

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 718 742**

51 Int. Cl.:

F04D 17/12 (2006.01)

F04D 29/58 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.02.2016** E 16156574 (2)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.01.2019** EP 3208465

54 Título: **Procedimiento para la compresión gradual de un gas**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
04.07.2019

73 Titular/es:

LINDE AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)
Klosterhofstrasse 1
80331 München, DE

72 Inventor/es:

HÖFEL, DR. TORBEN;
MCCRACKEN, SEAN;
KAMANN, MARTIN;
KATZUR, EVA-MARIA;
MATTHES, JÖRG y
BRETSCHNEIDER, THOMAS

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 718 742 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para la compresión gradual de un gas

- 5 La invención se refiere a un procedimiento para la compresión gradual de un gas en una disposición de compresores con varias etapas de compresión unidas entre sí secuencialmente a través de un conducto principal y una disposición de compresores correspondiente según los preámbulos de las reivindicaciones independientes.

Estado de la técnica

- 10 Se conocen procedimientos y dispositivos para el craqueo a vapor (en inglés *steam cracking*) de hidrocarburos y se describen, por ejemplo, en el artículo "Ethylene" en Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, en línea desde el 15 de abril de 2009, DOI 10.1002/14356007.a10_045.pub3.

- 15 En el craqueo a vapor se obtienen mezclas de gases, que tras la separación de agua y componentes oleosos, en el caso de que estén presentes (el denominado aceite de pirólisis), contienen todavía esencialmente hidrógeno, metano e hidrocarburos con dos y más átomos de carbono. Tales mezclas de gases pueden separarse en secuencias de separación, tal como las conoce el experto en la técnica y se describen igualmente en el artículo mencionado. También el producto objetivo clásico durante el craqueo a vapor, concretamente etileno, se separa en
- 20 secuencias de separación correspondientes de los otros componentes. A este respecto, el etileno se extrae normalmente de la cabeza de un denominado divisor de C2.

- El etileno puede, en función de los requisitos de procedimientos o consumidores dispuestos aguas abajo, emitirse en diferentes condiciones al límite de la instalación. Normalmente se emite etileno en forma de gas a presión
- 25 aumentada. Siempre que el etileno no se encuentre ya en las condiciones deseadas tiene lugar una compresión en turbocompresores de una o varias etapas. Dado que el etileno se usa en las secuencias de separación mencionadas además como agente refrigerante, también se comprime para este propósito. Normalmente, la compresión de etileno para dichos propósitos tiene lugar en un turbocompresor común con varias etapas de compresión y enfriamiento intermedia, que con ello se usa tanto como el compresor de producto como como el compresor de agente refrigerante. El etileno se extrae de este turbocompresor para el uso como agente refrigerante y como producto a
- 30 diferentes niveles de presión, de manera correspondiente a diferentes etapas de compresión. Un turbocompresor correspondiente se ilustra esquemáticamente en la figura 1 adjunta y se explica más detalladamente más adelante. Sin embargo, básicamente también es posible utilizar varios turbocompresores separados, en particular de múltiples etapas, para la compresión de agente refrigerante y de producto.

- 35 Aunque la presente invención se describe predominantemente haciendo referencia a etileno y gases ricos en etileno, es adecuada de la misma manera para la compresión de gases que se comportan de manera similar desde el punto de vista termodinámico, tal como etano y dióxido de carbono. Por tanto, la descripción con respecto al etileno sirve solo como ejemplo.

- 40 En determinados casos se requiere una emisión de etileno a un nivel de presión supercrítico. Para ello, el etileno puede o bien licuarse y después traspasarse por medio de una bomba hasta un nivel de presión supercrítico, o bien se lleva en un compresor de múltiples etapas del tipo explicado hasta el nivel de presión correspondiente. Esto último se ilustra esquemáticamente en la figura 2 adjunta y se explica igualmente más detalladamente más adelante.
- 45 En este caso, la compresión de producto tiene lugar en las etapas IV a VI, la compresión de agente refrigerante en las etapas I a III. La compresión sin licuefacción es la alternativa energéticamente más favorable.

- La publicación US 2014/0069141 A1 da a conocer un procedimiento para la compresión gradual de un gas en una disposición de compresores con un conducto principal y varias etapas de compresor conectadas en serie,
- 50 extrayéndose del conducto principal aguas abajo de una de las etapas de compresor una parte del gas y realimentándose aguas arriba de la misma etapa de compresor al conducto principal.

- Sin embargo, en la compresión de múltiples etapas hasta niveles de presión supercríticos pueden surgir en turbocompresores de múltiples etapas convencionales problemas, tal como se explica más adelante. La presente
- 55 invención pretende solucionarlos.

Divulgación de la invención

- 60 Ante este trasfondo, la invención propone un procedimiento para la compresión gradual de un gas en una disposición de compresores con varias etapas de compresión unidas entre sí secuencialmente a través de un conducto principal y una disposición de compresores correspondiente con las características de las reivindicaciones independientes. Configuraciones son el objeto de las reivindicaciones dependientes así como de la siguiente descripción.

- 65 La presente solicitud usa para la caracterización de presiones y temperaturas los términos "nivel de presión" y "nivel de temperatura", con lo que pretende expresarse que no tienen que usarse presiones y temperaturas

correspondientes en una instalación correspondiente en forma de valores de presión o de temperatura exactos para implementar el concepto inventivo. Sin embargo, tales presiones y temperaturas se mueven normalmente en determinados intervalos, que se encuentran por ejemplo alrededor de $\pm 1\%$, 5% , 10% , 20% o incluso 50% de un valor medio. A este respecto, los niveles de presión y niveles de temperatura correspondientes pueden encontrarse en intervalos disyuntivos o en intervalos que se solapan entre sí. En particular, los niveles de presión incluyen, por ejemplo, pérdidas de presión inevitables o que son de esperar. Lo correspondiente es aplicable para niveles de temperatura. En el caso de los niveles de presión indicados en este caso en bar se trata de presiones absolutas.

Ventajas de la invención

Antes de que el etileno alcance en un turbocompresor de múltiples etapas el nivel de presión supercrítico, a un nivel de presión alto, pero todavía subcrítico, puede producirse ya una licuefacción a temperaturas relativamente moderadas. La temperatura crítica del etileno se encuentra a aproximadamente 8°C . Esta temperatura es suficientemente baja para que pueda excluirse una licuefacción por un enfriamiento intermedio con agua de enfriamiento aguas abajo de una etapa de compresión. El agua de enfriamiento se encuentra normalmente a al menos 10°C . Sin embargo, en turbocompresores de múltiples etapas están previstos normalmente conductos de retorno, los denominados retrocesos (*kickbacks*), que en el caso de una carga parcial u otros estados de funcionamiento que aparecen temporalmente reducen la presión del etileno del lado de presión de una etapa de compresión hasta un nivel de presión menor y lo suministran de nuevo en el lado de succión a la misma o a una etapa de compresión dispuesta aguas arriba de la misma. Esto se ilustra igualmente en la figura 2 y se explica más detalladamente más adelante.

Cuando el etileno se ha enfriado demasiado antes de un retorno correspondiente, durante la reducción de presión puede producirse una licuefacción parcial no deseada. Si el etileno comprimido se encuentra, por ejemplo, tras la etapa V del turbocompresor según la figura 2 a aproximadamente 70 bar, y se enfría a este nivel de presión hasta 20°C y a continuación se reduce la presión a través de una estrangulación de manera isentálpica hasta aproximadamente 40 bar, para suministrarlo de nuevo a la etapa V, en el diagrama de entalpía se obtiene una transición directa a la zona bifásica. Con respecto a detalles se remite a diagramas de entalpía para etileno publicados en la bibliografía relevante. Sin embargo, una licuefacción parcial correspondiente resulta desventajosa, dado que los turbocompresores de múltiples etapas usados no están diseñados para el traspaso de fases líquidas.

Para superar esta desventaja, la presente invención propone un procedimiento para la compresión gradual de un gas en una disposición de compresores con varias etapas de compresión unidas entre sí secuencialmente a través de un conducto principal. Las etapas de compresión pueden estar configuradas en particular en forma de etapas de turbocompresor, tal como se explicaron anteriormente. En particular, las etapas de compresión pueden accionarse parcialmente o en global usando unidades mecánicas comunes, por ejemplo, árboles comunes, y de esta manera están acopladas mecánicamente entre sí.

Como se ha mencionado, el gas utilizado en la presente invención puede ser, por ejemplo, un gas rico en etileno. Un gas rico en etileno de este tipo puede ser también etileno puro o esencialmente puro, es decir contener al menos el 90% , el 95% o el 99% de etileno. Dado que el gas rico en etileno puede extraerse en el marco de la presente invención en particular de la cabeza de un divisor de C_2 conocido (véase la bibliografía técnica mencionada al principio), presenta en particular el contenido en etileno habitual en este contexto. Simplificando, un gas rico en etileno correspondiente se denomina a continuación también "etileno". Sin embargo, la presente invención también es adecuada, por ejemplo, para la compresión de etano o dióxido de carbono, que presentan parámetros termodinámicos comparables, o gases ricos en etano y dióxido de carbono correspondientes.

En las etapas de compresión se comprime el gas guiado a través del conducto principal en cada caso desde un nivel de presión en el lado de succión hasta uno en el lado de presión y se calienta mediante esta compresión de un nivel de temperatura en el lado de succión a uno en el nivel de presión.

A este respecto, por el "nivel de presión en el lado de succión" en este caso se entiende el nivel de presión, al que se suministra el gas a la etapa de compresión. Este nivel de presión en el lado de succión se denomina comúnmente también "presión de succión". El "nivel de presión en el lado de presión" es el nivel de presión, al que la etapa de compresión comprime el gas.

Por un "nivel de temperatura en el lado de succión" se entiende en este caso el nivel de temperatura, al que se suministra un gas correspondiente a la etapa de compresión. Ya no se influye activamente en este nivel de temperatura antes de la alimentación del gas al compresor, en particular el gas ya no se calienta o enfría activamente desde un nivel de temperatura en el lado de succión. De manera correspondiente, un "nivel de temperatura en el lado de presión" designa el nivel de temperatura directamente aguas abajo de una etapa de compresión correspondiente, es decir el nivel de temperatura en el lado de presión es el nivel de presión, al que un gas correspondiente abandona la etapa de compresión. Es decir, aguas abajo de la etapa de compresión ya no tiene lugar ninguna influencia activa del nivel de temperatura para alcanzar el nivel de temperatura en el lado de presión, en particular ningún calentamiento o enfriamiento activo en un enfriador. Si se usa un enfriador intermedio aguas

abajo de la etapa de compresión, en el enfriador intermedio hasta la entrada del gas se encuentra el “nivel de temperatura en el lado de presión”.

5 En el marco de la presente invención, de manera correspondiente a conductos de retroceso convencionales, del conducto principal aguas abajo de una de las etapas de compresión se extrae al menos temporalmente una cantidad de retorno del gas guiado a través del conducto principal, se suministra a una reducción de presión y tras la reducción de presión se realimenta aguas arriba de la misma etapa de compresión al conducto principal.

10 A este respecto, por una realimentación “aguas arriba de la misma etapa de compresión” puede querer decirse, como se explica también más adelante, una realimentación directamente aguas arriba de aquella etapa de compresión, aguas abajo de la que se extrajo la cantidad de retorno, sin embargo también puede tener lugar una realimentación aguas arriba de una o varias etapas de compresión adicionales, que están dispuestas aguas arriba de aquella etapa de compresión, aguas abajo de la que se extrajo la cantidad de retorno del conducto principal.

15 Como ya se ha explicado, cuando se usan retrocesos correspondientes en forma de la cantidad de retorno explicada, pueden producirse los problemas explicados anteriormente de la licuefacción parcial, cuando se utiliza una disposición, tal como se describió anteriormente y se muestra en la figura 2. En una disposición de este tipo se extrae una cantidad de retorno correspondiente aguas abajo de un enfriador posterior del conducto principal, de modo que en el punto de extracción ya en estado enfriado. Debido a la reducción de presión, que es necesaria para un retorno, sigue enfriándose la cantidad de retorno. Esto es crítico en particular en el caso de temperaturas de agua de enfriamiento fluctuante o en general reducida, porque a este respecto puede producirse una licuefacción (parcial). Como se ha mencionado, esto puede tener lugar, por ejemplo, en el caso de etileno o gases ricos en etileno ya a temperaturas relativamente moderadas, concretamente, por ejemplo, ya cuando la cantidad de retorno se encuentra a una presión de aproximadamente 70 bar, se enfría a este nivel de presión hasta 20°C y a continuación se reduce la presión a través de una estrangulación de manera isentálpica hasta aproximadamente 40 bar.

20 Una formación de fases líquidas correspondiente puede producirse no exclusivamente cuando el nivel de presión en el lado de presión de aquella etapa de compresión, aguas abajo de la que se extrae la cantidad de retorno del conducto principal, se encuentra por encima de un nivel de presión supercrítico y la reducción de presión de esta cantidad de retorno tiene lugar a un nivel de presión subcrítico, resulta desventajosa en el funcionamiento normal de una instalación correspondiente, pero en particular en el caso de una reducción de presión “transcrítica” de este tipo. Por tanto, la presente invención se concentra a casos correspondientes de compresión transcítica y reducción de presión.

35 Por tanto, la invención prevé que el nivel de presión en el lado de presión de la etapa de compresión, aguas abajo de la que se extrae la cantidad de retorno del conducto principal, sea un nivel de presión supercrítico, que la reducción de presión de la cantidad de retorno tenga lugar a un nivel de presión subcrítico y que la cantidad de retorno de la reducción de presión hasta el nivel de temperatura en el lado de presión se suministre a la etapa de compresión, aguas abajo de la que se extrae del conducto principal. Para conseguir las ventajas según la invención, la cantidad de retorno no se enfría hasta tras la reducción de presión y antes y/o después de la realimentación al conducto principal.

40 Pueden aparecer problemas correspondientes básicamente también cuando la reducción de presión de la cantidad de retorno en el funcionamiento normal tiene lugar de un nivel de presión supercrítico a uno supercrítico (es decir, por ejemplo, en la etapa VI de la disposición mostrada en la figura 2 o una cantidad de retorno correspondiente). Por ejemplo, durante la puesta en marcha o una avería de una instalación correspondiente, el nivel de presión de la realimentación puede encontrarse temporalmente por debajo del nivel de presión crítico o caer hasta un valor correspondiente. En el caso de la puesta en marcha o en el caso de averías pueden registrarse fluctuaciones dado el caso considerables en los niveles de presión, hasta que una instalación correspondiente ha alcanzado (de nuevo) un estado permanente (estado estacionario).

55 Por tanto, una configuración ventajosa del procedimiento según la invención prevé que del conducto principal aguas abajo de una adicional de las etapas de compresión se extraiga al menos temporalmente una cantidad de retorno adicional del gas guiado a través del conducto principal, se suministre a una reducción de presión y se realimente aguas arriba de la misma etapa de compresión adicional al conducto principal, que el nivel de presión en el lado de presión de la etapa de compresión adicional, aguas abajo de la que se extrae la cantidad de retorno adicional del conducto principal, sea un nivel de presión supercrítico, que la reducción de presión de esta cantidad de retorno adicional tenga lugar a un nivel de presión supercrítico y que la cantidad de retorno no se enfría hasta tras la reducción de presión y antes y/o después de la realimentación al conducto principal. De esta manera se evita también en este caso una licuefacción.

60 En determinados casos puede producirse una licuefacción también cuando un nivel de presión en el lado de presión se encuentra por debajo del nivel de presión supercrítico, concretamente cuando la cantidad de retorno antes de la reducción de presión se encuentra a un nivel de presión subcrítico y al mismo tiempo a un nivel de temperatura, en el que mediante una reducción de presión sencilla puede alcanzarse la zona bifásica. Un ejemplo de esto es un nivel de presión de aproximadamente 48 bar y un nivel de temperatura de aproximadamente 10°C. En el diagrama de

entalpía-presión, un punto definido por un nivel de presión y de temperatura correspondiente se encuentra por encima de la línea bifásica.

5 Para evitar una licuefacción también en este caso, una configuración adicional de la presente invención prevé que del conducto principal aguas abajo de una adicional de las etapas de compresión se extraiga al menos temporalmente una cantidad de retorno adicional del gas guiado a través del conducto principal, se suministre a una reducción de presión y se realimente aguas arriba de la misma etapa de compresión adicional al conducto principal, que el nivel de presión en el lado de presión de la etapa de compresión adicional, aguas abajo de la que se extrae la cantidad de retorno adicional del conducto principal, sea un nivel de presión subcrítico, que la reducción de presión de esta cantidad de retorno adicional tenga lugar a un nivel de presión subcrítico y que la cantidad de retorno no se enfría hasta tras la reducción de presión y antes y/o después de la realimentación al conducto principal.

15 La presente invención soluciona el problema de la licuefacción en los casos explicados porque la cantidad de retorno (las siguientes explicaciones se refieren también a varias cantidades de retorno) se suministra al nivel de temperatura en el lado de presión de la etapa de compresión, aguas abajo de la que se extrae del conducto principal, a la reducción de presión. Es decir, con otras palabras, en el marco de la presente invención no tiene lugar ningún enfriamiento de una cantidad de retorno correspondiente aguas abajo de la respectiva etapa de compresión, en la que se forma la cantidad de retorno, antes de su reducción de presión. Esto representa una diferencia esencial con el estado de la técnica. En el caso de una reducción de presión isentálpica partiendo de un nivel de presión correspondiente, pero a una temperatura mayor que la explicada anteriormente (porque todavía no ha tenido lugar ningún enfriamiento posterior), no se alcanza la zona bifásica de un diagrama de entalpía correspondiente, por tanto la cantidad de retorno permanece completamente en estado gaseoso. Tal como ya se ha explicado, la reducción de presión tiene lugar preferiblemente de manera isentálpica, es decir para la reducción de presión se usa preferiblemente una válvula de estrangulación.

25 Tal como ya se ha mencionado, antes de la reducción de presión de la cantidad de retorno tras la extracción del conducto principal en el marco de la presente invención no tiene lugar ningún enfriamiento. Por el contrario, la cantidad de retorno en el marco de la presente invención se enfría tras la reducción de presión y antes y/o después de la realimentación al conducto principal, para lo que puede proporcionarse en un conducto de retorno usado para retornar la cantidad de retorno y/o en el conducto principal aguas abajo del punto de alimentación de la cantidad de retorno un intercambiador de calor independiente. Un intercambiador de calor independiente de este tipo puede ser ventajoso, porque de esta manera puede adaptarse el enfriamiento de una cantidad de retorno correspondiente individualmente a las condiciones requeridas en cada caso. Sin embargo, también es posible llevar a cabo un enfriamiento en el conducto principal sin un intercambiador de calor independiente. En este caso se alimenta la cantidad de retorno sin enfriamiento o también tras tener lugar un enfriamiento (parcial) en un intercambiador de calor independiente en el conducto de retorno al conducto principal y se enfría allí por medio del intercambiador de calor, que también se usa para el enfriamiento del gas restante, presente en el conducto principal, no retornado. De esta manera puede crear una instalación correspondiente de manera más sencilla y más económica.

40 Tal como ya se ha mencionado, en el marco de la presente invención la cantidad de retorno no tiene que realimentarse necesariamente de manera directa aguas arriba de la etapa de compresión, aguas abajo de la que se extrajo del conducto principal, al conducto principal. Más bien, la cantidad de retorno puede realimentarse ventajosamente aguas arriba de una o varias etapas de compresión al conducto principal, que están dispuestas aguas arriba de la etapa de compresión, aguas abajo de la que se extrae la cantidad de retorno del conducto principal. De esta manera puede influirse de manera especialmente ventajosa usando una cantidad de retorno en los niveles de presión en el lado de sección de varias etapas de compresión que se encuentran aguas arriba.

50 En el marco de la presente invención tiene lugar ventajosamente una regulación de la cantidad de retorno basándose en un nivel de presión en el lado de succión o de presión que puede alcanzarse o alcanzado de una de las etapas de compresión. En particular, en un procedimiento correspondiente puede establecerse la presión de producto mediante una válvula regulada, que está dispuesta aguas abajo de la última etapa de compresión. Esta válvula fija la presión de producto, es decir el nivel de presión en el lado de presión de la última etapa de compresión. Un nivel de presión de este tipo puede encontrarse, por ejemplo, a aproximadamente 125,6 bar. El nivel de temperatura en el lado de presión puede encontrarse en este caso, aguas abajo de un enfriamiento posterior aguas abajo de la última etapa de compresión, por ejemplo, a aproximadamente 40°C.

60 El nivel de presión en el lado de succión de una etapa de compresión dispuesta aguas arriba, que se carga con etileno desde un circuito de refrigeración de etileno a alta presión, y que comprime el gas en el conducto principal hasta un nivel de presión de, por ejemplo, aproximadamente 22,5 bar, puede ajustarse mediante el número de revoluciones de esta etapa de compresión. A través de esto, en un turbocompresor de múltiples etapas correspondiente se establece también el nivel de presión en el lado de succión de las etapas de compresión dispuestas aguas arriba de la misma. En el caso de que no se alcance un nivel de presión en el lado de succión correspondiente, por ejemplo, en el caso de una carga parcial, puede tener lugar una regulación a través de la apertura de retrocesos correspondientes, es decir la provisión o el aumento de una cantidad de retorno correspondiente.

Como se explica también a continuación haciendo referencia a las figuras adjuntas, en determinados estados de funcionamiento, por ejemplo, en el caso de una carga parcial o de temperaturas de avance de agua de enfriamiento variables, pueden variarse con diferencia intensidad las condiciones de entrada de las etapas de compresión individuales. A esto se le suma que las propiedades termodinámicas del fluido a presión aumentada tienen un efecto desproporcionado. Esto tiene como consecuencia que etapas de compresión dispuestas aguas abajo generan en un turbocompresor de múltiples etapas correspondiente dado el caso en el funcionamiento de carga parcial o en el caso de agua de enfriamiento demasiado fría cada vez más demasiada presión. También para solucionar este problema puede tener lugar una regulación mediante el ajuste de cantidades de retorno correspondientes.

La presente invención resulta ventajosa especialmente en caso de temperaturas de agua de enfriamiento fluctuantes, porque en el marco de la presente invención la temperatura de la cantidad de retorno ya no puede disminuir más por debajo de la temperatura de agua de enfriamiento, porque esta pierde en primer lugar presión y solo después se enfría. Por el contrario, en el caso de un enfriamiento (no según la invención) de la cantidad de retorno antes de la reducción de presión, el nivel de temperatura se quedará por debajo de la temperatura de agua de enfriamiento, porque partiendo de la temperatura alcanzada mediante el enfriamiento tiene lugar un enfriamiento adicional. Esto resulta desventajoso en particular en casos en los que, tal como se ha explicado, por ejemplo, en el caso de una carga parcial, el nivel de presión en el lado de succión de una etapa de compresión a través de la apertura tiene lugar la provisión o el aumento de la cantidad de retorno. El nivel de temperatura en el lado de presión de una etapa de compresión de este tipo se vuelve cada vez más fría debido al aumento de la cantidad de retorno correspondientemente fría. De este modo se obtienen desventajas desde el punto de vista de la técnica de regulación en esta y las etapas de compresión posteriores.

Alternativa o adicionalmente a las medidas explicadas, para solucionar este problema puede estar previsto enfriar el gas entre las etapas de compresión usando agua de enfriamiento, que se temple hasta un intervalo de temperatura predeterminado. También puede tener lugar en este caso una regulación del número de revoluciones independiente de las etapas de compresión en el intervalo de alta presión.

Como ya se ha abordado, en el marco de la presente invención pueden accionarse varias de las etapas de compresión por medio de uno o varios árboles comunes, con los que están acopladas mecánicamente las respectivas etapas de compresión. Árboles correspondientes posibilitan el accionamiento conjunto de varias etapas de compresión, de modo que solo tiene que proporcionarse un grupo de accionamiento. El uso de varios árboles resulta ventajoso cuando deben regularse independientemente determinadas etapas de compresión, en particular en los casos explicados anteriormente.

Sin embargo, en el marco de la presente invención también pueden accionarse en cada caso varias de las etapas de compresión por medio de varios árboles comunes, de modo que se simplificada una regulación correspondiente. En tales casos pueden acoplarse entre sí mecánicamente varios árboles comunes por medio de un engranaje, de modo que, por ejemplo, se consigue una determinada relación de transmisión, que también puede ajustarse por medio de un engranaje ajustable.

La presente invención se extiende también a una instalación que está configurada para la compresión gradual de un gas y comprende una disposición de compresores con etapas de compresión unidas entre sí secuencialmente a través de un conducto principal, en el que puede comprimirse el gas guiado a través del conducto principal en cada caso desde un nivel de presión en el lado de succión hasta uno en el lado de presión y puede calentarse mediante esta compresión de un nivel de temperatura en el lado de succión a uno en el nivel de presión, estando previstos medios que están configurados para extraer del conducto principal aguas abajo de una de las etapas de compresión al menos temporalmente una cantidad de retorno del gas guiado a través del conducto principal, suministrarla a una reducción de presión y realimentarla aguas arriba de la misma etapa de compresión al conducto principal.

Según la invención, la instalación está configurada para hacerse funcionar de tal manera que el nivel de presión en el lado de presión de la etapa de compresión, aguas debajo de la que se extrae la cantidad de retorno del conducto principal, sea un nivel de presión supercrítico, y que la reducción de presión de la cantidad de retorno tenga lugar a un nivel de presión subcrítico. Están previstos medios, que están configurados para suministrar la cantidad de retorno de la reducción de presión hasta el nivel de temperatura en el lado de presión de la etapa de compresión, aguas debajo de la que se extrae la cantidad de retorno del conducto principal. Además están previstos medios, que están configurados para no enfriar la cantidad de retorno hasta tras la reducción de presión y antes y/o después de la realimentación in die conducto principal.

Una instalación de este tipo se beneficia de las características y ventajas que se han explicado anteriormente. Está configurada ventajosamente para la realización de un procedimiento, como se ha explicado anteriormente. Por tanto, se remite expresamente a las características y ventajas correspondientes.

La invención se explicará a continuación más detalladamente haciendo referencia a los dibujos adjuntos, que muestran formas de realización de la invención con respecto a formas de realización no según la invención.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 muestra una disposición de compresores de múltiples etapas según una forma de realización no según la invención.

5 La figura 2 muestra una disposición de compresores de múltiples etapas según una forma de realización no según la invención.

La figura 3 muestra una disposición de compresores de múltiples etapas según una forma de realización especialmente preferida de la invención.

10 La figura 4 muestra una disposición de compresores de múltiples etapas según una forma de realización especialmente preferida de la invención.

15 La figura 5 muestra una disposición de compresores de múltiples etapas según una forma de realización especialmente preferida de la invención.

Descripción detallada de los dibujos

20 En las siguientes figuras se indican los elementos correspondientes entre sí con números de referencia idénticos. No se explican repetidamente por motivos de claridad, siempre que los elementos correspondientes no cumplan ninguna función diferente y/o estén realizados de manera diferente.

25 En la figura 1 se ilustra una disposición de compresores de múltiples etapas según una forma de realización no según la invención y se designa en total con 500. La disposición de compresores 500 está configurada para proporcionar etileno a un nivel de presión de aproximadamente 40 bar, es decir a un nivel de presión subcrítico. Como se ha mencionado, la invención también es adecuada para la compresión de otros gases tales como metano y dióxido de carbono. La disposición de compresores 500 comprende varias etapas de compresión, que se designan en este caso con los números romanos I a IV. Las etapas de compresión I a IV están unidas entre sí por medio de un conducto principal 1. Las etapas de compresión I a IV están dispuestas en la disposición de compresores 500 sobre un árbol común 8.

35 A las etapas de compresión I, II y III se les suministra a través de conductos correspondientes 2 a 4 etileno desde circuitos de refrigeración de etileno a diferentes niveles de presión y de temperatura. El conducto 2 conduce etileno desde un circuito de enfriamiento de baja presión con aproximadamente 1,05 bar, el conducto 3 etileno desde un circuito de enfriamiento de presión media con aproximadamente 3 bar y el conducto 4 etileno desde un circuito de enfriamiento de alta presión con aproximadamente 8,1 bar.

40 En la primera etapa de compresión I se comprime el etileno desde dichos 1,05 bar, el nivel de presión en el lado de succión de la primera etapa de compresión I, hasta un nivel de presión en el lado de succión de aproximadamente 3 bar, que representa al mismo tiempo el nivel de presión en el lado de succión de la segunda etapa de compresión II. La etapa de compresión II comprime el etileno en el conducto principal 1 hasta un nivel de presión en el lado de succión de aproximadamente 8,1 bar, que representa al mismo tiempo el nivel de presión en el lado de succión de la tercera etapa de compresión III. En la etapa de compresión III se comprime el etileno hasta un nivel de presión en el lado de succión de aproximadamente 22,5 bar, que representa al mismo tiempo el nivel de presión en el lado de succión de la cuarta etapa de compresión IV. En la etapa de compresión IV se comprime el etileno hasta un nivel de presión en el lado de succión de aproximadamente 40 bar, al que puede emitirse como producto a través de un conducto 5. A través del conducto 4 se alimenta etileno adicional, por ejemplo, desde la cabeza de un divisor de C2. Dado que la disposición de compresores 500 está configurada como compresor de agente refrigerante y de producto combinado, para la extracción de agente refrigerante y dado el caso de un reflujo al divisor de C2, está previsto un conducto de extracción intermedio 6.

55 Para disipar el calor de compresión debido a la compresión en las etapas de compresión II a IV se proporcionan enfriadores posteriores correspondientes IIa a IVa, en los que el etileno se enfría en cada caso hasta aproximadamente 40°C. Dado que en el lado de succión de la tercera etapa de compresión III se alimenta adicionalmente etileno frío desde el circuito de enfriamiento de alta presión, en la entrada a la tercera etapa de compresión III se obtiene una temperatura de mezclado de aproximadamente 18°C. La temperatura de entrada del etileno del circuito de enfriamiento de baja presión a la primera etapa de compresión I se encuentra a aproximadamente -57°C, la temperatura de entrada del etileno del circuito de enfriamiento de presión media a la segunda etapa de compresión II a aproximadamente 14°C.

60 A través de varios conductos de retorno 7 pueden extraerse en cada caso cantidades de retorno aguas abajo de las etapas de compresión II a IV del conducto principal 1 y realimentarse aguas arriba de estas etapas de compresión al conducto principal 1. A este respecto, se reduce la presión de las cantidades de retorno a través de válvulas no identificadas por separado. En una disposición de compresores de múltiples etapas 500, tal como se representa en la figura 1, se obtiene como resultado normalmente el problema de los efectos de licuefacción explicados al principio en menor medida, porque en este caso no se alcanza un nivel de presión supercrítico.

En la figura 2 se ilustra una disposición de compresores 600 según una forma de realización no según la invención adicional. Las etapas de compresión I a IV y su interconexión ya se han explicado anteriormente. Las etapas de compresión I a IV están dispuestas en la disposición de compresores 600 en un árbol común 8.

5 En la disposición de compresores 600 según la figura 2 están previstas dos etapas de compresión adicionales V y VI. Estas están dispuestas en la disposición de compresores 600 sobre un árbol común 9 y comprimen el etileno emitido en la disposición de compresores 500 según la figura 1 como producto a través del conducto 5 adicionalmente hasta un nivel de presión supercrítico. El etileno comprimido hasta aproximadamente 40,2 bar y enfriado hasta un nivel de temperatura de aproximadamente 40°C se suministra en la disposición de compresores 600 a la quinta etapa de compresión V. Es decir, el nivel de presión en el lado de succión de esta etapa de compresión V asciende a aproximadamente 40,2 bar. En la etapa de compresión V se comprime el etileno partiendo de este nivel de presión en el lado de succión hasta un nivel de presión en el lado de presión de aproximadamente 70,4 bar. A este respecto se calienta y se enfría en un enfriador posterior Va hasta aproximadamente 40°C. A 10 continuación se suministra el etileno a una etapa de compresión VI, en la que se comprime hasta un nivel de presión en el lado de presión de aproximadamente 125,6 bar. Tras un enfriamiento en un enfriador posterior VIa hasta aproximadamente 40°C se emite el etileno a un nivel de temperatura de aproximadamente 40°C y el nivel de presión expresado a través de un conducto 5 como producto.

20 También aguas abajo de las etapas de compresión V y VI están previstos conductos de retorno 7, por medio de los que pueden extraerse en cada caso cantidades de retorno del conducto principal 1 y realimentarse aguas arriba a las respectivas etapas de compresión al conducto principal. Sin embargo, como se ha explicado, en el caso de una compresión, en particular en la etapa de compresión V, en el caso de un retorno y una reducción de presión aparecen dado el caso efectos de licuefacción desventajosos.

25 En la disposición de compresores 600 según la figura 2, los árboles 8 y 9 pueden estar unidos entre sí a través de un engranaje, tal como se muestra también en las figuras 3 y 4 siguientes. Con ello, las etapas de compresión I a VI ya no pueden regularse en su número de revoluciones independientemente de las demás etapas de compresión. Si se reduce ahora el nivel de presión en el lado de succión de la etapa de compresión V, por ejemplo porque a través del conducto 4 se alimenta una cantidad de etileno menor, puede contrarrestarse esto solo mediante una apertura del conducto de retorno 7 aguas abajo del enfriador posterior Va. Esto no es problemático, siempre que mediante la temperatura de agua de enfriamiento en el enfriador posterior Va se garantice que la cantidad de retorno guiada en el conducto de retorno 7 aguas abajo del enfriador posterior Va presenta una temperatura suficientemente alta, por ejemplo, de aproximadamente 40°C. Sin embargo, en el caso de agua de enfriamiento más fría, la cantidad de retorno guiada en el conducto de retorno 7 aguas abajo del enfriador posterior Va puede caer en el caso extremo hasta un valor de, por ejemplo, aproximadamente 20°C. Mediante la reducción de presión en la válvula de reducción de presión se reduce esta temperatura adicionalmente. El nivel de temperatura en el lado de succión de la etapa de compresión V disminuye con ello igualmente, pero con ello también el nivel de presión en el lado de succión. Esto puede contrarrestarse a su vez solo mediante el retorno de una cantidad de retorno mayor, pero que a su vez provoca que el nivel de temperatura en el lado de succión de la etapa de compresión V disminuya todavía más. Finalmente, se llega a que una cantidad de etileno muy grande se desplace sin utilizada en círculo. Esto también tiene un efecto sobre las etapas de compresor posteriores.

45 En la figura 3 se ilustra esquemáticamente una disposición de compresores según una forma de realización de la invención y se designa en total con 100. La disposición de compresores 100 equivale en muchas partes a la disposición de compresores 600 según la figura 2. Sin embargo, mientras que en la disposición de compresores 600 según la figura 2 el conducto de retorno 7 está dispuesto aguas abajo del enfriador posterior Va, un conducto de retorno correspondiente, designado para una mayor claridad en este caso con 10, según la forma de realización según la invención ilustrada en la figura 3 de la disposición de compresores 100 se ramifica aguas arriba de este enfriador posterior y directamente aguas abajo de la etapa de compresión 5 desde el conducto principal 1.

50 De esta manera puede garantizarse que se reduce la presión de una cantidad de retorno, que se guía a través del conducto de retorno 10 y se ramifica desde el conducto principal 1, en una unidad de reducción de presión 11, por ejemplo, una válvula de reducción de presión, partiendo de un nivel de temperatura mayor que en la disposición de compresores 600 según la figura 2. De esta manera, durante la reducción de presión en la unidad de reducción de presión 11 no puede producirse ningún efecto de licuefacción.

60 Aguas debajo de la unidad de reducción de presión 11 está previsto en el conducto de retorno 10 un enfriador independiente 12, por medio del que puede enfriarse la cantidad de retorno en la que se ha reducido la presión en el conducto de retorno 10. Tras el enfriamiento se realimenta la cantidad de retorno desde el conducto de retorno 10 al conducto principal 1.

65 La forma de realización según la invención ilustrada en la figura 3 de la disposición de compresores 100 se diferencia además de la disposición de compresores 600 según la figura 2 porque el árbol común 8 acopla entre sí las etapas de compresión I a IV y el árbol común 9 las etapas de compresión V y VI. Los árboles 8 y 9 están unidos entre sí por medio de un engranaje 13. Con ello, un accionamiento común 14, por ejemplo, una turbina de vapor,

puede accionar tanto el árbol 8 como el árbol 9. El engranaje 13 puede estar configurado con un número de revoluciones variable o con un número de revoluciones fijo.

5 Las desventajas de la técnica de regulación explicadas para la disposición de compresores 600 según la figura 2 se superan mediante la forma de realización según la invención ilustrada en la figura 3 de la disposición de compresores 100. También en el caso de una temperatura de agua de enfriamiento decreciente en el enfriador posterior Va se garantiza que la cantidad de retorno guiada en el conducto de retorno 7 aguas abajo del enfriador posterior Va no se enfríe tan intensamente como se explica para la disposición de compresores 600 según la figura 2. El enfriamiento máximo está limitado por el intercambiador de calor 12, porque a continuación no tiene lugar ninguna reducción de presión más. Con ello puede impedirse una disminución excesivamente intensa del nivel de temperatura en el lado de succión de la etapa de compresión V.

15 En la figura 4 se ilustra y se designa en total con 200 una disposición de compresores según una forma de realización adicional de la invención. La disposición de compresores 200 según la figura 4 corresponde en muchas partes a la disposición de compresores 100 según la figura 3, sin embargo en este caso también está configurado aguas abajo de la etapa de compresión VI el conducto de retorno que aquel aguas abajo de la etapa de compresión V. Para una mayor claridad se usan los mismos números de referencia y se remite a las explicaciones anteriores. Por consiguiente, como ya se ha explicado anteriormente, también en la etapa de compresión VI se evita un licuefacción no deseada, que podría producirse en el caso de estados de funcionamiento no normales, tal como la puesta en marcha o una avería.

20 En la figura 5 se ilustra y se designa en total con 300 una disposición de compresores según una forma de realización adicional de la invención. Tal como según la figura 4, en este caso el conducto de retorno 10 se ramifica directamente aguas abajo de la etapa de compresión VI y conduce una cantidad de retorno etileno a una reducción de presión en una válvula de reducción de presión 11.

30 Sin embargo, el etileno se realimenta en este caso directamente aguas abajo de la reducción de presión en la unidad de reducción de presión 11 al conducto principal 1, concretamente no directamente aguas arriba de la etapa de compresión VI sino aguas arriba de la etapa de compresión V. Aguas abajo del punto de alimentación del etileno de la corriente de retorno del conducto de retorno 16 está previsto un enfriador posterior adicional 15.

Los árboles 8 y 9 la disposición de compresores 300 están configurados separados entre sí, estando previstos en cada caso accionamientos independientes 14.

35

REIVINDICACIONES

- 1.- Procedimiento para la compresión gradual de un gas en una disposición de compresores (100, 200, 300) con etapas de compresión (I-VI) unidas entre sí secuencialmente a través de un conducto principal (1), en las que el gas guiado a través del conducto principal (1) se comprime en cada caso desde un nivel de presión en el lado de succión hasta uno en el lado de presión y se calienta mediante esta compresión de un nivel de temperatura en el lado de succión a uno en el nivel de presión, extrayéndose del conducto principal (1) aguas abajo de una de las etapas de compresión (V) al menos temporalmente una cantidad de retorno del gas guiado a través del conducto principal (1), sometiéndose a una reducción de presión y realimentándose aguas arriba de la misma etapa de compresión (V) al conducto principal (1), y siendo el nivel de presión en el lado de presión de la etapa de compresión (V), aguas abajo de la que se extrae la cantidad de retorno del conducto principal (1), un nivel de presión supercrítico, caracterizado porque la reducción de presión de la cantidad de retorno tiene lugar hasta un nivel de presión subcrítico, porque la cantidad de retorno de la reducción de presión hasta el nivel de temperatura en el lado de presión se suministra a la etapa de compresión (V), aguas abajo de la que se extrae del conducto principal (1), y porque la cantidad de retorno no se enfría hasta después de la reducción de presión y antes y/o después de la realimentación al conducto principal (1).
- 2.- Procedimiento según la reivindicación 1, en el que del conducto principal (1) aguas abajo de una adicional de las etapas de compresión (VI) se extrae al menos temporalmente una cantidad de retorno adicional del gas guiado a través del conducto principal (1), se suministra a una reducción de presión y se realimenta aguas arriba de la misma etapa de compresión adicional (VI) al conducto principal (1), en el que el nivel de presión en el lado de presión de la etapa de compresión adicional (VI), aguas abajo de la que se extrae la cantidad de retorno adicional del conducto principal (1), es un nivel de presión supercrítico, en el que la reducción de presión de esta cantidad de retorno adicional tiene lugar a un nivel de presión supercrítico, y en el que la cantidad de retorno no se enfría hasta la reducción de presión y antes y/o después de la realimentación al conducto principal (1).
- 3.- Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, en el que del conducto principal (1) aguas abajo de una adicional de las etapas de compresión (III, IV) se extrae al menos temporalmente una cantidad de retorno adicional del gas guiado a través del conducto principal (1), se suministra a una reducción de presión y se realimenta aguas arriba de la misma etapa de compresión adicional (III, IV) al conducto principal (1), en el que el nivel de presión en el lado de presión de la etapa de compresión adicional (III, IV), aguas abajo de la que se extrae la cantidad de retorno adicional del conducto principal (1), es un nivel de presión subcrítico, en el que la reducción de presión de esta cantidad de retorno adicional tiene lugar a un nivel de presión subcrítico, y en el que la cantidad de retorno no se enfría hasta después de la reducción de presión y antes y/o después de la realimentación al conducto principal (1).
- 4.- Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que se usa un intercambiador de calor adicional en un conducto de retorno usado para retornar la cantidad de retorno y/o en el conducto principal (1).
- 5.- Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la cantidad de retorno aguas arriba de una o varias etapas de compresión (I-IV) se realimenta al conducto principal (1), que están dispuestas aguas arriba de la etapa de compresión (V), aguas abajo de las cuales se extrae la cantidad de retorno del conducto principal (1).
- 6.- Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que una regulación de la cantidad de retorno tiene lugar basándose en un nivel de presión en el lado de succión o de presión que puede alcanzarse o alcanzado de una de las etapas de compresión (I-VI).
- 7.- Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el gas entre las etapas de compresión (I-VI) se enfría usando agua de enfriamiento, que se temple hasta un intervalo de temperatura predeterminado.
- 8.- Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el gas es etileno o un gas rico en etileno, que se proporciona en particular usando un procedimiento de craqueo a vapor, o en el que el gas es etano o un gas rico en etano, o en el que el gas es dióxido de carbono o un gas rico en dióxido de carbono.
- 9.- Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que varias de las etapas de compresión (I-VI) se hacen accionar por medio de uno o varios árboles comunes (8, 9), con los que están acopladas mecánicamente las respectivas etapas de compresión (I-VI).
- 10.- Procedimiento según la reivindicación 9, en el que en cada caso se accionan varias de las etapas de compresión (I-VI) por medio de varios árboles comunes (8, 9).
- 11.- Procedimiento según la reivindicación 10, en el que los varios árboles comunes (8, 9) están acoplados mecánicamente por medio de un engranaje.
- 12.- Instalación, que está configurada para la compresión gradual de un gas y comprende una disposición de compresores (100, 200, 300, 400) con etapas de compresión (I-VI) unidas entre sí secuencialmente a través de un conducto principal (1), en las que el gas guiado puede comprimirse a través del conducto principal (1) en cada caso

- desde un nivel de presión en el lado de succión hasta uno en el lado de presión y mediante esta compresión puede calentarse desde un nivel de temperatura en el lado de succión hasta uno en el nivel de presión, estando previstos medios que están configurados para extraer del conducto principal (1) aguas abajo de una de las etapas de compresión (V) al menos temporalmente una cantidad de retorno del gas guiado a través del conducto principal (1),
- 5 suministrarlo a una reducción de presión, y realimentarlo aguas arriba de la misma etapa de compresión (V) al conducto principal (1), y estando configurada la instalación para hacerse funcionar de tal manera que el nivel de presión en el lado de presión de la etapa de compresión (V), aguas abajo de la cual se extrae la cantidad de retorno del conducto principal (1), es un nivel de presión supercrítico, caracterizada porque la reducción de presión de la cantidad de retorno tiene lugar hasta un nivel de presión subcrítico, porque están previstos medios, que están
- 10 configurados para suministrar la cantidad de retorno de la reducción de presión hasta el nivel de temperatura en el lado de presión de la etapa de compresión (V), aguas abajo de la cual se extrae la cantidad de retorno del conducto principal (1), y porque están previstos medios, que están configurados para no enfriar la cantidad de retorno hasta después de la reducción de presión y antes y/o después de la realimentación al conducto principal (1).
- 15 13.- Instalación según la reivindicación 12, que está configurada para la realización de un procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 11.

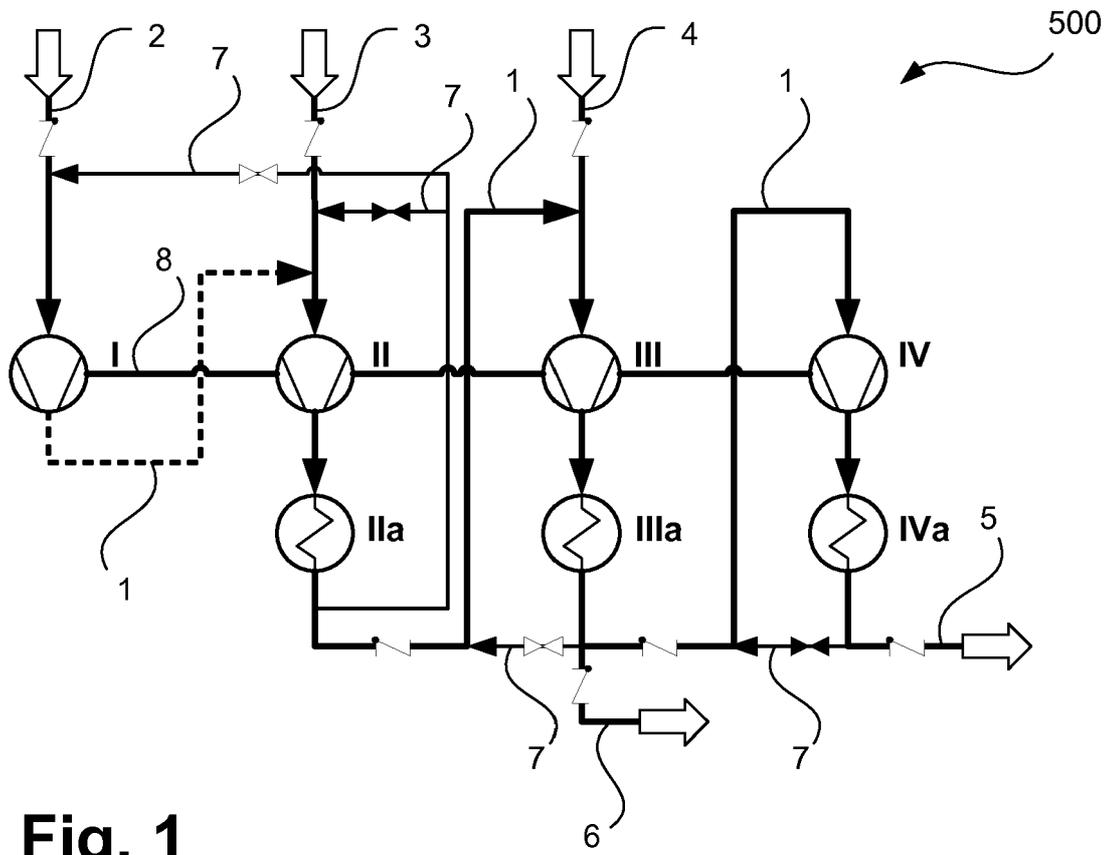


Fig. 1

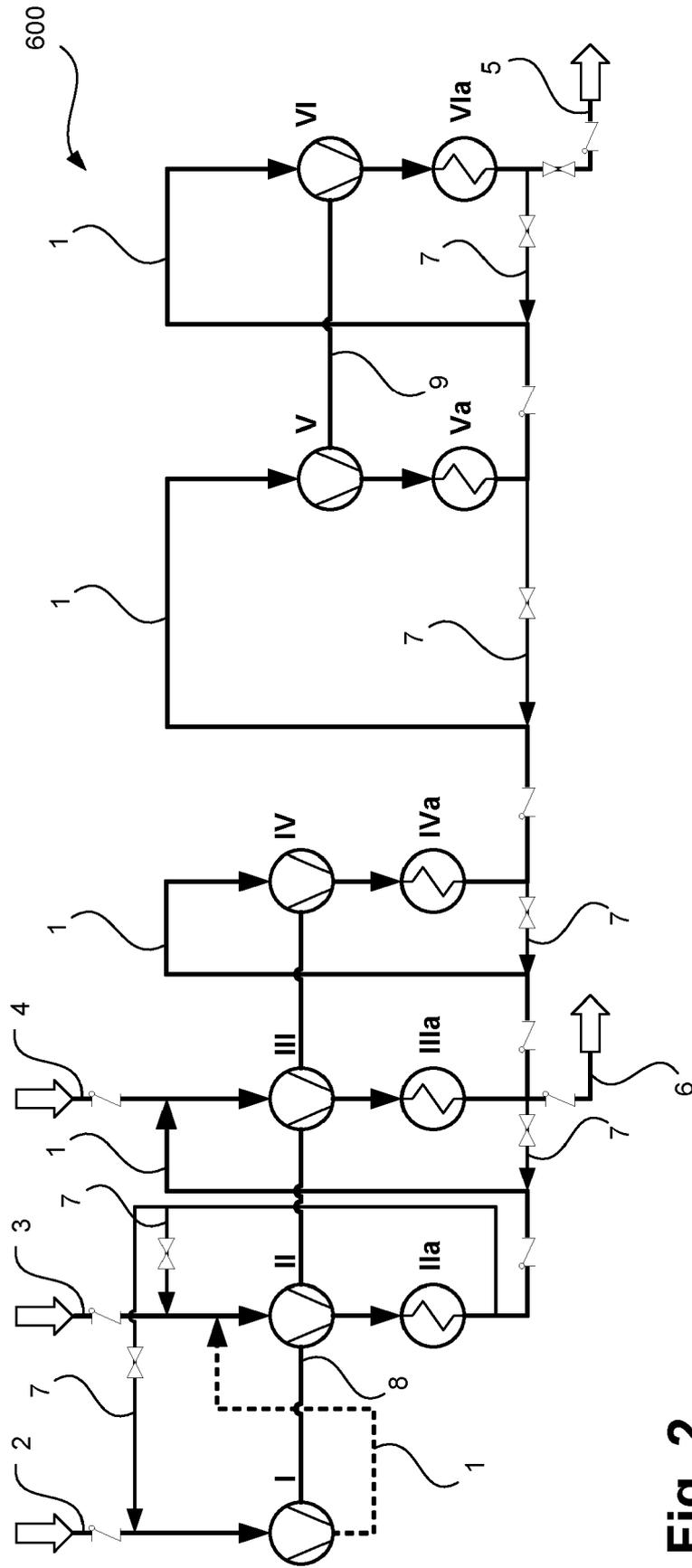


Fig. 2

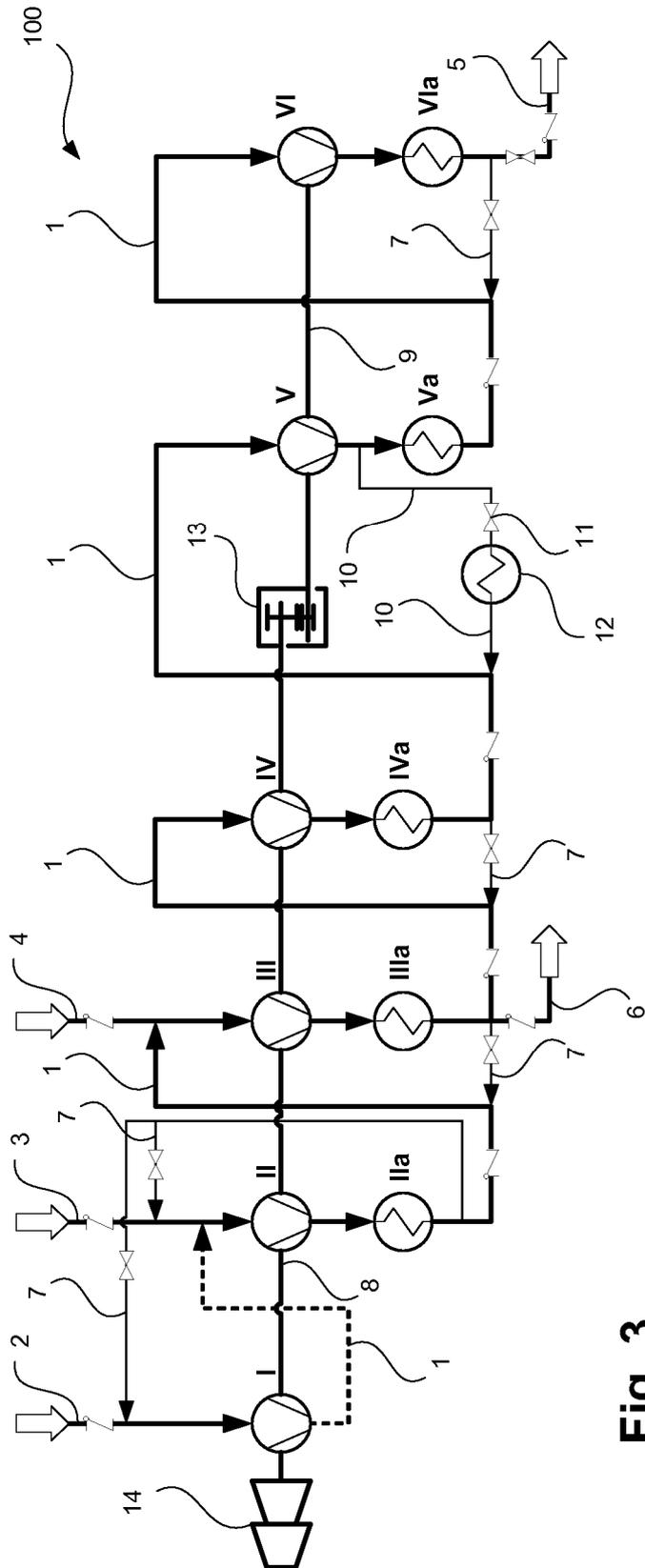


Fig. 3

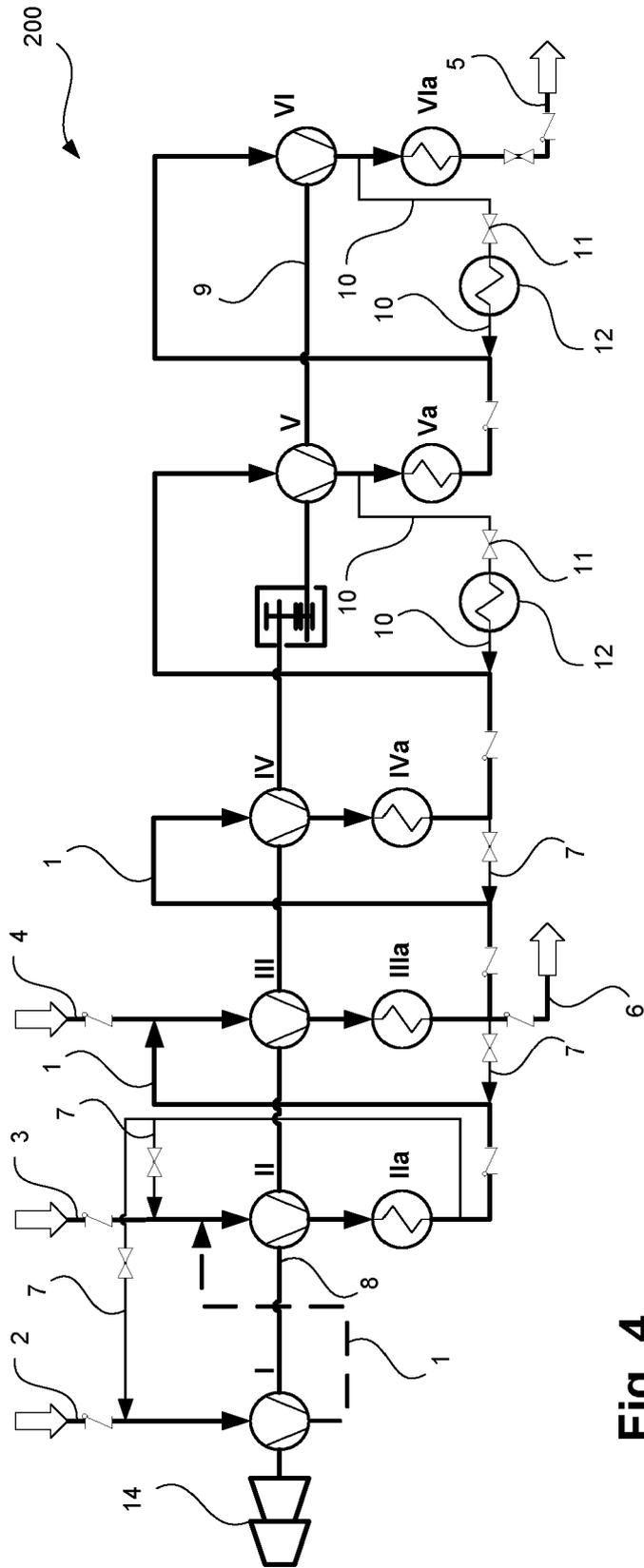


Fig. 4

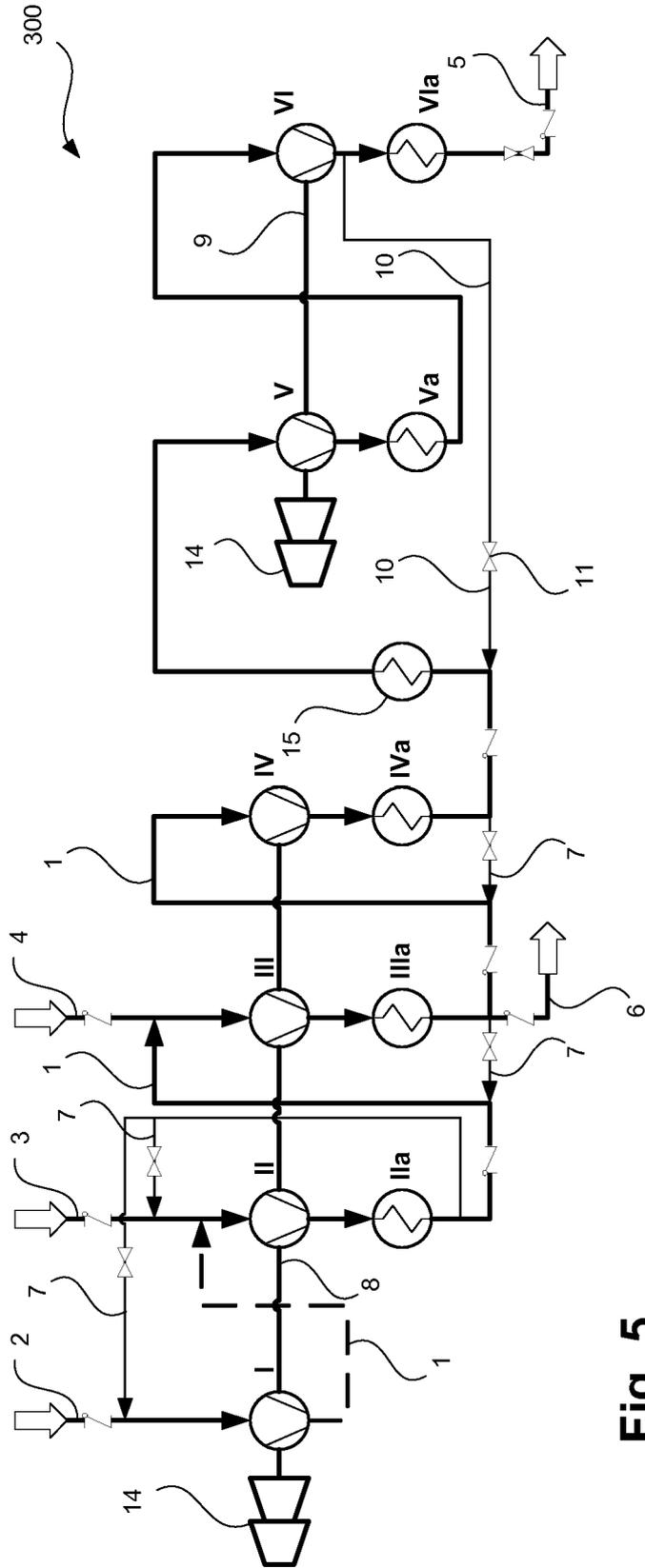


Fig. 5