

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 0 661 505 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
27.05.1998 Bulletin 1998/22

(51) Int Cl.⁶: **F25J 3/04**

(21) Numéro de dépôt: **94402787.9**

(22) Date de dépôt: **05.12.1994**

(54) Procédé et installation de liquéfaction d'un gaz

Verfahren und Einrichtung zur Gasverflüssigung

Process and installation for the liquefaction of a gas

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

(30) Priorité: **31.12.1993 FR 9315959**

(43) Date de publication de la demande:
05.07.1995 Bulletin 1995/27

(73) Titulaire: **L'AIR LIQUIDE, SOCIETE ANONYME
POUR
L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES PROCEDES
GEORGES CLAUDE
75321 Paris Cédex 07 (FR)**

(72) Inventeurs:
• **Darredeau, Bernard
F-78500 Sartrouville (FR)**

• **Frayse, Philippe
F-92260 Fontenay aux Roses (FR)**
• **Garot, Corinne
F-94430 Ormesson sur Marne (FR)**

(74) Mandataire: **Mercey, Fiona Susan et al
L'Air Liquide,
Service Brevets et Marques,
75, quai d'Orsay
75321 Paris Cédex 07 (FR)**

(56) Documents cités:
EP-A- 0 580 348 DE-A- 1 902 601
DE-A- 2 636 933 US-A- 4 595 405

EP 0 661 505 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

La présente invention est relative à un procédé de liquéfaction d'un gaz au moyen d'un cycle frigorifique comprenant une ligne d'échange thermique, une turbine de détente dite « chaude » et une turbine de détente dite « froide » alimentées respectivement à une première température et à une seconde température inférieure à la première température et au moins deux étages de compression du gaz de cycle, dans lequel on alimente les deux turbines avec deux fractions du gaz de cycle à une même pression d'admission et on renvoie une partie au moins du gaz issu de chaque turbine à l'aspiration d'un étage de compression, après l'avoir réchauffée à la température ambiante dans la ligne d'échange.

Un procédé de ce type est connu de US-A-4 595 405. Dans la turbine « chaude », le gaz est détendu à une pression égale à la pression de sortie de la turbine « froide ».

DE-A-2 636 933 et DE-A-1 902 601 décrivent un procédé utilisant une turbine « chaude » et une turbine « froide », chacune couplée à un compresseur du cycle. Les pressions de sortie des deux turbines sont égales, ainsi que leurs pressions d'entrée.

L'invention a pour but de fournir un procédé de ce type ayant un rendement particulièrement élevé.

A cet effet, l'invention a pour objet un procédé du type précité, caractérisé en ce qu'on détend le gaz de cycle dans la turbine chaude jusqu'à une première pression d'échappement, et on détend le gaz de cycle dans la turbine froide jusqu'à une seconde pression d'échappement plus basse que la première pression d'échappement.

Ce procédé peut comporter un ou plusieurs des modes particuliers de réalisation de l'invention suivants :

- une partie du gaz de cycle constitue le gaz à liquéfier et est liquéfié après avoir subi les deux étages de compression et éventuellement une compression supplémentaire;
- le gaz à liquéfier est de l'air ou un gaz de l'air et est envoyé, après liquéfaction et détente, dans un appareil de distillation d'air;
- la pression d'échappement de la turbine froide est une pression de fonctionnement de l'appareil de distillation, une partie au moins du gaz issu de cette turbine froide étant envoyée dans la partie correspondante de l'appareil de distillation.

L'invention a également pour objet une installation de liquéfaction d'un gaz destinée à la mise en oeuvre du procédé défini ci-dessus. Cette installation, du type comprenant une ligne d'échange thermique, une turbine de détente dite « chaude », une turbine de détente dite « froide », des moyens de compression de cycle, comprenant au moins deux étages de compression de cycle en série, les admissions des deux turbines étant reliées au refoulement d'un même étage de compression de cy-

cle, la sortie de chaque turbine étant reliée à l'aspiration d'un étage de compression, des moyens pour envoyer deux fractions d'un gaz de cycle respectivement aux deux turbines et des moyens pour réchauffer au moins une partie du gaz détendu dans chaque turbine à la température ambiante avant de l'envoyer à l'aspiration d'un moyen de compression est caractérisée en ce que l'échappement de la turbine chaude est relié à l'aspiration d'un étage de compression de cycle, et l'échappement de la turbine froide est relié à l'aspiration d'un étage de compression de cycle inférieur.

L'installation ainsi définie peut comporter un ou plusieurs modes particuliers de réalisation de l'invention suivants :

- l'aspiration du premier étage de compression de cycle est également reliée au refoulement d'un compresseur principal d'air d'une installation de distillation d'air, et l'échappement de la turbine froide est relié également à une partie d'un appareil de distillation d'air de cette installation qui fonctionne sous la pression d'échappement de cette turbine froide;
- l'aspiration du premier étage de compression de cycle est également reliée à une partie d'un appareil de distillation d'air qui fonctionne sous sa pression d'aspiration, et le refoulement du dernier étage de compression de cycle est relié éventuellement via des moyens de compression supplémentaires, à travers la ligne d'échange thermique et un organe de détente, à ladite partie de l'appareil de distillation d'air;
- les moyens de compression de cycle sont constitués par un compresseur unique multi-étages, l'échappement de la turbine chaude au moins étant relié à une aspiration inter-étages de ce compresseur;
- l'installation comprend en outre un groupe frigorifique de prérefroidissement d'au moins un courant de gaz à turbiner.

Des exemples de réalisation de l'invention vont maintenant être décrits en regard du dessin annexé, sur lequel :

- la Figure 1 représente schématiquement une installation de liquéfaction d'air conforme à l'invention; et
- la Figure 2 représente de façon analogue une installation de liquéfaction d'azote conforme à l'invention.

Dans chacune des Figures 1 et 2, on a illustré l'application de l'invention à une installation de distillation d'air comprenant une double colonne de distillation d'air 1 et une ligne d'échange thermique 2 du type à échange de chaleur indirect et à contre-courant. La double colonne 1 comprend elle-même une colonne moyenne pression 3 surmontée d'une colonne basse pression 4 et

couplée à celle-ci par un vaporisateur-condenseur 5. Toutefois, on n'a représenté aux Figures 1 et 2 que les parties de l'installation de distillation d'air concernées par la présente invention, et en particulier le cycle de liquéfaction, mais on comprend que l'installation comporte également toutes les conduites et tous les équipements habituels nécessaires pour la production de gaz de l'air par distillation. Dans le cas de la Figure 1, le gaz liquéfié est de l'air à traiter, tandis que dans le cas de la Figure 2, le gaz liquéfié est de l'azote.

Dans l'exemple de la Figure 1, l'installation comprend un compresseur principal 6 d'air atmosphérique, un appareil 7 d'épuration d'air en eau et en anhydride carbonique par adsorption, un compresseur de cycle 8 à deux étages 9 et 10 en série, une turbine chaude 11 freinée par un alternateur 12, et une turbine froide 13 freinée par un alternateur 14.

En fonctionnement, l'air atmosphérique à traiter est comprimé en 6 jusqu'à la moyenne pression P1, qui est la pression de fonctionnement de la colonne 3 et qui est typiquement comprise entre 5 et 6 bars absolus, puis est épuré en 7 et comprimé de nouveau en 9 à une pression intermédiaire P2 puis en 10 jusqu'à une haute pression de cycle P3, typiquement de l'ordre de 30 à 100 bars absolus.

Une première fraction de l'air à cette haute pression de cycle P3 est refroidie jusqu'à une température intermédiaire T1 dans la partie chaude de la ligne d'échange thermique 2, puis sortie de celle-ci et introduite dans la turbine chaude 11. Elle ressort de cette dernière à la pression d'inter-étages P2 du compresseur 8, est réchauffée jusqu'à la température ambiante dans la partie chaude de la ligne d'échange thermique, et est renvoyée à l'admission du second étage 10 du même compresseur 8.

Le reste de l'air à la haute pression de cycle P3 est refroidi en 2 jusqu'à une seconde température intermédiaire T2 inférieure à T1. A cette température, une partie de l'air est sortie de la ligne d'échange thermique et introduite dans la turbine froide 13, d'où elle ressort à la moyenne pression P1 et à la température du bout froid de la ligne d'échange thermique. Cet air turbiné est pour partie réchauffé en 15 du bout froid au bout chaud de la ligne d'échange thermique et renvoyé à l'aspiration du premier étage 9 du compresseur 8, et pour partie envoyé en cuve de la colonne 3. Le reste de l'air haute pression refroidi jusqu'à la température T2 poursuit son refroidissement en 16 jusqu'au bout froid de la ligne d'échange thermique 2, ce qui provoque sa liquéfaction, puis est détendu à la moyenne pression P1 dans une vanne de détente 17 et est envoyé en cuve de la colonne 3.

Comme représenté en traits interrompus sur la Figure 1, on peut utiliser un groupe frigorifique 18 pour prérefroidir l'un au moins des deux courants d'air haute pression issus du compresseur 8.

L'énergie électrique produite par les deux turbines dans les alternateurs 12 et 14 peut être utilisée pour l'en-

traînement du compresseur de cycle 8.

Dans le mode de réalisation de la Figure 2, le cycle frigorifique sert à liquéfier de l'azote soutiré en tête de la colonne moyenne pression 3. Le compresseur de cycle 8 est un compresseur d'azote à trois étages, dont les premiers étages 9 et 10 correspondent aux deux étages 9 et 10 de la Figure 1 et sont suivis d'un étage supplémentaire 19 en série délivrant l'azote à liquéfier sous une haute pression de liquéfaction P4 supérieure à la plus haute pression P3 du cycle.

Comme précédemment, la turbine chaude 11 et la turbine froide 13 sont toutes deux alimentées par le gaz issu du deuxième étage 10, et le gaz issu de la turbine 11 est renvoyé à l'aspiration de ce deuxième étage 10. Toutefois, dans ce cas, la totalité du gaz issu de la turbine froide 13 est réuni à l'azote soutiré de la tête de la colonne 3 via une conduite 20, réchauffé en 2 jusqu'à la température ambiante et renvoyé à l'aspiration du premier étage 9. De plus, l'azote issu de l'étage 10 qui n'est pas envoyé aux turbines est comprimé de nouveau en 19, puis refroidi du bout chaud au bout froid de la ligne d'échange thermique, ce qui provoque sa liquéfaction. Ensuite, cet azote liquide haute pression est détendu à la moyenne pression dans une vanne de détente 21 et introduit en reflux en tête de la colonne 3.

Dans chacun des modes de réalisation ci-dessus, l'alimentation des deux turbines à des températures décalées T1 et T2 mais à la même pression, et leur échappement à deux pressions différentes P1 et P2, dont une pression plus basse pour la turbine froide, conduisent à un rendement élevé du cycle de liquéfaction. De plus, l'utilisation d'un compresseur de cycle multi-étages 8 apporte une simplification de l'installation et un avantage substantiel du point de vue de l'investissement.

Revendications

1. Procédé de liquéfaction d'un gaz au moyen d'un cycle frigorifique comprenant une ligne d'échange thermique (2), une turbine de détente dite « chaude » (11) et une turbine de détente dite « froide » (13) alimentées respectivement à une première température (T1) et à une seconde température (T2) inférieure à la première température, et au moins deux étages (9, 10) de compression de gaz de cycle, dans lequel on alimente les deux turbines (11, 13) avec deux fractions du gaz de cycle à une même pression d'admission (P3) et on renvoie une partie au moins du gaz issu de chaque turbine (11, 13) à l'aspiration d'un étage de compression (10, 9), après l'avoir réchauffée à la température ambiante dans la ligne d'échange, caractérisé en ce que l'on détend le gaz de cycle dans la turbine chaude (11) jusqu'à une première pression d'échappement (P2), et on détend le gaz de cycle dans la turbine froide (13) jusqu'à une seconde pression d'échappement (P1) plus basse que la première pression

d'échappement (P2).

2. Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce qu'une partie du gaz de cycle constitue le gaz à liquéfier et est liquéfié après avoir subi les deux éta-
ges de compression et éventuellement une compression supplémentaire (en 19).

3. Procédé suivant la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que le gaz à liquéfier est de l'air ou un gaz de l'air et est envoyé, après liquéfaction et détente (en 17; 21), dans un appareil de distillation d'air (1).

4. Procédé suivant les revendications 2 et 3 prises ensemble, caractérisé en ce que la pression d'échappement de la turbine froide (13) est une pression de fonctionnement de l'appareil de distillation (1), une partie au moins du gaz issu de cette turbine froide étant envoyé dans la partie correspondante (3) de l'appareil de distillation.

5. Installation de liquéfaction d'un gaz, du type comprenant une ligne d'échange thermique (2), une turbine de détente dite « chaude » (11), une turbine de détente dite « froide » (12), des moyens de compression de cycle, comprenant au moins deux éta-
ges de compression (9, 10) en série, les admissions des deux turbines (11, 13) étant reliées au refoulement d'un même étage (10) de compression de cycle, la sortie de chaque turbine étant reliée à l'aspi-
ration d'un étage de compression, des moyens pour envoyer deux fractions d'un gaz de cycle respectivement aux deux turbines et des moyens (2) pour réchauffer au moins une partie du gaz détendu dans chaque turbine à la température ambiante avant de l'envoyer à l'aspiration d'un moyen de compression, caractérisée en ce que l'échappement de la turbine chaude (11) est relié à l'aspiration d'un étage (10) de compression de cycle, et l'échappement de la turbine froide (13) est relié à l'aspiration d'un étage de compression de cycle inférieur (9).

6. Installation suivant la revendication 5, caractérisée en ce que l'aspiration du premier étage de compression de cycle (9) est également reliée au refoulement d'un compresseur principal d'air (6) d'une installation de distillation d'air, et l'échappement de la turbine froide (13) est également relié à une partie (3) d'un appareil de distillation d'air (1) de cette installation qui fonctionne sous la pression d'échappement de cette turbine froide.

7. Installation suivant la revendication 5, caractérisée en ce que l'aspiration du premier étage de compression de cycle (9) est également reliée à une partie (3) d'un appareil de distillation d'air (1) qui fonctionne sous sa pression d'aspiration, et le refoulement du dernier étage de compression de cycle (10) est

relié, éventuellement via des moyens de compression supplémentaires (19), à travers la ligne d'échange thermique (2) et un organe de détente (21), à ladite partie (3) de l'appareil de distillation d'air.

8. Installation suivant l'une quelconque des revendications 5 à 7, caractérisée en ce que les moyens de compression de cycle (9, 10) sont constitués par un compresseur unique multi-étages, l'échappement de la turbine chaude (11) au moins étant relié à une aspiration inter-étages de ce compresseur.

9. Installation suivant l'une quelconque des revendications 5 à 8, caractérisée en ce qu'elle comprend en outre un groupe frigorifique (18) de prérefroidissement d'au moins un courant de gaz à turbiner.

20 Patentansprüche

1. Verfahren zur Verflüssigung eines Gases mittels eines Kühlkreises, der eine Wärmeaustauschleitung (2), eine sogenannte "warme" Entspannungsturbine (11) und eine sogenannte "kalte" Entspannungsturbine (13), die bei einer ersten Temperatur (T1) bzw. einer unterhalb der ersten Temperatur liegenden zweiten Temperatur (T2) betrieben werden, und mindestens zwei Stufen (9, 10) zur Verdichtung von Kreisgas umfaßt, und in dem die zwei Turbinen (11, 13) mit zwei Fraktionen des Kreisgases, die unter dem selben Einlaßdruck (P3) stehen, versorgt werden und mindestens ein Teil des Gases aus (11, 13) jeder Turbine, nachdem es in der Austauschleitung auf Umgebungstemperatur angewärmt wurde, der Saugseite einer Verdichtungsstufe (10, 9) zugeführt wird, dadurch gekennzeichnet, daß das Kreisgas in der warmen Turbine (11) auf einen ersten Auslaßdruck (P2) und das Kreisgas in der kalten Turbine auf einen zweiten Auslaßdruck (P1) entspannt wird, der niedriger als der erste Auslaßdruck (P2) ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein Teil des Kreisgases das zu verflüssigende Gas bildet und, nachdem es den zwei Verdichtungsstufen und gegebenenfalls einer zusätzlichen Verdichtung (in 19) unterzogen wurde, verflüssigt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das zu verflüssigende Gas Luft oder eine Luftgas ist und nach Verflüssigung und Entspannung (in 17; 21) in eine Luftdestillationsvorrichtung (1) eingeleitet wird.

4. Verfahren nach den Ansprüchen 2 und 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Auslaßdruck der kalten

Turbine (13) ein Betriebsdruck der Destillationsvorrichtung (1) ist und ein Teil des aus dieser kalten Turbine stammenden Gases in den entsprechenden Bereich (3) der Destillationsvorrichtung einge-
leitet wird.

5. Anlage zur Verflüssigung eines Gases, umfassend eine Wärmeaustauschleitung (2), eine sogenannte "warme" Entspannungsturbine (11), eine sogenannte "kalte" Entspannungsturbine (13), Kreisverdichtungsmittel, die mindestens zwei in Reihe angeordnete Verdichtungsstufen (9, 10) umfassen, wobei die Einlässe der zwei Turbinen (11, 13) mit dem Auslaß der selben Verdichtungsstufe (10) des Kreises verbunden sind und der Auslaß jeder Turbine mit der Saugseite einer Verdichtungsstufe verbunden ist, Mittel zum Einleiten von zwei Fraktionen eines Kreisgases in die zwei entsprechende Turbinen und Mittel (2) zum Anwärmen mindestens eines Teils des in jeder Turbine entspannten Gases auf Umgebungstemperatur, bevor es der Saugseite eines Verdichtungsmittels zugeführt wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Auslaß der warmen Turbine (11) mit der Saugseite einer Verdichtungsstufe (10) des Kreises und der Auslaß der kalten Turbine (13) mit der Saugseite einer unteren Verdichtungsstufe des Kreises (9) verbunden ist.

6. Anlage nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Saugseite der ersten Verdichtungsstufe des Kreises (9) auch mit dem Auslaß eines Hauptluftverdichters (6) einer Vorrichtung zur Luftdestillation verbunden ist und der Auslaß der kalten Turbine (13) auch mit einem Bereich (3) einer Vorrichtung zur Luftdestillation (1) dieser Anlage verbunden ist, der unter dem Auslaßdruck der kalten Turbine arbeitet.

7. Anlage nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Saugseite der ersten Verdichtungsstufe des Kreises (9) auch mit einem Bereich (3) einer Vorrichtung zur Luftdestillation (1) verbunden ist, der unter dem Ansaugdruck dieser Stufe arbeitet, und der Auslaß der letzten Verdichtungsstufe des Kreises (10), gegebenenfalls über zusätzliche Verdichtungsmittel (19), über die Wärmeaustauschleitung (2) und ein Entspannungsmittel (21) mit diesem Bereich (3) der Vorrichtung zur Luftdestillation verbunden ist.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Kreisverdichtungsmittel (9, 10) ein einziger mehrstufigen Verdichter sind, und zumindest der Auslaß der warmen Turbine (11) mit einem auf einer Zwischenstufe befindlichen Saugseinlaß dieses Verdichters verbunden ist.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 8, da-

durch gekennzeichnet, daß sie zudem eine Kühlgruppe (18) zur Vorkühlung mindestens eines zu entspannenden Gasstromes umfaßt.

Claims

1. Process for liquefying a gas by means of a cooling cycle comprising a heat exchange line (2), a so-called "warm" expansion turbine (11) and a so-called "cold" expansion turbine (13) supplied respectively at a first temperature (T1) and at a second temperature (T2) lower than the first temperature, and at least two stages (9,10) for compressing the cycle gas, wherein the two turbines (11,13) are supplied with two cycle gas fractions at the same intake pressure (P3) and at least part of the gas emerging from each turbine (11,13) is conveyed to the induction inlet of a compression stage (10,9) after having been reheated to ambient temperature in the exchange line, characterized in that the cycle gas is expanded in the warm turbine (11) to a first exhaust pressure (P2) and the cycle gas is expanded in the cold turbine (13) to a second exhaust pressure (P1) lower than the first exhaust pressure (P2).
2. Process according to claim 1, characterized in that part of the cycle gas constitutes the gas to be liquefied and is liquefied after having undergone the two compression stages and possibly a supplementary compression stage (in 19).
3. Process according to claim 1 or claim 2, characterized in that the gas to be liquefied is air or a gas from the air and is conveyed, after liquefaction and expansion (in 17;21) to an air distillation unit (1).
4. Process according to claims 2 and 3 together, characterized in that the exhaust pressure from the cold turbine (13) is an operating pressure of the distillation unit (1), at least part of the gas emerging from this cold turbine being conveyed to the corresponding part (3) of the distillation unit.
5. Plant for liquefying a gas, of the type comprising a heat exchange line (2), a so-called "warm" expansion turbine (11), a so-called "cold" expansion turbine (12), means for cycle compression, comprising at least two compression stages (9,10) in series, the intakes of the two turbines (11,13) being connected to the delivery outlet from the same cycle compression stage (10), the outlet from each turbine being connected to the induction inlet of a compression stage, means for conveying two fractions of a cycle gas respectively to the two turbines and means (2) for reheating at least part of the gas expanded in each turbine to ambient temperature before conveying it to the induction inlet of a means of com-

pression, characterized in that the exhaust from the warm turbine (11) is connected to the induction inlet of a cycle compression stage (10), and the exhaust from the cold turbine (13) is connected to the induction inlet of a lower cycle compression stage (9)

5

6. Plant according to claim 5, characterized in that the induction inlet of the first cycle compression stage (9) is also connected to the delivery outlet from a main air compressor (6) of an air distillation plant, and the exhaust from the cold turbine (13) is also connected to a part (3) of an air distillation unit (1) of this plant which operates at the exhaust pressure of this cold turbine.

10

15

7. Plant according to claim 5, characterized in that the induction inlet of the first cycle compression stage (9) is also connected to a part (3) of an air distillation unit (1) which operates at its induction pressure, and the delivery outlet from the last cycle compression stage (10) is connected, possibly via supplementary means of compression (19), through the heat exchange line (2) and an expansion device (21), to the said part (3) of the air distillation unit.

20

25

8. Plant according to any one of claims 5 to 7, characterized in that the cycle compression means (9,10) consist of a single multi-stage compressor, the exhaust of at least the warm turbine (11) being connected to an interstage induction inlet of this compressor.

30

9. Plant according to any one of claims 5 to 8, characterized in that it additionally includes a cooling unit (18) for precooling at least one gas flow to be tur-

35

40

45

50

55

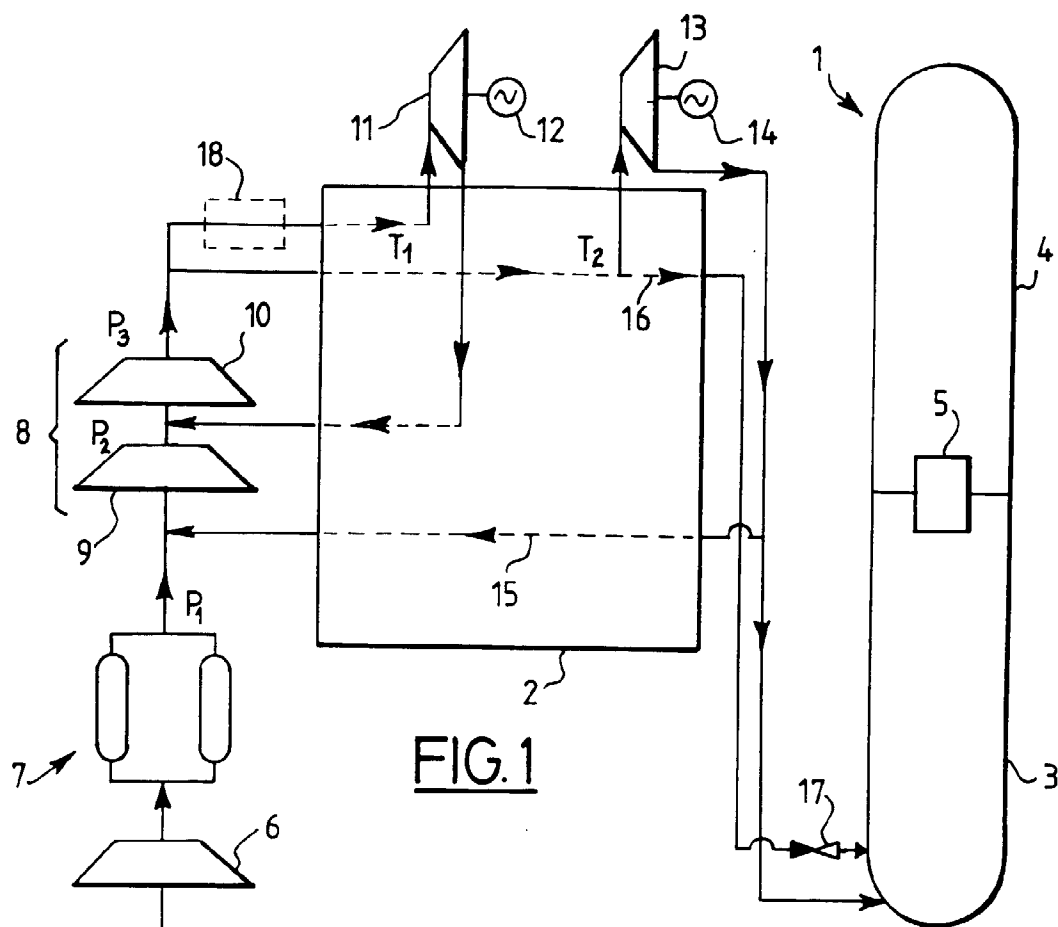


FIG. 1

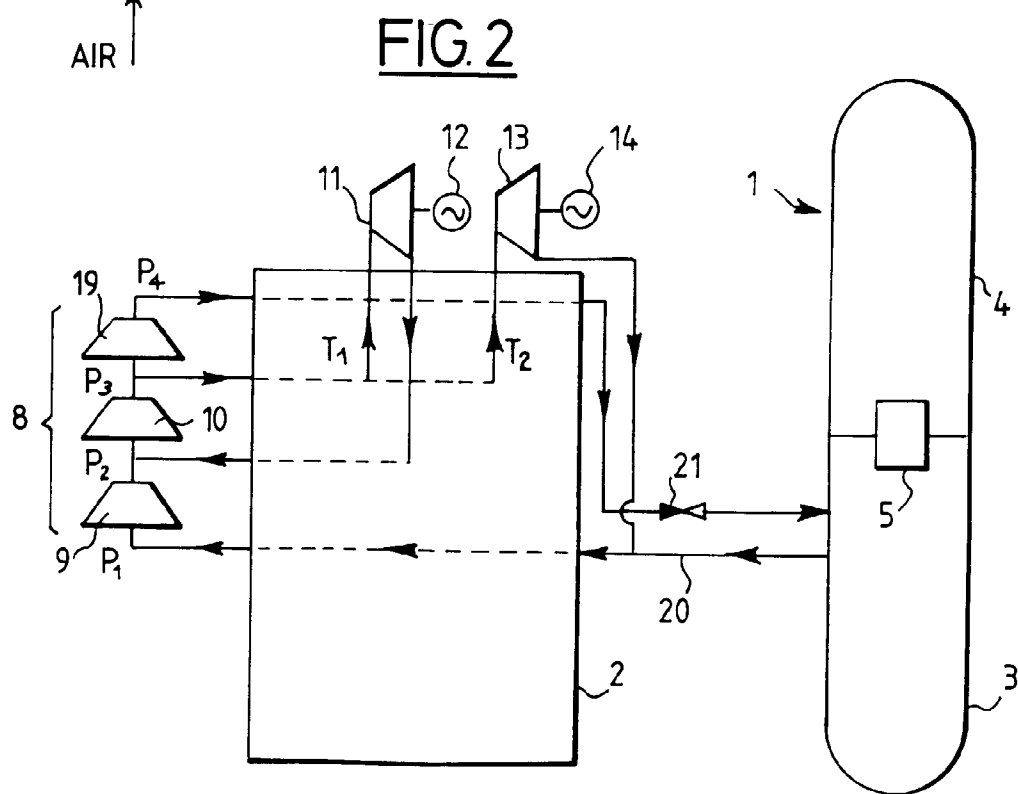


FIG. 2