

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 1 014 020 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
22.10.2003 Bulletin 2003/43

(51) Int Cl.7: **F25J 3/04**

(21) Numéro de dépôt: **99403101.1**

(22) Date de dépôt: **09.12.1999**

(54) **Procédé de séparation cryogénique des gaz de l'air**

Kryogenisches Luftzerlegungsverfahren

Cryogenic process for separating air gases

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

(30) Priorité: **22.12.1998 FR 9816243**

(43) Date de publication de la demande:
28.06.2000 Bulletin 2000/26

(73) Titulaire: **L'air Liquide, S.A. à Directoire et Conseil
de Surveillance pour l'Etude et l'Exploitation des
Procédés Georges Claude
75321 Paris Cedex 07 (FR)**

(72) Inventeur: **Tranier, Jean-Pierre
94240 L'Hay-les-Roses (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 EP-A- 0 661 505
EP-A- 0 757 217 DE-A- 4 204 172
US-A- 4 595 405 US-A- 5 355 681
US-A- 5 758 515**

EP 1 014 020 B1

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

Description

[0001] La présente invention est relative aux procédés et aux installations de séparation cryogénique des gaz de l'air.

[0002] Les pressions dont il est question ci-dessous sont des pressions absolues. De plus, on entend par "condensation" ou "vaporisation" soit une condensation ou une vaporisation proprement dite, soit une pseudo-condensation ou une pseudo-vaporisation, selon que les pressions en question sont subcritiques ou supercritiques.

[0003] Au cours de ces dernières années, l'utilisation des procédés "à pompe" pour la production d'oxygène sous pression s'est généralisée. Ces procédés consistent à extraire une fraction liquide enrichie en oxygène de la partie inférieure de la colonne basse pression, typiquement en cuve de pomper ce liquide à la pression requise, de le vaporiser et de le réchauffer jusqu'à une température proche de la température ambiante par échange de chaleur avec l'air entrant et/ou un fluide enrichi en azote sous pression. Ce procédé permet donc de faire l'économie d'un compresseur d'oxygène et est donc plus économique. De la même façon, on peut produire par pompe de l'azote ou de l'argon sous pression.

[0004] Cette généralisation des procédés à pompe a été rendue possible en partie par l'utilisation de l'adsorption pour éliminer l'eau et le CO₂ de préférence aux échangeurs réversibles.

[0005] Par ailleurs, pour pouvoir vaporiser de l'oxygène à haute pression, il convient de disposer d'un fluide calorigène à haute pression (air ou fluide enrichi en azote) qui se condensera par échange indirect avec l'oxygène comme dans US 4 303 428 et/ou par expansion isentropique dans une turbine (voir US 5 329 776), de manière à équilibrer le bilan thermique de la partie distillation. Par haute pression, il s'agit d'une pression supérieure à la pression de la colonne moyenne pression d'un système à double colonne ou à la pression côté condenseur du vaporiseur d'une simple colonne. La présence de fluide à haute pression a, en outre, favorisé l'utilisation de cycles plus complexes avec turbines multiples pour la production de liquide.

[0006] Des exemples de cycles à pompe à deux turbines sont données dans les documents EP-A-0 661 105, EP-A-0 580 348, US-A-5 329 776, GB-A-2 251 931, US-A-5 564 290 ou US-A-5 108 476. Malheureusement, pour tous les procédés connus, la quantité de liquide que l'on peut produire est limitée si l'on ne veut pas augmenter la taille du compresseur d'air (i.e. le débit sur le premier étage).

[0007] US-A-5758515 divulgue un procédé de production d'oxygène sous pression utilisant une première turbine qui alimente la colonne moyenne pression d'une double colonne et une turbine alimentée par un surpresseur dont tout l'air détendu est recyclé au compresseur principal de l'appareil.

[0008] Un but de la présente invention est d'augmen-

ter la production de liquide sur un appareil à pompe à deux turbines sans augmenter la taille du compresseur d'air tout en améliorant la performance du cycle. Un autre but de la présente invention est de mieux optimiser le diagramme d'échange pour un appareil de séparation d'air à deux turbines.

[0009] Selon un objet de l'invention, il est prévu un procédé selon la revendication 1.

[0010] Selon d'autres caractéristiques facultatives de l'invention, il est prévu un procédé dans lequel

- la pression d'entrée de la première turbine est supérieure d'au moins 2 bars à la pression d'entrée de la deuxième turbine.
- la première colonne fait partie d'une double colonne ou une triple colonne
- on envoie un débit enrichi en oxygène et un débit enrichi en azote de la première colonne à une deuxième colonne de la double colonne, la première colonne opérant à une pression plus élevée que la colonne basse pression.
- on soutire un débit liquide de la colonne basse pression ou la colonne moyenne pression (ou la colonne intermédiaire dans le cas d'une triple colonne) et on le vaporise par échange de chaleur avec de l'air.
- la totalité de l'air est comprimé jusqu'à la pression intermédiaire
- la température d'aspiration de la deuxième turbine est supérieure à celle de la première turbine
- une portion non-détendue de la première fraction se condense par échange de chaleur avec un fluide soutiré de la colonne
- la portion qui se condense échange de la chaleur avec le liquide qui se vaporise
- une portion non-détendue de la deuxième fraction se condense par échange de chaleur avec un fluide soutiré de la colonne
- la portion qui se condense échange de la chaleur avec le liquide qui se vaporise.
- le débit liquide est enrichi en oxygène, en azote ou en argon.
- plusieurs débits liquides se vaporisent dans l'échangeur de chaleur.
- une fraction de l'air est refroidie dans un groupe frigorifique.
- au moins une partie de la deuxième fraction est refroidie dans un groupe frigorifique.
- la température de sortie du groupe frigorifique est la température d'entrée de la turbine.
- l'énergie d'au moins une des turbines sert à entraîner un ou plusieurs compresseurs
- un débit de la colonne basse pression alimente une colonne argon
- un débit d'air est envoyé à la première colonne sans avoir été détendu dans une des turbines.

[0011] Selon d'autres aspects de l'invention, il est prévu une installation selon la revendication 24.

[0012] En recyclant le débit de la turbine chaude à une pression supérieure à la pression de la colonne moyenne pression, on peut avoir un meilleur rendement sur cette turbine. En effet, le rendement isentropique d'une turbine est d'autant plus élevé que son taux de détente est faible (plus proche de 5 que de 10).

[0013] Avec ce concept, on augmente le débit du compresseur d'air que sur les derniers étages et non sur les premiers qui en déterminent la taille. D'autre part, en recyclant le débit de la turbine chaude à une pression supérieure à la pression de la colonne moyenne pression, on optimise mieux le diagramme d'échange dans sa partie chaude et on peut éventuellement choisir cette pression intermédiaire comme pression de l'épuration d'air ce qui est un très bon compromis, une pression plus basse entraînant un surcoût sur les adsorbants alors qu'une pression plus haute peut poser des problèmes technologiques. Ceci est un avantage par rapport au procédé divulgué dans les demandes de brevet EP-A-0 316 768 et EP-A-0 811 816 qui bien que n'étant pas à pompe recyclent le débit de la turbine chaude (et aussi de la turbine froide) à la pression de la colonne moyenne pression.

[0014] Des exemples de mise en oeuvre de l'invention vont maintenant être décrits en regard des dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 représente schématiquement une installation de séparation cryogénique de l'air selon l'invention
- les figures 2 à 7 sont des vues analogues de variantes de l'invention et
- la figure 8 est un diagramme d'échange thermique correspondant à une utilisation de l'installation de la figure 1.

[0015] Dans la figure 1, un débit d'air est envoyé au compresseur 1 où il est comprimé à la moyenne pression de l'ordre de 5 bars avant d'être épuré dans l'unité d'épuration 3. Il est ensuite divisé en deux parties 19, 21. Une partie 21 constituant 20 % de l'air est envoyée à l'échangeur de chaleur 8 où elle est refroidie à son point de rosée et envoyée à la colonne moyenne pression 11. La partie 19 est comprimée dans les premiers étages 5 d'un compresseur jusqu'à une pression intermédiaire de 11,5 bars; ensuite elle est comprimée dans les derniers étages 6 du compresseur jusqu'à une haute pression de 35 bars.

[0016] L'air à la haute pression est divisé en deux fractions 23, 25 dont la première est refroidie à une température intermédiaire de 160 K de la ligne d'échangeur de chaleur 8 avant d'être divisé en deux. La partie 31 est détendue à la moyenne pression dans la première turbine 9 et rejoint le débit 21 pour être envoyée à la colonne 11. La partie 29 se condense par échange de chaleur avec un débit d'oxygène qui se vaporise et est divisée en deux pour être envoyé (en 35, 37) aux deux colonnes 11, 13, après détente dans une vanne.

[0017] La deuxième fonction d'air à haute pression 25 se refroidit jusqu'à une température intermédiaire de 243 K, supérieure à la température d'entrée de la première turbine 9. Elle est ensuite détendue dans la deuxième turbine 7 jusqu'à la pression intermédiaire, renvoyée à l'échangeur 8 et réchauffée jusqu'au bout chaud avant d'être mélangée à l'air à la pression intermédiaire.

[0018] Des débits d'azote liquide et d'oxygène liquide 41, 45, sont retirés des colonnes 11, 13. Une partie de l'oxygène liquide 43 est pompée, pressurisée par la pompe 17 jusqu'à une pression de 17 bars et ensuite se vaporise dans l'échangeur 8.

[0019] Elle pourrait éventuellement se vaporiser dans un échangeur indépendant de l'échangeur 8 contre le débit d'air 29.

[0020] Dans la figure 2, les mêmes chiffres de référence identifient les éléments de l'installation, sauf que tous les chiffres sont augmentés par 100.

[0021] La différence principale entre la figure 2 et la figure 1, est que dans la figure 2, tout l'air est pressurisé dans le compresseur 105 jusqu'à la pression intermédiaire de 11,5 bars. L'oxygène liquide 141 se vaporise contre l'air 129 à la pression intermédiaire.

[0022] L'air provenant du compresseur 105 se refroidit éventuellement dans un groupe frigorifique 103'.

[0023] Dans la figure 3, une partie de l'air détendue dans la deuxième turbine n'est pas recyclée mais est envoyée à la double colonne après s'être liquéfiée à travers les vannes. L'air venant du compresseur 205 peut se refroidir dans un groupe frigorifique 203'.

[0024] La figure 4 diffère de la figure 3 en ce que de l'air de la deuxième turbine se liquéfie dans le vaporiseur 353 par échange de chaleur avec de l'oxygène liquide pompé par la pompe 317. Dans ce cas, tout l'air liquéfié est envoyé à la colonne opérant à la pression plus élevée. L'oxygène vaporisé se réchauffe dans l'échangeur principal.

[0025] La figure 5 montre un groupe frigorifique 450 qui refroidit une partie de l'air destiné à la deuxième turbine 407.

[0026] La figure 6 montre une variante de la figure 1 dans laquelle de l'air 523 destinée à la première turbine 509 est surpressée à une pression supérieure à la haute pression par un surpresseur 570. Le surpresseur 570 peut être couplé à la première ou à la deuxième turbine. Une partie de l'air destinée à la deuxième turbine se refroidit dans un groupe frigorifique 550 plutôt que dans l'échangeur principal. L'air 525 destiné à la deuxième turbine 507 est également surpressé à une pression moindre que ou égale à la pression d'entrée de la deuxième turbine dans un surpresseur 580 qui est couplée à l'autre turbine.

[0027] Dans la figure 7, deux surpresseurs 670, 680 surpressent l'air destiné à la première turbine 609. L'air destiné à la deuxième turbine 607 est à la pression de refoulement du compresseur 5. Chaque surpresseur est couplé à une des turbines

[0028] Il est évidemment possible d'utiliser une installation d'une des figures pour produire de l'argon à partir d'une colonne argon alimentée par la colonne basse pression 13, 113 ou pour produire de l'oxygène pur à partir d'une colonne de mélange.

[0029] La première colonne peut être une simple colonne ou la colonne moyenne pression d'une double colonne. La double colonne peut être éventuellement du type "AZOTONNE" (marque déposée) ayant un condenseur de tête de la colonne basse pression.

[0030] Une partie des frigories peut être fournie par détente d'azote d'une des colonnes dans une turbine ou par détente d'air dans une turbine d'insufflation. Les surpresseurs des figures 6 et 7 peuvent être remplacés par des surpresseurs froids.

[0031] La colonne basse pression peut éventuellement fonctionner à une pression au-dessus de 2 bar.

[0032] Pour la figure 8 la chaleur échangée dans la ligne d'échange en kcal/h est en ordonnées et la température en °C est en abscisse.

[0033] Dans tous les cas, la double colonne peut être remplacée par une triple colonne comprenant une colonne haute pression, une colonne pression intermédiaire et une colonne basse pression. Le liquide à vaporiser peut provenir d'une de ces colonnes.

[0034] L'installation peut comprendre une colonne de mélange.

Revendications

1. Procédé de séparation cryogénique du gaz de l'air par distillation d'air dans un système de colonnes comprenant au moins une colonne moyenne pression (11) et une colonne basse pression (13) comprenant les étapes de :

- comprimer la totalité de l'air à la moyenne pression et au moins une partie (19, 119, 219, 319, 419, 519, 619) de l'air jusqu'à une pression intermédiaire entre la moyenne pression et une haute pression
- comprimer tout l'air à la pression intermédiaire jusqu'à la haute pression
- diviser tout l'air comprimé à la haute pression en une première et une deuxième fractions (23, 25, 123, 125, 223, 225, 323, 325, 423, 425, 523, 525, 623, 625)
- refroidir la première fraction dans un échangeur de chaleur (8) et en détendre une partie jusqu'à la moyenne pression dans une première turbine (9, 109, 209, 309, 409, 509, 609)
- envoyer tout l'air détendu dans la première bobine à la colonne moyenne pression
- refroidir la deuxième fraction dans l'échangeur de chaleur (8) et la détendre au moins en partie jusqu'à la pression intermédiaire dans une deuxième turbine (7, 107, 207, 307, 407, 507,

607)

- réchauffer au moins une portion de la partie détendue (27, 127, 227, 327, 427, 527, 627) de la deuxième fraction (ou la deuxième fraction détendue) dans l'échangeur de chaleur (8) et en recycler au moins une partie au débit d'air à la pression intermédiaire (19, 119, 219, 319, 419, 519, 619)
- envoyer de l'air à la moyenne pression à la colonne moyenne pression (11, 111, 211, 311, 411, 511, 611) où il s'enrichit en azote en tête de colonne et s'enrichit en oxygène en cuve et
- soutirer un liquide d'une colonne du système et le vaporiser, après pressurisation, dans l'échangeur de chaleur la pression d'alimentation de la première turbine étant égale à ou supérieure, éventuellement d'au moins 1 bar, à la pression d'alimentation de la deuxième turbine.

2. Procédé selon la revendication 1 dans lequel la colonne moyenne pression (11, 111) fait partie d'une double colonne.

3. Procédé selon la revendication 2 dans lequel on envoie un débit enrichi en oxygène et un débit enrichi en azote de la colonne moyenne pression à la colonne basse pression (13, 113) de la double colonne.

4. Procédé selon la revendication 2 ou 3 dans lequel on soutire un débit liquide (41, 141) de la colonne moyenne ou basse pression et on le vaporise par échange de chaleur avec de l'air, éventuellement après l'avoir pressurisé.

5. Procédé selon l'une des revendications précédentes dans lequel la totalité (119) de l'air est comprimé jusqu'à la pression intermédiaire.

6. Procédé selon la revendication 5 dans lequel l'air est épuré en eau et en dioxyde de carbone à la pression intermédiaire.

7. Procédé selon l'une des revendications précédentes dans lequel la température d'aspiration de la deuxième turbine (7, 107) est supérieure à celle de la première turbine (9, 109).

8. Procédé selon l'une des revendications précédentes dans lequel une portion (29, 129) non-détendue de la première fraction (23) se condense par échange de chaleur avec un fluide (41, 141) soutiré de la colonne (13, 113).

9. Procédé selon la revendication 8 dans lequel la portion (29, 129) qui se condense échange de la chaleur avec un liquide qui se vaporise.

10. Procédé selon l'une des revendications précédentes dans lequel une portion non-détendue ou détendue de la deuxième fraction (325) se condense par échange de chaleur avec un fluide soutiré de la colonne (13, 113).
11. Procédé selon la revendication 10 dans lequel la portion qui se condense échange de la chaleur avec le liquide (341) qui se vaporise.
12. Procédé selon l'une des revendications précédentes dans lequel le débit liquide soutiré de la colonne (11, 13, 90) est enrichi en oxygène, en azote ou en argon.
13. Procédé selon la revendication 12 dans lequel plusieurs débits liquidés se vaporisent par échange de chaleur avec de l'air.
14. Procédé selon les revendications 8 à 11 et 13 dans lequel un premier liquide se vaporise par échange avec la portion non-détendue de la première fraction qui se condense et un deuxième liquide se vaporise par échange avec une portion détendue ou non-détendue de la deuxième fraction qui se condense.
15. Procédé selon l'une des revendications précédentes dans lequel une fraction de l'air est refroidie dans un groupe frigorifique (103', 203', 303', 403', 450, 503', 550, 603').
16. Procédé selon la revendication 15 dans lequel au moins une partie de la deuxième fraction est refroidie dans un groupe frigorifique.
17. Procédé selon la revendication 16 dans lequel la température de sortie du groupe frigorifique est la température d'entrée de la deuxième turbine.
18. Procédé selon l'une des revendications précédentes dans lequel l'énergie d'au moins une des turbines (7, 9, 107, 109) sert à entraîner un ou plusieurs compresseurs (5, 6).
19. Procédé selon la revendication 18 dans lequel la première turbine sert à entraîner un compresseur qui comprime la première fraction de la haute pression à une pression encore plus élevée avant le refroidissement de la première fraction.
20. Procédé selon la revendication 18 dans lequel la première turbine et la deuxième turbine servent à entraîner des compresseurs en série qui compriment la première fraction.
21. Procédé selon une des revendications précédentes dans lequel la première fraction se condense au moins partiellement lors de la détente dans la première turbine.
22. Procédé selon une des revendications précédentes dans lequel la température en sortie de la deuxième turbine est proche de celle en entrée de la première turbine.
23. Procédé selon l'une des revendications précédentes dans lequel un débit de la colonne basse pression alimente une colonne argon (90).
24. Installation de séparation cryogénique des gaz de l'air par distillation cryogénique comprenant:
- au moins une colonne moyenne pression (11, 111, 211, 411, 511, 611) et une colonne basse pression (13, 113, 213, 413, 513, 613) distillation d'air
 - une ligne d'échange (8, 108, 208, 308, 408, 508, 608),
 - des moyens (1, 101, 201, 301, 401, 501, 601) pour comprimer tout l'air à une moyenne pression,
 - des moyens (5, 105, 205, 305, 405, 505, 605) pour comprimer au moins une partie de l'air jusqu'à une pression intermédiaire entre la moyenne pression et une haute pression,
 - des moyens (6, 106, 206, 306, 406, 506, 606) pour comprimer de l'air à la pression intermédiaire jusqu'à la haute pression,
 - des moyens pour envoyer une première et une deuxième fractions d'air à la haute pression à la ligne d'échange,
 - une première turbine (9, 109, 209, 309, 409, 509, 609) pour détendre une partie de la première fraction, jusqu'à la moyenne pression,
 - des moyens (33) pour envoyer la partie détendue dans la première turbine à la colonne moyenne pression
 - une deuxième turbine (7, 107, 207, 307, 407, 507, 607) pour détendre au moins une partie de la deuxième fraction jusqu'à la pression intermédiaire,
 - des moyens (8, 108, 208, 308, 408, 508, 608) pour réchauffer au moins une portion de la partie détendue de la deuxième fraction
 - des moyens (27, 127, 227, 327, 427, 527, 627) pour recycler au moins une partie de cette portion dans l'air à la pression intermédiaire
 - des moyens (41, 141, 241, 341, 541, 641) pour soutirer au moins un liquide d'une colonne de l'installation et des moyens pour l'envoyer à la ligne d'échange, après pressurisation et les entrées des première et deuxième turbines sont reliées directement aux moyens pour comprimer l'air à la pression intermédiaire jusqu'à la haute pression, de sorte que les deux turbines

reçoivent de l'air à la haute pression ou l'entrée d'au moins une turbine est reliée aux moyens pour comprimer l'air à la pression intermédiaire jusqu'à la haute pression à travers des moyens de compression (570, 580, 670, 680), de sorte que la pression d'alimentation de la première turbine est égale à ou supérieure à la pression d'alimentation de la deuxième turbine.

25. Installation selon la revendication 24 comprenant des moyens (570, 670) pour augmenter la pression d'alimentation de la première turbine (509, 609) par rapport à la pression d'alimentation de la deuxième turbine (507, 607).

26. Installation selon la revendication 24 ou 25 dans laquelle les colonnes moyenne et basse pression font partie d'une double colonne et comprenant des moyens pour envoyer un débit enrichi en oxygène et un débit enrichi en azote de la colonne moyenne pression à la colonne basse pression (13, 113) de la double colonne.

27. Installation selon la revendication 24 ou 26 comprenant des moyens pour soutirer un débit liquide (41, 141) de la colonne moyenne ou basse pression ou une colonne d'argon (90) et le vaporiser par échange de chaleur avec de l'air, éventuellement après l'avoir pressurisé.

28. Installation selon l'une des revendications 24 à 27 dans laquelle la totalité (119) de l'air est comprimé jusqu'à la pression intermédiaire.

29. Installation selon l'une des revendications 24 à 28 comprenant des moyens pour soutirer un débit liquide enrichi en oxygène, en azote ou en argon de l'installation.

30. Installation selon une des revendications 24 à 29 comprenant un groupe frigorifique (103', 203', 303', 403' 450, 503', 603' 550) pour refroidir une partie de l'air.

31. Installation selon l'une des revendications 24 à 30 comprenant une colonne argon (90).

Patentansprüche

1. Verfahren zur kryogenischen Trennung von Gas der Luft durch Destillation von Luft in einem Säulen-System, das mindestens eine Mitteldrucksäule (11) und eine Niederdrucksäule (13) umfasst, die folgenden Schritte umfassend:

- Verdichten der Gesamtheit der Luft auf den mittleren Druck und mindestens einen Teil (19,

119, 219, 319, 419, 519, 619) der Luft bis auf einen Zwischendruck zwischen dem mittleren Druck und einem hohen Druck,

- Verdichten der gesamten Zwischendruckluft bis auf den hohen Druck,

- Teilen der gesamten Luft, die auf den hohen Druck verdichtet ist, in eine erste und eine zweite Fraktion (23, 25, 123, 125, 223, 225, 323, 325, 423, 425, 523, 525, 623, 625),

- Abkühlen der ersten Fraktion in einem Wärmeaustauscher (8) und Entspannen eines Teiles davon bis auf den mittleren Druck in einer ersten Turbine (9, 109, 209, 309, 409, 509, 609),

- Befördern der gesamten Luft, die in der ersten Turbine entspannt wird, zu der Mitteldrucksäule,

- Abkühlen der zweiten Fraktion in dem Wärmeaustauscher (8), und sie mindestens teilweise bis auf den Zwischendruck in einer zweiten Turbine (7, 107, 207, 307, 407, 507, 607) entspannen,

- Wiedererwärmen von mindestens einem Anteil des entspannten Teiles (27, 127, 227, 327, 427, 527, 627) der zweiten Fraktion (oder der zweiten entspannten Fraktion) in dem Wärmeaustauscher (8) und Zurückführen mindestens eines Teiles davon in die Luftdurchflussmenge bei dem Zwischendruck (19, 119, 219, 319, 419, 519, 619),

- Befördern der Luft bei dem mittleren Druck zu der Mitteldrucksäule (11, 111, 211, 311, 411, 511, 611), wo sie im Säulenkopf mit Stickstoff angereichert und im Sumpf mit Sauerstoff angereichert wird, und

- Abziehen einer Flüssigkeit aus einer Säule des Systems, und nach Beaufschlagung mit Druck, sie in dem Wärmeaustauscher verdampfen,

wobei der Einspeisungsdruck der ersten Turbine gleich oder höher, möglicherweise um mindestens 1 bar, als der Einspeisungsdruck der zweiten Turbine war.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Mitteldrucksäule (11, 111) Bestandteil einer Doppelsäule ist.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei eine mit Sauerstoff angereicherte Durchflussmenge und eine mit Stickstoff angereicherte Durchflussmenge von der Mitteldrucksäule zu der Niederdrucksäule (13, 113)

der Doppelsäule befördert wird.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, wobei eine Flüssigkeitsdurchflussmenge (41, 141) aus der Mittel-
druck- oder Niederdrucksäule abgezogen und durch Wärmeaustausch mit der Luft verdampft wird,
möglicherweise nachdem sie mit Druck beaufschlagt wurde. 5
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Gesamtheit (119) der Luft bis auf den
Zwischendruck verdichtet wird. 10
6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei die Luft von
Wasser und Kohlendioxid bei dem Zwischendruck
gereinigt wird. 15
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Ansaugtemperatur der zweiten Tur-
bine (7, 107) höher als diejenige der ersten Turbine
(9, 109) ist. 20
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein nicht entspannter Anteil (29, 129) der
ersten Fraktion (23) durch Wärmeaustausch mit einem Fluid (41, 141), das aus der Säule (13, 113)
abgezogen wird, verflüssigt wird. 25
9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei der Anteil (29,
129), der verflüssigt wird, Wärme mit einer Flüssig-
keit austauscht, die verdampft. 30
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein nicht entspannter oder entspannter
Anteil der zweiten Fraktion (325) durch Wärmeaus-
tausch mit einem Fluid, das aus der Säule (13, 113)
abgezogen wird, verflüssigt wird. 35
11. Verfahren nach Anspruch 10, wobei der Anteil, der
verflüssigt wird, Wärme mit der Flüssigkeit (341)
austauscht, die verdampft. 40
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Flüssigkeitsdurchflussmenge, die
aus der Säule (11, 13, 90) abgezogen wird, mit Sau-
erstoff, mit Stickstoff oder mit Argon angereichert
ist. 45
13. Verfahren nach Anspruch 12, wobei mehrere Flüs-
sigkeitsdurchflussmengen durch Wärmeaustausch
mit der Luft verdampfen. 50
14. Verfahren nach den Ansprüchen 8 bis 11 und 13,
wobei eine erste Flüssigkeit durch Austausch mit
dem nicht entspannten Anteil der ersten Fraktion,
die verflüssigt wird, verdampft, und eine zweite
Flüssigkeit durch Austausch mit einem entspann-
ten oder nicht entspannten Anteil der zweiten Frak- 55

tion, die verflüssigt wird, verdampft.

15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprü-
che, wobei eine Fraktion der Luft in einem Kälteag-
gregat (103', 203', 303', 403', 450, 503', 550, 603')
abgekühlt wird.
16. Verfahren nach Anspruch 15, wobei mindestens ein
Teil der zweiten Fraktion in einem Kälteaggregat
abgekühlt wird.
17. Verfahren nach Anspruch 16, wobei die Aus-
gangstemperatur des Kälteaggregates die Ein-
gangstemperatur der zweiten Turbine ist.
18. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprü-
che, wobei die Energie von mindestens einer der
Turbinen (7, 9, 107, 109) dazu dient, einen oder
mehrere Kompressoren (5, 6) anzutreiben.
19. Verfahren nach Anspruch 18, wobei die erste Tur-
bine dazu dient, einen Kompressor anzutreiben,
der die erste Fraktion des hohen Drucks, vor dem
Kühlen der ersten Fraktion, auf einen noch höheren
Druck verdichtet.
20. Verfahren nach Anspruch 18, wobei die erste Tur-
bine und die zweite Turbine dazu dienen, in Serie
geschaltete Kompressoren anzutreiben, die die er-
ste Fraktion verdichten.
21. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprü-
che, wobei die erste Fraktion während des Ent-
spannens in der ersten Turbine mindestens teilwei-
se verflüssigt wird.
22. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprü-
che, wobei die Ausgangstemperatur der zweiten
Turbine in der Nähe derjenigen am Eingang der er-
sten Turbine liegt.
23. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprü-
che, wobei eine Durchflussmenge der Niederdruck-
säule eine Argonsäule (90) speist.
24. Anlage zur kryogenischen Trennung von Gasen der
Luft durch kryogenische Destillation, umfassend:
 - mindestens eine Mitteldrucksäule (11, 111, 211,
311, 411, 511, 611) zur Luftdestillation und eine
Niederdrucksäule (13, 113, 213, 313, 413, 513,
613),
 - eine Austauschanlage (8, 108, 208, 308, 408,
508, 608),
 - Einrichtungen (1, 101, 201, 301, 401, 501,
601), um die gesamte Luft auf einen mittleren

Druck zu verdichten,

- Einrichtungen (5, 105, 205, 305, 405, 505, 605), um mindestens einen Teil der Luft bis auf einen Zwischendruck zwischen dem mittleren Druck und einem hohen Druck zu verdichten, 5
- Einrichtungen (6, 106, 206, 306, 406, 506, 606), um die Zwischendruckluft bis auf den hohen Druck zu verdichten, 10
- Einrichtungen, um eine erste und eine zweite Fraktion von Luft bei dem hohen Druck zu der Austauschanlage zu befördern, 15
- eine erste Turbine (9, 109, 209, 309, 409, 509, 609), um einen Teil der ersten Fraktion bis auf den mittleren Druck zu entspannen, 20
- Einrichtungen (33), um den in der ersten Turbine entspannten Teil nur zu der Mitteldrucksäule zu befördern, 25
- eine zweite Turbine (7, 107, 207, 307, 407, 507, 607), um mindestens einen Teil der zweiten Fraktion bis auf den Zwischendruck zu entspannen, 30
- Einrichtungen (8, 108, 208, 308, 408, 508, 608), um mindestens einen Anteil des entspannten Teiles der zweiten Fraktion zu erwärmen, 35
- Einrichtungen (27, 127, 227, 327, 427, 527, 627), um mindestens einen Teil dieses Anteiles in die Zwischendruckluft zurückzuführen, 40
- Einrichtungen (41, 141, 241, 341, 441, 541, 641), um mindestens eine Flüssigkeit aus einer Säule der Anlage abzuziehen, und Einrichtungen, um sie, nach Beaufschlagung mit Druck, zu der Austauschanlage zu befördern, und die Eingänge der ersten und zweiten Turbine direkt mit Einrichtungen verbunden sind, um die Zwischendruckluft bis auf den hohen Druck zu verdichten, so dass die beiden Turbinen die Luft mit dem hohen Druck empfangen oder der Eingang von mindestens einer Turbine mit den Einrichtungen zum Verdichten der Zwischendruckluft bis auf den hohen Druck über Verdichtungseinrichtungen (570, 580, 670, 680) verbunden ist, so dass der Einspeisungsdruck der ersten Turbine gleich oder höher als der Einspeisungsdruck der zweiten Turbine ist. 45

25. Anlage nach Anspruch 24, Einrichtungen (570, 670) umfassend, um den Einspeisungsdruck der ersten Turbine (509, 609) im Verhältnis zu dem Ein-

speisungsdruck der zweiten Turbine (507, 607) zu erhöhen.

26. Anlage nach Anspruch 24 oder 25, wobei die Mitteldruck- und Niederdrucksäulen Bestandteil einer Doppelsäule sind, und die Einrichtungen umfassend, um eine Durchflussmenge, die mit Sauerstoff angereichert ist, und eine Durchflussmenge, die mit Stickstoff angereichert ist, von der Mitteldrucksäule zu der Niederdrucksäule (13, 113) der Doppelsäule zu befördern.

27. Anlage nach Anspruch 24 oder 26, Einrichtungen umfassend, um aus der Mitteldruck- oder Niederdrucksäule oder einer Argonsäule (90) eine Flüssigkeitsdurchflussmenge (41, 141) abzuziehen und sie, möglicherweise nachdem sie mit Druck beaufschlagt wurde, durch Wärmeaustausch mit der Luft zu verdampfen.

28. Anlage nach einem der Ansprüche 24 bis 27, wobei die Gesamtheit (119) der Luft bis auf den Zwischen- druck verdichtet wird.

29. Anlage nach einem der Ansprüche 24 bis 28, Einrichtungen umfassend, um eine Flüssigkeitsdurchflussmenge abzuziehen, die mit Sauerstoff, mit Stickstoff oder mit Argon der Anlage angereichert ist.

30. Anlage nach einem der Ansprüche 24 bis 29, ein Kälteaggregat (103', 203', 303', 403', 450, 503', 550, 603') umfassend, um einen Teil der Luft abzukühlen.

31. Anlage nach einem der Ansprüche 24 bis 30, eine Argonsäule (90) umfassend.

Claims

1. Process for the cryogenic separation of air gases by air distillation in a system of columns comprising at least a medium-pressure column (11) and a high-pressure column (13), comprising the steps of:

- compressing all of the air to the medium-pressure and at least a part (19, 119, 219, 319, 419, 519, 619) of the air up to an intermediate pressure between the medium pressure and a high pressure;
- compressing all of the air at the intermediate pressure up to the high pressure;
- dividing all of the air compressed at the high pressure into first and second fractions (23, 25, 123, 125, 223, 225, 323, 325, 423, 425, 523, 525, 623, 625);
- cooling the first fraction in a heat exchanger (8)

and a part is expanded down to the medium pressure in a first turbine (9, 109, 209, 309, 409, 509, 609);

- sending all of the air expanded in the first turbine to the medium-pressure column;
- cooling the second fraction in the heat exchanger (8) and at least partly expanding it down to the intermediate pressure in a second turbine (7, 107, 207, 307, 407, 507, 607);
- warming at least a portion of the expanded part (27, 127, 227, 327, 427, 527, 627) of the second fraction (or the expanded second fraction) in the heat exchanger (8) and recycling at least a part thereof into the stream of air at the intermediate pressure (19, 119, 219, 319, 419, 519, 619);
- sending the air at the medium pressure to the medium-pressure column (11, 111, 211, 311, 411, 511, 611) in which it is enriched with nitrogen at the top of the column and enriched with oxygen at the bottom; and
- withdrawing a liquid from one column of the system and vaporizing the said liquid, after pressurization, in the heat exchanger;

the feed pressure for the first turbine being equal to or greater than, possibly by at least 1 bar, the feed pressure for the second turbine.

2. Process according to Claim 1, in which the medium-pressure column (11, 111) forms part of a double column.
3. Process according to Claim 2, in which an oxygen-enriched stream and a nitrogen-enriched stream are sent from the medium-pressure column to the low-pressure column (13, 113) of the double column.
4. Process according to Claim 2 or 3, in which a liquid stream (41, 141) is withdrawn from the medium-pressure or low-pressure column and vaporized by heat exchange with air, possibly after having pressurized it.
5. Process according to one of the preceding claims, in which all (119) of the air is compressed up to the intermediate pressure.
6. Process according to Claim 5, in which the air is purified of water and of carbon dioxide at the intermediate pressure.
7. Process according to one of the preceding claims, in which the intake temperature of the second turbine (7, 107) is greater than that of the first turbine (9, 109).

8. Process according to one of the preceding claims, in which an unexpanded portion (29, 129) of the first fraction (23) condenses by heat exchange with a fluid (41, 141) withdrawn from the column (13, 113).

9. Process according to Claim 8, in which the portion (29, 129) condenses by heat exchange with a liquid that vaporizes.

10. Process according to one of the preceding claims, in which an unexpanded or expanded portion of the second fraction (325) condenses by heat exchange with a fluid withdrawn from the column (13, 113).

11. Process according to Claim 10, in which the portion that condenses exchanges heat with the liquid (341) that vaporizes.

12. Process according to one of the preceding claims, in which the liquid stream withdrawn from the column (11, 13, 90) is enriched with oxygen, with nitrogen or with argon.

13. Process according to Claim 12, in which several liquid streams vaporize by heat exchange with air.

14. Process according to Claims 8 to 11 and 13, in which a first liquid vaporizes by exchange with the unexpanded portion of the first fraction that condenses and a second liquid vaporizes by exchange with an expanded or unexpanded portion of the second fraction that condenses.

15. Process according to one of the preceding claims, in which a fraction of the air is cooled in a refrigerating unit (103', 203', 303', 403', 450, 503', 550, 603').

16. Process according to Claim 15, in which at least part of the second fraction is cooled in a refrigerating unit.

17. Process according to Claim 16, in which the outlet temperature of the refrigerating unit is the inlet temperature of the second turbine.

18. Process according to one of the preceding claims, in which the energy of at least one of the turbines (7, 9, 107, 109) serves to drive one or more compressors (5, 6).

19. Process according to Claim 18, in which the first turbine serves to drive a compressor that compresses the first fraction from the high pressure to an even higher pressure before the first fraction is cooled.

20. Process according to Claim 18, in which the first turbine and the second turbine serve to drive series-

connected compressors that compress the first fraction.

21. Process according to one of the preceding claims, in which the first fraction at least partly condenses during the expansion in the first turbine. 5
22. Process according to one of the preceding claims, in which the outlet temperature of the second turbine is close to the inlet temperature of the first turbine. 10
23. Process according to one of the preceding claims, in which a stream from the low-pressure column feeds an argon column (90). 15
24. Plant for the cryogenic separation of the gases in air by cryogenic distillation, comprising:
 - at least a medium-pressure column (11, 111, 211, 411, 511, 611) and a low-pressure column (13, 113, 213, 413, 513, 613) for air distillation; 20
 - an exchange line (8, 108, 208, 308, 408, 508, 608);
 - means (1, 101, 201, 301, 401, 501, 601) for compressing all of the air to a medium pressure; 25
 - means (5, 105, 205, 305, 405, 505, 605) for compressing at least a part of the air up to an intermediate pressure between the medium pressure and a high pressure; 30
 - means (6, 105, 205, 305, 405, 505, 605) for compressing the air from the intermediate pressure up to the high pressure;
 - means for sending first and second air fractions at the high pressure to the exchange line; 35
 - a first turbine (9, 109, 209, 309, 409, 509, 609) for expanding a part of the first fraction up to the medium pressure;
 - means (33) for sending the part expanded in the first turbine [illegible] to the medium-pressure column; 40
 - a second turbine (7, 107, 207, 307, 407, 507, 607) for expanding at least a part of the second fraction up to the intermediate pressure; 45
 - means (8, 108, 208, 308, 408, 508, 608) for warming at least one portion of the expanded part of the second fraction;
 - means (27, 127, 227, 327, 427, 527, 627) for recycling at least one part of this portion into the air at the intermediate pressure; 50
 - means (41, 141, 241, 341, 541, 641) for withdrawing at least one liquid from a column of the plant and means for sending it to the exchange line, after pressurization; 55

and the inlets of the first and second turbines are connected directly to the means for compressing

the air at the intermediate pressure up to the high pressure, so that both turbines receive air at the high pressure, or the inlet of at least one turbine is connected to the means for compressing the air at the intermediate pressure up to the high pressure through compression means (570, 580, 670, 680) so that the feed pressure for the first turbine is equal to or greater than the feed pressure for the second turbine.

25. Plant according to Claim 24, comprising means (570, 670) for increasing the feed pressure for the first turbine (509, 609) as compared with the feed pressure for the second turbine (507, 607).
26. Plant according to Claim 24 or 25, in which the medium-pressure and low-pressure columns form part of a double column, and comprising means for sending an oxygen-enriched stream and a nitrogen-enriched stream from the medium-pressure column to the low-pressure column (13, 113) of the double column.
27. Plant according to Claim 24 or 26, which includes means for withdrawing a liquid stream (41, 141) from the medium-pressure or low-pressure column or an argon column (90) and vaporizing it by heat exchange with air, possibly after having pressurized it.
28. Plant according to one of Claims 24 to 27, in which all (119) of the air is compressed up to the intermediate pressure.
29. Plant according to one of Claims 24 to 28, which includes means for withdrawing a liquid stream enriched with argon, with nitrogen or with argon from the plant.
30. Plant according to one of Claims 24 to 29, which includes a refrigerating unit (103', 203', 303', 403', 450, 503', 550, 603') for cooling a part of the air.
31. Plant according to one of Claims 24 to 30, which includes an argon column (90).

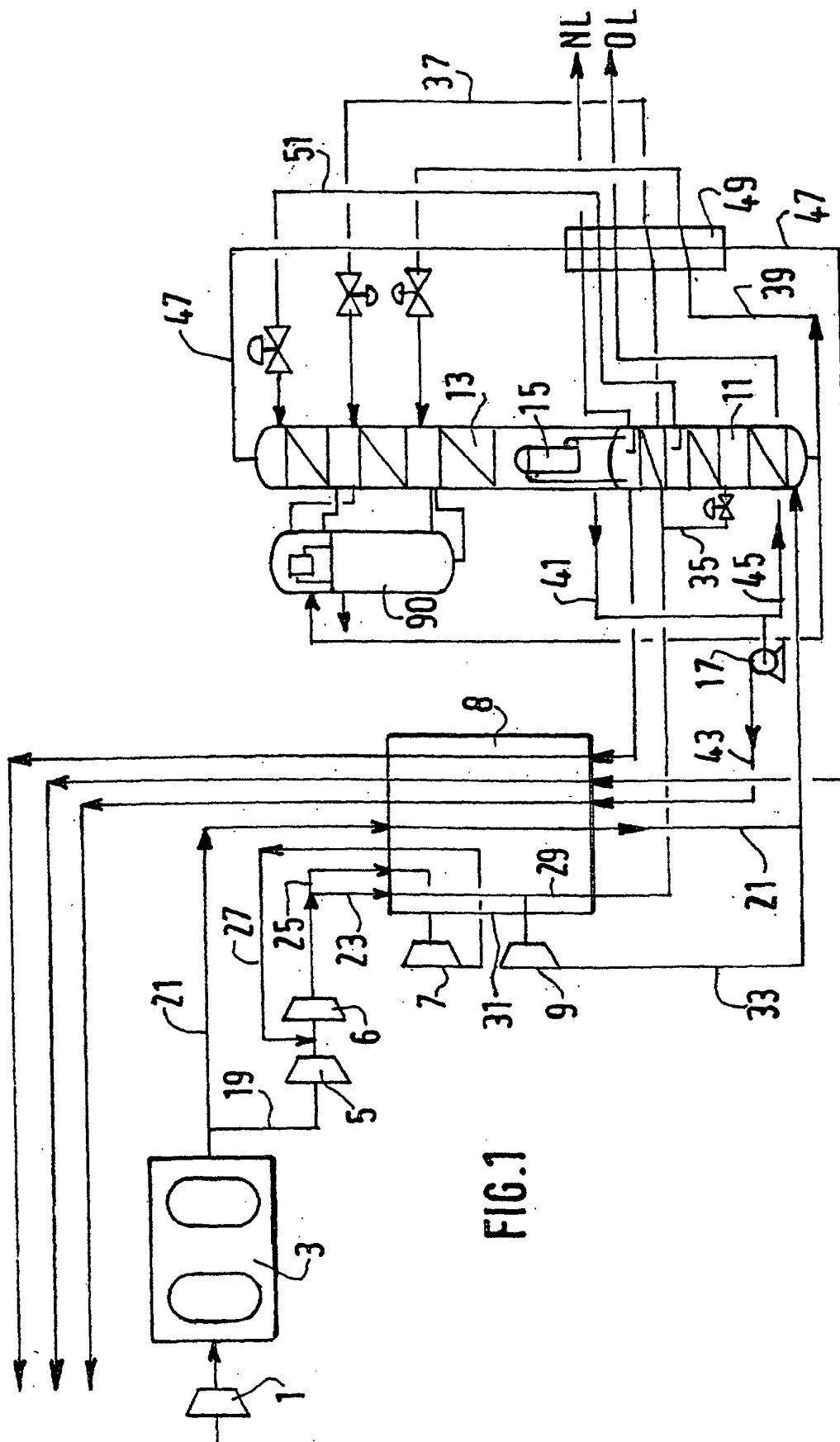


FIG. 1

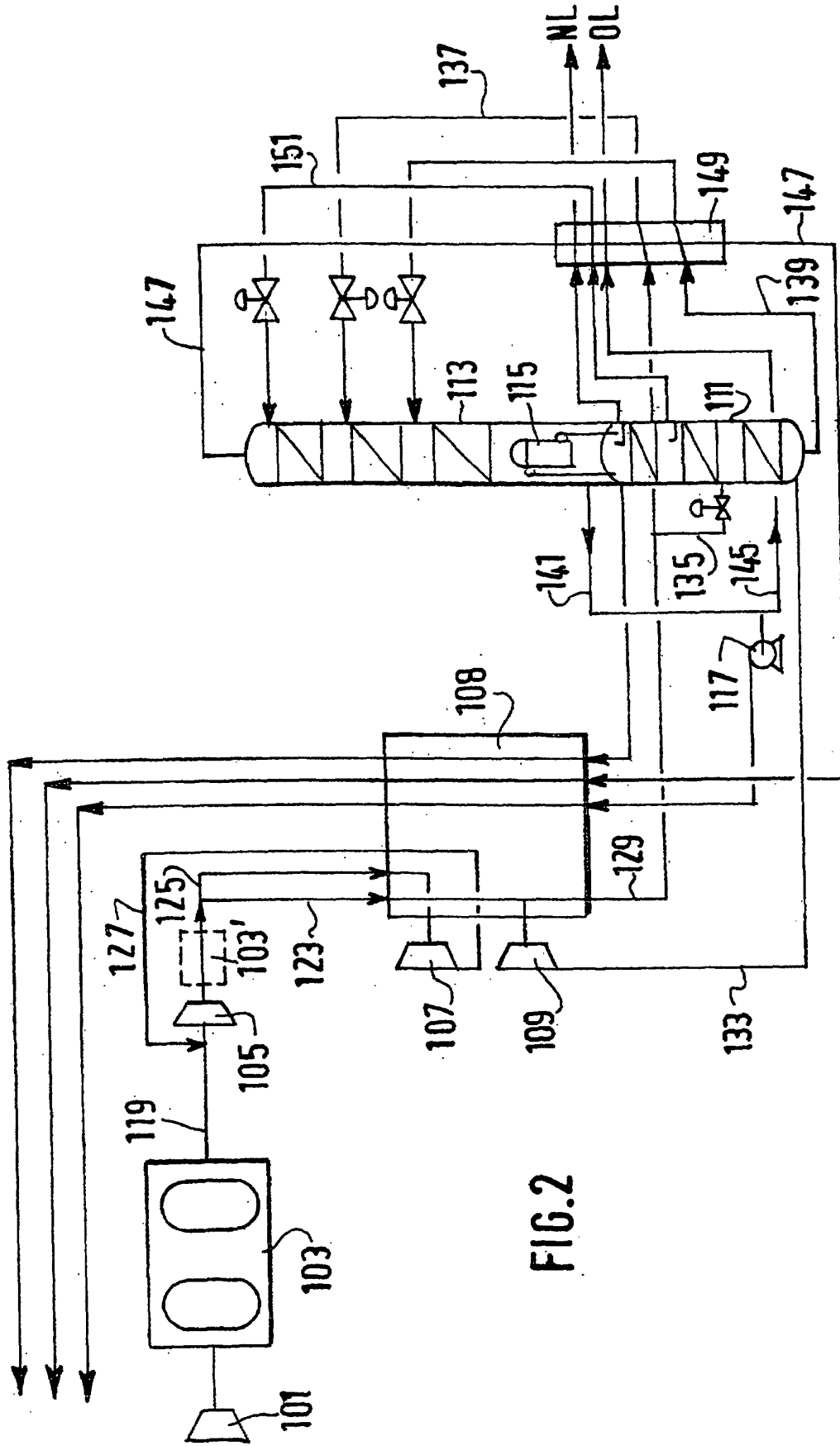


FIG. 2

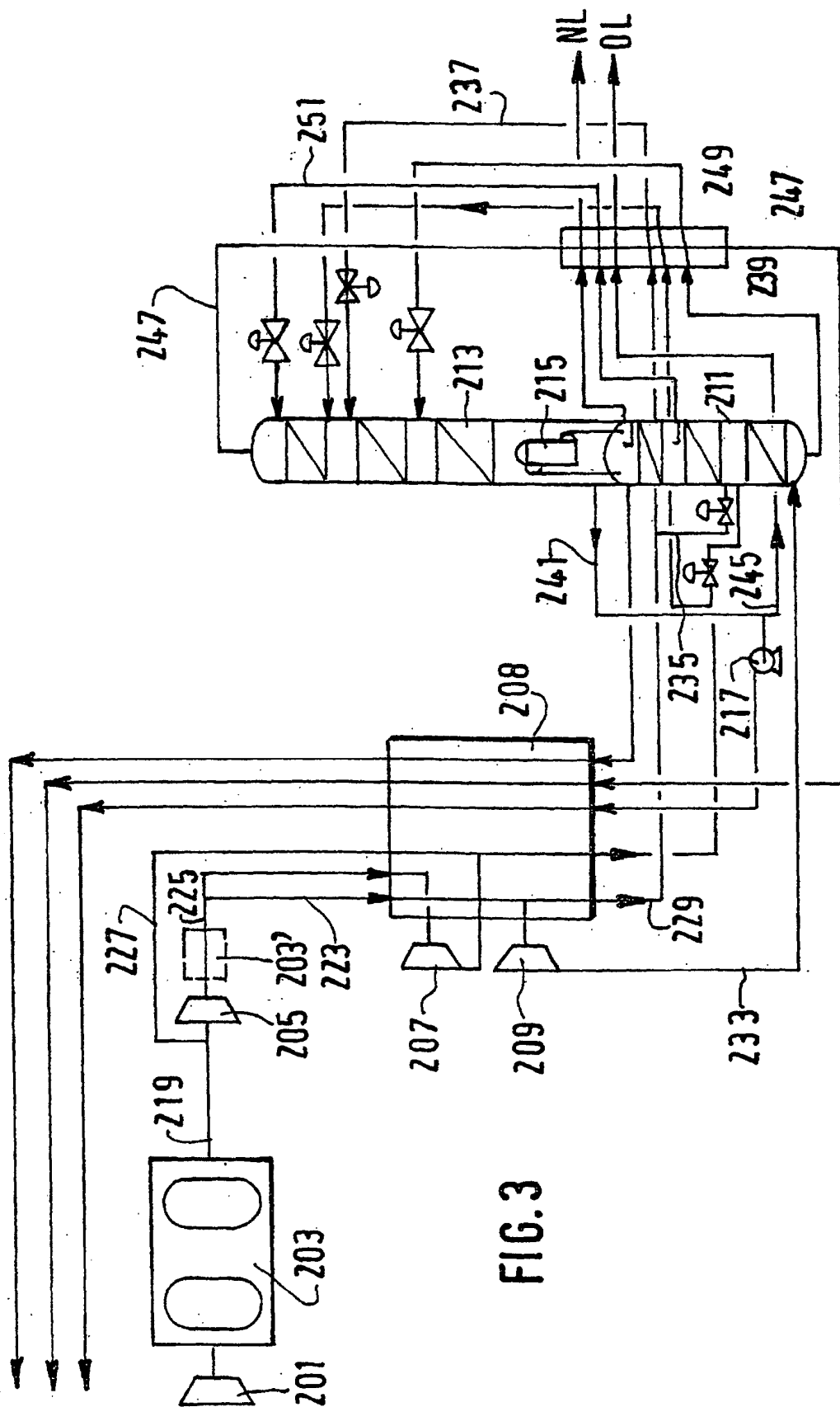
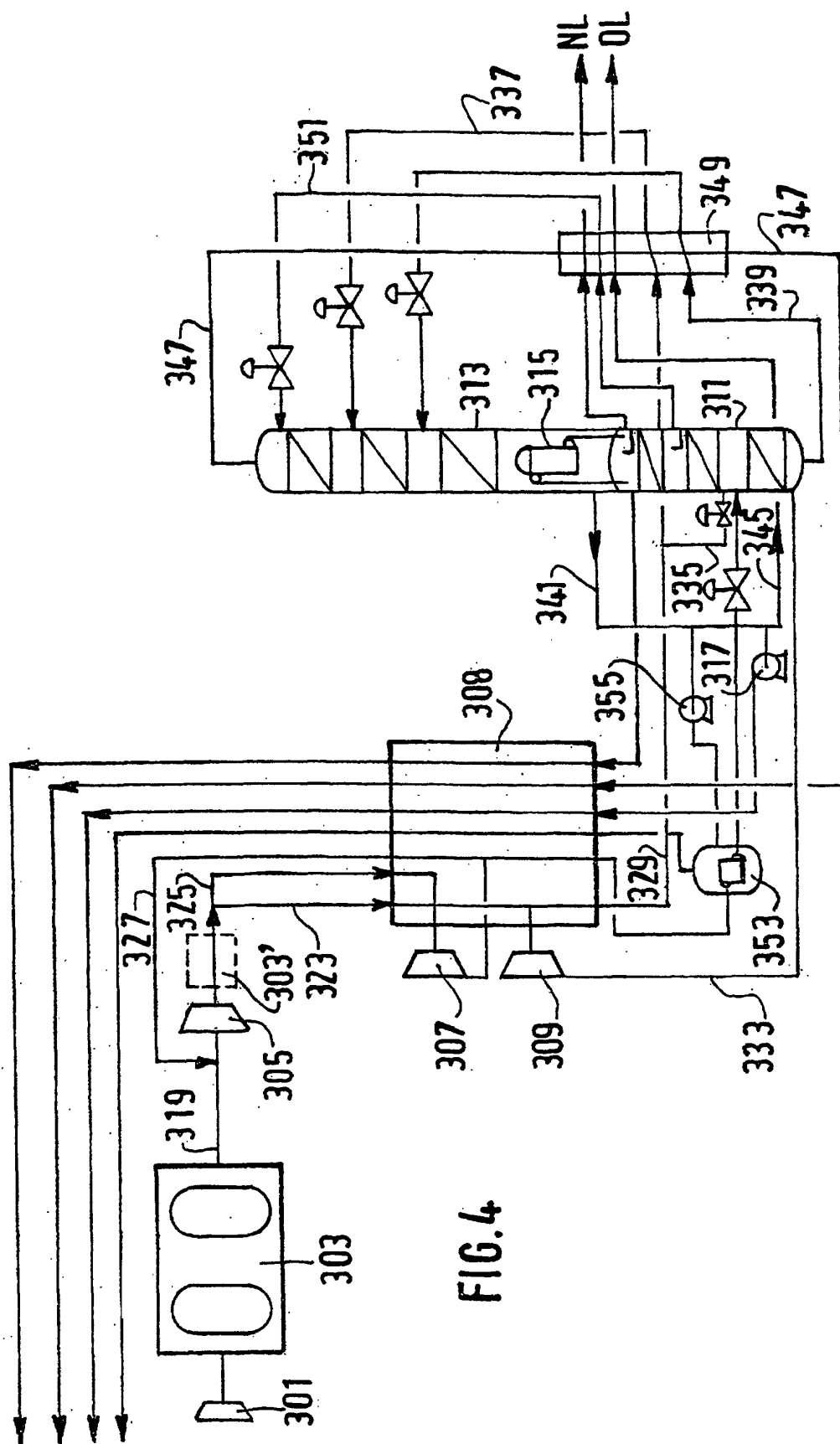


FIG. 3



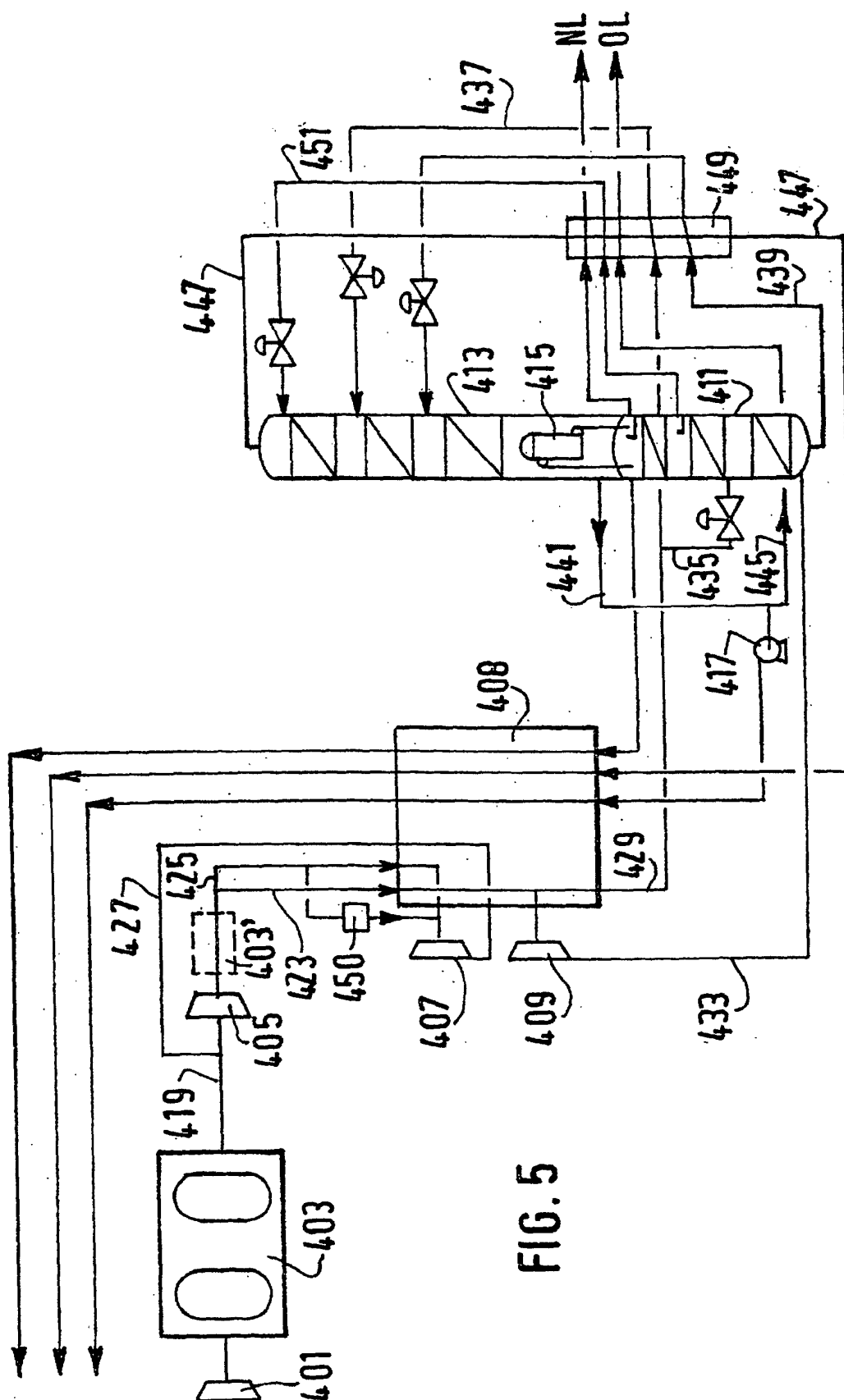
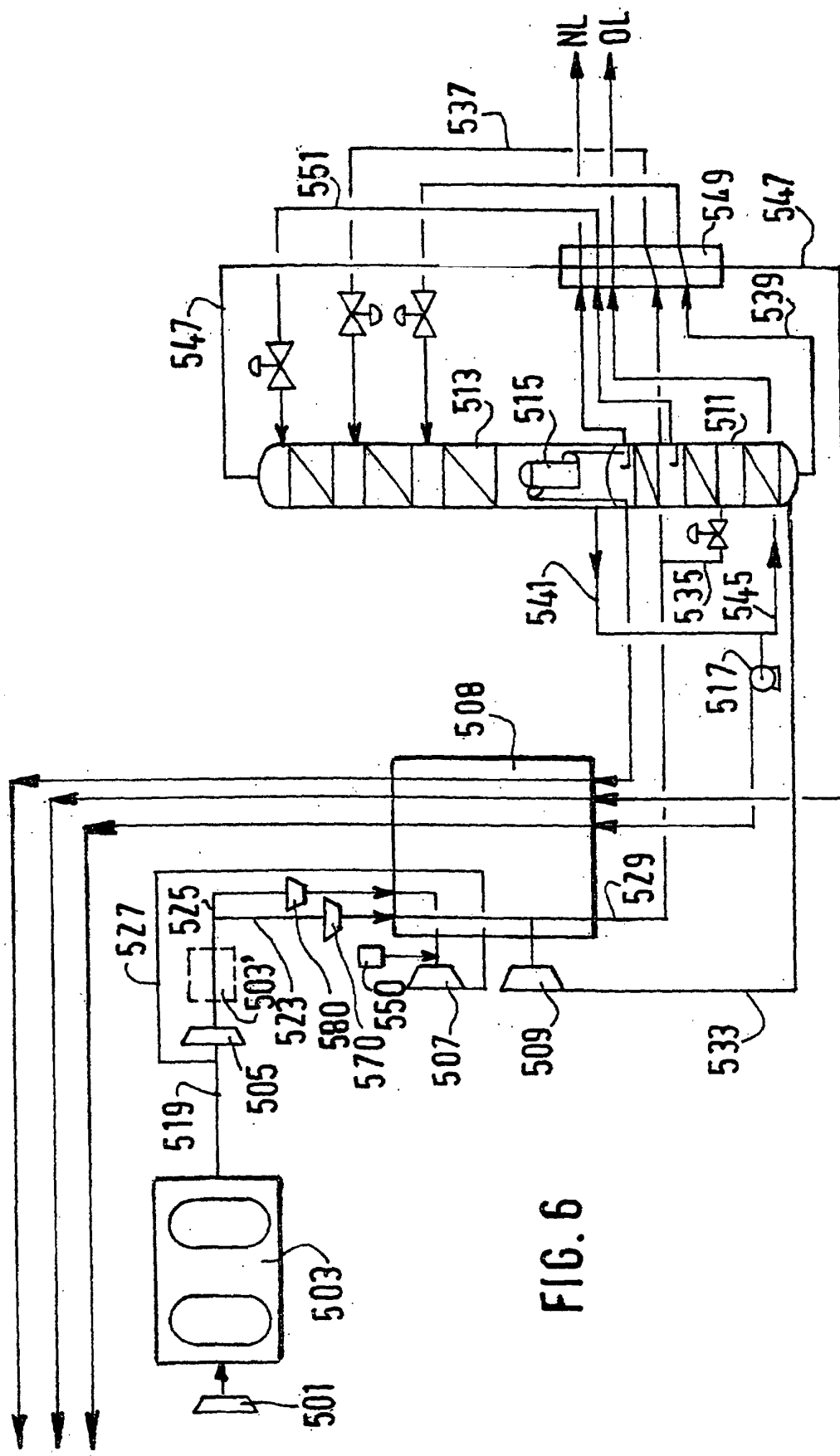
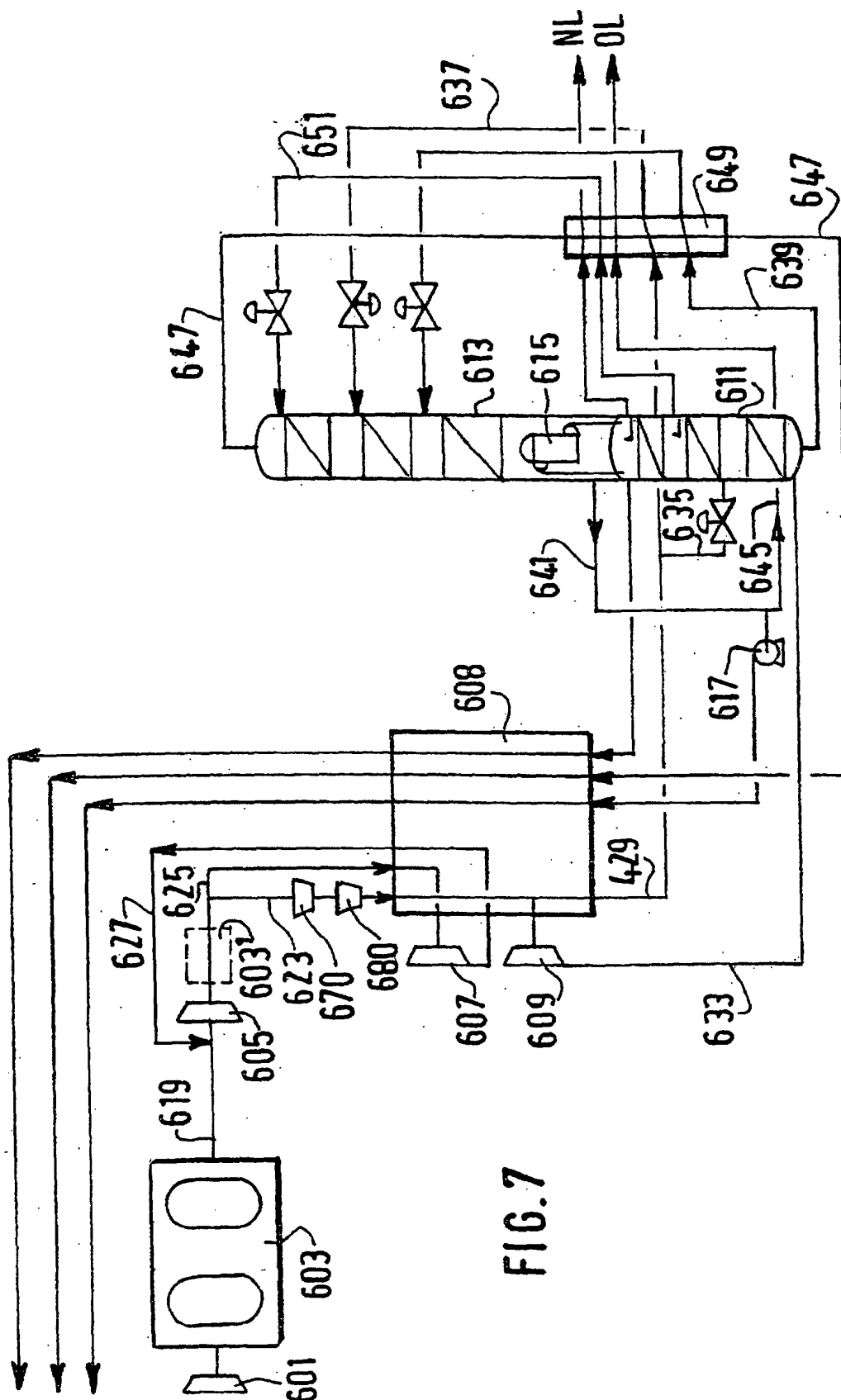


FIG. 5





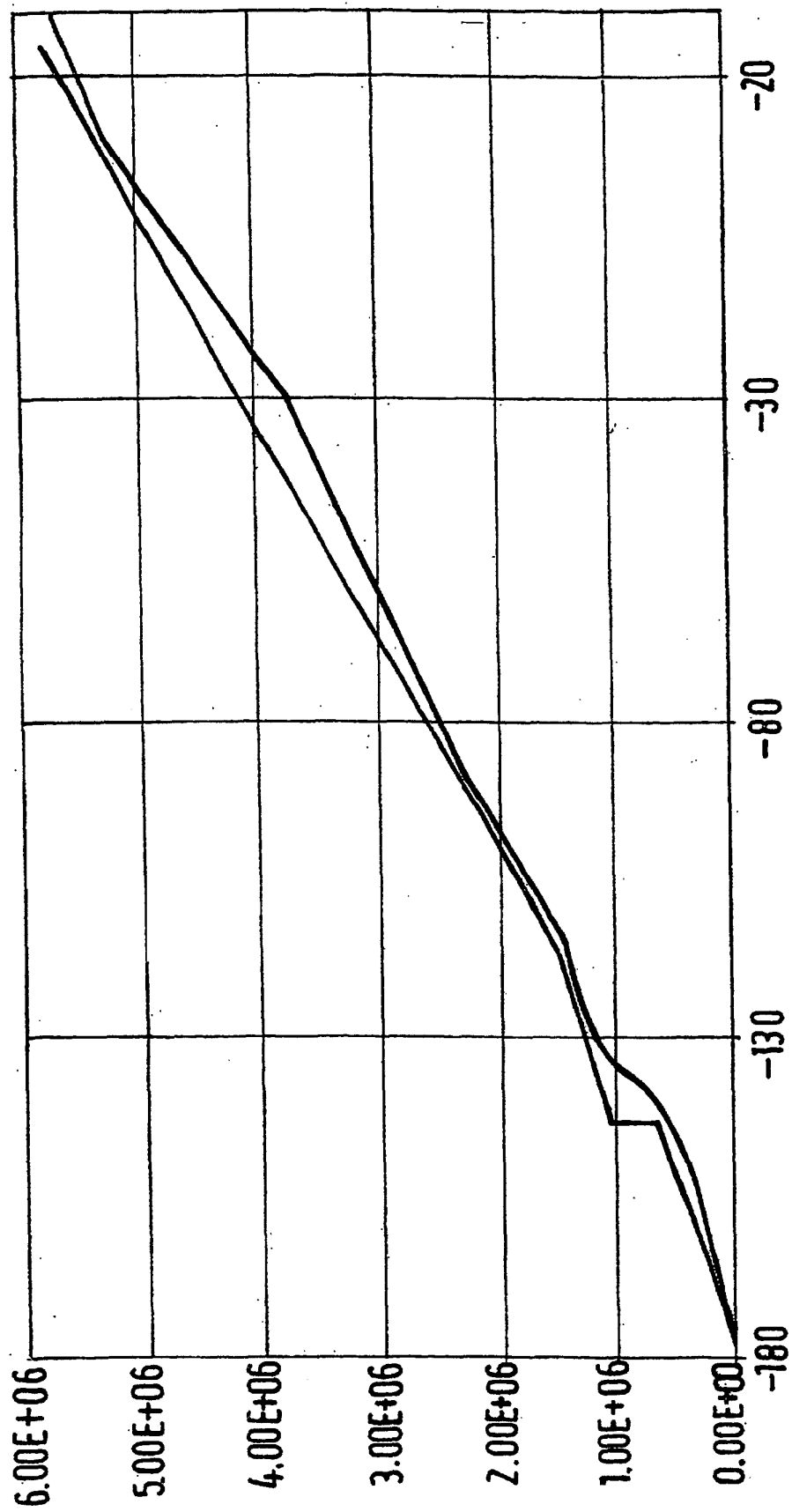


FIG. 8