

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 627 679**

51 Int. Cl.:

F02C 9/26 (2006.01)
F23C 6/04 (2006.01)
F23N 1/02 (2006.01)
F02C 6/00 (2006.01)
F23R 7/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.03.2010 PCT/EP2010/053171**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **07.10.2010 WO10112318**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.03.2010 E 10709482 (3)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.03.2017 EP 2414653**

54 Título: **Turbina de gas con comportamiento de emisión en carga parcial mejorado**

30 Prioridad:

01.04.2009 CH 536092009

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
31.07.2017

73 Titular/es:

**ANSALDO ENERGIA IP UK LIMITED (100.0%)
5th Floor, North Side 7/10 Chandos Street
Cavendish Square
London W1G 9DQ, GB**

72 Inventor/es:

**EROGLU, ADNAN;
KNAPP, KLAUS;
FLOHR, PETER;
KNÖPFEL, HANS PETER y
GENG, WEIQUN**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 627 679 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

Turbina de gas con comportamiento de emisión en carga parcial mejorado

Estado del arte

Área técnica

- 5 La presente invención hace referencia a un método para el funcionamiento de una turbina de gas con combustión secuencial y emisiones de CO reducidas.

Estado del arte

- 10 Las turbinas de gas con combustión secuencial se comercializan con éxito desde hace bastante tiempo. En dichas turbinas, el aire comprimido es quemado en una primera cámara de combustión y una primera turbina, denominada como turbina de alta presión, es alimentada con los gases calientes. La temperatura de los gases calientes que han salido de la turbina de alta presión aumenta nuevamente en una segunda cámara de combustión a través de un nuevo agregado de combustible y de su combustión, y con esos gases calientes se alimenta una segunda turbina, denominada como turbina de baja presión.

- 15 En comparación con las turbinas de gas convencionales con sólo una cámara de combustión, éstas se caracterizan por el grado de libertad adicional de la regulación de combustible separada para la primera y la segunda cámara de combustión. Esto brinda además la posibilidad de poner en funcionamiento primero sólo la primera cámara de combustión y de conectar además la segunda cámara de combustión en el caso de una carga más elevada. Lo mencionado posibilita un diseño de funcionamiento con un buen comportamiento de emisión en un amplio espacio de la turbina de gas.

- 20 En los últimos años, un centro de prioridad en los desarrollos técnicos se encuentra en la reducción de las emisiones de NOx y en alcanzar un grado de efectividad elevado en los eventos con carga parcial. Las turbinas de gas con combustión secuencial, operadas según métodos conocidos, tal como se describen por ejemplo en la solicitud EP0718470, poseen emisiones de NOx muy reducidas y pueden alcanzar un grado de efectividad excelente con carga parcial.

- 25 Sin embargo, los diseños de funcionamiento conocidos antes mencionados, en el caso de carga parcial más baja, en particular en el rango de aproximadamente 20% al 50% de la carga relativa, pueden conducir a emisiones de CO elevadas (emisiones de monóxido de carbono).

- 30 Dichas emisiones elevadas de CO, en el caso de carga parcial más baja, son generadas a través de la segunda cámara de combustión de una turbina de gas con combustión secuencial. Usualmente, la segunda cámara de combustión, en caso de carga parcial baja, se enciende cuando las hileras de álabes guía ajustables están cerradas y la temperatura del gas caliente o la temperatura de entrada de la turbina, de la turbina de alta presión, ha alcanzado un valor límite superior. Para el encendido, a la segunda cámara de combustión se le suministra un flujo de combustible mínimo que generalmente es predeterminado a través de las características de regulación de la válvula de control de combustible. Debido a la temperatura de salida elevada de la primera turbina se produce un encendido espontáneo del flujo de combustible introducido en la segunda cámara de combustión. El flujo de combustible, para la regulación de la carga, se eleva por encima de la carga. En tanto el flujo de combustible es reducido, la temperatura de los gases calientes en la segunda cámara de combustión no se eleva de forma esencial. De manera correspondiente, la velocidad de reacción se mantiene relativamente reducida y, debido al breve tiempo de permanencia en la cámara de combustión, pueden producirse hidrocarburos no quemados y CO. Éstos se producen en particular en el caso de una combustión pobre, es decir, en el caso de una combustión con un índice de aire λ elevado. El índice de aire λ es la relación de la masa de aire que se encuentra disponible efectivamente para una combustión con respecto a por lo menos la masa de aire estequiométrica necesaria. Dicho índice se denomina también como relación de aire, índice de relación del aire o excedente de aire.

- 45 No obstante, en el marco de un funcionamiento flexible de las centrales eléctricas se exige cada vez más también la posibilidad de operar con una carga parcial baja durante períodos de funcionamiento más prolongados. Un funcionamiento más prolongado, en el caso de carga parcial baja, sólo puede realizarse cuando también las emisiones de CO se mantienen en un nivel bajo. Usualmente, para la reducción de las emisiones CO se utiliza un catalizador de CO. Junto con los elevados costes de adquisición, éstos conducen a pérdidas de presión en el sistema de gas de escape de la turbina de gas y, vinculado a ello, a pérdidas de potencia y del grado de efectividad.

- 50 Descripción de la invención

El objeto de la presente invención consiste en sugerir un método para operar una turbina de gas con combustión secuencial, así como una turbina de gas con combustión secuencial que posibilite un funcionamiento con emisiones de CO reducidas.

5 Conforme a la invención, dicho objeto se alcanzará a través de lo indicado en las reivindicaciones independientes. En las reivindicaciones dependientes se indican formas de ejecución ventajosas.

10 El punto clave de la presente invención reside en un método para operar la turbina de gas, el cual mantenga bajo un índice de aire máximo λ_{\max} siendo el índice de aire λ el de los quemadores que se encuentran en funcionamiento de la segunda cámara de combustión en el funcionamiento con carga parcial. Dicho método se caracteriza esencialmente por tres nuevos elementos, así como por medidas complementarias que pueden realizarse de forma individual o combinada.

El índice de aire λ_{\max} depende de los límites de emisión de CO que deben ser observados, del diseño del quemador y de la cámara de combustión, así como de las condiciones de funcionamiento, es decir, en particular, de la temperatura de entrada del quemador.

15 El primer elemento trata de una modificación en el modo de operación de la hilera de álabes guía ajustables del compresor, la cual permite poner en funcionamiento la segunda cámara de combustión sólo en el caso de carga parcial más elevada. Partiendo de un funcionamiento en vacío, la hilera de álabes guía ajustables del compresor ya se abre mientras que sólo la primera cámara de combustión se encuentra en funcionamiento. Esto permite realizar una carga produciendo una carga relativamente más elevada, antes de que la segunda cámara de combustión deba ser puesta en funcionamiento. Cuando la hilera de álabes guía ajustables del compresor se encuentra abierta y la temperatura del gas esté caliente o la temperatura de entrada de la turbina, de la turbina de alta presión, ha alcanzado un límite, es suministrado combustible a la segunda cámara de combustión. A continuación, la hilera de álabes guía ajustables del compresor se cierra con rapidez. El cierre de la hilera de álabes guía ajustables del compresor, en el caso de una temperatura de entrada de la turbina TIT constante, de la turbina de alta presión, sin acciones en contra, conduciría a una marcada reducción de la potencia relativa. Para evitar esa reducción de potencia puede aumentarse el flujo de combustible que se introduce en la segunda cámara de combustión. La carga mínima con la cual se pone en funcionamiento la segunda cámara de combustión y el flujo de combustible mínimo hacia la segunda cámara de combustión se elevan con ello de forma significativa. Se eleva con ello también la temperatura mínima del gas caliente de la segunda cámara de combustión, el índice de aire λ se reduce, reduciendo con ello las emisiones de CO.

20 Para posibilitar una carga uniforme, es decir, un incremento de la potencia de la turbina de gas con gradientes prácticamente constantes, el cierre de la hilera de álabes guía del compresor se realiza a una temperatura de entrada constante de la turbina TIT, de la turbina de alta presión, tan pronto como la hilera de álabes guía ajustables del compresor se abre y la temperatura del gas caliente o la temperatura de entrada de la turbina, de la turbina de alta presión, han alcanzado el límite. El cierre de la hilera de álabes guía ajustables del compresor se sincroniza además con el suministro de combustible de la segunda cámara de combustión, es decir que los dos procesos se realizan al mismo tiempo o con un breve retraso temporal de uno con respecto a otro.

30 Como hilera de álabes guía ajustables del compresor se denomina al menos una hilera de álabes guía que puede ajustarse en su ángulo de incidencia para regular el flujo másico de succión del compresor. En los compresores modernos usualmente puede ajustarse al menos una serie de rotación previa del compresor. Generalmente pueden ajustarse dos o más series guía.

El límite de la temperatura de entrada de la turbina TIT, de la turbina de alta presión, se denomina también como límite en carga parcial. Usualmente es menor o igual que el límite en carga completa, donde el límite en carga completa es la temperatura de entrada máxima de la turbina en el caso de una carga completa.

45 En la descarga, el proceso es el inverso, es decir que, con la hilera de álabes guía ajustables del compresor cerrada, a través de la reducción del flujo másico de combustible suministrado hacia la segunda cámara de combustión, la carga disminuye hasta que se alcanza un valor límite adecuado de la carga relativa, de la TIT de la turbina de baja presión, de la TAT de la turbina de baja presión, del flujo másico de combustible de la segunda cámara de combustión o de otro parámetro adecuado, o de una combinación de parámetros. Tan pronto como se ha alcanzado ese valor el suministro de combustible hacia la segunda cámara se detiene y la hilera de álabes guía ajustables del compresor se abre rápidamente.

50 Para evitar una conexión y desconexión reiteradas de la segunda cámara con la apertura y el cierre asociados a ello de la hilera de álabes guía ajustables del compresor, el valor límite que activa una desconexión de la segunda cámara de combustión puede estar provisto de una histéresis. Es decir que la carga relativa, con la cual se desconecta la segunda cámara de combustión, es más baja que aquella en la cual se conecta.

En un caso ideal, la TIT de la primera turbina se mantiene constante a través del regulador en el caso de un cierre o de una apertura rápidos de la hilera de álabes guía ajustables del compresor. En la práctica, sin embargo, a través del cierre rápido de la hilera de álabes guía ajustables del compresor y a través de la conexión o de la desconexión de la segunda cámara de combustión se produce un exceso de la TIT de la turbina de alta presión. Para evitar esto, en una ejecución se sugiere un controlador previo de la válvula de control de combustible de la primera cámara de combustión. En el caso del cierre rápido de la hilera de álabes guía ajustables del compresor la válvula de control de combustible de la primera cámara de combustión se cierra un poco de forma correspondiente a través del controlador previo. De manera análoga, en el caso de la apertura rápida de la hilera de álabes guía ajustables del compresor la válvula de control de combustible se abre un poco de forma correspondiente a través del controlador previo.

El segundo elemento para la reducción del índice de aire λ se trata de una modificación en el modo de operación a través de la elevación de la temperatura de salida de la turbina, de la turbina de alta presión TAT1 y/o de la temperatura de salida de la turbina, de la turbina de baja presión TAT2, en el funcionamiento con carga parcial. La elevación mencionada permite desplazar a un punto de carga más elevado la apertura de la hilera de álabes guía ajustables del compresor.

Usualmente, la temperatura de salida máxima de la turbina, de la segunda turbina, está determinada para el caso de carga completa y la turbina de gas y las calderas de recuperación eventualmente conectadas aguas abajo están diseñadas en correspondencia con esa temperatura. Esto conduce al hecho de que, en el caso de un funcionamiento en carga parcial con la hilera de álabes guía ajustables del compresor cerrada, la temperatura máxima del gas caliente de la segunda turbina no está limitada a través de la TIT2 (temperatura de entrada de la turbina, de la segunda turbina), sino a través de la TAT2 (temperatura de salida de la turbina, de la segunda turbina). Puesto que en el caso de carga parcial con al menos una hilera de álabes guía ajustables del compresor cerrada se reduce el flujo másico y, con ello, la relación de presión mediante la turbina, se reduce también la relación de la temperatura de entrada y de la temperatura de salida de la turbina. De manera correspondiente, en el caso de una TAT2 constante se reduce también la TIT2, ubicándose usualmente muy por debajo del valor en carga completa. Un leve incremento sugerido de la TAT2 más allá del límite en carga completa, generalmente en el orden de magnitudes de 10°C hasta 30°C, conduce a un incremento de la TIT2, pero ésta permanece por debajo del valor en carga completa y puede realizarse prácticamente sin pérdidas en cuanto a la vida útil, o sin pérdidas esenciales en ese aspecto. No son necesarias adaptaciones en el diseño o en la selección del material o usualmente éstas pueden limitarse al lado del gas de escape. Para el incremento de la TIT2 se aumenta la temperatura del gas caliente, lo cual se realiza a través de un incremento del flujo másico de combustible y de una reducción del índice de aire λ , vinculada a ello. De manera correspondiente se reducen las emisiones de CO.

Otra posibilidad para reducir el índice de aire λ del quemador que se encuentra en funcionamiento consiste en el apagado de quemadores individuales y en una redistribución del combustible a una TIT2 constante.

Para mantener la TIT2 en promedio constante, los quemadores que se encuentran en funcionamiento deben operarse más calientes en correspondencia con la cantidad de quemadores apagados. Para ello, el suministro de combustible se eleva, reduciendo con ello el índice de aire λ local.

Como temperatura de entrada de la turbina se emplea generalmente una temperatura teórica de la mezcla de los gases calientes y de todos los flujos másicos de aire de refrigeración según ISO 2314 / 1989. No obstante, por ejemplo también con la temperatura del gas caliente antes de ingresar a la turbina, o con la así llamada "temperatura de combustión", puede utilizarse una temperatura de la mezcla después del primer álabe guía de la turbina.

Partiendo de una carga elevada, en donde todos los quemadores de la segunda cámara de combustión están en funcionamiento, son posibles distintos modos de operación en los cuales se apagan quemadores por ejemplo de forma inversamente proporcional con respecto a la carga.

Para un funcionamiento optimizado en cuanto a las emisiones de CO, en el caso de una turbina de gas con un plano de separación, se apaga generalmente primero el quemador adyacente al plano de separación. Como plano de separación se denomina el plano en el cual una carcasa usualmente está dividida en la mitad superior y la mitad inferior. Las respectivas mitades de la carcasa están unidas en el plano de separación por ejemplo mediante una brida.

A continuación se apagan entonces sus quemadores contiguos o un quemador adyacente al plano de separación en el lado opuesto de la cámara de combustión y después, siempre variando, de forma alternante, los quemadores contiguos en ambos lados de la cámara de combustión, partiendo desde el plano de separación.

Preferentemente, se apaga primero un quemador adyacente al plano de separación, ya que el plano de separación de una turbina de gas generalmente no es completamente hermético y usualmente un flujo de fuga conduce a un leve enfriamiento y a una dilución de los gases de combustión y, con ello, a emisiones de CO aumentadas de forma

local. A través del apagado de los quemadores adyacentes al plano de separación se evitan esas emisiones locales de CO.

5 Como solución, a través del apagado de los quemadores individuales debe considerarse sin embargo que al menos dos quemadores trabajan con quemadores contiguos fríos, que no se encuentran en funcionamiento. Cada límite con respecto a un quemadore contiguo frío conduce potencialmente a emisiones aumentadas de CO, motivo por el cual debe reducirse al mínimo la cantidad de grupos de quemadores fríos. En función del diseño de la turbina de gas, en particular de las fugas en el área del plano de separación, puede resultar ventajoso un grupo individual de quemadores apagados, dos grupos de quemadores apagados dispuestos a ambos lados del plano de separación o una pluralidad de grupos de quemadores apagados.

10 Otra posibilidad para reducir el índice de aire λ se trata de un "staging" (separación) controlado. Los procesos de combustión homogéneos pueden conducir a pulsaciones en las cámaras de combustión anulares. En el caso de una carga elevada, eso se evita generalmente a través de un así llamado "staging". Como staging se entiende la obturación del suministro de combustible hacia al menos una cámara. Para ello, un diafragma u otro elemento de estrangulación se coloca de forma fija en la línea de combustible de al menos un quemador que debe ser obturado.
 15 El índice de aire λ de al menos un quemador obturado es mayor para todos los estados de funcionamiento, en correspondencia con la cantidad de combustible reducida. En el caso de una carga elevada esto conduce a una ausencia deseada de homogeneidad en la cámara de combustión anular. En el caso de una carga más baja, sin embargo, esa ausencia de homogeneidad conduce a un incremento superproporcional de la producción de CO de al menos un quemador obturado. Las inestabilidades de la combustión que deben ser evitadas a través del staging ya
 20 no se producen generalmente en el caso de cargas bajas o son mínimas. Por ese motivo, en un ejemplo de ejecución se sugiere no realizar la obturación a través de un diafragma fijo, sino a través de al menos una válvula de control. Al menos una válvula de control se abre en el caso de una carga baja, para que todos los quemadores conectados puedan ser operados casi de forma homogénea, con un índice de aire λ reducido. En el caso de una carga elevada al menos una válvula de control es estrangulada, para realizar el staging.

25 Al menos una válvula de control puede estar dispuesta en la línea de alimentación de los quemadores individuales. De manera alternativa también los quemadores pueden estar reunidos en al menos dos grupos, cada uno con una válvula de control y cada uno con una línea anular para distribuir el combustible.

30 En otra ejecución, para la reducción del índice de aire λ en el caso de carga parcial, aire del compresor o aire de extracción del compresor (llamado también aire sangrado) es expandido y es mezclado con el aire de succión. Lo mencionado puede realizarse por ejemplo a través de la conexión de un así llamado "sistema anti - formación de hielo", en donde aire proveniente de la zona de tratamiento del compresor es agregado al aire de succión para aumentar la temperatura de succión. La ramificación del aire de compresión conduce a una reducción de la cantidad de aire que circula a través de la cámara de combustión. Se incrementa además el trabajo del compresor referido a la potencia total de la turbina de gas. Para compensar el consumo de energía aumentado del compresor, la potencia de la turbina y, con ello, la cantidad de combustible, debe ser aumentada. En ambos casos se logra una reducción del índice de aire λ y, con ello, una reducción de las emisiones de CO.
 35

Otras posibilidades para reducir las emisiones de CO se presentan a través de una regulación de los flujos máscos de aire de refrigeración y/o de la temperatura del aire de refrigeración.

40 En el caso de carga parcial puede reducirse por ejemplo la TIT1. En correspondencia con la temperatura reducida del gas caliente las partes de gas caliente se vuelven más frías y la potencia de enfriamiento puede reducirse a través de una reducción del flujo máscico del aire de refrigeración - de alta presión y/o del incremento de la temperatura del aire de refrigeración - de alta presión después de los enfriadores del aire de refrigeración. En correspondencia con la potencia de refrigeración reducida se reducen las fases frías o las zonas de flujo frías causadas por el aire de refrigeración y por las fugas de aire de refrigeración. Por consiguiente, el perfil de temperatura se vuelve más homogéneo en la entrada a la segunda cámara de combustión. Con el perfil de entrada homogéneo se evita un enfriamiento local de la llama, reduciéndose así las emisiones de CO.
 45

De manera correspondiente, en el caso de carga parcial con TIT2 reducida, la potencia de refrigeración de baja presión puede reducirse a través de una reducción del flujo máscico de aire de refrigeración y/o de un incremento de la temperatura del aire de refrigeración de baja presión, después de los enfriadores del aire de refrigeración. A través de la potencia de refrigeración reducida se desactivan las áreas frías en la cámara de combustión, es decir que, de forma relativa con respecto a la temperatura del gas caliente, se reducen las fases tibias y frías, reduciéndose de forma correspondiente las emisiones de CO.
 50

De manera alternativa, dependiendo del sistema de aire de refrigeración, puede aumentarse la cantidad de aire de refrigeración de baja presión. Cuando una parte mayor del aire de refrigeración de baja presión es introducida en la segunda turbina, puede reducirse con ello el flujo máscico de aire a través de los quemadores y de la cámara de combustión. Se reduce así el índice de aire λ y puede alcanzarse una reducción de las emisiones de CO.
 55

- 5 Para poder aprovechar el sistema de aire de refrigeración de baja presión como derivación para las cámaras de combustión, en particular como derivación para la segunda cámara de combustión, en una ejecución de la invención se sugiere una división del sistema de aire de refrigeración de baja presión en una parte para la segunda cámara de combustión y una parte para la segunda turbina. De este modo, el flujo de aire de refrigeración está realizado de forma controlable para al menos un sistema parcial. En un caso ideal, los dos sistemas parciales pueden ser controlados, de manera que, en el caso de carga parcial, el flujo másico de aire de refrigeración hacia los quemadores y la cámara de combustión se reduce, mientras que al mismo tiempo el flujo másico de aire de refrigeración aumenta hacia la segunda turbina.
- 10 Ese control del sistema de aire de refrigeración se realiza usualmente en función de la carga o de la carga relativa. Igualmente es posible un control en función de la posición de la hilera de álabes guía del compresor, de la presión de salida del compresor, de TIT1, TIT2 o de otro parámetro adecuado, así como de una combinación de parámetros.
- En lugar de un control de los flujos másicos de aire de refrigeración y/o de la temperatura del aire de refrigeración puede aplicarse por ejemplo también un control en función de los mismos parámetros mencionados o de combinaciones de parámetros.
- 15 En otra ejecución, la temperatura de combustible a la cual se eleva el combustible en un precalentador, se controla en función de la carga. Para la reducción de las emisiones de CO en carga parcial se eleva la temperatura del combustible en el caso de carga parcial. A través del incremento de la temperatura del combustible aumenta la velocidad de reacción y la llama se desplaza hacia arriba. Esto conduce a una llama más estable con una combustión total mejorada y con emisiones de CO reducidas de forma correspondiente.
- 20 Ese control de la temperatura del combustible se realiza usualmente en función de la carga o de la carga relativa. Igualmente es posible un control en función de la posición de la hilera de álabes guía del compresor, de la presión de salida del compresor, de TIT1, TIT2 o de otro parámetro adecuado, así como de una combinación de parámetros.
- En lugar de un control de la temperatura del combustible puede aplicarse por ejemplo también un control en función de los mismos parámetros o de combinaciones de parámetros.
- 25 Junto con el método, es objeto de la invención una turbina de gas para ejecutar el método. Dependiendo del método seleccionado o de la combinación de métodos, debe adaptarse el diseño de la turbina de gas y/o el sistema de distribución de combustible y/o el sistema de aire de refrigeración, para garantizar la capacidad de realización del método.
- 30 Para posibilitar el apagado de quemadores individuales en el caso de carga parcial, en al menos una línea de combustible hacia al menos un quemador de la segunda cámara de combustión debe proporcionarse una válvula de conmutación individual.
- 35 Para realizar un staging en función de la carga, en al menos una línea de combustible hacia al menos un quemador de la segunda cámara de combustión debe proporcionarse una válvula de control. De manera alternativa, el sistema de distribución de combustible puede dividirse en al menos dos grupos parciales de quemadores con distribución de combustible correspondiente. Donde cada subgrupo contiene una válvula de control de combustible, así como una línea anular de combustible para distribuir el combustible a los quemadores del respectivo subgrupo.
- Para posibilitar una apertura de la hilera de álabes guía ajustables del compresor debe realizarse un control de la distancia de bombeo del compresor de alta presión y eventualmente una adaptación de la constitución de presión en el compresor, por ejemplo a través del escalonado del conjunto de álabes.
- 40 Para realizar un incremento de la temperatura de salida de la turbina - con carga parcial - al menos la salida de la turbina y las líneas de gas de escape deben diseñarse para una temperatura de salida de la turbina que es superior a la temperatura del gas de escape máxima en caso de una carga completa.
- 45 Para realizar un control de los flujos másicos de aire de refrigeración y de las temperaturas, el refrigerador o los refrigeradores de aire de refrigeración deben realizarse de forma controlable y deben proporcionarse válvulas de control para los sistemas de aire de refrigeración. Además, los sistemas deben diseñarse en el marco del rango de funcionamiento ampliado para los flujos de aire de refrigeración aumentados y para una temperatura máxima aumentada según el refrigerador.
- 50 Otras ventajas y variantes de la invención se describen en las reivindicaciones dependientes y resultan de la descripción y de los dibujos añadidos. Todas las ventajas explicadas no sólo pueden aplicarse en las combinaciones respectivamente indicadas, sino también solas o en otras combinaciones, sin abandonar el marco de la invención.

Una ejecución se caracteriza por ejemplo por un ajuste de diferentes componentes para reducir el índice de aire λ que se presenta de forma local. Todos los componentes de una turbina de gas se encuentran dentro del rango de tolerancias admisibles. Las tolerancias mencionadas conducen a geometrías y propiedades levemente diferentes para cada componente. Durante el funcionamiento, esto conduce en particular también a pérdidas de presión y flujos de presión diferentes. Las tolerancias se seleccionan de manera que éstas, en el funcionamiento normal, en particular en el caso de carga parcial y de carga completa, prácticamente no tengan ninguna influencia sobre el comportamiento de funcionamiento. En el caso de carga parcial con un índice de aire λ elevado, sin embargo, la cámara de combustión es operada bajo condiciones en las cuales ya pequeños fallos pueden tener una influencia significativa sobre las emisiones de CO. Por ejemplo, cuando una lanza de combustible con un índice de flujo menor se instala en un quemador con una superficie más grande de la sección transversal, esa combinación puede conducir a un incremento del índice de aire λ local, lo cual conduce a una producción de CO aumentada de forma local. Para evitar lo mencionado se sugiere un ajuste de los componentes para reducir el índice de aire λ que se presenta de forma local. Para ello se miden las geometrías y/o los coeficientes de flujo de los diferentes componentes y se combinan partes con flujos elevados y partes con flujos más reducidos dentro de la segunda cámara de combustión.

Una lanza del quemador es un ejemplo de un suministro de combustible hacia un quemador de una segunda cámara de combustión. Ésta se indica aquí y a continuación a modo de ejemplo. Los ejemplos de ejecución se aplican igualmente a otras clases de suministro de combustible, como por ejemplo tubos o perfiles con boquillas de combustible.

Un ejemplo típico es la instalación de lanzas del quemador con flujo elevado en quemadores con una sección transversal de gran tamaño y pérdida de presión baja, de modo correspondiente.

Otra posibilidad de optimización resulta a través del ajuste de segundas cámaras de combustión con respecto a la primera cámara de combustión. De este modo, usualmente un componente con flujo elevado en la primera cámara de combustión se combina con un componente con flujo bajo en la segunda cámara de combustión.

Por ejemplo, después de un quemador de la primera cámara de combustión, el cual posee un flujo de combustible elevado, se encuentra dispuesta una lanza del quemador con flujo reducido. El flujo localmente elevado en la primera cámara de combustión conduce a una temperatura de salida localmente elevada desde la primera cámara de combustión y, con ello, a una temperatura de entrada localmente aumentada en los quemadores situados aguas abajo de la segunda cámara de combustión. En correspondencia con la temperatura de entrada aumentada para ese quemador, la velocidad de reacción del carburante inyectado por el mismo es más elevada que el promedio de todos los quemadores. Por lo tanto, puede operarse con un índice de aire máximo λ_{\max} localmente más elevado. En esa posición, para el ajuste con respecto a la primera cámara de combustión puede instalarse una lanza con un coeficiente de flujo reducido.

Breve descripción de los dibujos

La presente invención se representa esquemáticamente en las figuras 1 a 11 mediante ejemplos de ejecución.

De modo esquemático, las figuras muestran:

Figura 1: una turbina de gas con combustión secuencial;

Figura 2: un corte a través de la segunda cámara de combustión de una turbina de gas con combustión secuencial, así como el sistema de distribución de combustible con una línea anular de combustible y ocho válvulas de conmutación individuales para obturar ocho quemadores;

Figura 3: un corte a través de la segunda cámara de combustión de una turbina de gas con combustión secuencial, así como el sistema de distribución de combustible con una línea anular de combustible y cuatro válvulas de conmutación individuales para regular el flujo de combustible de cuatro quemadores;

Figura 4: un corte a través de la segunda cámara de combustión de una turbina de gas con combustión secuencial, así como el sistema de distribución de combustible con dos subgrupos que pueden controlarse de forma separada y dos líneas anulares de combustible;

Figura 5: un método convencional para controlar una turbina de gas con combustión secuencial;

Figura 6: un método para controlar una turbina de gas con combustión secuencial, donde durante la carga, durante el funcionamiento sólo con la primera cámara de combustión, se abre la hilera de álabes guía ajustables del compresor, hasta que se cierra a modo de un impacto al conectarse la segunda cámara de combustión;

Figura 7: un método para controlar una turbina de gas con combustión secuencial, donde durante la carga, después de conectar la segunda cámara de combustión, las limitaciones de TAT se elevan por encima del límite en carga completa;

5 Figura 8: un corte transversal a través de la segunda cámara de combustión de una turbina de gas con combustión secuencial, en donde todos los quemadores se encuentran en funcionamiento;

Figura 8a: un corte transversal a través de la segunda cámara de combustión de una turbina de gas con combustión secuencial, en donde a la derecha y a la izquierda en cada caso los quemadores adyacentes al plano de separación están apagados y el resto de los quemadores están en funcionamiento;

10 Figura 8b: un corte transversal a través de la segunda cámara de combustión de una turbina de gas con combustión secuencial, en donde a la derecha y a la izquierda en cada caso dos quemadores adyacentes al plano de separación están apagados y el resto de los quemadores están en funcionamiento;

Figura 9a: un corte transversal a través de la segunda cámara de combustión de una turbina de gas con combustión secuencial, en donde a la derecha un quemador adyacente al plano de separación se encuentra apagado y el resto de los quemadores están en funcionamiento;

15 Figura 9b: un corte transversal a través de la segunda cámara de combustión de una turbina de gas con combustión secuencial, en donde a la izquierda un quemador adyacente al plano de separación se encuentra apagado y el resto de los quemadores están en funcionamiento;

Figura 10: un corte transversal a través de la segunda cámara de combustión de una turbina de gas con combustión secuencial, en donde tres quemadores están apagados y el resto de los quemadores están en funcionamiento;

20 Figura 11: un corte transversal a través de la segunda cámara de combustión de una turbina de gas con combustión secuencial, en un grupo de quemadores está apagado y el resto de los quemadores están en funcionamiento.

Ejecución de la invención

25 La figura 1 muestra una turbina de gas con combustión secuencial, para realizar el método de acuerdo con la invención. Dicha turbina se compone de un compresor 1, de una primera cámara de combustión 4, de una primera turbina 7, de una segunda cámara de combustión 15 y de una segunda turbina 12. Usualmente, ésta comprende un generador 19 que se encuentra acoplado en el extremo frío de la turbina de gas, es decir, en el compresor 1, en un árbol 18 de la turbina de gas.

30 Un combustible, gas o aceite, es introducido en la primera cámara de combustión 4 mediante una alimentación de combustible 5, es mezclado con aire comprimido en el compresor 1 y es quemado. En la primera turbina 7 consecutiva los gases calientes 6 se expanden parcialmente bajo una liberación de trabajo.

35 Tan pronto como la segunda cámara de combustión se encuentra en funcionamiento, a los gases 8 parcialmente expandidos en los quemadores 9 de la segunda cámara de combustión 15, mediante un suministro de combustible 10, se agrega combustible adicional, y se quema en la segunda cámara de combustión 15. En la segunda turbina 12 consecutiva los gases calientes 11 se expanden bajo una liberación de trabajo. Los gases de escape 13 pueden suministrarse de forma conveniente a una caldera de recuperación de una central eléctrica de ciclo combinado o pueden suministrarse para otro aprovechamiento de la energía térmica residual.

Para controlar el flujo másico de succión, el compresor 1 dispone de al menos una hilera de álabes guía ajustables del compresor 14.

40 Para poder elevar la temperatura del aire de succión 2 se proporciona una línea de anti - formación de hielo 26, a través de la cual una parte del aire comprimido 3 puede ser suministrado al aire de succión 2. Para realizar el control se proporciona una válvula de control de anti - formación de hielo 25. Generalmente, ésta se conecta en días fríos con una humedad atmosférica relativamente elevada en el aire ambiente, para prevenir un peligro de formación de hielo en el compresor.

45 Una parte del aire comprimido 3 se separa como aire de refrigeración de alta presión 22, se enfría de regreso mediante un enfriador de aire de refrigeración de alta presión 35 y se suministra a la primera cámara de combustión 4 (no se representa la línea de aire de refrigeración) y a la primera turbina, como aire de refrigeración 22. El flujo másico del aire de refrigeración de alta presión 22 que es suministrado a la turbina de alta presión 7 puede ser controlado en este ejemplo a través de una válvula de control 21 del aire de refrigeración de alta presión.

Una parte del aire de refrigeración de alta presión 22 es suministrado a las lanzas del quemador, de los quemadores 9, de la segunda cámara de combustión 15, como el así llamado aire portador. El flujo másico del aire portador 24 puede ser controlado a través de una válvula de control 17 de aire portador.

5 Desde el compresor 1, con compresión de aire, se separa una parte del aire, se enfría de regreso mediante un enfriador de aire de refrigeración 36 y se suministra a la segunda cámara de combustión 15 y a la segunda turbina como aire de refrigeración 23. El flujo másico del aire de refrigeración 23, en este ejemplo, puede ser controlado a través de una válvula de control 16 de aire de refrigeración 16.

10 Por ejemplo, las cámaras de combustión están realizadas como cámaras de combustión anular con una pluralidad de quemadores individuales 9, tal como se muestra en las figuras 2 y 3, con la segunda cámara de combustión 15 a modo de ejemplo. Cada uno de esos quemadores 9 es abastecido con combustible mediante un sistema de distribución de combustible y una alimentación de combustible 10.

15 La figura 2 muestra un corte a través de la segunda cámara de combustión 15 con quemadores 9 de una turbina de gas con combustión secuencial, así como el sistema de distribución de combustible con una línea anular de combustible 30 y ocho válvulas de conmutación individuales 37 para apagar ocho quemadores 9. A través del cierre de las válvulas de conmutación individuales 37 se detiene el suministro de combustible hacia los quemadores individuales 9 y éste se distribuye en los quemadores restantes, donde el flujo másico de combustible total se controla mediante una válvula de control 28. De este modo se reduce el índice de aire λ de los quemadores 9 que se encuentran en funcionamiento.

20 La figura 3 muestra un corte a través de la segunda cámara de combustión 15, así como un sistema de distribución de combustible con una línea anular de combustible 30 y alimentación de combustible 10 hacia los quemadores 9 individuales. En el ejemplo se proporcionan cuatro quemadores 9 con válvulas de control individuales 27 para controlar el flujo de combustible hacia las alimentaciones de combustible 10 de los respectivos quemadores 9. El flujo másico de combustible total es controlado mediante una válvula de control 28. El control separado del flujo másico de combustible hacia los cuatro quemadores 9 con válvula de control individual 27 permite un staging. Las
25 cuatro válvulas de control individuales se encuentran completamente abiertas en el caso una carga parcial baja, para que en todos los quemadores 9 de la segunda cámara de combustión 15 se introduzca combustible de modo uniforme, de manera que todos los quemadores 9, para reducir al mínimo las emisiones de CO, son operadas con el mismo índice de aire λ . Con una carga relativa en incremento, en particular cuando pueden presentarse pulsaciones aumentadas por ejemplo por encima del 70% de la carga relativa, las válvulas de control individuales 37 se cierran
30 levemente para realizar un staging y, con ello, estabilizar la combustión. De este modo se incrementa el índice de aire λ de los quemadores 9 abastecidos mediante las válvulas de control individuales 27 levemente cerradas. No obstante, lo mencionado no se considera crítico en cuanto a las emisiones de CO en el caso de una carga elevada.

35 La figura 4 muestra un corte a través de la segunda cámara de combustión 15 de una turbina de gas con combustión secuencial, así como el sistema de distribución de combustible con dos subgrupos de quemadores que pueden controlarse de forma separada. Se encuentra presente una línea anular de combustible en cada caso para un primer subgrupo 31 y una línea anular de combustible para un segundo subgrupo 32, así como las alimentaciones de combustible 10 correspondientes. Para un control independiente de la cantidad de combustible de ambos sistemas parciales se proporciona una válvula de control de combustible para el primer subgrupo 33 y una válvula de control de combustible para el segundo subgrupo 34.

40 Las dos válvulas de control para el primer y el segundo subgrupo 33, 34; en el caso de carga parcial baja, están controladas de manera que el flujo másico de combustible por quemador es idéntico.

45 De este modo, en todos los quemadores 9 de la segunda cámara de combustión 15 se introduce combustible de modo uniforme, de manera que todos los quemadores 9, para reducir al mínimo las emisiones de CO, son operados con el mismo índice de aire λ . Con una carga relativa en incremento, en particular cuando pueden presentarse pulsaciones aumentadas por ejemplo por encima del 70% de la carga relativa, la válvula de control del primer subgrupo 33 no se abre en gran medida, tal como la válvula de control del segundo subgrupo 34, para realizar un staging y, con ello, estabilizar la combustión.

50 De manera alternativa, la válvula de control del primer subgrupo 33 puede conectarse aguas abajo de la segunda válvula de control 34. En ese caso, de forma análoga al ejemplo de la figura 3, en el caso de carga parcial, la válvula de control del primer subgrupo 33 debe abrirse completamente y en el caso de carga parcial elevada debe estrangularse, para realizar entonces un staging. El flujo másico de combustible total es controlado entonces mediante la válvula de control 34. En el caso de que el combustible sea un combustible líquido, como por ejemplo
55 aceite, dependiendo de la clase de quemador es necesaria una inyección de agua para reducir las emisiones de NOx. La misma se realiza por ejemplo de forma análoga al suministro de combustible, proporcionándose líneas y sistemas de control correspondientes.

En las así llamadas turbinas de gas de combustible dual, las cuales pueden ser operadas tanto con un combustible líquido, como por ejemplo aceite, como también con un gas de combustión, como por ejemplo gas natural, para cada combustible deben proporcionarse sistemas de distribución de combustible separados.

5 La figura 5 muestra un método convencional para controlar una turbina de gas con combustión secuencial. Partiendo de la marcha en vacío, es decir, de una carga relativa P_{rel} de 0%, la turbina de gas se carga hasta la carga completa, es decir, hasta una carga relativa P_{rel} de 100%. En el caso de P_{rel} al 0% se cierra la hilera de álabes guía ajustables del compresor, es decir que se regula a un ángulo de apertura mínimo.

10 La primera cámara de combustión está encendida, lo cual conduce a una temperatura de entrada de la turbina TIT1 de la primera turbina 7 y a una temperatura de salida de la turbina TAT1 correspondiente. La segunda cámara de combustión aún no se encuentra en funcionamiento, de manera que no tiene lugar un calentamiento de los gases en la segunda cámara de combustión. La temperatura TAT1 de los gases que salen de la primera turbina 7, a través del enfriamiento de la cámara de combustión, así como considerando el enfriamiento de la turbina de baja presión, se reduce a la temperatura de entrada de la turbina TIT2, de la segunda turbina 12. Desde la segunda turbina 12 salen los gases expandidos con una temperatura TAT2.

15 En una fase I del método, partiendo de P_{rel} al 0%, para aumentar la potencia, se eleva primero TIT1 hasta un límite de TIT1. Con TIT1 en incremento se incrementa también la temperatura de salida TAT1 y las temperaturas TIT2 y TAT2 de la siguiente turbina 12 consecutiva.

20 Después de alcanzar el límite de TIT1, para elevar aún más la potencia, al inicio de la fase II se enciende la segunda cámara de combustión 15 y la alimentación de combustible 10 hacia los quemadores 9 de la segunda cámara de combustión se incrementa proporcionalmente con respecto a la carga. Las temperaturas TIT2 y TAT2 aumentan por encima de la carga en la fase II, en correspondencia con un gradiente pronunciado hasta un primer límite de TAT2. Generalmente, el límite de TAT2 es idéntico al límite en carga completa de TAT2.

25 Después de alcanzar el límite de TAT2, para elevar aún más la potencia, en una fase III del método se abre la hilera de álabes guía ajustables del compresor 14 para controlar la potencia a través del incremento del flujo másico de succión. Proporcionalmente con respecto al flujo másico de succión aumenta la relación de presión de la segunda turbina 12, por lo cual en el caso de una temperatura TAT2 constante, la temperatura TIT2 aumenta aún más sobre la potencia relativa P_{rel} hasta alcanzar un primer límite de TIT2.

30 Después de alcanzar el primer límite de TIT2, para elevar aún más la carga relativa P_{rel} , en una fase IV del método, la hilera de álabes guía ajustables del compresor 14 se abre aún más en el caso de una temperatura TIT2 constante, hasta que se alcanza la posición abierta máxima.

En el ejemplo mostrado, en una fase V del método, en el caso de una posición constante de la hilera de álabes guía ajustables del compresor 14, la temperatura TIT2 se eleva desde el primer límite de TIT2 hasta un segundo límite de TIT2, hasta que se alcanza P_{rel} al 100%.

35 La figura 6 muestra un método para controlar una turbina de gas con combustión secuencial, en donde, en comparación con el método mostrado en la ilustración 5, la fase II fue modificada. En este caso, la fase II está dividida en dos partes. Tan pronto como se alcanza el límite de TIT1 en el final de la fase I, en una fase IIa se aumenta la carga, abriéndose la hilera de álabes guía ajustables del compresor 14. Durante la fase IIa la segunda cámara de combustión aún no se encuentra en funcionamiento. Tan pronto como la hilera de álabes guía ajustables del compresor 14 al final de la fase IIa ha alcanzado la posición abierta, la segunda cámara de combustión 15 se conecta y la hilera de álabes guía ajustables del compresor 14 se cierra rápidamente. De forma sincrónica con respecto al cierre de la hilera de álabes guía ajustables del compresor 14 se incrementa el flujo másico de combustible que es introducido en la segunda cámara de combustión 15. De este modo, la segunda cámara de combustión es operada de forma estacionaria sólo en el caso de una carga marcadamente más elevada con un flujo másico de combustible marcadamente aumentado y con una temperatura TIT2 marcadamente aumentada. Puesto que el flujo másico de succión, tan pronto como la segunda cámara de combustión se encuentra en funcionamiento de forma estacionaria, es el flujo mínimo no modificado, el índice de aire λ se reduce marcadamente, reduciéndose con ello las emisiones de CO. En la fase IIb, la potencia se eleva a través del incremento de la temperatura TIT2 hasta alcanzar el límite de TAT2, de forma análoga al método descrito para la fase II. Durante el cierre rápido de la hilera de álabes guía ajustables del compresor 14 pueden producirse emisiones de CO aumentadas, por lo cual éstos se desplazan con una velocidad angular lo más elevada posible. La velocidad angular, por una parte, es limitada a través del límite de los elementos de mando de la hilera de álabes guía ajustables del compresor 14 y, por otra parte, en el caso de un cierre demasiado rápido, pueden producirse variaciones de la carga y problemas en la regulación de las temperaturas de entrada de la turbina. Aun cuando los elementos de mando admitan un cierre de la hilera de álabes guía ajustables del compresor 14 dentro de pocos segundos, la hilera de álabes guía ajustables del compresor 14 se cierra por ejemplo en un intervalo de tiempo de pocos minutos, preferentemente en un intervalo de menos de medio minuto.

En la figura 7 se muestra un método para controlar una turbina de gas con combustión secuencial, donde en comparación con el método mostrado en la ilustración 5 la fase III fue modificada. En la figura 7 se representan dos modificaciones.

5 La primera modificación de la fase III es una elevación del límite de TAT2 a un segundo límite que es superior al límite en carga completa de TAT2. Esto permite otra elevación de TIT2, hasta que se alcanza el segundo límite de TAT2. De este modo, la hilera de álabes guía ajustables del compresor 14 se cierra hasta el final de la fase IIIa. Debido a que la hilera de álabes guía ajustables del compresor 14 se mantiene cerrada y con TIT2 aumenta el flujo másico de combustible, el índice de aire λ se reduce marcadamente, reduciendo con ello las emisiones de CO. En la fase IIIb, el límite de TAT2 se reduce proporcionalmente con respecto a la carga, hasta que al final de la fase se alcanza el primer límite de TAT2. Para aumentar la potencia a pesar de la reducción de TATs, la hilera de álabes guía ajustables del compresor 14 se abre con un gradiente pronunciado. Proporcionalmente con respecto a la apertura de la hilera de álabes guía ajustables del compresor 14 aumenta el flujo másico y, con ello, la relación de presión, mediante la segunda turbina 12. Con la relación de presión aumenta la relación de temperatura de TIT2 a TAT2, de manera que a pesar de la reducción de TAT2 la temperatura TIT2 aumenta aún más, hasta que al final de la fase IIIb se alcanza el primer límite de TIT2.

20 La segunda modificación representada en la figura 7 se trata de una elevación de TIT1 y TAT1 al inicio de la fase IIIa. La elevación mostrada se muestra sólo a modo de ejemplo durante la fase III. Ésta depende de los puntos clave del método o de las fases. Ésta puede realizarse en cualquier área en carga parcial crítica en cuanto a la emisión de CO. El índice de aire λ no se influencia aquí de forma directa. El índice de aire mínimo λ_{\min} para alcanzar una combustión con pocas emisiones depende de las condiciones de contorno de la combustión. A través del incremento de la temperatura TAT1 se mejoran esas condiciones de contorno. A través del incremento de la temperatura TAT1 se incrementan la temperatura y la velocidad de reacción en la segunda cámara de combustión 15, debido a lo cual se mejora el quemado y se reducen las emisiones de CO.

25 La figura 8 muestra un corte transversal esquemático a través de la segunda cámara de combustión 15 de una turbina de gas con combustión secuencial, en donde todos los quemadores 9 se encuentran en funcionamiento. Éstos se indican respectivamente con una x como en funcionamiento.

30 La figura 8a muestra un corte transversal a través de la segunda cámara de combustión 15 de una turbina de gas con combustión secuencial, en donde a la derecha y a la izquierda en cada caso los quemadores 9 adyacentes al plano de separación 38 están apagados y el resto de los quemadores 9 están en funcionamiento. Los quemadores 9 apagados se indican con una o como fuera de funcionamiento.

La figura 8b muestra un corte transversal a través de la segunda cámara de combustión 15 de una turbina de gas con combustión secuencial, en donde a la derecha y a la izquierda en cada caso dos quemadores 9 adyacentes al plano de separación 38 están apagados y el resto de los quemadores 9 están en funcionamiento.

35 Para conectar los quemadores individuales en las figuras 8a y 8b, tal como se muestra en la figura 2, pueden proporcionarse válvulas de conmutación individuales en las alimentaciones de combustible 10 hacia los quemadores 9 individuales. En una ejecución del método, en el caso de una carga P_{rel} relativamente elevada todos los quemadores 9 están en funcionamiento. Al disminuir la carga por debajo de un valor límite de P_{rel} , de manera correspondiente a la figura 8a, se apagan primero los quemadores 9 adyacentes al plano de separación 38.

40 Después de otra reducción de la carga por debajo de un valor límite más bajo de P_{rel} , de manera correspondiente a la figura 8b, se apagan también los quemadores 9 que se encuentran alejados dos posiciones del plano de separación 38.

La figura 9a muestra un corte transversal a través de la segunda cámara de combustión 15 de una turbina de gas con combustión secuencial, en donde a la derecha un quemador 9 adyacente al plano de separación 38 se encuentra apagado y el resto de los quemadores 9 están en funcionamiento.

45 La figura 9b muestra un corte transversal a través de la segunda cámara de combustión 15 de una turbina de gas con combustión secuencial, en donde a la izquierda y a la derecha un quemador 9 adyacente al plano de separación 38 se encuentra apagado y el resto de los quemadores 9 están en funcionamiento.

50 De manera alternativa con respecto al apagado de los subgrupos de quemadores mostrado en las figuras 8a/b, en donde todos los quemadores 9 están en funcionamiento, también quemadores 9 individuales son apagados. En primer lugar, tal como se muestra en la figura 9a, sólo se apaga un quemador 9 situado de forma adyacente con respecto al plano de separación 38, en la dirección visual hacia la izquierda. En el siguiente paso se apaga un quemador 9 situado de forma adyacente con respecto al plano de separación 38, en la dirección visual hacia la derecha.

De forma alternante, pueden apagarse otros quemadores 9 de forma inversamente proporcional.

5 La figura 10 muestra un corte transversal a través de la segunda cámara de combustión 15 de una turbina de gas con combustión secuencial, en donde tres quemadores 9 están apagados y el resto de los quemadores están en funcionamiento. Una configuración de esa clase puede escogerse por ejemplo cuando la influencia de las fugas en el plano de separación 38 es reducida en cuanto a las emisiones de CO y cuando además la influencia de los quemadores contiguos fríos, apagados, es reducida con respecto a las emisiones de CO de los quemadores 9 encendidos. La ventaja de esta disposición reside en un perfil de temperatura relativamente homogéneo en la salida de la cámara de combustión 15.

10 La figura 11 muestra un corte transversal a través de la segunda cámara de combustión 15 de una turbina de gas con combustión secuencial, en donde sólo un grupo de quemadores 9 están apagados y el resto de los quemadores 9 están en funcionamiento. Esta disposición es ventajosa cuando la influencia de los quemadores contiguos fríos, apagados, con respecto a las emisiones de CO de los quemadores 9 encendidos es muy grande y el perfil inconveniente de la temperatura de salida que se produce, de la cámara de combustión 15, puede ser tolerado por la segunda turbina 12 consecutiva o la refrigeración puede adecuarse al perfil de temperatura.

15 Todas las ventajas explicadas no sólo se limitan a las combinaciones respectivamente indicadas, sino que también pueden aplicarse solas o en otras combinaciones, sin abandonar el marco de la invención. Por ejemplo son posibles otras posibilidades de cualquier clase para apagar quemadores 9 individuales o grupos de quemadores 9.

Lista de referencias

- 1 compresor
- 20 2 aire de succión
- 3 aire comprimido
- 4 primera cámara de combustión
- 5 alimentación de combustible
- 6 gases calientes
- 25 7 primera turbina
- 8 gases calientes expandidos de forma parcial
- 9 quemador de la segunda cámara de combustión
- 10 alimentación de combustible
- 11 gases calientes
- 30 12 segunda turbina
- 13 gases de escape (hacia la caldera de recuperación)
- 14 hilera de álabes guía ajustables del compresor
- 15 segunda cámara de combustión
- 16 válvula de control del aire de refrigeración de baja presión
- 35 17 válvula de control del aire portador
- 18 árbol
- 19 generador
- 20 21 válvula de control del aire de refrigeración -de alta presión

- 22 aire de refrigeración de alta presión
- 23 aire de refrigeración
- 24 aire portador
- 25 válvula de control de anti -formación de hielo
- 5 26 línea de anti -formación de hielo
- 27 válvula de control individual
- 28 válvula de control de combustible
- 29 alimentación de combustible
- 30 línea anular de combustible
- 10 31 línea anular de combustible para el primer subgrupo
- 32 línea anular de combustible para el segundo subgrupo
- 33 válvula de control de combustible para el primer subgrupo
- 34 válvula de control de combustible para el segundo subgrupo
- 35 enfriador del aire de refrigeración - de alta presión
- 15 36 enfriador del aire de refrigeración de baja presión
- 37 válvula de conmutación individual
- 38 plano de separación
- TAT temperatura de salida de la turbina
- TAT1 temperatura de salida de la turbina, de la primera turbina
- 20 TAT2 temperatura de salida de la turbina, de la segunda turbina
- TIT temperatura de entrada de la turbina
- TIT1 temperatura de entrada de la turbina, de la primera turbina
- TIT2 temperatura de entrada de la turbina, de la segunda turbina
- P_{rel} potencia relativa
- 25 X quemador conectado
- O quemador apagado

REIVINDICACIONES

1. Método para el funcionamiento con baja emisión de CO de una turbina de gas con combustión secuencial, donde la turbina de gas se compone esencialmente de al menos un compresor (1) con una hilera de álabes guía ajustables del compresor (14), una cámara de combustión (4) conectada aguas abajo del compresor, cuyos gases calientes alimentan una primera turbina (7), y una segunda cámara de combustión (15) conectada aguas abajo de la primera turbina (7), cuyos gases calientes alimentan una segunda turbina (12), donde el índice de aire (λ) del quemador operativo (9) de la segunda cámara de combustión (15) se mantiene por debajo de un índice de aire máximo (λ_{\max}), caracterizado porque el suministro de combustible (10) hacia al menos un quemador (9) de la segunda cámara de combustión (15) se desconecta en el caso de carga parcial, de manera que en el caso de una temperatura invariable de entrada de la turbina, de la segunda turbina (TIT2), se reduce el índice de aire (X) del quemador (9) que se encuentra en funcionamiento, porque el límite en carga parcial de la temperatura de salida de la turbina, de la primera turbina (TATI) y/o de la segunda turbina (TAT2), se incrementa para un rango de carga parcial, para desplazar la apertura de la hilera de álabes guía ajustables del compresor (14) hacia una carga mayor, y porque un flujo parcial de aire del compresor comprimido o comprimido de forma parcial se expande y el aire de succión (2) se incorpora.
2. Método según la reivindicación 1, caracterizado porque en el caso de un incremento de la carga antes de conectar la segunda cámara de combustión (15) se incrementa primero la temperatura de entrada de la turbina, de la primera turbina (TIT1), a un límite de carga parcial y la hilera de álabes guía ajustables del compresor (14) se abre, para conectar la segunda cámara de combustión (15) o durante la conexión de la misma la hilera de álabes guía ajustables del compresor (14) se cierra y combustible es conducido a la segunda cámara de combustión (15).
3. Método según la reivindicación 1, caracterizado porque en el caso de una descarga antes de la desconexión de la segunda cámara de combustión (15) se cierra primero la hilera de álabes guía ajustables del compresor (14) y ésta se abre nuevamente en caso de desconectarse la segunda cámara de combustión.
4. Método según una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado porque en el caso de una descarga de la turbina de gas, para generar una histéresis, la segunda cámara de combustión (15) sólo se desconecta en el caso de una carga que se ubica por debajo de la carga que se alcanza durante el funcionamiento con la primera cámara de combustión (4) en el caso del límite de carga parcial de la temperatura de entrada de la turbina, de la primera turbina (TIT1), y al encontrarse abierta la hilera de álabes guía ajustables del compresor (14).
5. Método según la reivindicación 4, caracterizado porque el suministro de combustible (10) se desconecta en primer lugar con respecto a por lo menos un quemador (9) adyacente a un plano de separación (38).
6. Método según la reivindicación 4 ó 5, caracterizado porque la cantidad de quemadores (9) desconectados es inversamente proporcional con respecto a la carga.
7. Método según una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado porque al menos una temperatura del aire de refrigeración y/o al menos un flujo másico de aire (22, 23, 24) se regula en función de la carga.
8. Método según una de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado porque la temperatura del combustible de la primera y/o de la segunda cámara de combustión (4, 15) se regula en función de la carga.

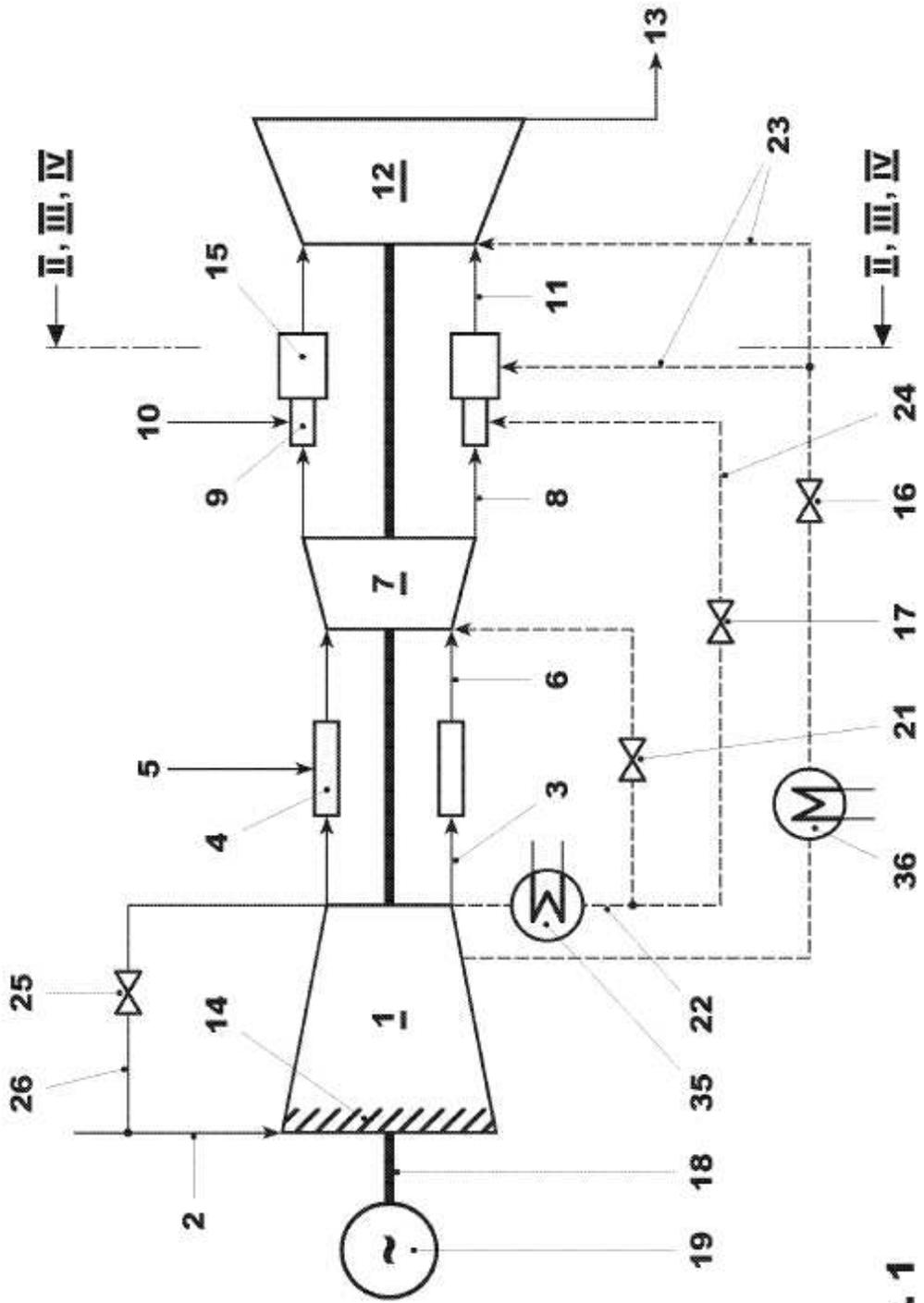


FIG. 1

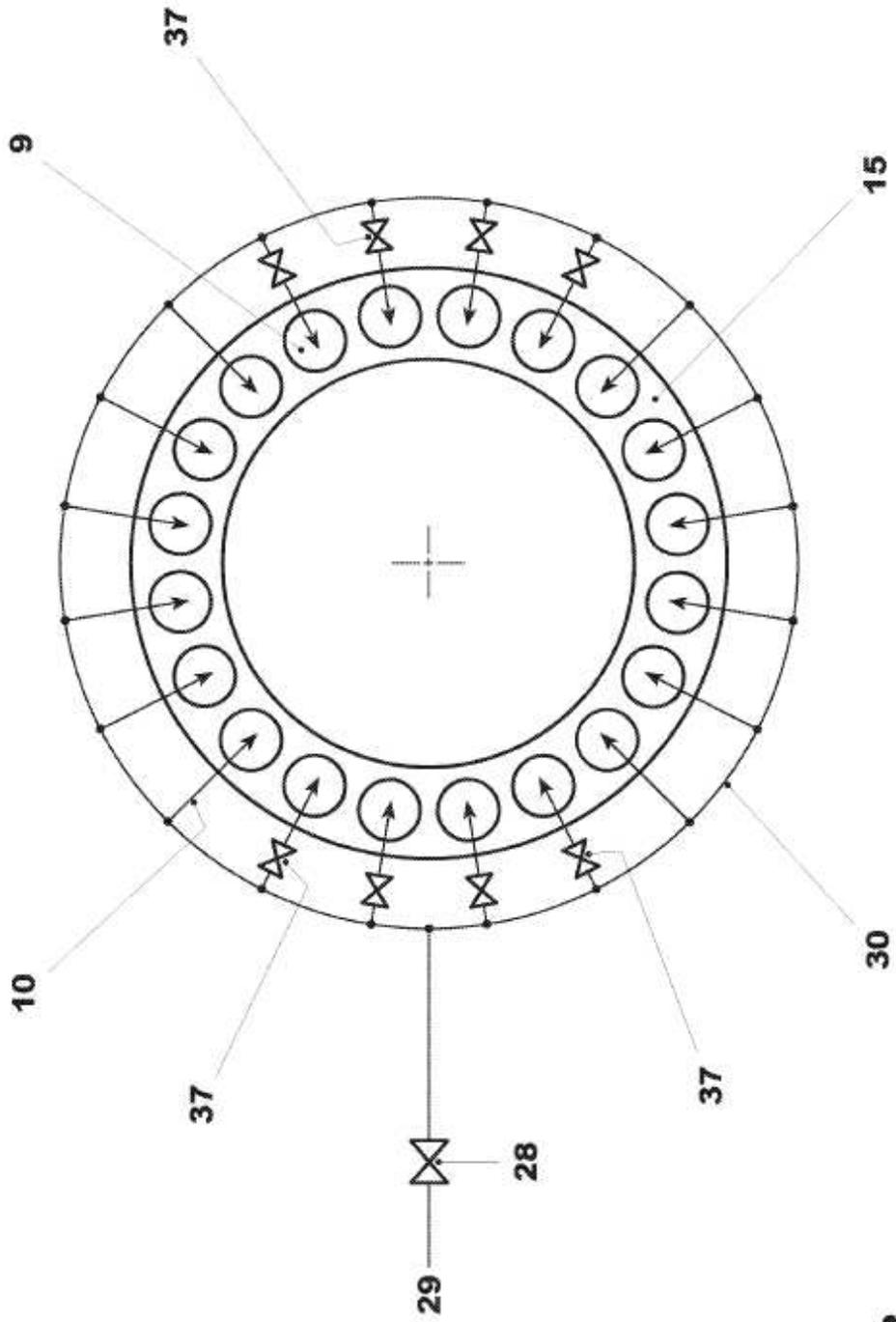


FIG. 2

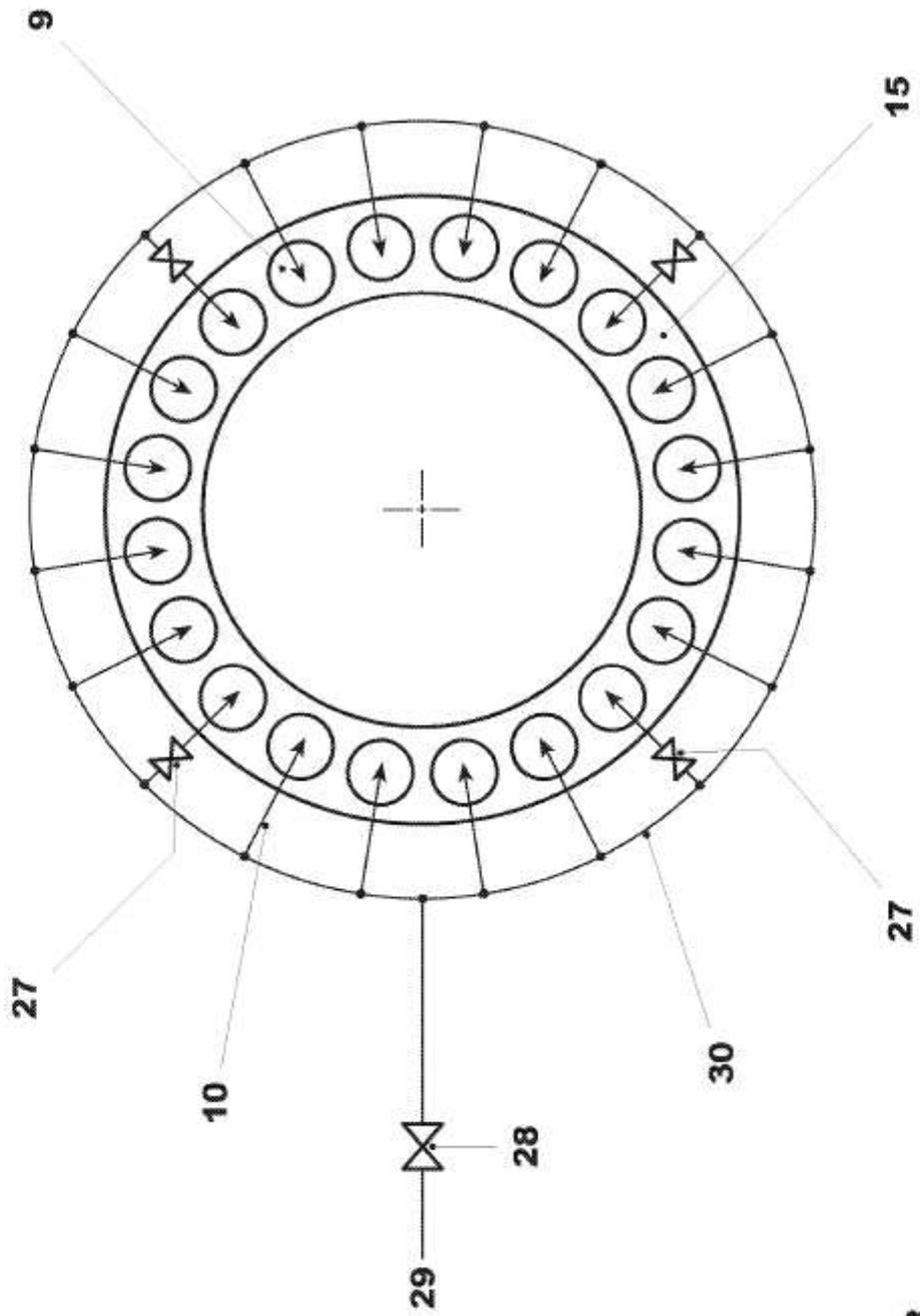


FIG. 3

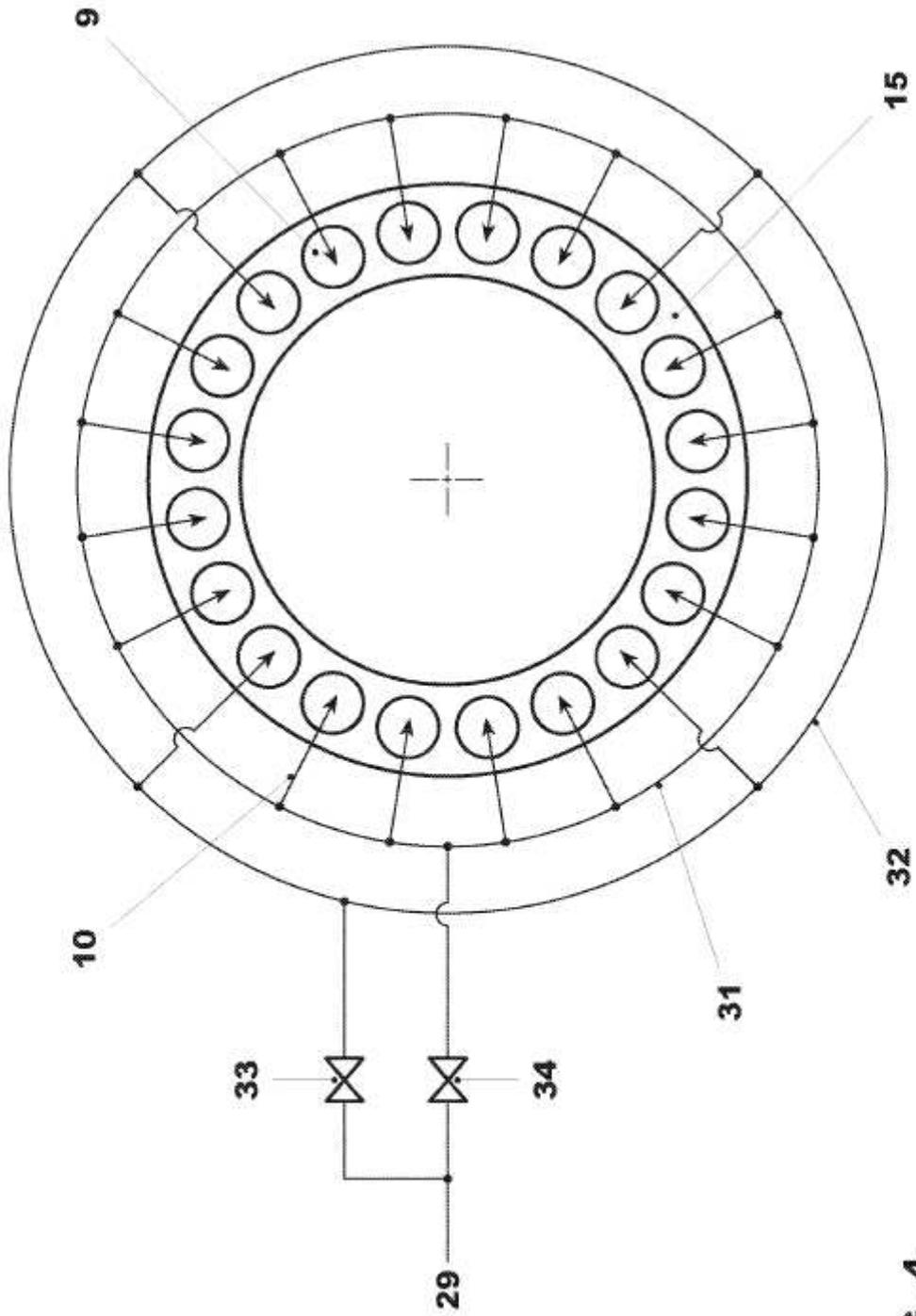


FIG. 4

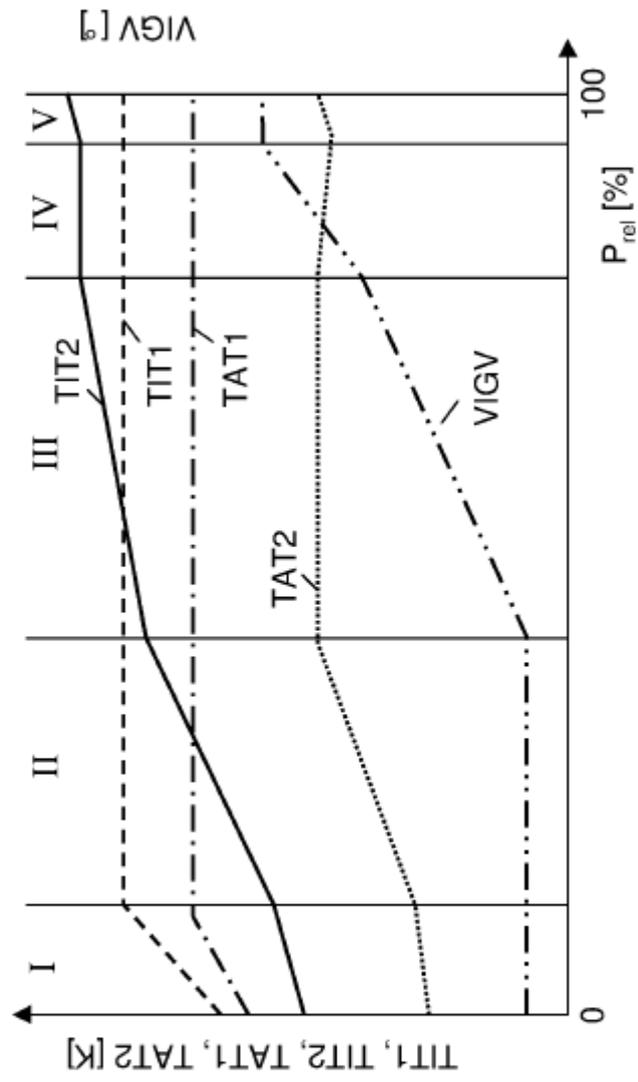


Fig. 5

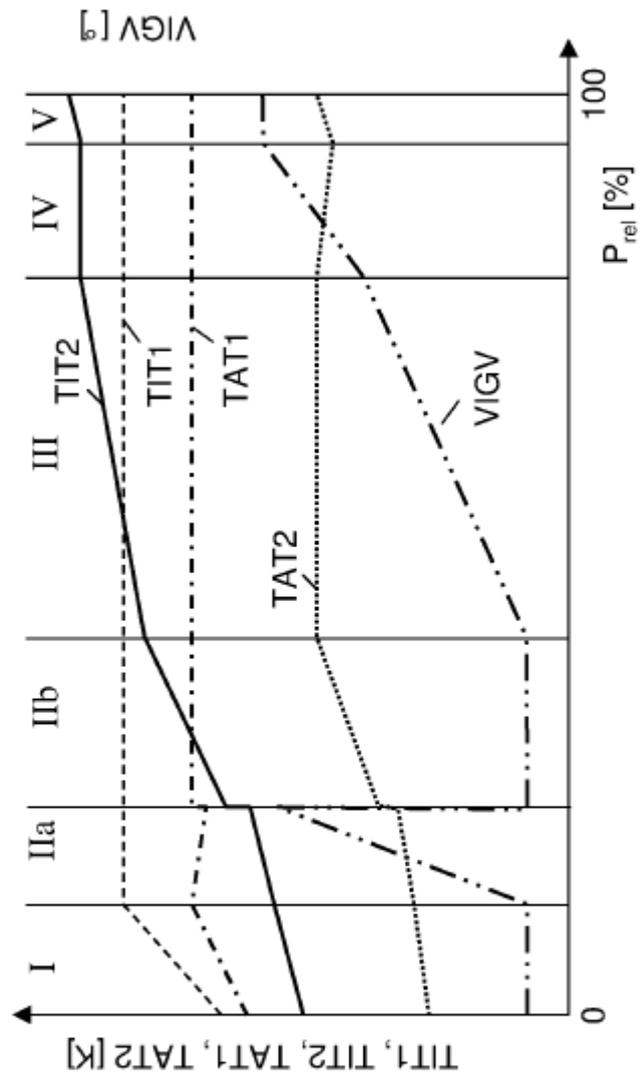


Fig. 6

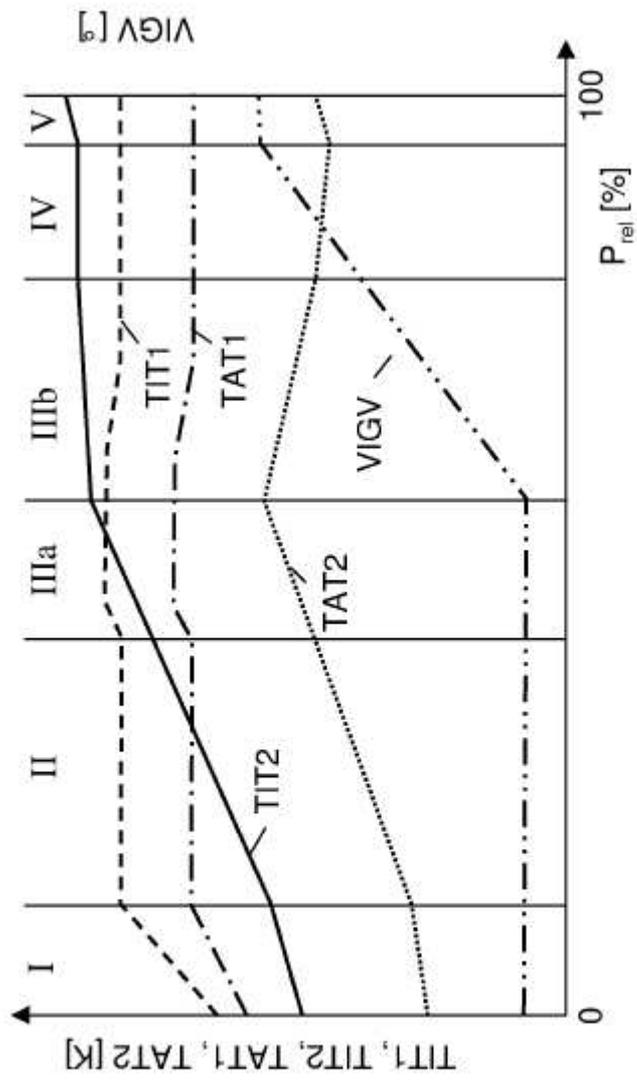


Fig. 7

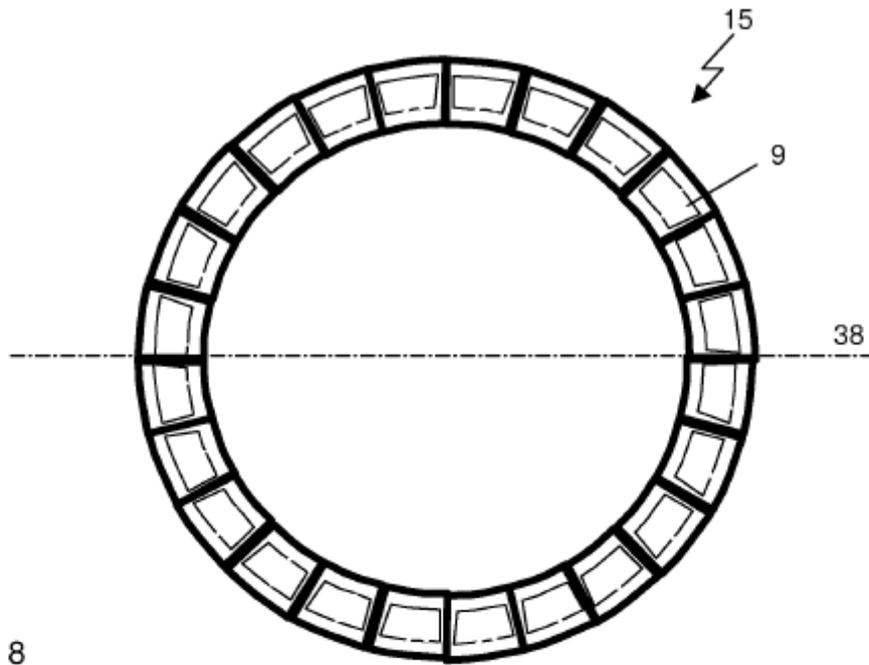


Fig. 8

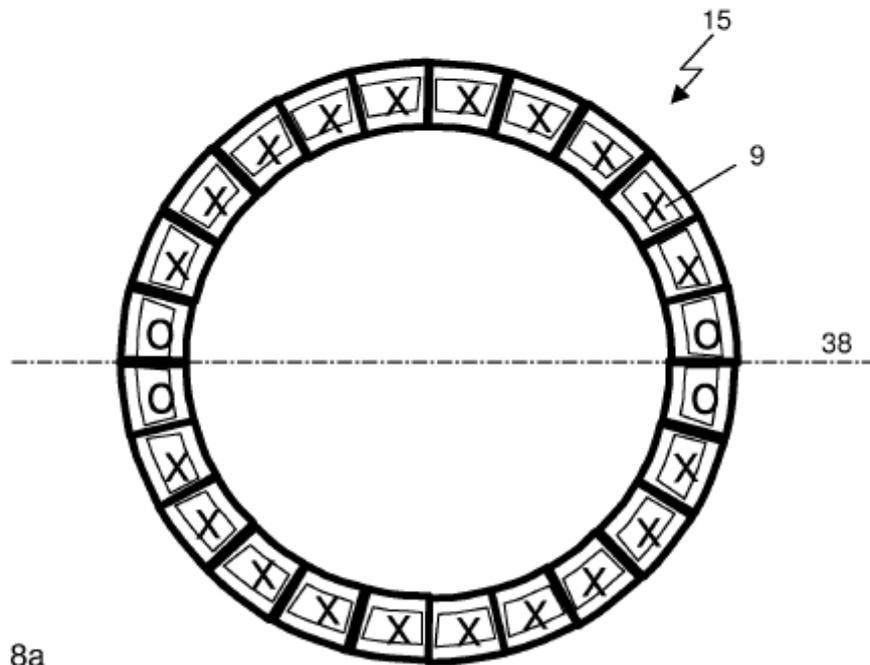


Fig. 8a

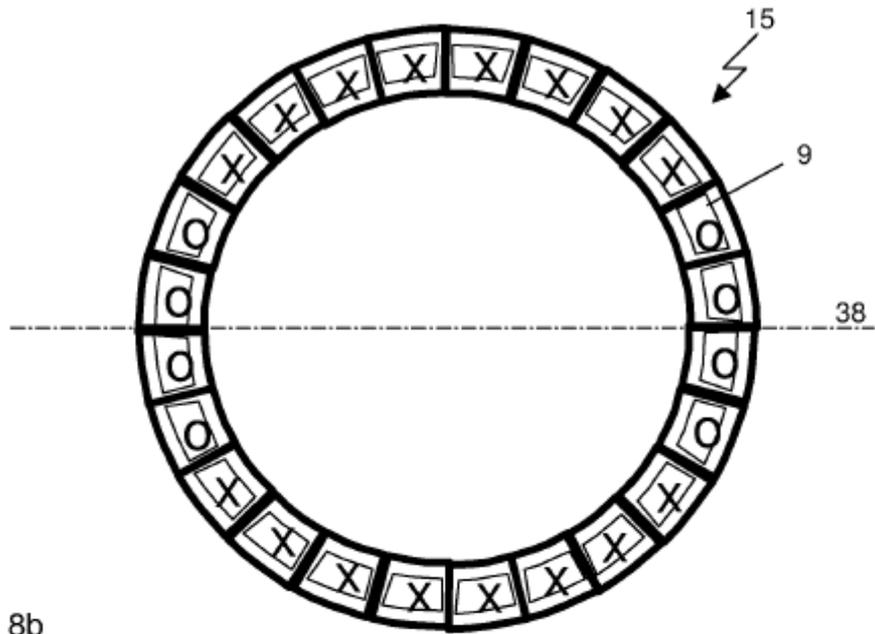


Fig. 8b

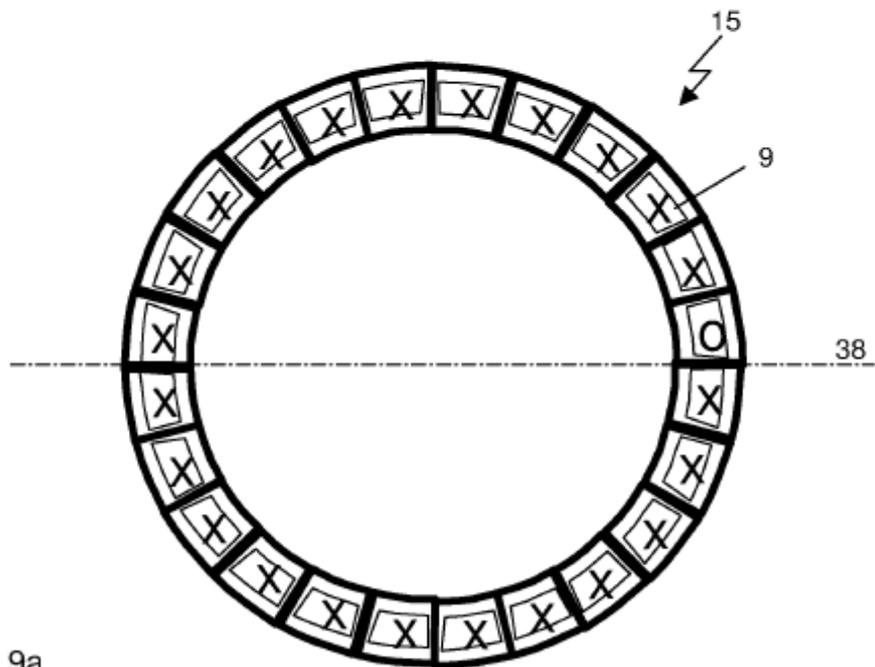


Fig. 9a

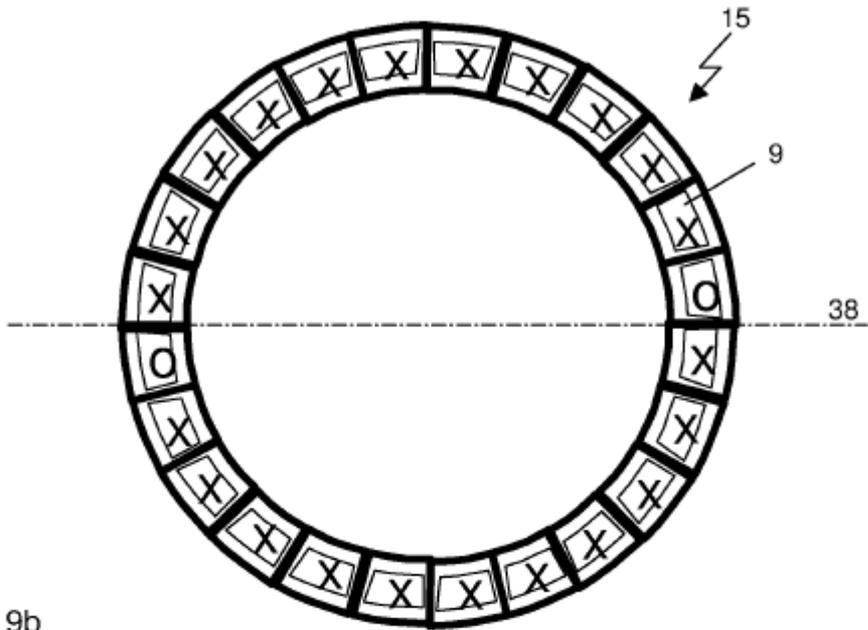


Fig. 9b

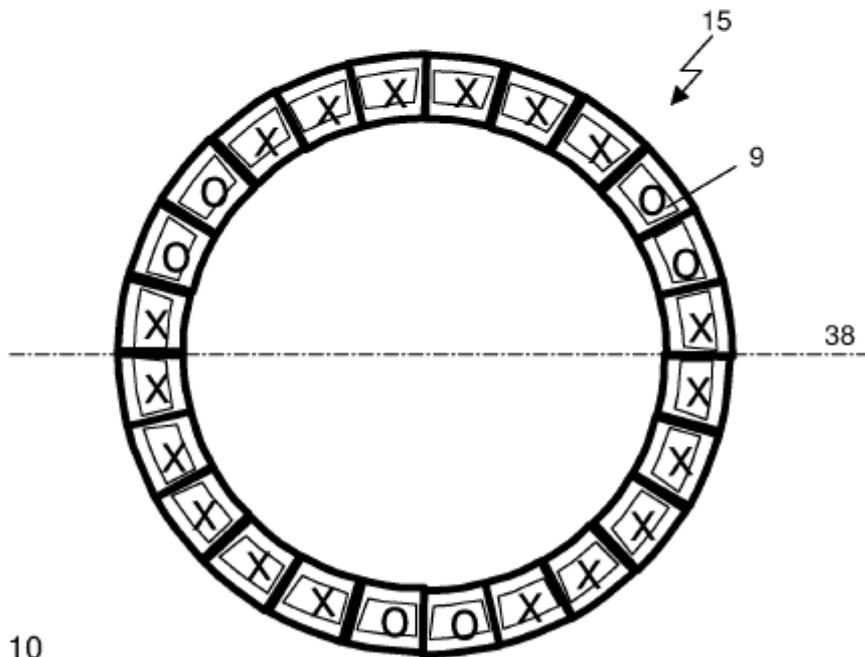


Fig. 10

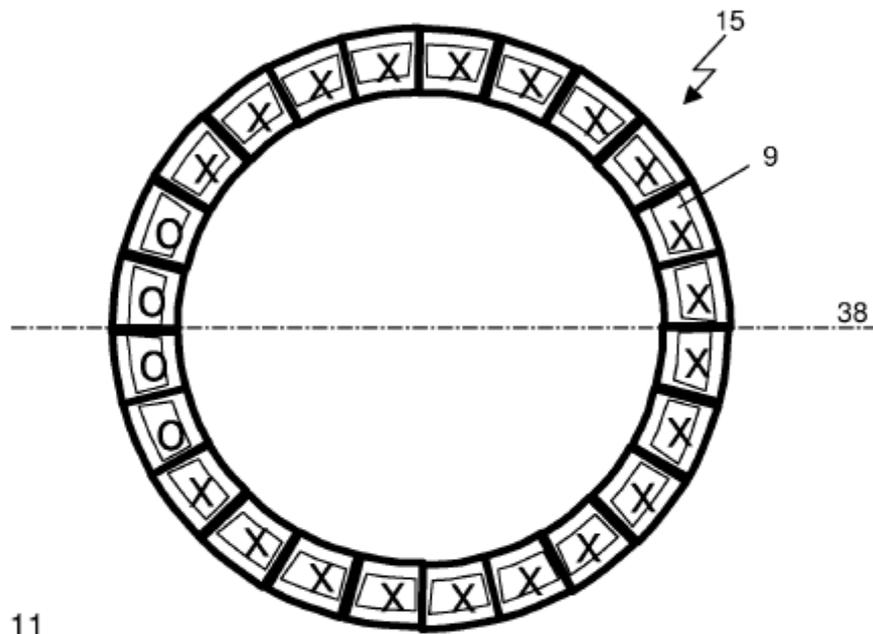


Fig. 11