ledit organe de mesure de pression et/ou de débit 9 est disposé dans le circuit 7.

[0030] Selon la deuxième variante de réalisation illustrée à la figure 4, ledit organe de mesure de pression et/ou de débit 9 est disposé entre la sortie d'alimentation en fluide thermodynamique G et ledit accumulateur de pression 11. Ledit organe de mesure de pression et/ou de débit 9 est disposé dans le circuit 7.

[0031] De préférence et comme l'illustrent les figures 3 et 4, ladite première unité de pilotage comprend au moins un élément de régulation de pression et/ou de débit 13 du circuit 7 agencé au moins pour commander/piloter la phase de chauffage isobare et/ou la phase de détente du cycle thermodynamique, ledit au moins un élément de régulation de pression et/ou de débit 13 étant disposé entre la sortie d'alimentation en fluide thermodynamique

G ou à la sortie d'alimentation en fluide hydraulique E et ledit accumulateur de pression 11.

[0032] Avantageusement, ladite première unité de pilotage permet notamment grâce au moins à un élément de régulation de pression et/ou de débit 13 d'alimenter ou non le moteur 8. Ladite première unité de pilotage permet en outre grâce au moins à un élément de régulation de pression et/ou de débit 13 de commander le déplacement du fluide thermodynamique (figure 4) ou du fluide hydraulique (figure 3) dans le circuit 7 pour commander/piloter la phase de chauffage isobare et/ou la phase de détente du cycle thermodynamique

[0033] De préférence, ledit au moins un élément de régulation de pression et/ou de débit 13 est choisi parmi un limiteur de pression 16 (figure 3) et/ou un régulateur de débit, et/ou une vanne hydraulique 15 (figure 3) et/ou un limiteur de débit réglable et/ou un orifice à étranglement variable 17 (figure 4) ou un accumulateur de pression additionnel 30 (figure 18).

[0034] Selon la première variante de réalisation illustrée à la figure 3, ledit au moins un élément de régulation de pression et/ou de débit 13 est disposé entre la sortie d'alimentation en fluide hydraulique E et ledit accumulateur de pression 11.

[0035] Selon la première variante de réalisation illustrée à la figure 3, ladite première unité de pilotage comprend deux éléments de régulation de pression et/ou de débit 13 sous la forme d'un limiteur de pression réglable 16 et une vanne hydraulique 15.

[0036] Avantageusement, le limiteur de pression réglable 16 permet d'assurer le passage de la phase de chauffage isochore à la phase de chauffage isobare à une pression déterminée. A la fin du chauffage isobare, lorsque le système est à l'équilibre, la vanne hydraulique 15 est ouverte pour réaliser la détente polytropique puis le refroidissement du fluide après inversion des déplacements dans le(s) module(s) 3'.

[0037] Comme l'illustre la figure 18, le limiteur de pression réglable 16 peut être remplacé par un accumulateur de pression additionnel 30 de préférence préchargé à la pression de chauffage isobare.

[0038] Cette configuration permet le stockage de l'énergie dans l'accumulateur de pression additionnel 30 pendant la phase de chauffage isochore.

[0039] Selon la deuxième variante de réalisation illustrée à la figure 4, ledit au moins un élément de régulation de pression et/ou de débit 13 est disposé entre la sortie d'alimentation en fluide thermodynamique G et ledit accumulateur de pression 11.

[0040] Selon la deuxième variante de réalisation illustrée à la figure 4, ladite première unité de pilotage comprend un élément de régulation de pression et/ou de débit 13 sous la forme d'un orifice à étranglement variable 17.

[0041] Avantageusement, dans cette deuxième variante le limiteur de pression réglable 16 et la vanne hydraulique 15 de la première variante peuvent être remplacés par un unique orifice à étranglement variable

17 de sorte à pouvoir contrôler activement la phase de chauffage isobare et la phase de détente de préférence polytropique.

[0042] Dans la première unité de conversion, le circuit 7 peut comprendre une ou des conduites de préférence calorifugées et qui permettent notamment de relier la sortie d'alimentation en fluide thermodynamique G ou à la sortie d'alimentation en fluide hydraulique E à l'accumulateur de pression 11 et/ou à l'organe de mesure de pression et/ou de débit 9 et/ou à l'élément de régulation de pression et/ou de débit 13 et/ou au moteur 8.

[0043] De préférence et comme l'illustrent les figures 3 et 4, la machine comprend en outre une deuxième unité de conversion 18 d'énergie mécanique en énergie électrique raccordée à ladite première unité de conversion 6 en aval dudit moteur 8.

[0044] Avantageusement, la deuxième unité de conversion 18 permet de convertir l'énergie mécanique provenant du moteur 8 en énergie électrique.

[0045] De préférence et comme l'illustrent les figures 3 et 4, la deuxième unité de conversion 18 comprend au moins une inertie 19 reliée d'une part à un accouplement 20 et d'autre part à un générateur 21.

[0046] De préférence, le module 3, 3' comprend au moins un piston (non représenté) contenu dans un cylindre (non représenté) raccordé à un circuit d'alimentation en fluide de travail J, H par une première extrémité et une deuxième extrémité du cylindre pour piloter le déplacement du piston mobile dans le cylindre et le déplaceur et le piston sont couplés l'un à l'autre.

[0047] Avantageusement, le déplacement du piston entraîne le déplacement du déplaceur dans la chambre entre la partie chaude 5 et la partie froide 4. Le couplage entre le déplaceur et le piston est de préférence un couplage magnétique pour limiter les pertes par frottements notamment.

[0048] De préférence et comme l'illustre la figure 5, selon une première possibilité la deuxième unité de pilotage comprend au moins un premier organe de régulation de la pression et/ou du débit à la première extrémité du cylindre et au moins un deuxième organe de régulation de la pression et/ou du débit à la deuxième extrémité du cylindre pour maintenir ou faire varier une différence de pression entre la première extrémité et la deuxième extrémité de sorte à déplacer alternativement ledit au moins un déplaceur entre la partie chaude 5 et la partie froide 4.

[0049] Avantageusement, la deuxième unité de pilotage permet la gestion de la position du fluide thermodynamique entre la partie chaude 5 et la partie froide 4 dans au moins un module 3, 3'. Chaque module 3, 3' contient une certaine masse de fluide thermodynamique de préférence en phase supercritique qui est alternativement mis au contact de la première source de chaleur 1 puis de la deuxième source de chaleur 2 par l'intermédiaire d'un ou plusieurs déplaceur(s). Ce ou ces déplaceur(s) fonctionne(nt) comme des pistons libres dont la position de type butée est déterminée uniquement par la

différence de pression entre la première extrémité du cylindre et la deuxième extrémité du cylindre. Dans ce cas, le circuit d'alimentation en fluide de travail J, H est indépendant de la régulation de la pression dudit premier circuit d'alimentation du fluide caloporteur A, B et dudit deuxième circuit d'alimentation du fluide caloporteur C, D.

[0050] De préférence et comme l'illustrent le figures 6 et 7, le circuit d'alimentation en fluide de travail J, H est formé dudit premier circuit d'alimentation du fluide caloporteur A, B et dudit deuxième circuit d'alimentation du fluide caloporteur C, D.

[0051] De préférence et selon une possibilité non représentée, la deuxième unité de pilotage comprend au moins un premier organe de régulation de la pression et/ou du débit de la première source de chaleur 1 et un deuxième organe de régulation de la pression et/ou du débit de la deuxième source de chaleur 2, le premier organe de régulation de la pression et/ou du débit et le deuxième organe de régulation de la pression et/ou du débit étant configurés pour maintenir ou faire varier une différence de pression entre la première source de chaleur 1 et la deuxième source de chaleur 2 de sorte à déplacer alternativement ledit au moins un déplaceur entre la partie froide 4 et la partie chaude 5.

[0052] Préférentiellement, la première source de chaleur 1 comprend au moins une pompe de préférence hydraulique, laquelle forme le premier organe de régulation de la pression et/ou du débit et la deuxième source de chaleur 2 comprend une deuxième pompe de préférence hydraulique, laquelle forme le deuxième organe de régulation de la pression et/ou du débit.

[0053] Le pilotage du déplacement du fluide hydraulique préférentiellement supercritique dans le module 3, 3' est de ce fait réalisé au plus simple par une régulation adéquate des pompes de préférence hydrauliques (non représentées) des première et deuxième sources de chaleur 1, 2 afin de créer/ maintenir la pression différentielle entre les premier et deuxième circuits d'alimentation du fluide caloporteur A, B et C, D requise au déplacement du ou des déplaceurs.

[0054] Si la régulation des pompes de préférence hydrauliques n'est pas envisageable, une régulation des premier/deuxième circuits d'alimentation en fluide caloporteur A, B et C, D avec des éléments rapportés décrits ci-après dans la deuxième possibilité (limiteur de pression 26, 27 et/ou un régulateur de débit 28, 29) permet alors de contrôler précisément le débit et la pression dans chaque partie du ou des module(s) 3, 3'.

[0055] De préférence et comme l'illustre la figure 6, selon une deuxième possibilité la deuxième unité de pilotage comprend au moins un troisième organe de régulation de la pression et/ou du débit du premier circuit d'alimentation A, B et un quatrième organe de régulation de la pression et/ou du débit du deuxième circuit d'alimentation C, D, le troisième organe de régulation de la pression et/ou du débit et le quatrième organe de régulation de la pression et/ou du débit étant configurés pour

maintenir ou faire varier une différence de pression entre le premier circuit d'alimentation A, B et le deuxième circuit d'alimentation C, D de sorte à déplacer alternativement ledit au moins un déplaceur entre la partie froide 4 et la partie chaude 5.

[0056] Avantageusement, la deuxième unité de pilotage permet la gestion de la position du fluide thermodynamique entre la partie chaude 5 et la partie froide 4 dans au moins un module 3, 3'. Chaque module 3, 3' contient une certaine masse de fluide thermodynamique de préférence en phase supercritique qui est alternativement mis au contact de la première source de chaleur 1 puis de la deuxième source de chaleur 2 par l'intermédiaire d'un ou plusieurs déplaceur(s). Ce ou ces déplaceur(s) fonctionne(nt) comme des pistons libres dont la position de type butée est déterminée uniquement par la différence de pression entre les premier et deuxième circuits d'alimentation du fluide caloporteur A, B et C, D.

[0057] De préférence, ledit premier organe de régulation de la pression et/ou du débit et/ou ledit deuxième organe de régulation de la pression et/ou du débit et/ou ledit troisième organe de régulation de la pression et/ou du débit du premier circuit d'alimentation du fluide caloporteur A, B et/ou le quatrième organe de régulation de la pression du deuxième circuit d'alimentation du fluide caloporteur C, D est choisi parmi un limiteur de pression 26, 27 et/ou un régulateur de débit 28, 29 et/ou une vanne hydraulique et/ou un limiteur de débit réglable et/ou un orifice à étranglement variable ou un accumulateur de pression additionnel.

[0058] La deuxième unité de pilotage comprend de préférence au moins un capteur de pression 22, 23, 24, 25. Le capteur de pression 22, 23 peut être raccordé au circuit d'alimentation en fluide de travail J, H. De manière alternative, le capteur de pression 24, 25 peut être raccordé au premier circuit d'alimentation A, B ou au deuxième circuit d'alimentation C, D. La deuxième unité de pilotage peut également comprendre un capteur de température 37, 38 qui peut être raccordé au premier circuit d'alimentation A, B ou au deuxième circuit d'alimentation C, D.

[0059] De préférence et comme l'illustrent les figures 3 et 4, ladite machine thermique comprend au moins un premier module 3, 3' et un deuxième module 3, 3', lesquels sont raccordés en série l'un à l'autre au niveau de leur sortie d'alimentation en fluide thermodynamique G ou de leur sortie d'alimentation en fluide hydraulique E à l'aide d'une première conduite d'interconnexion 31, lesquels sont raccordés en série l'un à l'autre au niveau de leur premier circuit d'alimentation A, B, et lesquels sont raccordés en série l'un à l'autre au niveau de leur deuxième circuit d'alimentation C, D.

[0060] De préférence, ladite première unité de pilotage est agencée au moins pour contrôler de manière centralisée la phase dans laquelle se trouve le cycle thermodynamique dans ledit premier module 3, 3' et dans ledit deuxième module 3, 3'.

[0061] De manière alternative, ladite deuxième unité

de pilotage est commune au premier module 3, 3' et au deuxième module 3, 3' et est agencée pour piloter de manière centralisée ledit au moins un déplaceur du premier module 3, 3' et ledit au moins un déplaceur du deuxième module 3, 3'.

[0062] Comme l'illustrent les figures 8 à 11, ladite machine thermique comprend au moins un premier module 32 et au moins un deuxième module 33, lesquels sont chacun raccordés à la première unité de conversion 6 par leur sortie d'alimentation en fluide thermodynamique G ou par leur sortie d'alimentation en fluide hydraulique E et le premier module 32 et le deuxième module 33 sont agencés de sorte que lorsque ledit au moins un déplaceur du premier module 32 est dans la partie froide 4 alors ledit au moins un déplaceur du deuxième module 33 est dans la partie chaude 5.

[0063] Avantageusement, cette configuration est dite en opposition de phases. Les exemples illustrés ci-après dans les figures 8 à 11 se distinguent par la gestion de l'énergie issue de la phase de chauffage isobare 2-3. Cette gestion dépend du système de conversion installé (cartographie moteur hydraulique, taille inertie). Il est ainsi intéressant de pouvoir moduler cette énergie pour alimenter le moteur hydraulique 12 dans sa zone de meilleur rendement.

[0064] Dans un premier exemple illustré à la figure 8, la première unité de conversion 6 et la deuxième unité de conversion 18 sont sensiblement identiques à celles de la première variante de réalisation illustrée à la figure 3. La machine thermique permet de chauffer au moins un premier module 32 formant un ensemble A tout en refroidissant au moins un deuxième module 33 formant un ensemble B pour éviter de travailler avec des accumulateurs de pression 11 hydrauliques de trop grandes dimensions. Le fluide hydraulique passe ainsi dudit au moins un premier module 32 audit au moins un deuxième module 33. Dans ce cas, l'accumulateur de pression 11 jouant alors uniquement un rôle de stockage tampon, le fluide thermodynamique ne se contractant pas obligatoirement au même rythme qu'il se dilate du côté opposé. La détection d'équilibre dudit au moins un deuxième module 33 est réalisée par exemple à l'aide d'un débitmètre 34. Quatre clapets anti-retour 35 forment un système passif de gestion des flux entre ledit au moins un premier module 32 et ledit au moins un deuxième module 33.

[0065] Avantageusement, dans le premier exemple de la figure 8, l'énergie de la phase de chauffage isobare 2-3 n'est pas stockée et alimente le moteur hydraulique 12 directement à l'ouverture du limiteur de pression réglable 16 à la pression du point 2 du cycle. Il n'y a pas de contrôle de débit d'alimentation du moteur hydraulique 12.

[0066] Dans un deuxième exemple illustré à la figure 9, l'ajout d'un accumulateur de pression additionnel 30 dans la partie haute pression après la vanne hydraulique 15 peut permettre de lisser le débit de fluide alimentant le moteur 8 lors de la détente polytropique afin de faire fonctionner ce dernier dans son domaine de meilleur rendement. L'accumulateur de pression 11 est préchargé

au minimum à la pression critique du fluide thermodynamique.

[0067] Avantageusement, dans le deuxième exemple de la figure 9, l'énergie de la phase de chauffage isobare 2-3 est partiellement stockée dans un accumulateur de pression additionnel 30 afin de lisser le débit alimentant le moteur hydraulique 12 au cours de cette phase.

[0068] Dans un troisième exemple illustré à la figure 10, on sélectionne un accumulateur de pression additionnel 30 dimensionné pour pouvoir stocker l'intégralité de l'énergie lors de la phase de chauffage isobare 2-3, dans ce cas il est possible de simplifier en plaçant l'accumulateur de pression additionnel 30 avant la vanne hydraulique 15 ce qui permet de supprimer le limiteur de pression réglable 16. Lors de l'ouverture de la vanne hydraulique 15 l'énergie issue du chauffage isobare puis de la détente de préférence polytropique est alors restituée. L'inertie 19 détermine alors le temps de la détente.

[0069] Les clapets anti retour 35 peuvent être simples (figures 8 et 9) ou tarés (figure 10).

[0070] Avantageusement, dans le troisième exemple de la figure 10, l'énergie de la phase de chauffage isobare 2-3 est intégralement stockée dans un accumulateur de pression additionnel 30 puis restituée au début de la phase de détente 3-4.

[0071] Cette gestion de l'énergie issue de la phase isobare 2-3 est un avantage important. En effet l'énergie du cycle thermodynamique est récupérée au cours de deux phases, la phase de chauffage isobare et la détente de préférence polytropique. Or les temps de ces deux phases peuvent être très différents, la phase de détente étant plus rapide que la phase de chauffage isobare. Les débits alimentant le moteur 8 peuvent en conséquence être très variables d'une phase à l'autre. Or, par exemple les moteurs hydrauliques 12 conservent de bons rendements dans des plages définies de débits qui peuvent être inférieures aux variations de débit réelles du cycle. C'est pourquoi, il est proposé dans les exemples des figures 9 et 10 un « lissage » de cette énergie, par le biais d'un stockage partiel ou total de l'énergie de la phase de chauffage isobare dans un accumulateur de pression additionnel 30 placé avant ou après l'élément de régulation de pression et/ou de débit 13 (vanne hydraulique 15). Il est ainsi possible de moduler le débit d'alimentation du moteur 8 pour rester dans sa plage de hauts rendements. L'ordre de grandeur du temps pour réaliser un cycle thermodynamique complet varie fortement en fonction de la différence de températures entre les première et deuxième sources de chaleur 1, 2 mais se situe entre quelques secondes à quelques dizaines de secondes. Le cycle thermodynamique est réalisé sans compresseur mécanique.

[0072] Dans un quatrième exemple illustré à la figure 11, la configuration est similaire à celle de la figure 4. Un distributeur 36 4/2 peut également remplir le rôle de gestion des flux entre les différents ensembles A et B mais nécessite d'être piloté (système actif), contrairement aux quatre clapets anti-retour 35 décrits précédem-

ment.

[0073] Le fonctionnement du troisième exemple illustré à la figure 10 est expliqué ci-dessous en relation avec les figures 12 à 17. Comme l'illustre la figure 12, ledit au moins un premier module 32 de l'ensemble A est chauffé dans la phase de chauffage isochore 1-2 et ledit au moins un deuxième module 33 de l'ensemble B est refroidi dans la phase de refroidissement 4-1. L'accouplement 20 est découplé. La vanne hydraulique 15 est fermée. L'accumulateur de pression additionnel 30 est fermé tant que la pression est inférieure à la pression de précharge de l'accumulateur de pression additionnel 30. Cette phase est achevée lorsque la pression dans ledit au moins un premier module 32 de l'ensemble A est égale à la pression de précharge de l'accumulateur de pression additionnel 30.

[0074] Comme l'illustre la figure 13, ledit au moins un premier module 32 de l'ensemble A est chauffé dans la phase de chauffage isobare 2-3 et ledit au moins un deuxième module 33 de l'ensemble B est refroidi dans la phase de refroidissement 4-1. La vanne hydraulique 15 est fermée. L'accumulateur de pression additionnel 30 est ouvert et stocke l'énergie provenant de la phase de chauffage isobare 2-3. Le débitmètre 341 permet la détection de la fin de cette phase de chauffage.

[0075] Comme l'illustre la figure 14, ledit au moins un premier module 32 de l'ensemble A est dans la phase de détente 3-4 et ledit au moins un deuxième module 33 de l'ensemble B est refroidi dans la phase de refroidissement 4-1. La vanne hydraulique 15 est ouverte. L'accumulateur de pression additionnel 30 restitue l'énergie stockée. Le capteur de vitesse de rotation 10 permet de détecter la fin de la phase de détente. Le débitmètre 342 permet la détection de la fin de cette phase de refroidissement. L'accouplement 20 est accouplé et l'énergie mécanique est transformée en électricité. Lorsque la détente et le refroidissement sont terminés, la vanne hydraulique 15 est fermée et ledit au moins un déplaceur dudit au moins un premier module 32 et ledit au moins un déplaceur dudit au moins un deuxième module 33 sont inversés par inversion de pression différentielle, tel que décrit précédemment à l'aide du deuxième module de pilotage.

[0076] Comme l'illustre la figure 15, ledit au moins un premier module 32 de l'ensemble A est refroidi dans la phase de refroidissement 4-1 et ledit au moins un deuxième module 33 de l'ensemble B est chauffé dans la phase de chauffage isochore 1-2. La vanne hydraulique 15 est fermée. L'accouplement 20 est découplé. L'accumulateur de pression additionnel 30 est fermé tant que la pression est inférieure à la pression de précharge de l'accumulateur de pression additionnel 30. Cette phase est achevée lorsque la pression dans ledit au moins un deuxième module 33 de l'ensemble B est égale à la pression de précharge de l'accumulateur de pression additionnel 30.

[0077] Comme l'illustre la figure 16, ledit au moins un premier module 32 de l'ensemble A est refroidi dans la

phase de refroidissement 4-1 et ledit au moins un deuxième module 33 de l'ensemble B est chauffé dans la phase de chauffage isobare 2-3. La vanne hydraulique 15 est fermée. L'accumulateur de pression additionnel 30 est ouvert et stocke l'énergie provenant de la phase de chauffage isobare 2-3. Le débitmètre 341 permet la détection de la fin de cette phase de chauffage.

[0078] Comme l'illustre la figure 17, ledit au moins un premier module 32 de l'ensemble A est refroidi dans la phase de refroidissement 4-1 et ledit au moins un deuxième module 33 de l'ensemble B est dans la phase de détente 3-4. La vanne hydraulique 15 est ouverte. L'accumulateur de pression additionnel 30 restitue l'énergie stockée. Le capteur de vitesse de rotation 10 et/ou le capteur de pression 9, 90 associé à l'ensemble B permet de détecter la fin de la phase de détente. Le débitmètre 342 et/ou le capteur de pression 9, 90 associé à l'ensemble A permet la détection de la fin de cette phase de refroidissement. L'accouplement 20 est accouplé et l'énergie mécanique est transformée en électricité. Lorsque la détente et le refroidissement sont terminés, la vanne hydraulique 15 est fermée et ledit au moins un déplaceur dudit au moins un premier module 32 et ledit au moins un déplaceur dudit au moins un deuxième module 33 sont inversés par inversion de pression différentielle, tel que décrit précédemment à l'aide du deuxième module de pilotage.

[0079] Avantageusement, le séquençage proposé et expliqué en relation avec les figures 12 à 17 et permet de suivre l'évolution des phases dans une architecture dite à opposition de phase, c'est-à-dire que l'ensemble A est chauffé et l'ensemble B est refroidi ou inversement et deux volumes de fluides thermodynamiques suivent des phases opposées à chaque instant.

[0080] L'inversion des déplaceurs au sein des modules se fait selon la description en relation avec les figures 5 à 7.

[0081] Un certain nombre d'éléments ont un fonctionnement « passif », simplifiant ainsi au maximum le pilotage de la machine thermique. Par exemple les clapets anti-retours 35 permettent d'alimenter le moteur hydraulique 12 toujours dans le même sens en formant un circuit géré uniquement par les différences de pression induites. L'accouplement 20, idéalement de type roue libre, ne nécessite aucune action particulière et transmet de l'énergie à l'inertie que dans le sens de rotation du moteur hydraulique 12, tout en restant découplé si le moteur hydraulique 12 tourne moins vite que l'inertie 19. L'accumulateur de pression additionnel 30 est taré à une pression d'ouverture du point 2 du cycle, permettant le chauffage isochore tant que la pression est inférieure à la pression au point 2 du cycle.

[0082] La première unité de pilotage nécessite seulement l'utilisation de deux débitmètres 34, 341, 342 et/ou de deux capteurs de pression 9, 90 afin de déterminer les fins de phases de chauffage et de refroidissement.

[0083] Une des caractéristiques des architectures en opposition de phase telles qu'illustrées en figure 9 est

qu'un ensemble A, B peut enchaîner les trois premières phases du cycle [1 -2, 2-3, 3-4] indépendamment de l'autre ensemble B, A qui n'est qu'en phase de refroidissement [4-1] L'inversion des déplaceurs n'intervient que lorsque les deux séquences sont finies, [1-2, 2-3, 3-4] d'un côté et [4-1] de l'autre, mais il n'est pas déterminé que le refroidissement [4-1] soit systématiquement plus long ou plus court que la succession des phases [1-2, 2-3, 3-4] L'ordre de grandeur du temps nécessaire aux deux séquences est toutefois assez proche dans le domaine de température et de pression visées, ce qui évite les temps morts dans l'utilisation de la machine.

[0084] Cette logique d'optimisation ne vaut que pour les architectures en opposition de phase. Pour les architectures simples telles qu'en figure 3, seule une optimisation du cycle est possible.

[0085] La figure 19 représente un exemple de module 3 selon l'invention pour le déplacement d'un fluide thermodynamique alternativement entre une partie froide 4 reliée à une première source de chaleur 1 et une partie chaude 5 reliée à une deuxième source de chaleur 2 pour machine thermique à cycle thermodynamique.

[0086] Ce module 3 comprend généralement au moins une cartouche 101 ou une pluralité de cartouches 101, dans l'exemple de la figure 19, une seule cartouche 101 décrite ci-après est comprise, et comprend en outre :

[0087] le premier circuit d'alimentation en fluide caloporteur A, B raccordé à des premiers moyens de circulation 103 de ladite au moins une cartouche 101 par au moins un premier orifice d'alimentation 135 et au moins un deuxième orifice d'alimentation 136 des premiers moyens de circulation 103,

[0088] un deuxième circuit d'alimentation en fluide caloporteur C, D raccordé à des deuxièmes moyens de circulation 109 de ladite au moins une cartouche 101 par au moins un troisième orifice d'alimentation 137 et au moins un quatrième orifice d'alimentation 138 des deuxièmes moyens de circulation 109,

[0089] une platine de jonction 139 comprenant au moins des moyens de jonction 114 de la cartouche 101,

[0090] un circuit d'alimentation en fluide de travail H, J, raccordé à un troisième profilé 115 de ladite au moins une cartouche 101 par au moins un cinquième orifice d'alimentation 140 que comprend le troisième profilé 115 et au moins un sixième orifice d'alimentation 141 que comprend le troisième profilé 115, agencé pour piloter le déplacement du piston 126,

[0091] une sortie d'alimentation en fluide thermodynamique G raccordée à la chambre 124 de ladite au moins une cartouche 101 ou une sortie d'alimentation d'un fluide hydraulique E raccordée à un premier espace de remplissage 121 ou à un deuxième espace de remplissage 123 de ladite chambre 124.

[0092] De préférence et comme l'illustre la figure 19, le circuit d'alimentation en fluide de travail H, J est formé dudit premier circuit d'alimentation en fluide caloporteur A, B et dudit deuxième circuit d'alimentation en fluide caloporteur C, D.

[0093] De préférence et comme l'illustre la figure 19, le module 3 comprend une première enceinte 143 isolante qui comprend au moins un premier compartiment 144 dans lequel débouche ledit au moins un premier orifice d'alimentation 135 des premiers moyens de circulation 103 et au moins un deuxième compartiment 145 dans lequel débouche ledit au moins un deuxième orifice d'alimentation 136 des premiers moyens de circulation 103.

[0094] De préférence additionnellement ou alternativement et comme l'illustre la figure 19, le module 3 comprend une deuxième enceinte 143' isolante qui comprend au moins un troisième compartiment 146 dans lequel débouche ledit au moins un troisième orifice d'alimentation 137 des deuxièmes moyens de circulation 109 et au moins un quatrième compartiment 147 dans lequel débouche ledit au moins un quatrième orifice d'alimentation 138 des deuxièmes moyens de circulation 109.

[0095] Le premier compartiment 144 et le deuxième compartiment 145 sont, de préférence, délimités par au moins une première paroi séparatrice 148.

[0096] Le troisième compartiment 146 et le quatrième compartiment 147 sont de préférence, délimités par au moins une deuxième paroi séparatrice 149.

[0097] Comme l'illustre la figure 19, une cartouche 101 pour le déplacement d'un fluide thermodynamique entre une partie froide 4 reliée à une première source de chaleur 1 et une partie chaude 5 reliée à une deuxième source de chaleur 2 pour machine thermique à cycle thermodynamique comprend au moins :

un premier échangeur, formant une partie dite froide 4, comprenant un premier profilé 102 creux comprenant des premiers moyens de circulation 103 d'au moins un fluide caloporteur aptes et destinés à être raccordés à un premier circuit d'alimentation en fluide caloporteur A, B relié à une première source de chaleur, ledit premier profilé 102 comprenant une paroi interne et une paroi externe,

un deuxième échangeur, formant une partie dite chaude, comprenant un deuxième profilé 108 creux comprenant des deuxièmes moyens de circulation 109 d'au moins un fluide caloporteur aptes et destinés à être raccordés à un deuxième circuit d'alimentation en fluide caloporteur C, D relié à une deuxième source de chaleur, ledit deuxième profilé 108 comprenant une paroi interne et une paroi externe,

un troisième profilé 115 creux apte et destiné à être raccordé à au moins un circuit d'alimentation en au moins un fluide de travail J, H, ledit troisième profilé 115 étant disposé à l'intérieur du premier profilé 102 et du deuxième profilé 108, ledit troisième profilé 115 comprenant une paroi interne et une paroi externe,

au moins une partie de la paroi interne du premier profilé 102 et une première partie de la paroi externe du troisième profilé 115 étant espacées et situées en regard l'une de l'autre de sorte à former un premier espace de remplissage 121,

au moins une partie de la paroi interne du deuxième profilé 108 et une deuxième partie de la paroi externe du troisième profilé 115 étant espacées et situées en regard l'une de l'autre de sorte à former un deuxième espace de remplissage 123,

au moins une chambre 124 apte et destinée à contenir au moins un fluide thermodynamique préférentiellement à haute pression et à l'état supercritique, ladite chambre 124 comprenant au moins le premier espace de remplissage 121 et le deuxième espace de remplissage 123 lesquels sont communicants,

au moins un déplaceur 125 disposé à l'intérieur de ladite chambre 124 et monté coulissant relativement à la paroi externe dudit troisième profilé 115 et mobile entre une première position et une deuxième position, et configuré pour déplacer alternativement ledit au moins un fluide thermodynamique entre le premier espace de remplissage 121 et le deuxième espace de remplissage 123,

un piston 126 disposé à l'intérieur dudit troisième profilé 115 et monté coulissant relativement à la paroi interne dudit troisième profilé 115 et mobile entre la première position et la deuxième position, le piston 126 étant apte et destiné à être déplacé par ledit au moins un fluide de travail J, H entre la première position et la deuxième position,

le déplaceur 125 et le piston 126 étant couplés l'un à l'autre.

[0098] Préférentiellement, le troisième profilé 115 est de préférence en matériau amagnétique et le déplaceur 125 et le piston 126 sont couplés magnétiquement l'un à l'autre au travers du troisième profilé 115 par des moyens de liaison magnétique 127.

[0099] Avantagusement, cette configuration permet un contrôle du déplaceur 125 par l'extérieur de la chambre 124 par l'intermédiaire d'un couplage magnétique entre le piston 126 et le déplaceur 125. Ce couplage magnétique permet de transmettre des efforts axiaux au déplaceur 125 sans contact mécanique et donc sans frottement. On évite ainsi d'entraîner des pertes et des usures rédhibitoires par frottement. Cet agencement contribue ainsi à limiter les pertes.

[0100] On entend par amagnétique un matériau qui ne présente pas de propriétés magnétiques ou dont la perméabilité magnétique est faible c'est à dire par exemple proche de 1 et de manière générale inférieure à 50.

[0101] Préférentiellement et comme l'illustre la figure

19, ledit troisième profilé 115, ledit premier profilé 102 et ledit deuxième profilé 108, le déplaceur 125 et le piston 126 sont coaxiaux.

Revendications

1. Machine thermique apte et destinée à réaliser au moins une conversion d'énergie thermique en énergie mécanique comprenant au moins un fluide thermodynamique et apte et destinée à mettre en œuvre un cycle thermodynamique comprenant au moins une phase de chauffage isochore, optionnellement une phase de chauffage isobare, une phase de détente et une phase de refroidissement isobare, la machine thermique comprenant au moins :

- une première source de chaleur (1) à une première température T1 configurée pour contenir et transmettre une énergie thermique à au moins un fluide caloporteur,

- une deuxième source de chaleur (2) à une deuxième température T2 configurée pour contenir et transmettre une énergie thermique à au moins un fluide caloporteur, les première et deuxième températures T1 et T2 étant différentes,

- au moins un module (3, 3') pour le déplacement du fluide thermodynamique alternativement entre une partie froide (4) reliée à la première source de chaleur (1) et une partie chaude (5) reliée à la deuxième source de chaleur (2), ledit au moins un module (3, 3') comprenant au moins la partie froide (4), ledit au moins un module (3, 3') comprenant un premier circuit d'alimentation du fluide caloporteur (A, B) raccordé à la première source de chaleur (1) et à la partie froide (4), ledit au moins un module (3, 3') comprenant au moins la partie chaude (5), ledit au moins un module (3, 3') comprenant un deuxième circuit d'alimentation du fluide caloporteur (C,D) raccordé à la deuxième source de chaleur (2) et à la partie chaude (5), ledit au moins un module (3, 3') comprenant au moins une chambre apte et destinée à contenir ledit au moins un fluide thermodynamique et laquelle est raccordée à au moins une sortie d'alimentation en fluide thermodynamique (G) à une première pression P1 ou à une sortie d'alimentation en fluide hydraulique (E) à une deuxième pression P2,

- au moins une première unité de conversion (6) d'une différence de pression du fluide thermodynamique en énergie mécanique comprenant au moins un circuit (7) lequel comprend au moins des moyens de conversion mécanique, de préférence un moteur (8), ladite première unité de conversion (6) étant reliée à la sortie

- d'alimentation en fluide thermodynamique (G) ou à la sortie d'alimentation en fluide hydraulique (E),
- au moins une première unité de pilotage au moins en partie disposée dans la première unité de conversion (6) agencée au moins pour contrôler la phase dans laquelle se trouve le cycle thermodynamique dans ledit au moins un module (3, 3'),
- ladite machine thermique est
- caractérisée en ce que** ledit au moins un module (3, 3') comprend en outre au moins un déplaceur mobile dans ladite chambre alternativement entre la partie froide (4) et la partie chaude (5), ladite chambre étant apte et destinée à contenir ledit au moins un fluide thermodynamique à haute pression présentant des pressions comprises entre 50 bars et 300 bars et à l'état supercritique, et **en ce qu'elle** comprend une deuxième unité de pilotage dudit au moins un module (3, 3') agencée pour piloter le déplacement dudit au moins un déplaceur alternativement entre la partie chaude (5) et la partie froide (4).
2. Machine thermique selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** ladite première unité de conversion (6) comprend au moins un accumulateur de pression (11) relié en aval des moyens de conversion mécanique, de préférence du moteur (8), lequel est un moteur hydraulique (12) ou une turbine à fluide thermodynamique (14) préférentiellement à l'état supercritique, ledit accumulateur de pression (11) étant apte et destiné à maintenir ou faire varier la pression du circuit (7) supérieure ou égale à la pression critique du fluide thermodynamique.
3. Machine thermique selon la revendication 2, **caractérisée en ce que** ladite première unité de pilotage comprend au moins un organe de mesure de pression et/ou de débit (9) agencé pour contrôler la phase dans laquelle se trouve le cycle thermodynamique et en particulier pour déterminer l'achèvement de chaque phase du cycle, ledit organe de mesure de pression et/ou de débit (9) étant disposé entre la chambre et ledit accumulateur de pression (11) et de préférence étant disposé entre la sortie d'alimentation en fluide thermodynamique (G) ou à la sortie d'alimentation en fluide hydraulique (E) et ledit accumulateur de pression (11).
4. Machine thermique selon la revendication 3, **caractérisée en ce que** ladite première unité de pilotage comprend au moins un élément de régulation de pression et/ou de débit (13) du circuit (7) agencé au moins pour commander/piloter la phase de chauffage isobare et/ou la phase de détente du cycle thermodynamique, ledit au moins un élément de
- régulation de pression et/ou de débit (13) étant disposé entre la sortie d'alimentation en fluide thermodynamique (G) ou à la sortie d'alimentation en fluide hydraulique (E) et ledit accumulateur de pression (11).
5. Machine thermique selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, **caractérisée en ce qu'elle** comprend en outre une deuxième unité de conversion (18) d'énergie mécanique en énergie électrique raccordée à ladite première unité de conversion (6) en aval des moyens de conversion mécanique, de préférence dudit moteur (8).
6. Machine thermique selon la revendication 5, **caractérisée en ce que** la deuxième unité de conversion (18) comprend au moins une inertie (19) reliée d'une part à un accouplement (20) et d'autre part à un générateur (21).
7. Machine thermique selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisée en ce que** le module (3, 3') comprend au moins un piston contenu dans un cylindre raccordé à un circuit d'alimentation en fluide de travail (J, H) par une première extrémité et une deuxième extrémité du cylindre pour piloter le déplacement du piston mobile dans le cylindre et **en ce que** le déplaceur et le piston sont couplés l'un à l'autre.
8. Machine thermique selon la revendication 7, **caractérisée en ce que** la deuxième unité de pilotage comprend au moins un premier organe de régulation de la pression et/ou du débit à la première extrémité du cylindre et au moins un deuxième organe de régulation de la pression et/ou du débit à la deuxième extrémité du cylindre pour maintenir ou faire varier une différence de pression entre la première extrémité et la deuxième extrémité de sorte à déplacer alternativement ledit au moins un déplaceur entre la partie chaude (5) et la partie froide (4).
9. Machine thermique selon la revendication 7, **caractérisée en ce que** le circuit d'alimentation en fluide de travail (J, H) est formé dudit premier circuit d'alimentation du fluide caloporteur (A, B) et dudit deuxième circuit d'alimentation du fluide caloporteur (C, D), et **en ce que** la deuxième unité de pilotage comprend au moins un premier organe de régulation de la pression et/ou du débit de la première source de chaleur (1) et un deuxième organe de régulation de la pression et/ou du débit de la deuxième source de chaleur (2), le premier organe de régulation de la pression et/ou du débit et le deuxième organe de régulation de la pression et/ou du débit étant configurés pour maintenir ou faire varier une différence de pression entre la première source de chaleur (1) et la deuxième source de chaleur (2) de sorte à déplacer

alternativement ledit au moins un déplaceur entre la partie froide (4) et la partie chaude (5).

10. Machine thermique selon l'une quelconque des revendications 3 à 9, **caractérisée en ce que** ledit élément de régulation de pression et/ou de débit (13) et/ou ledit premier organe de régulation de la pression et/ou du débit et/ou ledit deuxième organe de régulation de la pression et/ou du débit et/ou ledit troisième organe de régulation de la pression et/ou du débit du premier circuit d'alimentation du fluide caloporteur (A, B) et/ou le quatrième organe de régulation de la pression du deuxième circuit d'alimentation du fluide caloporteur (C, D) est choisi parmi un limiteur de pression (16, 26, 27) et/ou un régulateur de débit (28, 29) et/ou une vanne hydraulique (15) et/ou un limiteur de débit réglable et/ou un orifice à étranglement variable (17) ou un accumulateur de pression additionnel (30). 5
11. Machine thermique selon la revendication 3, **caractérisée en ce que** ledit organe de mesure de pression et/ou de débit (9) du circuit (7) est choisi parmi au moins un capteur de pression (90) ou un débitmètre ou un capteur de vitesse de rotation (10) ou un capteur de déplacement linéaire d'un piston hydraulique. 10
12. Machine thermique selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, **caractérisée en ce que** ladite machine thermique comprend au moins un premier module (3, 3') et un deuxième module (3, 3'), lesquels sont raccordés en série l'un à l'autre au niveau de leur sortie d'alimentation en fluide thermodynamique (G) ou de leur sortie d'alimentation en fluide hydraulique (E) à l'aide d'une première conduite d'interconnexion (31), lesquels sont raccordés en série l'un à l'autre au niveau de leur premier circuit d'alimentation (A, B), et lesquels sont raccordés en série l'un à l'autre au niveau de leur deuxième circuit d'alimentation (C, D). 15
13. Machine thermique selon la revendication précédente, **caractérisée en ce que** ladite première unité de pilotage est agencée au moins pour contrôler de manière centralisée la phase dans laquelle se trouve le cycle thermodynamique dans ledit premier module (3, 3') et dans ledit deuxième module (3, 3'). 20
14. Machine thermique selon la revendication 11, **caractérisée en ce que** ladite deuxième unité de pilotage est commune au premier module (3, 3') et au deuxième module (3, 3') et est agencée pour piloter de manière centralisée ledit au moins un déplaceur du premier module (3, 3') et ledit au moins un déplaceur du deuxième module (3, 3'). 25
15. Machine thermique selon l'une quelconque des re-

vendications 1 à 14, **caractérisée en ce que** ladite machine thermique comprend au moins un premier module (32) et au moins un deuxième module (33), lesquels sont chacun raccordés à la première unité de conversion (6) par leur sortie d'alimentation en fluide thermodynamique (G) ou par leur sortie d'alimentation en fluide hydraulique (E) et **en ce que** le premier module (32) et le deuxième module (33) sont agencés de sorte que lorsque ledit au moins un déplaceur du premier module (32) est dans la partie froide (4) alors ledit au moins un déplaceur du deuxième module (33) est dans la partie chaude (5).

15 Patentansprüche

1. Thermische Maschine, die geeignet und dazu bestimmt ist, mindestens eine Umwandlung von Wärmeenergie in mechanische Energie durchzuführen, die mindestens ein thermodynamisches Fluid umfasst und geeignet und dazu bestimmt ist, einen thermodynamischen Zyklus zu implementieren, der mindestens eine isochore Heizphase, optional eine isobare Heizphase, eine Entspannungsphase und eine isobare Kühlphase umfasst, wobei die thermische Maschine mindestens enthält :

- eine erste Wärmequelle (1) mit einer ersten Temperatur T1, die so konfiguriert ist, dass sie Wärmeenergie enthält und an mindestens ein Wärmeträgerfluid abgibt,
- eine zweite Wärmequelle (2) mit einer zweiten Temperatur T2, die so konfiguriert ist, dass sie Wärmeenergie enthält und an mindestens ein Wärmeträgerfluid überträgt, wobei die erste und die zweite Temperatur T1 und T2 unterschiedlich sind,
- mindestens ein Modul (3, 3') für die Bewegung des thermodynamischen Fluids abwechselnd zwischen einem kalten Teil (4), der mit der ersten Wärmequelle (1) verbunden ist, und einem warmen Teil (5), der mit der zweiten Wärmequelle (2) verbunden ist, wobei das mindestens eine Modul (3, 3') mindestens den kalten Teil (4) umfasst, wobei das mindestens eine Modul (3, 3') einen ersten Kreislauf zur Versorgung mit Wärmeträgerflüssigkeit (A, B) umfasst, der mit der ersten Wärmequelle (1) und dem kalten Teil (4) verbunden ist, wobei das mindestens ein Modul (3, 3') mindestens den heißen Teil (5) umfasst, das mindestens eine Modul (3, 3') einen zweiten Kreislauf zur Versorgung mit Wärmeträgerflüssigkeit (C, D) umfasst, der mit der zweiten Wärmequelle (2) und dem heißen Teil (5) verbunden ist, wobei das mindestens eine Modul (3, 3') mindestens eine Kammer umfasst, die das mindestens eine thermodynamische Fluid enthalten kann und soll und die mit min-

destens einem Versorgungsausgang für thermodynamisches Fluid (G) bei einem ersten Druck P1 oder mit einem Versorgungsausgang für Hydraulikfluid (E) bei einem zweiten Druck P2 verbunden ist,

- mindestens eine erste Umwandlungseinheit (6) zur Umwandlung einer Druckdifferenz des thermodynamischen Fluids in mechanische Energie, die mindestens einen Kreislauf (7) umfasst, der mindestens mechanische Umwandlungsmittel, vorzugsweise einen Motor (8), umfasst, wobei die erste Umwandlungseinheit (6) mit dem Versorgungsausgang für thermodynamisches Fluid (G) oder dem Versorgungsausgang für hydraulisches Fluid (E) verbunden ist,

- mindestens eine erste Steuereinheit, die zumindest teilweise in der ersten Umwandlungseinheit (6) angeordnet ist, die so beschaffen ist, dass sie zumindest die Phase steuert, in der sich der thermodynamische Zyklus in dem mindestens einen Modul (3, 3') befindet,

wobei die thermische Maschine **dadurch gekennzeichnet ist, dass** das mindestens ein Modul (3, 3') außerdem mindestens einen beweglichen Verschieber in der Kammer umfasst, der abwechselnd zwischen dem kalten Teil (4) und dem heißen Teil (5) bewegt werden kann, wobei die Kammer geeignet und dazu bestimmt ist, das mindestens eine thermodynamische Hochdruckfluid mit Drücken zwischen 50 bar und 300 bar und im überkritischen Zustand zu enthalten, und dass sie eine zweite Steuereinheit des mindestens einen Moduls (3, 3') umfasst, die so beschaffen ist, dass sie die Bewegung des mindestens einen Verschiebers abwechselnd zwischen dem heißen Teil (5) und dem kalten Teil (4) steuert.

2. Thermische Maschine nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste Umwandlungseinheit (6) mindestens einen Druckspeicher (11) umfasst, der stromabwärts mit den mechanischen Umwandlungsmitteln verbunden ist, vorzugsweise mit dem Motor (8), der ein Hydraulikmotor (12) oder eine Turbine mit thermodynamischem Fluid (14), vorzugsweise im überkritischen Zustand, ist, wobei der Druckspeicher (11) geeignet und dazu bestimmt ist, den Druck des Kreislaufs (7) größer oder gleich dem kritischen Druck des thermodynamischen Fluids zu halten oder zu variieren.
3. Thermische Maschine nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste Steuereinheit mindestens ein Druck- und/oder Durchflussmessorgan (9) umfasst, das so angeordnet ist, dass es die Phase, in der sich der thermodynamische Zyklus befindet, überwacht und insbesondere den Abschluss jeder Phase des Zyklus bestimmt, wobei das Druck- und/oder Durchflussmessorgan (9) zwi-

schen der Kammer und dem Druckspeicher (11) angeordnet ist und vorzugsweise zwischen dem Versorgungsauslass für thermodynamisches Fluid (G) oder am Versorgungsauslass für Hydraulikfluid (E) und dem Druckspeicher (11) angeordnet ist.

4. Thermische Maschine nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste Steuereinheit mindestens ein Druck- und/oder Durchflussregelelement (13) des Kreislaufs (7) umfasst, das so angeordnet ist, dass es mindestens die isobare Heizphase und/oder die Expansionsphase des thermodynamischen Zyklus steuert/regelt, wobei das mindestens eine Druck- und/oder Durchflussregelelement (13) zwischen dem Versorgungsausgang für thermodynamisches Fluid (G) oder am Versorgungsausgang für hydraulisches Fluid (E) und dem Druckspeicher (11) angeordnet ist.
5. Thermische Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie außerdem eine zweite Einheit (18) zur Umwandlung von mechanischer Energie in elektrische Energie umfasst, die mit der ersten Umwandlungseinheit (6) stromabwärts der mechanischen Umwandlungsmittel, vorzugsweise des Motors (8), verbunden ist.
6. Thermische Maschine nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zweite Umwandlungseinheit (18) mindestens eine Trägheit (19) umfasst, die einerseits mit einer Kupplung (20) und andererseits mit einem Generator (21) verbunden ist.
7. Thermische Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Modul (3, 3') mindestens einen Kolben umfasst, der in einem Zylinder enthalten ist, der über ein erstes Ende und ein zweites Ende des Zylinders mit einem Arbeitsfluid-Versorgungskreislauf (J, H) verbunden ist, um die Bewegung des in dem Zylinder beweglichen Kolbens zu steuern, und dass der Verschieber und der Kolben miteinander gekoppelt sind.
8. Thermische Maschine nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zweite Steuereinheit mindestens ein erstes Organ zur Regelung des Drucks und/oder des Durchflusses am ersten Ende des Zylinders und mindestens ein zweites Organ zur Regelung des Drucks und/oder des Durchflusses am zweiten Ende des Zylinders umfasst, um eine Druckdifferenz zwischen dem ersten Ende und dem zweiten Ende aufrechtzuerhalten oder zu variieren, so dass der mindestens eine Verschieber abwechselnd zwischen dem heißen Teil (5) und dem kalten Teil (4) verschoben wird.
9. Thermische Maschine nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Arbeitsfluid-Versor-

- gungskreislauf (J, H) aus dem ersten Kreislauf zur Versorgung mit Wärmeträgerflüssigkeit (A, B) und dem zweiten Kreislauf zur Versorgung mit Wärmeträgerflüssigkeit (C, D) gebildet wird, und dass die zweite Steuereinheit mindestens ein erstes Organ zur Regelung des Drucks und/oder der Durchflussmenge der ersten Wärmequelle (1) und ein zweites Organ zur Regelung des Drucks und/oder der Durchflussmenge der zweiten Wärmequelle (2) umfasst, wobei das erste Organ zur Regelung des Drucks und/oder des Durchsatzes und das zweite Organ zur Regelung des Drucks und/oder des Durchsatzes so konfiguriert sind, dass sie eine Druckdifferenz zwischen der ersten Wärmequelle (1) und der zweiten Wärmequelle (2) aufrechterhalten oder variieren, so dass der mindestens eine Verschieber abwechselnd zwischen dem kalten Teil (4) und dem warmen Teil (5) verschoben wird.
10. Thermische Maschine nach einem der Ansprüche 3 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Druck- und/oder Durchflussregелеlement (13) und/oder das erste Druck- und/oder Durchflussregелеlement und/oder das zweite Druck- und/oder Durchflussregелеlement und/oder das dritte Druck- und/oder Durchflussregелеlement des ersten Kreislaufs zur Versorgung mit Wärmeträgerflüssigkeit (A, B) und/oder das vierte Druckregelorgan des zweiten Kreislaufs zur Versorgung mit Wärmeträgerflüssigkeit (C, D) ausgewählt ist aus einem Druckbegrenzungsventil (16, 26, 27) und/oder einem Durchflussregler (28, 29) und/oder einem Hydraulikventil (15) und/oder einem einstellbaren Durchflussbegrenzer und/oder einer Blende mit variabler Drosselung (17) oder einem zusätzlichen Druckspeicher (30).
11. Thermische Maschine nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Druck- und/oder Durchflussmessorgan (9) des Kreislaufs (7) aus mindestens einem Drucksensor (90) oder einem Durchflussmesser oder einem Drehgeschwindigkeitssensor (10) oder einem Sensor für die lineare Verschiebung eines Hydraulikkolbens ausgewählt ist.
12. Thermische Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die thermische Maschine mindestens ein erstes Modul (3, 3') und ein zweites Modul (3, 3') umfasst, die an ihrem Versorgungsauslass für thermodynamisches Fluid (G) oder an ihrem Versorgungsauslass für Hydraulikfluid (E) mit Hilfe einer ersten Verbindungsleitung (31) in Reihe miteinander verbunden sind, die an ihrem ersten Kreislauf zur Versorgung mit Wärmeträgerflüssigkeit (A, B) in Reihe miteinander verbunden sind, und die an ihrem zweiten Kreislauf zur Versorgung mit Wärmeträgerflüssigkeit (C, D) in Reihe miteinander verbunden sind.
13. Thermische Maschine nach dem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste Steuereinheit so angeordnet ist, dass sie zumindest die Phase, in der sich der thermodynamische Zyklus in dem ersten Modul (3, 3') und in dem zweiten Modul (3, 3') befindet, zentral steuert.
14. Thermische Maschine nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zweite Steuereinheit dem ersten Modul (3, 3') und dem zweiten Modul (3, 3') gemeinsam ist und so angeordnet ist, dass sie den mindestens einen Verschieber des ersten Moduls (3, 3') und den mindestens einen Verschieber des zweiten Moduls (3, 3') zentral steuert.
15. Thermische Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** die thermische Maschine mindestens ein erstes Modul (32) und mindestens ein zweites Modul (33) umfasst, welche jeweils mit der ersten Umwandlungseinheit (6) über ihren Versorgungsausgang für thermodynamisches Fluid (G) oder über ihren Versorgungsausgang für hydraulisches Fluid (E) verbunden sind, und dass das erste Modul (32) und das zweite Modul (33) so angeordnet sind, dass, wenn der mindestens eine Verschieber des ersten Moduls (32) im kalten Teil (4) ist, dann der mindestens eine Verschieber des zweiten Moduls (33) im heißen Teil (5) ist.

Claims

1. Heat engine adapted and designed to perform at least one conversion of thermal energy into mechanical energy comprising at least one thermodynamic fluid and adapted and designed to implement a thermodynamic cycle comprising at least one isochoric heating phase, optionally an isobaric heating phase, an expansion phase and an isobaric cooling phase, the heat engine comprising at least :
- a first heat source (1) at a first temperature T1 configured to contain and transmit thermal energy to at least one heat transfer fluid,
 - a second heat source (2) at a second temperature T2 configured to contain and transmit thermal energy to at least one heat transfer fluid, the first and second temperatures T1 and T2 being different,
 - at least one module (3, 3') for moving the thermodynamic fluid alternately between a cold part (4) connected to the first heat source (1) and a hot part (5) connected to the second heat source (2), said at least one module (3, 3') comprising at least the cold part (4), said at least one module (3, 3') comprising a first heat transfer fluid supply circuit (A, B) connected to the first heat source (1) and to the cold part (4), said at

least one module (3, 3') comprising at least the hot part (5), said at least one module (3, 3') comprising a second heat transfer fluid supply circuit (C, D) connected to the second heat source (2) and to the hot part (5), said at least one module (3, 3') comprising at least one chamber suitable and designed to contain said at least one thermodynamic fluid and which is connected to at least one thermodynamic fluid supply outlet (G) at a first pressure P1 or to a hydraulic fluid supply outlet (E) at a second pressure P2,

- at least one first conversion unit (6) for converting a pressure difference of the thermodynamic fluid into mechanical energy comprising at least one circuit (7) which comprises at least mechanical conversion means, preferably a motor (8), said first conversion unit (6) being connected to the thermodynamic fluid supply outlet (G) or to the hydraulic fluid supply outlet (E), at least a first control unit at least partly disposed in the first conversion unit (6) arranged at least to control the phase in which the thermodynamic cycle is in said at least one module (3, 3'), said heat engine is **characterized in that** said at least one module (3, 3') further comprises at least one displacer movable in said chamber alternately between the cold part (4) and the hot part (5), said chamber being suitable and intended to contain said at least one high-pressure thermodynamic fluid having pressures between 50 bar and 300 bar and in the supercritical state, and **in that** it comprises a second control unit of said at least one module (3, 3') arranged to control the displacement of said at least one displacer alternately between the hot part (5) and the cold part (4).

2. Heat engine according to claim 1, **characterized in that** said first conversion unit (6) comprises at least one pressure accumulator (11) connected downstream of the mechanical conversion means, preferably of the motor (8), which is a hydraulic motor (12) or a turbine with thermodynamic fluid (14) preferably in the supercritical state, said pressure accumulator (11) being able and intended to maintain or vary the pressure of the circuit (7) greater than or equal to the critical pressure of the thermodynamic fluid.
3. Heat engine according to claim 2, **characterized in that** said first control unit comprises at least one pressure and/or flow measuring member (9) arranged to control the phase in which the thermodynamic cycle is, and in particular to determine the completion of each phase of the cycle, said pressure and/or flow rate measuring member (9) being disposed between the chamber and said pressure ac-

cumulator (11) and preferably being disposed between the thermodynamic fluid supply outlet (G) or the hydraulic fluid supply outlet (E) and said pressure accumulator (11).

4. Heat engine according to claim 3, **characterized in that** said first control unit comprises at least one pressure and/or flow regulation element (13) of the circuit (7) arranged at least to control/pilot the isobaric heating phase and/or the expansion phase of the thermodynamic cycle, said at least one pressure and/or flow regulation element (13) being arranged between the thermodynamic fluid supply outlet (G) or the hydraulic fluid supply outlet (E) and said pressure accumulator (11).
5. Heat engine according to any one of claims 1 to 4, **characterized in that** it further comprises a second mechanical-to-electrical energy conversion unit (18) connected to said first conversion unit (6) downstream of the mechanical conversion means, preferably of said motor (8).
6. Heat engine according to claim 5, **characterized in that** the second conversion unit (18) comprises at least one inertia (19) connected on the one hand to a coupling (20) and on the other hand to a generator (21).
7. Heat engine according to any one of claims 1 to 6, **characterized in that** the module (3, 3') comprises at least one piston contained in a cylinder connected to a working fluid supply circuit (J, H) via a first end and a second end of the cylinder for controlling the displacement of the piston movable in the cylinder and **in that** the displacer and the piston are coupled to each other.
8. Heat engine according to claim 7, **characterized in that** the second control unit comprises at least one first pressure and/or flow regulating member at the first end of the cylinder and at least one second pressure and/or flow regulating member at the second end of the cylinder for maintaining or varying a pressure difference between the first end and the second end so as to displace said at least one displacer alternately between the hot part (5) and the cold part (4).
9. Heat engine according to claim 7, **characterized in that** the working fluid supply circuit (J, H) is formed by said first heat transfer fluid supply circuit (A, B) and said second heat transfer fluid supply circuit (C, D), and **in that** the second control unit comprises at least a first member for regulating the pressure and/or flow rate of the first heat source (1) and a second member for regulating the pressure and/or flow rate of the second heat source (2), the first pressure and/or

flow-rate regulator and the second pressure and/or flow-rate regulator being configured to maintain or vary a pressure difference between the first heat source (1) and the second heat source (2) so as to displace said at least one displacer alternately between the cold part (4) and the hot part (5).

outlet (E), and **in that** the first module (31) and the second module (33) are arranged so that when said at least one displacer of the first module (31) is in the cold part (4) then said at least one displacer of the second module (33) is in the hot part (5).

10. Heat engine according to any one of claims 3 to 9, **characterized in that** said pressure and/or flow regulating element (13) and/or said first pressure and/or flow regulating member and/or said second pressure and/or flow regulating member and/or said third pressure and/or flow regulating member of the first heat transfer fluid supply circuit (A, B) and/or the fourth pressure regulator of the second heat transfer fluid supply circuit (C, D) is selected from a pressure limiter (16, 26, 27) and/or a flow regulator (28, 29) and/or a hydraulic valve (15) and/or an adjustable flow limiter and/or a variable throttle orifice (17) or an additional pressure accumulator (30).
11. Heat engine according to claim 3, **characterized in that** said pressure and/or flow measuring member (9) of the circuit (7) is chosen from at least one pressure sensor (90) or flowmeter or rotational speed sensor (10) or linear displacement sensor of a hydraulic piston.
12. Heat engine according to any one of claims 1 to 11, **characterized in that** said heat engine comprises at least a first module (3, 3') and a second module (3, 3'), which are connected in series to each other at their thermodynamic fluid supply outlet (G) or their hydraulic fluid supply outlet (E) by means of a first interconnecting line (31), which are connected in series with each other at their first supply circuit (A, B), and which are connected in series with each other at their second supply circuit (C, D).
13. Heat engine according to the preceding claim, **characterized in that** said first control unit is arranged at least to centrally control the phase in which the thermodynamic cycle is in said first module (3, 3') and in said second module (3, 3').
14. Heat engine according to claim 11, **characterized in that** said second control unit is common to the first module (3, 3') and the second module (3, 3') and is arranged to centrally control said at least one displacer of the first module (3, 3') and said at least one displacer of the second module (3, 3').
15. Heat engine according to any one of claims 1 to 14, **characterized in that** said heat engine comprises at least one first module (32) and at least one second module (33), which are each connected to the first conversion unit (6) via their thermodynamic fluid supply outlet (G) or via their hydraulic fluid supply

[Fig. 1]

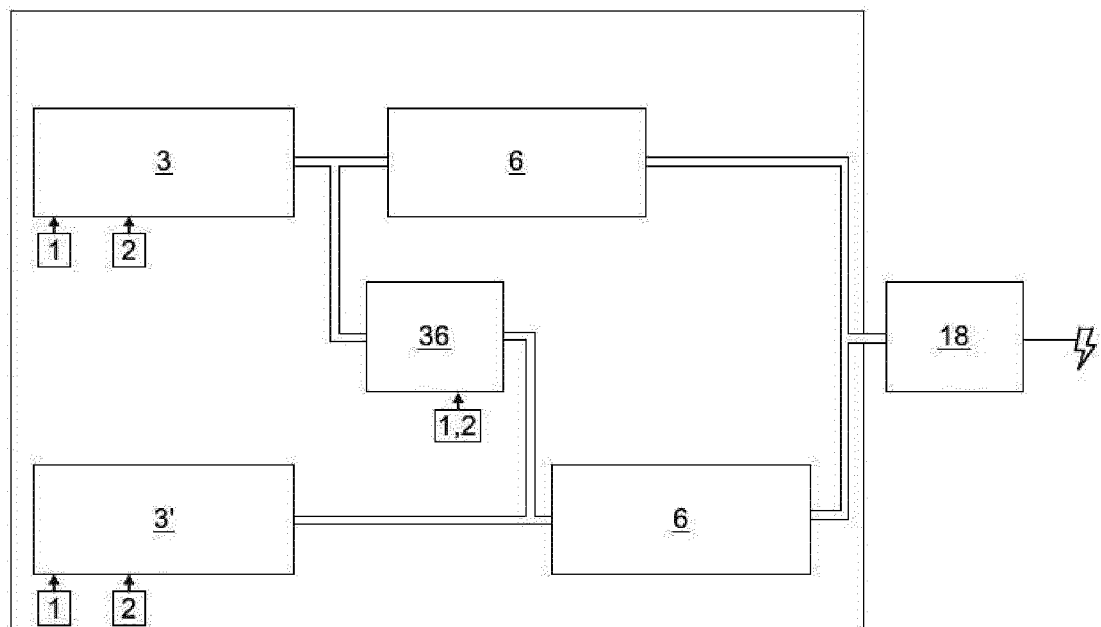


Fig. 1

[Fig. 2]

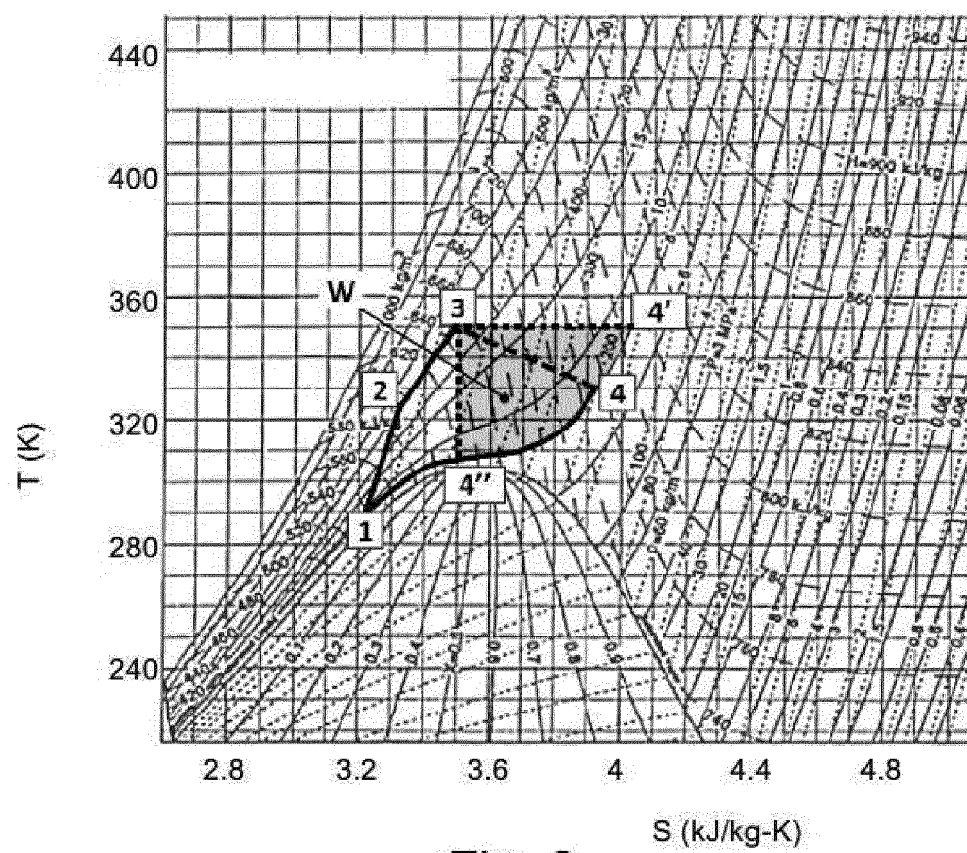


Fig. 2

[Fig. 3]

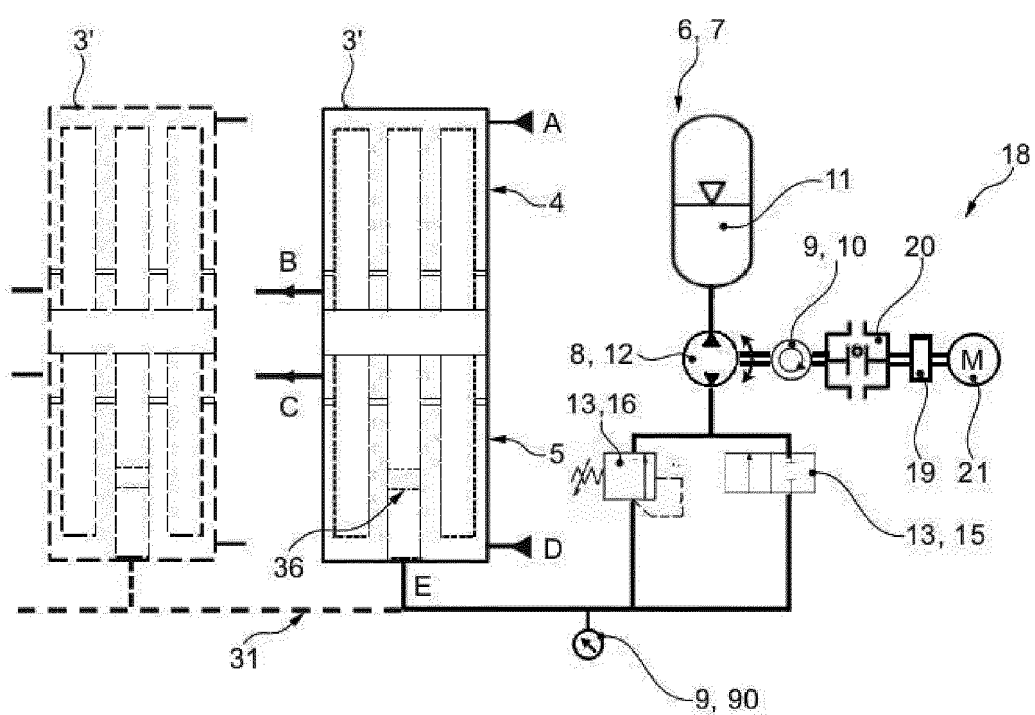


Fig. 3

[Fig. 4]

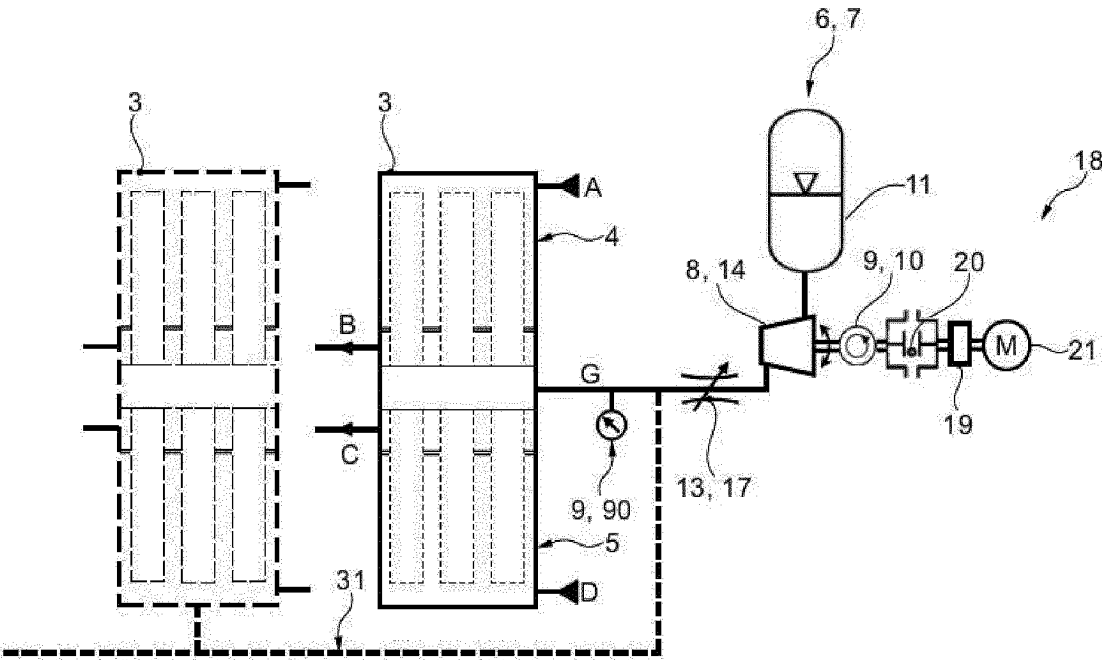


Fig. 4

[Fig. 5]

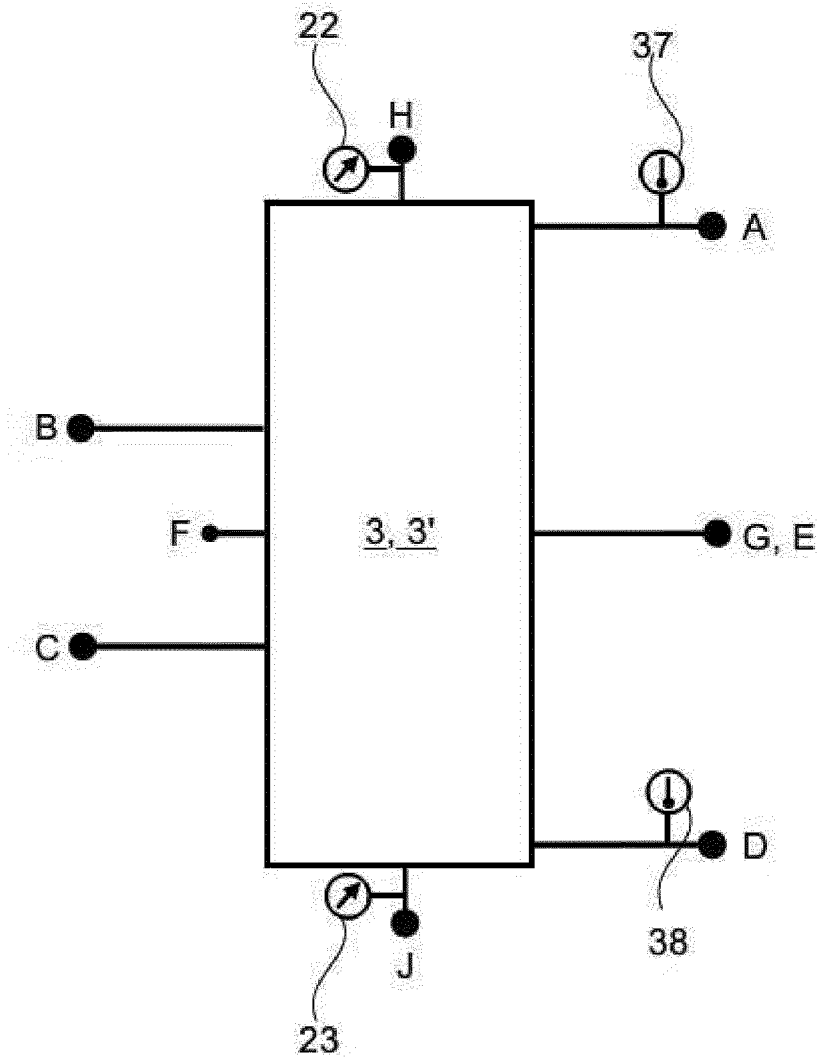


Fig. 5

[Fig. 6]

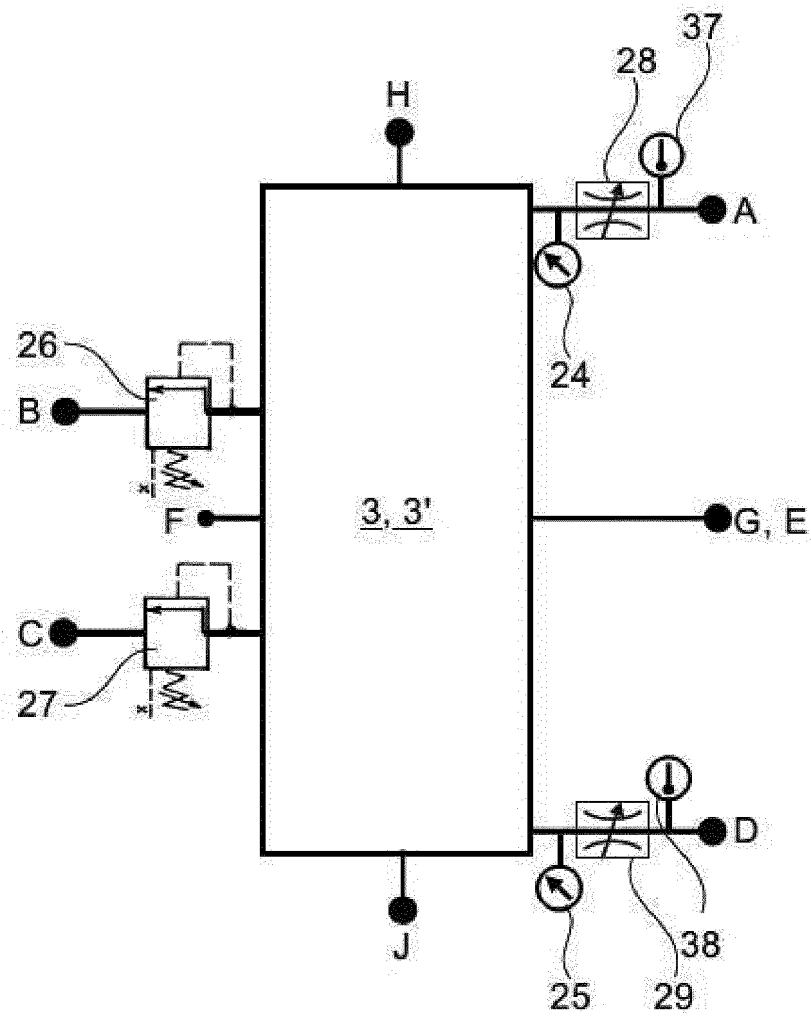


Fig. 6

[Fig. 7]

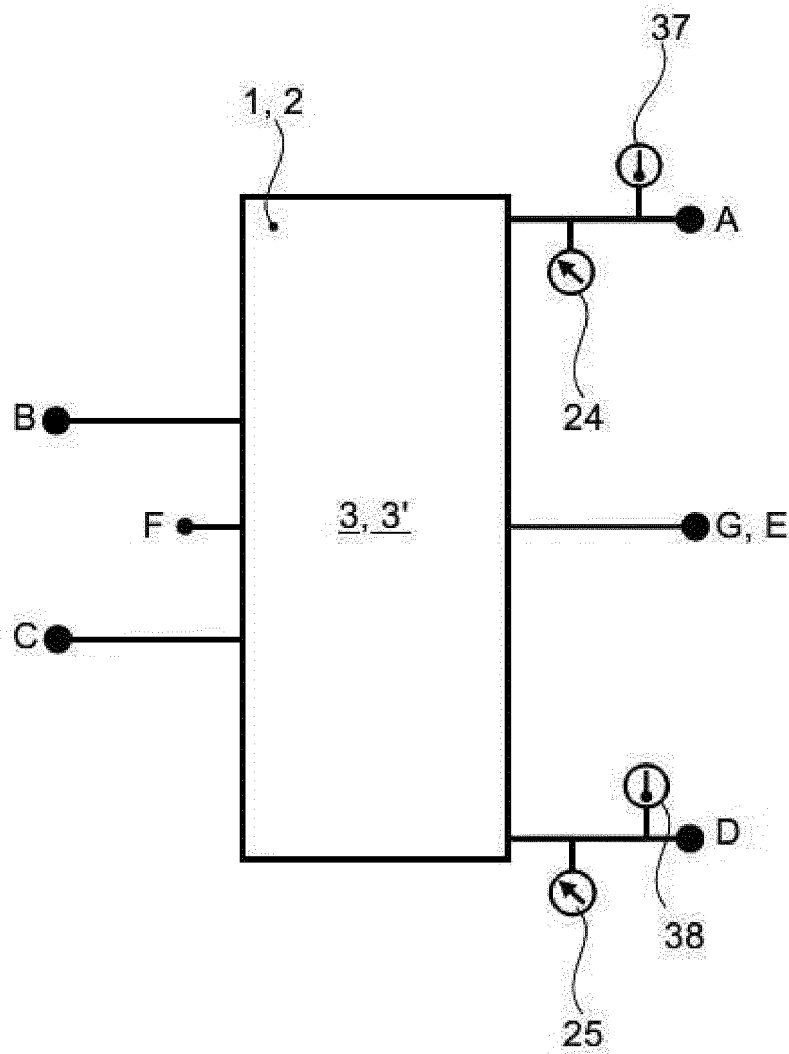


Fig. 7

[Fig. 8]

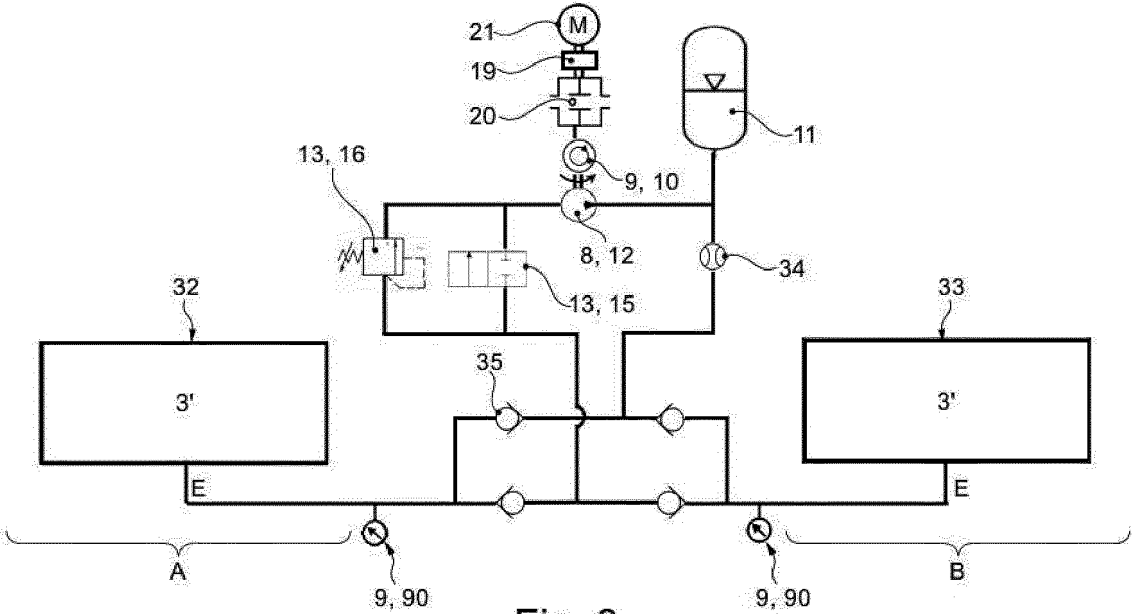


Fig. 8

[Fig. 9]

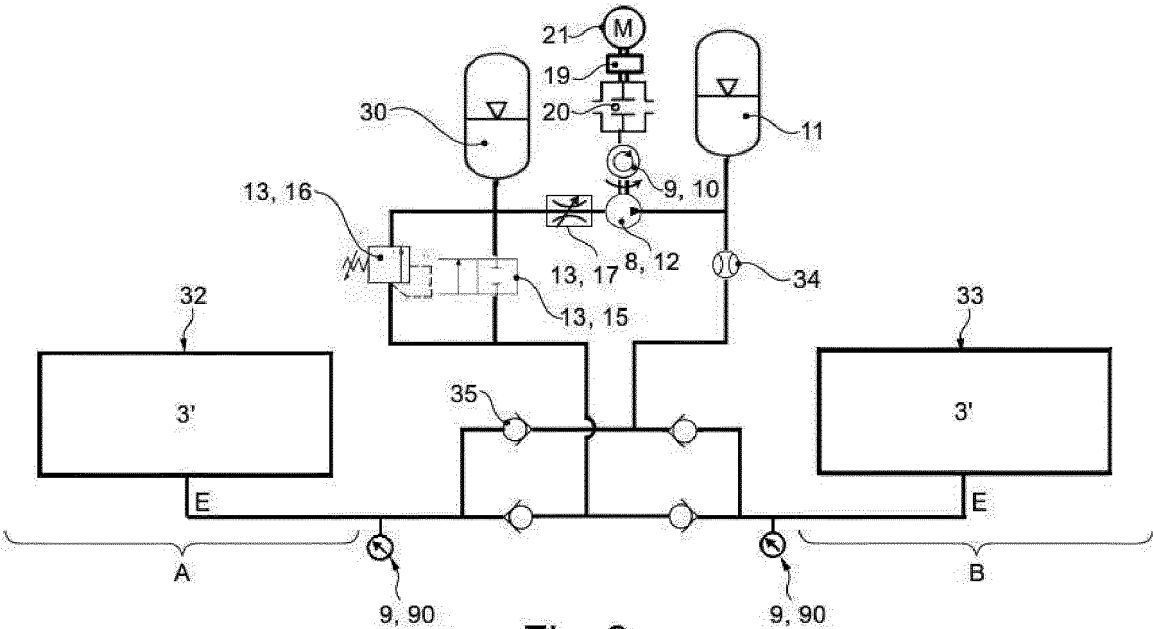


Fig. 9

[Fig. 10]

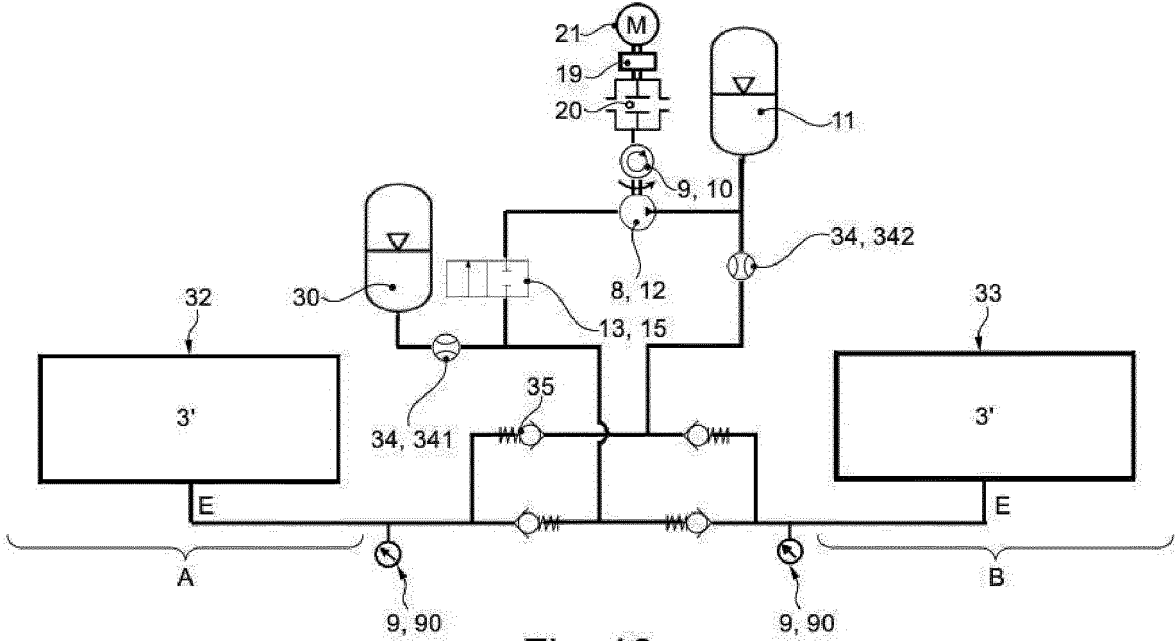


Fig. 10

[Fig. 11]

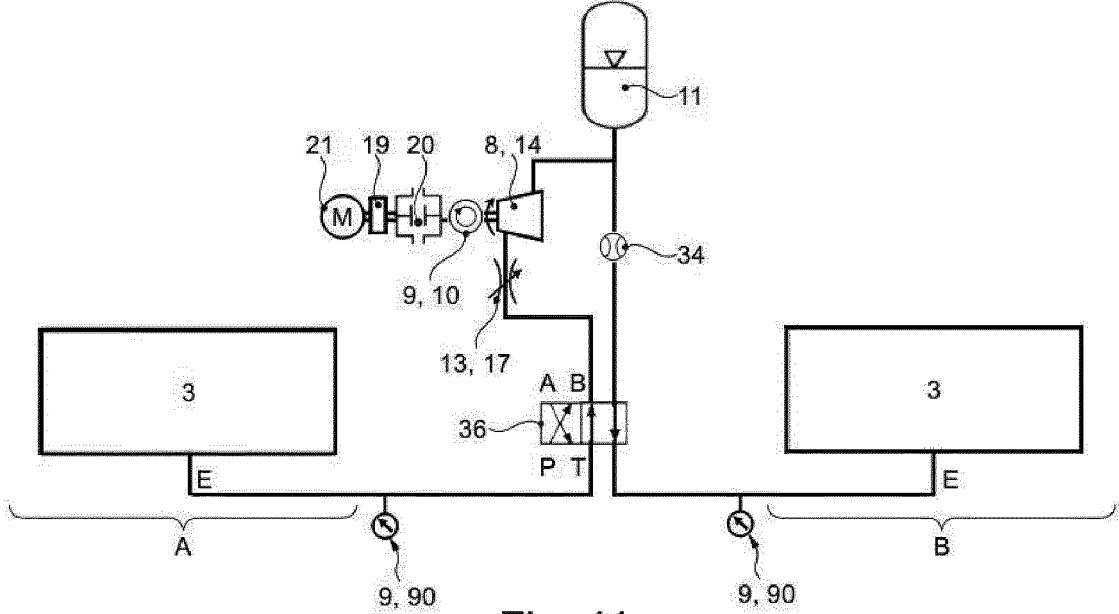


Fig. 11

[Fig. 12]

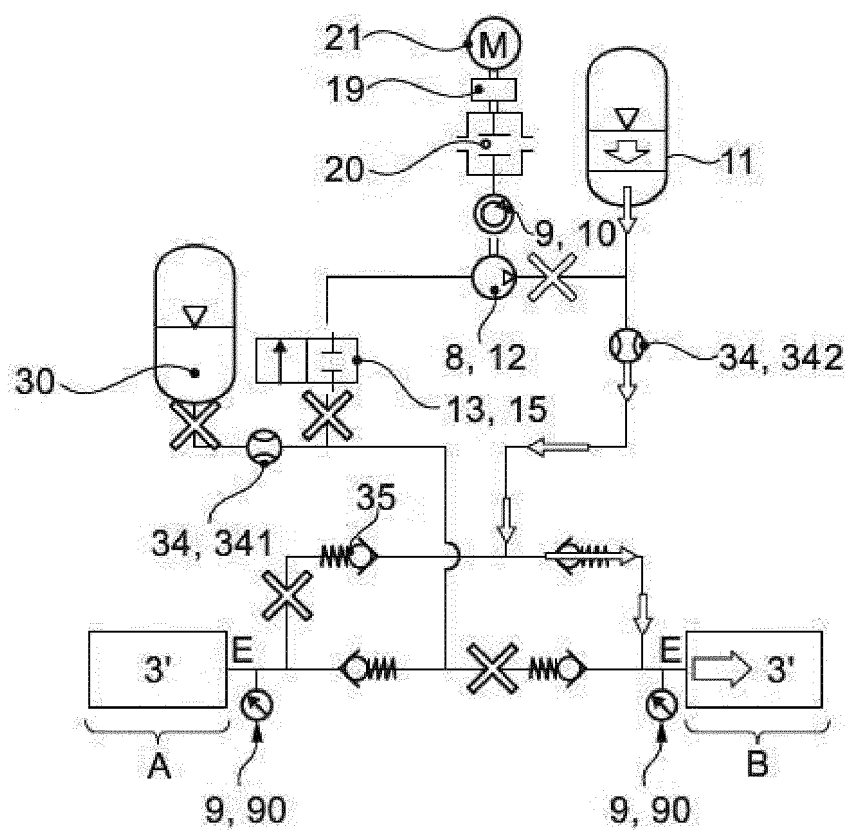


Fig. 12

[Fig. 13]

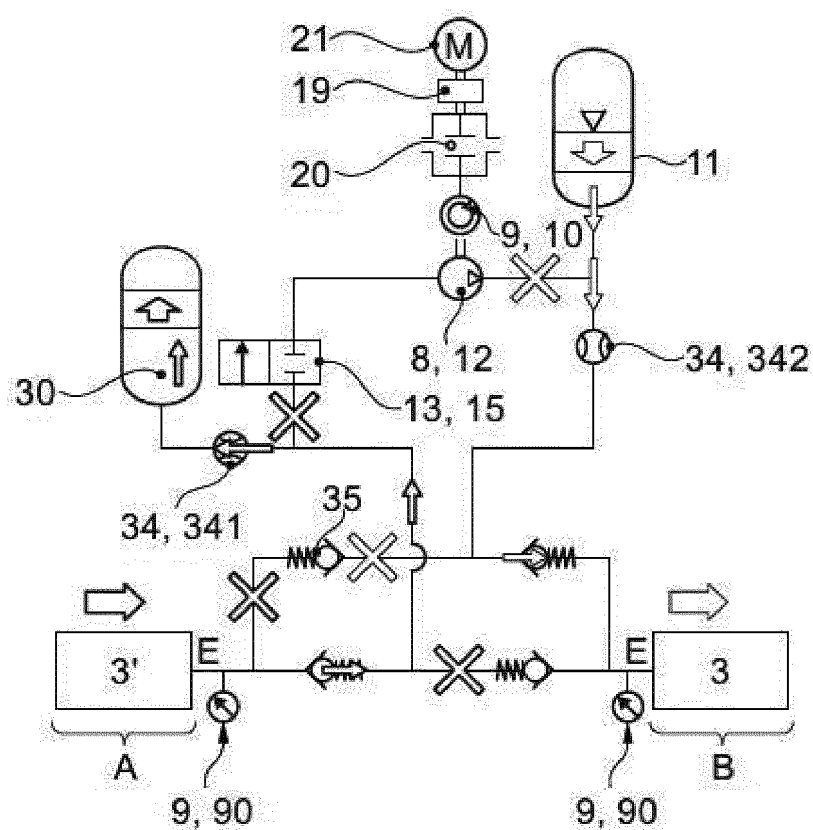


Fig. 13

[Fig. 14]

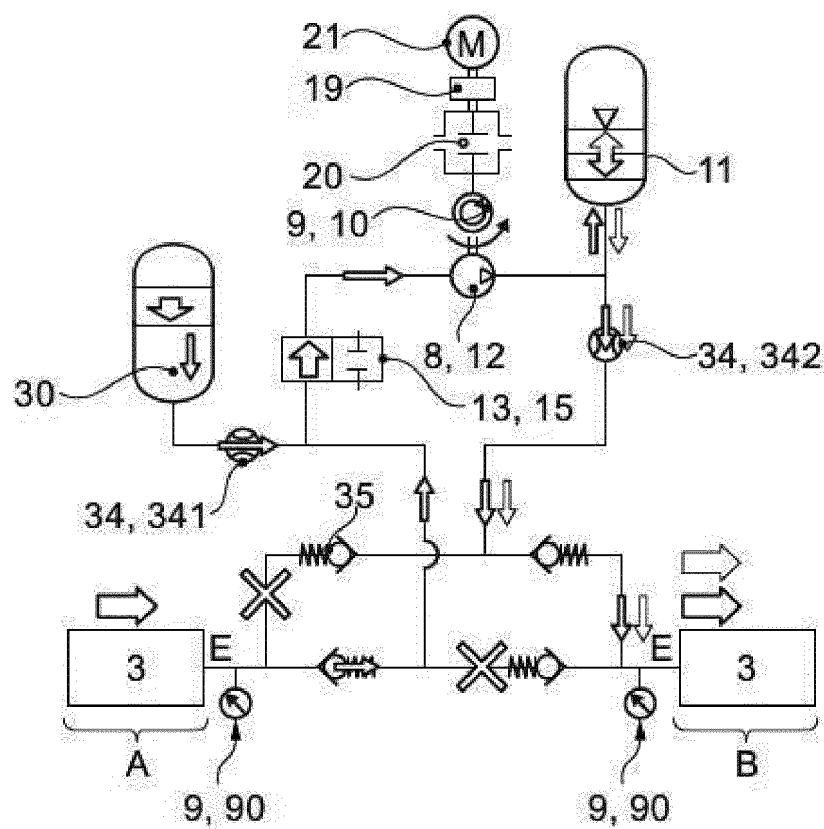


Fig. 14

[Fig. 15]

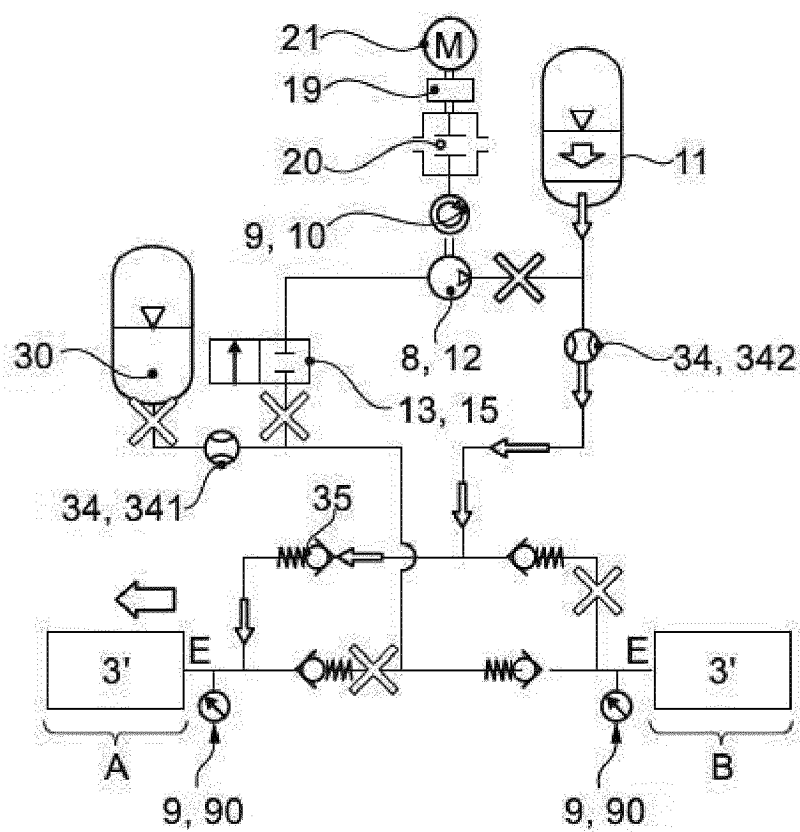


Fig. 15

[Fig. 16]

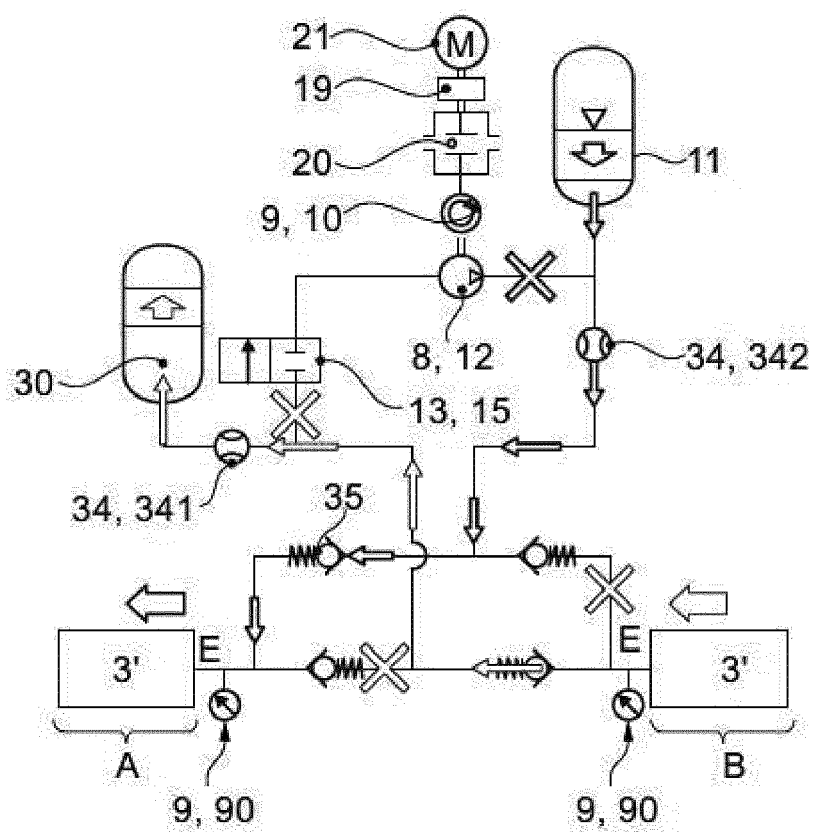


Fig. 16

[Fig. 17]

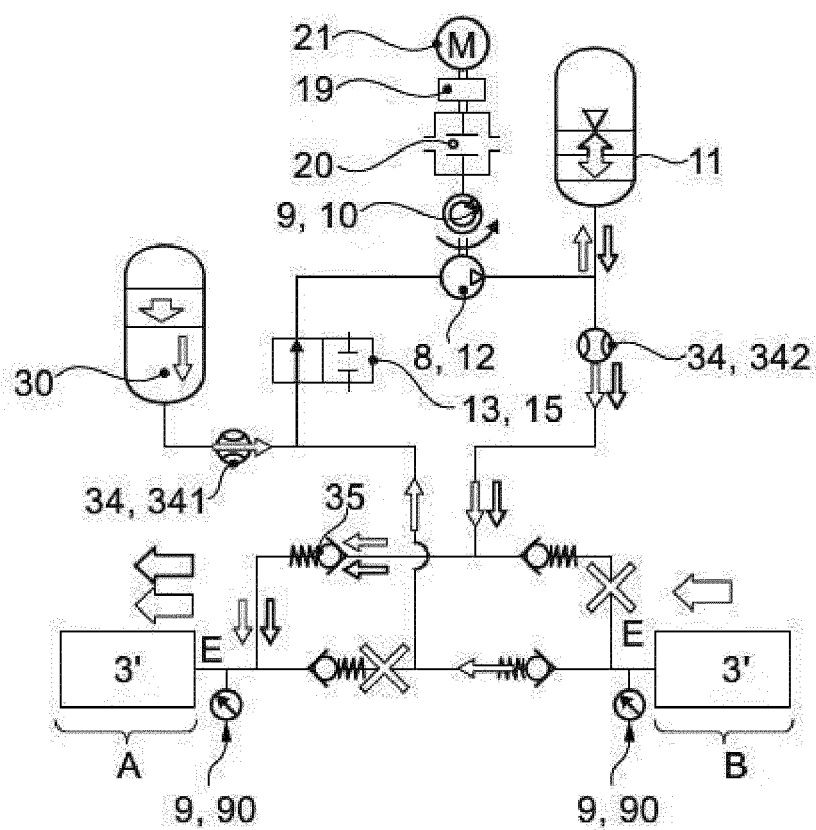


Fig. 17

[Fig. 18]

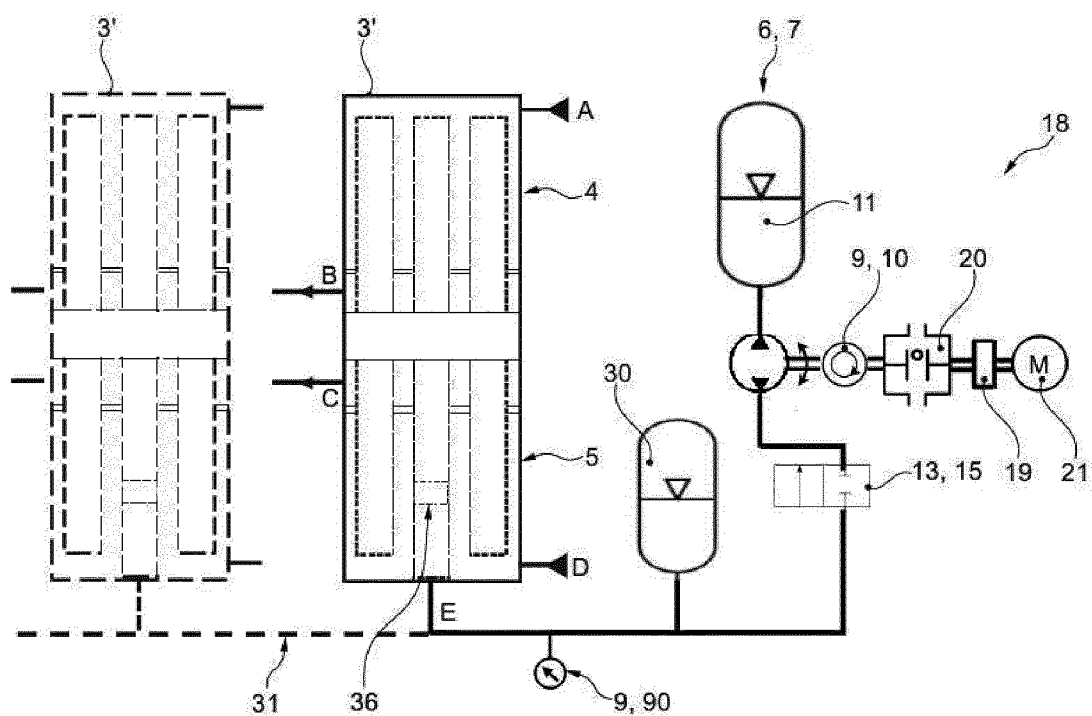


Fig. 18

[Fig. 19]

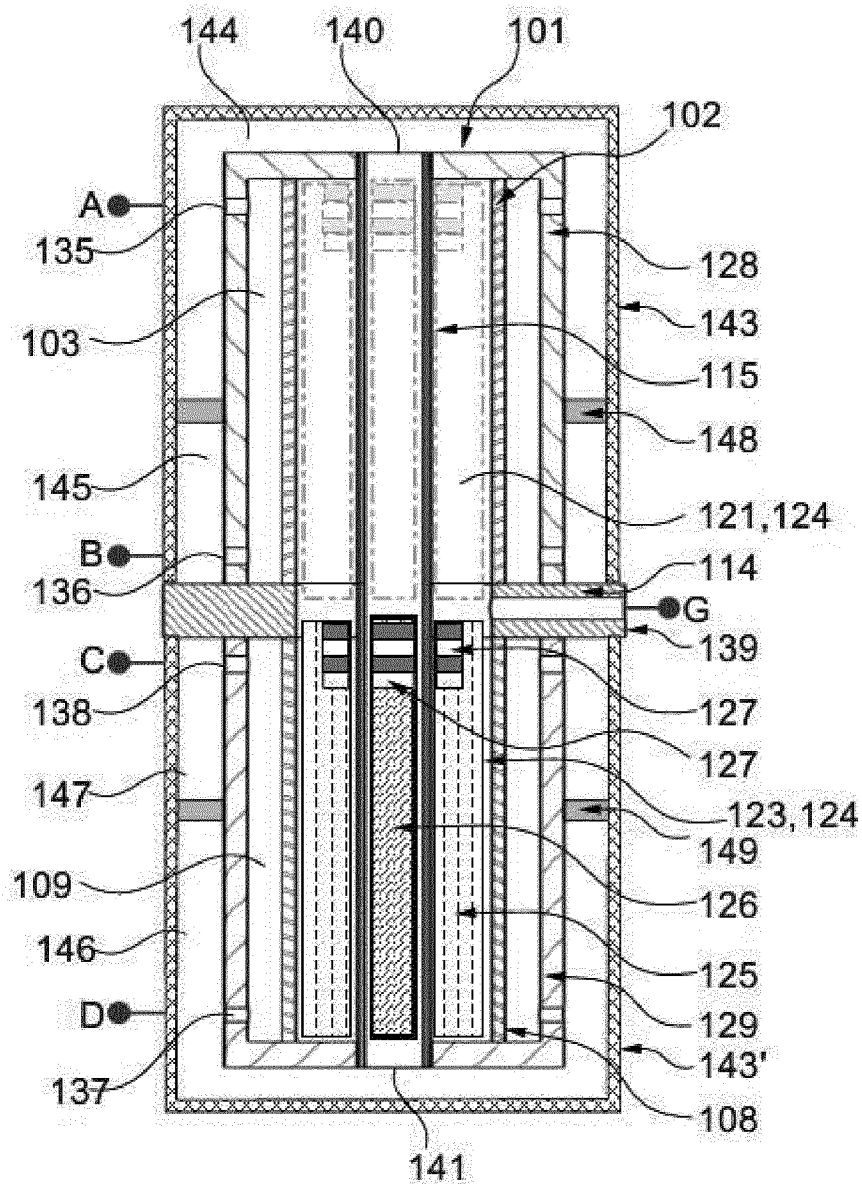


Fig. 19

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

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

Documents brevets cités dans la description

- US 2006059912 A1 [0001]
- WO 2010043469 A1 [0003]
- WO 8400399 A1 [0004]