

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 612 742**

51 Int. Cl.:

F01K 13/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.01.2009 PCT/EP2009/050205**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.07.2009 WO09087210**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.01.2009 E 09701263 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.11.2016 EP 2232018**

54 Título: **Central eléctrica con captura y compresión de CO2**

30 Prioridad:

11.01.2008 EP 08100390

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

18.05.2017

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC TECHNOLOGY GMBH
(100.0%)**

**Brown Boveri Strasse 7
5400 Baden, CH**

72 Inventor/es:

**BLATTER, RICHARD;
DRENIK, OLIVIER y
NAGEL, HOLGER**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 612 742 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

Central eléctrica con captura y compresión de CO₂

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a centrales eléctricas con captura y compresión de CO₂, así como a su funcionamiento durante la respuesta en frecuencia.

Antecedentes de la invención

10 Durante los últimos años se ha hecho patente que la generación de gases de efecto invernadero deriva en un calentamiento global y que un aumento adicional de la producción de gases de efecto invernadero acelerará aún más el calentamiento global. Como el CO₂ (dióxido de carbono) se identifica como un gas de efecto invernadero principal, CCS (captura y almacenamiento de carbono) es considerado como uno de los potenciales medios más importantes para reducir la liberación de gases de efecto invernadero a la atmósfera y para controlar el calentamiento global. En este contexto CCS se define como el proceso de captura, compresión, transporte y almacenamiento de CO₂. Captura se define como un proceso en el que se elimina CO₂ ya sea de los gases de combustión después de la combustión de un combustible a base de carbono o la eliminación y el procesamiento de 15 carbono antes de la combustión. La regeneración de cualesquiera absorbentes, adsorbentes u otros medios para eliminar CO₂ de un gas de combustión o flujo de gas combustible se considera parte del proceso de captura. Existen varios enfoques posibles para la captura de CO₂ en centrales eléctricas, por ejemplo, en centrales termoeléctricas a carbón, centrales eléctricas de turbina o de ciclo combinado. Las principales tecnologías objeto de debate para la captura de CO₂ se denominan captura precombustión, oxicomustión, combustión por bucle químico y captura 20 postcombustión.

25 La captura de carbono antes de la combustión implica la eliminación de todo o de parte del contenido de carbono de un combustible antes de quemarlo. Para el gas natural, esto se hace normalmente reformándolo con vapor, seguido de una electrolisis para producir CO₂ e hidrógeno. El CO₂ puede ser capturado y eliminado de la mezcla de gas resultante. El hidrógeno puede utilizarse después para producir energía útil. El proceso también se conoce como gas de síntesis o enfoque de sintegas. El mismo enfoque puede utilizarse para el carbón o cualquier combustible fósil. En primer lugar, el combustible se gasifica y a continuación se trata de la misma manera que el gas natural. Las aplicaciones de este enfoque se pueden contemplar en combinación con IGCC (ciclo combinado de gasificación integrada).

30 La oxicomustión (también conocida como combustión de combustible oxigenado o combustión de oxígeno) es una tecnología que quema carbón u otro combustible fósil en una mezcla de oxígeno y CO₂ recirculado en lugar de aire. Produce un gas de combustión de CO₂ concentrado y vapor. A partir de este, el CO₂ puede separarse simplemente mediante la condensación del vapor de agua, que es el segundo producto de la reacción de combustión.

35 El bucle químico implica el uso de un óxido metálico como un portador de oxígeno, típicamente un óxido metálico, que transfiere oxígeno del aire de combustión al combustible. Los productos de la combustión son CO₂, óxido metálico reducido y vapor. Después de la condensación del vapor de agua, la corriente de CO₂ puede ser comprimida para su transporte y almacenamiento.

40 La tecnología CCS, actualmente considerada la más cercana a la aplicación industrial a gran escala, es la captura posterior a la combustión combinada con compresión, transporte y almacenamiento. En la captura posterior a la combustión, el CO₂ puede ser eliminado de un gas de combustión. El gas de combustión restante puede ser liberado a la atmósfera y el CO₂ es comprimido para su transporte y almacenamiento. Hay varias tecnologías conocidas para eliminar CO₂ de un gas de combustión tales como absorción, adsorción, separación por membrana y separación criogénica.

45 Todas las tecnologías conocidas para la captura y compresión de CO₂ pueden requerir cantidades relativamente grandes de energía. Hay muchas publicaciones sobre la optimización de los diferentes procesos y la reducción de la penalización de electricidad y eficiencia al integrar estos procesos en una central eléctrica.

Para CCS con captura posterior a la combustión, la captura de CO₂ y la compresión de CO₂ para su posterior procesamiento, es decir, transporte y almacenamiento, son las dos principales razones para una disminución en la reducción de producción eléctrica neta de una central con respecto a una central convencional sin CCS.

50 El documento EP1688173 proporciona un ejemplo para una captura posterior a la combustión y un método para la reducción de las penalizaciones de producción eléctrica debidas a la absorción de CO₂, respectivamente la regeneración del líquido de absorción. Aquí se propone extraer vapor para la regeneración del absorbente desde diferentes etapas de la turbina de vapor de una central eléctrica para minimizar la reducción en la producción de la turbina.

En el mismo contexto, el documento WO2007/073201 sugiere utilizar el calor de compresión que resulta de la compresión de la corriente de CO₂ para la regeneración del absorbente.

5 Estos métodos tienen por objeto reducir los requisitos de electricidad de equipos específicos de captura de CO₂, sin embargo, el uso del método de captura de CO₂ propuesto siempre dará como resultado una reducción significativa de la capacidad de la central, es decir, la electricidad máxima que puede suministrar una central a la red.

10 Un primer intento de reducir el impacto de la captura de CO₂ en el rendimiento de la central mediante el aumento de la flexibilidad de la central se describe en el documento EP0537593. El documento EP0537593 describe una central eléctrica que utiliza un absorbente para la captura de CO₂ de los gases de combustión, donde el regenerador puede desconectarse durante periodos de tiempo de gran demanda de electricidad y donde la captura de CO₂ continúa mediante el uso de absorbente almacenado en un tanque de absorbente durante estos periodos de tiempo. El documento EP0537593 describe un modo de conexión / desconexión sencillo de un consumidor de electricidad del equipo de captura de CO₂. Esto añade poca flexibilidad operacional a un costo relativamente alto.

15 La respuesta en frecuencia es un tema importante para el funcionamiento de la central eléctrica y también ha de tenerse en cuenta para centrales con captura y compresión de CO₂. El documento EP0858153 describe los principios básicos de respuesta en frecuencia, en los que una red tiene una frecuencia de red que fluctúa alrededor de una frecuencia nominal. La producción eléctrica de dicha central eléctrica es controlada como una función de una frecuencia de control, de tal manera que la producción eléctrica aumenta cuando la frecuencia de control disminuye por debajo de dicha frecuencia nominal, y por otro lado, la producción eléctrica disminuye cuando aumenta la frecuencia de control por encima de dicha frecuencia nominal. La frecuencia de red se mide continuamente. El documento EP0858153 describe un método favorable para calcular la media de la frecuencia de red y para utilizar la frecuencia de red medida como la frecuencia de control, sin embargo se limita a los mecanismos de control convencionales de un control de producción eléctrica de turbina de gas. Para permitir una respuesta a eventos de frecuencia insuficiente, la central normalmente tiene que funcionar a carga parcial.

25 El documento US2003/0131582 describe una central eléctrica alimentada por sintegas de carbón. El sintegas producido dentro de un gasificador es quemado dentro de un generador de gas junto con oxígeno procedente de una central de separación de aire. El dióxido de carbono de los gases de combustión se comprime para su captura sin que se libere a la atmósfera. El documento US6196000 describe una central eléctrica en la que se quema combustible a un nivel de presión elevado en un sistema alimentado por oxígeno semicerrado. Los productos de combustión son vapor y dióxido de carbono.

30 Breve descripción de la invención

El objeto principal de la presente invención es optimizar el método de funcionamiento de respuesta en frecuencia para centrales eléctricas con captura y compresión de CO₂. Otro objeto de la invención es una central eléctrica con un sistema de captura y compresión de CO₂ diseñado para funcionar de acuerdo con el método de funcionamiento optimizado.

35 Un objeto es aprovechar la CCS (captura y almacenamiento de carbono) para aumentar la flexibilidad de la central y, por tanto, aumentar su competitividad con respecto a las centrales convencionales sin captura de CO₂. De acuerdo con la invención, el consumo eléctrico de un sistema de captura de CO₂ se utiliza como parámetro de control para la producción eléctrica neta de una central eléctrica durante un evento de frecuencia insuficiente. En este contexto el consumo de electricidad eléctrica, el consumo de electricidad mecánica, tal como por ejemplo en accionamientos directos de compresor de CO₂, así como el consumo de vapor a presión, que de otro modo puede convertirse en energía eléctrica en una turbina de vapor, son considerados consumo de electricidad del sistema de captura. Un evento de frecuencia insuficiente, que a menudo también se denomina excursión de frecuencia insuficiente o evento de baja frecuencia, es una reducción en la frecuencia de una red eléctrica por debajo de la frecuencia nominal. En particular, la capacidad de respuesta en frecuencia de la central se mejora mediante el uso de variaciones rápidas de consumo de electricidad de equipo de captura y compresión de CO₂ para modificar la energía eléctrica que puede suministrar la central a la red eléctrica durante un evento de frecuencia insuficiente.

50 Lo esencial de la invención es un método de funcionamiento de central, en el que el consumo de electricidad del sistema de captura de CO₂ se reduce o el sistema se detiene para aumentar la producción neta de la central como reacción a una caída de la frecuencia de la red. En el contexto de esta invención, un sistema de captura de CO₂ se define como la unidad de captura de CO₂ completa más la unidad de compresión con todos sus auxiliares. Este método de funcionamiento proporciona flexibilidad adicional además del control existente de la central. Debido a la integración del sistema de CO₂ en la central eléctrica con este método, la producción neta de la central se puede incrementar a un ritmo muy rápido durante un evento de frecuencia insuficiente y no se requiere ninguna operación de carga parcial para asegurar la capacidad eléctrica neta para la respuesta en frecuencia. Se pueden realizar variaciones eléctricas a alta velocidad mediante gradientes rápidos en el consumo de electricidad del sistema de captura de CO₂. Por tanto, la central puede funcionar con una eficiencia óptima en o cerca de la carga base. Esta invención se realiza sin ningún coste adicional o con muy poco coste adicional.

- 5 En una central convencional, la producción neta de la central puede aumentarse en respuesta a un evento de frecuencia insuficiente aumentando la producción eléctrica bruta de una central y disminuyendo el consumo de electricidad auxiliar o parásita de la central y cualquiera de sus sistemas. El aumento de la producción eléctrica bruta se limita a la carga base de la central. Además, la velocidad a la que puede aumentar la electricidad bruta de una central es limitada debido a esfuerzos térmicos que se producen durante los transitorios y la inercia de la central. En una central convencional, las posibilidades de disminuir el consumo de electricidad parásita de cualquier sistema o auxiliares son también muy limitadas. Normalmente, los mayores consumidores de una central eléctrica de vapor o de ciclo combinado son las bombas de agua de alimentación, las bombas de agua de refrigeración y los equipos de refrigeración, que no se pueden parar durante el funcionamiento continuo.
- 10 El gran consumo de electricidad de la captura y compresión de CO₂, que no son necesarios para un funcionamiento continuo seguro de la central, cambia la situación y ofrece nuevas posibilidades de cambios rápidos de transitorios en la electricidad neta sin tener limitaciones en la central. En efecto, el consumo de electricidad del sistema de captura de CO₂ puede utilizarse como parámetro de control para la producción eléctrica neta de la central. En particular, el consumo de electricidad para la captura y compresión de CO₂ puede cambiarse y esta electricidad puede utilizarse para satisfacer los requisitos de respuesta en frecuencia de una red eléctrica. Además, se pueden evitar o reducir los transitorios de carga rápida que se consumen durante la vida útil de la central en respuesta a eventos de frecuencia insuficiente con este nuevo concepto, ya que los cambios en la producción eléctrica neta se realizan mediante un control del consumo de electricidad del sistema de captura de CO₂.
- 15 Otra ventaja de la respuesta en frecuencia con captura y compresión de CO₂ es la posibilidad de evitar un funcionamiento reducido de la central, lo que podría ser requerido por la red si no hay disponible más capacidad de reserva de frecuencia. Dependiendo de la red, podría exigirse que algunas centrales funcionen a carga parcial, por ejemplo 90 % de carga para mantener una reserva de electricidad para eventos de frecuencia insuficiente. El funcionamiento al 90 % puede derivar en una eficiencia reducida y aumentar el costo de capital y de funcionamiento por MWh producido. En este caso, es especialmente favorable que la presente invención permita que una central funcione en o cerca de la carga base con una eficiencia óptima y tenga todavía una reserva de electricidad inherente para eventos de frecuencia insuficiente, ya que el consumo de electricidad del sistema de captura de CO₂ puede desconectarse y utilizarse para la respuesta en frecuencia.
- 20 En un primer enfoque del uso del sistema de captura de CO₂ como parámetro de control para la producción eléctrica neta, los equipos de captura de CO₂ y de compresión de CO₂ o sus principales consumidores de electricidad pueden simplemente pararse durante un evento de frecuencia insuficiente. La separación de CO₂, independientemente de la tecnología elegida, se detiene y la central funciona como una central convencional con emisiones de CO₂ a los gases de combustión. De la misma manera, no se requiere compresión de CO₂ con su demanda de electricidad parásita.
- 25 Además de simplemente detener o incluso activar la unidad de captura y compresión de CO₂, se propone una operación de descarga a capacidad reducida o de carga parcial del equipo de captura y compresión de CO₂ para una operación de respuesta en frecuencia. Se puede lograr una capacidad reducida al hacer funcionar al menos uno de los componentes del sistema de captura de CO₂ por debajo de la capacidad requerida para alcanzar la tasa nominal de captura de CO₂. Como consecuencia de ello, la tasa de captura se reducirá durante la respuesta en frecuencia.
- 30 Dado que los eventos de frecuencia insuficiente ocurren muy rara vez y durante un corto período de tiempo, la cantidad de CO₂ acumulada no capturada debido a este modo de funcionamiento es típicamente pequeña y puede ser subestimada. Dependiendo de la red, los eventos de frecuencia insuficiente, que derivarán en tal emisión de CO₂ a corto plazo, sólo se producirán una vez en varios años y durarán sólo unos minutos o un par de docenas de minutos.
- 35 Sin embargo, un funcionamiento flexible del equipo de captura y de la unidad de compresión aumentará la competitividad de las centrales eléctricas con captura y compresión de CO₂. Por tanto, permitirá la introducción más temprana de este tipo de centrales, no sólo como meros proyectos piloto de central, en un mercado competitivo de electricidad y, en consecuencia, la reducción de las emisiones de CO₂.
- 40 A continuación, se analiza un método para el soporte de frecuencia con captura y compresión de CO₂ usando el ejemplo de absorción de CO₂. Este método y todas sus variantes descritas a continuación son igualmente aplicables para un método de captura de CO₂ que consiste en la adsorción de CO₂, la regeneración del adsorbente y la compresión de CO₂ capturado. La operación de respuesta en frecuencia utilizando el mismo principio es concebible para todos los métodos de captura de CO₂.
- 45 La operación de un proceso de captura y compresión de CO₂, que consiste en la absorción de CO₂, la regeneración del adsorbente y la compresión del CO₂ capturado, ofrece tres opciones principales para aumentar la flexibilidad del funcionamiento de la central. Pueden realizarse una a una o todas al mismo tiempo. Estas son:
- 55 1. Apagado o funcionamiento con una capacidad reducida de una unidad de compresión de CO₂.

2. Apagado o funcionamiento con una capacidad reducida de una unidad de regeneración.

3. Apagado o funcionamiento con una capacidad reducida de una unidad de absorción

5 Si bien la primera opción deriva ya en una reducción significativa del consumo de electricidad parásita, también derivará en una liberación de CO₂ a la atmósfera en un período de tiempo muy corto ya que no se pueden almacenar de manera económica grandes volúmenes de CO₂ sin comprimir. Por tanto, parte de o todo el CO₂ capturado puede liberarse, por ejemplo, mediante una derivación de la unidad de compresión de CO₂ durante un evento de frecuencia insuficiente. Para una eliminación segura del CO₂ capturado, éste puede mezclarse, por ejemplo, con los gases de combustión aguas abajo de la unidad de absorción de CO₂ y liberarse a través de la chimenea de la central eléctrica.

10 Otra reducción significativa del consumo de electricidad parásita puede realizarse mediante la segunda opción. La regeneración se efectúa típicamente por "recalentamiento" del absorbente, lo que significa calentar el absorbente con vapor para liberar el CO₂. En consecuencia, el vapor ya no está disponible para la producción eléctrica. Una vez que la regeneración se detiene durante la operación de respuesta en frecuencia, el vapor está disponible para la producción eléctrica.

15 Una tercera opción, en la que también se detiene el proceso de absorción o funciona con una capacidad reducida, deriva en otra reducción de consumo de electricidad auxiliar. Esta reducción de consumo de electricidad es significativamente menor que el ahorro conseguido en las dos primeras opciones. Dependiendo del diseño de la unidad de absorción, una parte de o todo el gas de combustión se desvía alrededor del equipo de captura durante este modo de funcionamiento.

20 El funcionamiento del propio proceso de absorción no tiene ningún sentido sin medidas adicionales, ya que el absorbente en las disposiciones convencionales se saturará rápidamente y no podrá capturar más CO₂. Sin embargo, dependiendo del tamaño de los tanques de almacenamiento de absorbente, la captura de CO₂ sin regeneración y la compresión de CO₂ son posibles durante un período de tiempo limitado.

25 Como la activación del método de captura y compresión de CO₂ es a menudo mucho más rápida y segura que una descarga de los sistemas, se propone una combinación de una activación de al menos una parte del sistema con el control de carga de central. Si se activa al menos una parte del sistema, el aumento resultante de producción eléctrica neta puede ser mayor que el requerido para la respuesta en frecuencia. En este caso, la producción eléctrica bruta de la central puede reducirse usando un control de central convencional para asegurar la producción eléctrica neta correcta requerida por la red.

30 Además de la parada de componentes del sistema de captura de CO₂, es posible su funcionamiento con carga parcial. Por ejemplo, el flujo másico de la unidad de compresión de CO₂ puede reducirse mediante medios de control tales como álabes guía de entrada. En el caso de una unidad de compresión que consista en dos o más trenes de compresores paralelos, la parada de al menos un compresor obviamente también derivaría en una reducción del consumo de electricidad de la unidad de compresión de CO₂. En el caso de dos trenes de compresores paralelos que funcionan a plena capacidad, la parada de un tren de compresores derivaría en una

35 reducción del consumo de electricidad en un 50 %, aunque también implicaría que el 50 % del CO₂ capturado no se podría comprimir y normalmente sería derivado a la chimenea. Alternativamente, la tasa de resorción puede reducirse. Esto puede realizarse, por ejemplo, reduciendo el flujo de absorbente a través de la unidad de regeneración y derivando el flujo restante y mezclando los dos flujos antes de que entren en la unidad de absorción.

40 Como sólo una parte del flujo pasa a través de la unidad de regeneración, el vapor requerido para la regeneración se reduce y el vapor sobrante se puede usar para producir electricidad. Como consecuencia de la mezcla regenerada con absorbente no regenerado, se reduce la capacidad de la mezcla resultante para absorber CO₂ y se captura un porcentaje más bajo de CO₂ de los gases de combustión y se libera menos CO₂ para su compresión en la unidad de regeneración. Como no resulta muy económico capturar primero el CO₂ y luego derivarlo, se propone una

45 reducción simultánea de la capacidad de todos los componentes de los sistemas de captura.

Otra posibilidad de utilizar la unidad de absorción sin regeneración o sin regeneración a capacidad reducida de absorbente durante un evento de frecuencia insuficiente es utilizar absorbente almacenado para CO₂ durante este tiempo.

50 Si se produce una situación crítica de red, una señal procedente del centro de distribución podría ya iniciar la reducción descrita anteriormente en el consumo de electricidad del sistema de captura de CO₂ antes de que la frecuencia descienda por debajo de un umbral crítico y por tanto ayudar a estabilizar la red.

Son posibles diferentes métodos de control para utilizar el sistema de captura de CO₂. Un ejemplo es un control en bucle abierto de los diferentes componentes del sistema de captura de CO₂. Esto es particularmente adecuado en el caso de que sólo se utilice el control de marcha / parada de los diferentes componentes.

El control en bucle abierto también es posible para un proceso de funcionamiento más sofisticado en el que se realiza un control continuo del consumo de electricidad del sistema de captura de CO₂, es decir, sin etapas bruscas en la producción eléctrica debido a la conmutación marcha / parada de diferentes componentes. En este ejemplo, el control continuo del consumo de electricidad del sistema de captura de CO₂ se realiza mediante la variación de consumo de electricidad de un componente en un tiempo, mientras que los componentes restantes funcionan a carga constante. Sin embargo, el control en bucle cerrado puede ser ventajoso, por ejemplo, para el funcionamiento transitorio o el funcionamiento en condiciones extremas cambiantes.

En caso de que se prevea un funcionamiento a capacidad reducida de los diferentes componentes, un control en bucle cerrado permitirá una mejor optimización de la distribución de la carga. Esto es especialmente ventajoso si se implementa un control de la tasa de captura de CO₂. En este caso, el consumo de electricidad del sistema de captura de CO₂ no se cambia mediante el control de un solo componente en un tiempo mientras que los componentes restantes funcionan a carga constante. La reducción de la capacidad de los diferentes componentes tiene que ser coordinada. Para ello, resulta ventajosa una retroalimentación de las condiciones de funcionamiento actuales de cada componente y es preferible un control en bucle cerrado.

Otro objeto de esta invención es una central eléctrica para la combustión de combustibles a base de carbono con un sistema de captura de CO₂, que está diseñado para funcionar de acuerdo con el método de respuesta en frecuencia descrito anteriormente. El sistema de captura de CO₂ correspondiente permite una descarga rápida del sistema.

Una realización de la invención es una central eléctrica que quema un combustible a base de carbono, que tiene al menos una corriente de gas de combustión. Una central de acuerdo con la presente invención incluye típicamente, además de los componentes convencionales conocidos para la generación de electricidad, una unidad de captura de CO₂ para eliminar CO₂ de la corriente de gases de combustión y una unidad de compresión de CO₂. La unidad de captura incluye típicamente un equipo de captura en el que se elimina el CO₂ del gas de combustión, una unidad de regeneración en la que el CO₂ se libera del absorbente, adsorbente u otros medios para fijar el CO₂ del gas de combustión y un sistema de tratamiento para tratar el CO₂ para su transporte. La unidad de compresión consta de al menos un compresor para la compresión de CO₂. Típicamente, la unidad de compresión consta de al menos un refrigerador o intercambiador de calor para refrigerar de nuevo CO₂ comprimido durante y / o después de la compresión.

Para permitir un funcionamiento de acuerdo con el concepto de funcionamiento propuesto, una turbina de vapor de la central está diseñada para convertir el flujo máximo de vapor en energía, lo cual puede producir la central con el sistema de captura de CO₂ parada.

En otra realización, el generador y los sistemas eléctricos están diseñados para convertir la energía máxima, que se produce con el sistema de captura de CO₂ parado, en energía eléctrica y para transmitir esta energía eléctrica a la red.

Con el fin de facilitar el funcionamiento anteriormente descrito de tal central, ésta puede comprender además una derivación del compresor de CO₂, que puede ventilar con seguridad el CO₂ y, por ejemplo, dirigirlo a la chimenea de gases de combustión aguas abajo del dispositivo de captura de CO₂.

En otra realización, la unidad de captura de CO₂ está diseñada para soportar los gases de combustión incluso aunque no esté en funcionamiento, por ejemplo una unidad de absorción que está diseñada para funcionar en seco.

Alternativamente, se puede prever una derivación de la unidad de captura de CO₂, la cual permite utilizar la central independientemente de la unidad de captura de CO₂. Esta derivación también puede ser ventajosa para poner en marcha o parar la central, así como para que funcione la central durante el mantenimiento del sistema de captura de CO₂.

En otra realización, se proporciona un tanque de almacenamiento dimensionado para suministrar absorbente de CO₂ durante un periodo de tiempo definido, que permite la captura continua de CO₂ incluso aunque la compresión y reabsorción de CO₂ estén desactivadas durante un evento de frecuencia insuficiente.

Como el sistema de captura de CO₂ es un sistema complejo, se requiere un sistema de control adecuado, como se describe para los diferentes métodos de funcionamiento anteriores. Este sistema de control depende de y afecta al control de electricidad de la central. Dado que el control de electricidad es una parte esencial del sistema de control de la central, resulta ventajoso integrar el control del sistema de captura de CO₂ en el sistema de control de la central o coordinar el control del sistema de captura de CO₂ mediante el sistema de control de la central y conectar todas las líneas de datos pertinentes al sistema de control de la central. Si la central se compone de varias unidades y el sistema de control de la central tiene una estructura jerárquica que consta de un controlador de central y controladores maestros de unidad, resulta ventajoso realizar tal integración o coordinación del control del sistema de captura de CO₂ en cada controlador maestro de unidades.

Alternativamente, el sistema de captura de CO₂ tiene su propio controlador, el cual está conectado al sistema de control de la central a través de un enlace de datos directo. El sistema de control de la central o el controlador maestro de unidad tiene que enviar al menos una señal al controlador de la central de captura de CO₂. Esta señal puede ser, por ejemplo, una señal ordenada de consumo de electricidad o una tasa de captura ordenada.

- 5 En los casos anteriormente descritos, el controlador de captura de CO₂ no es necesariamente un dispositivo de hardware, sino que puede descentralizarse en controladores de unidad y de grupo coordinados por una o más unidades de control.

En caso de que el control del sistema de captura de CO₂ sea coordinado por el sistema de control de la central, la unidad de control de alto nivel puede enviar, por ejemplo, el flujo másico total ordenado al controlador de grupo de la unidad de compresión de CO₂ y recibir el flujo másico total real como una entrada de este controlador de grupo. La unidad de compresión en este ejemplo contiene varios trenes de compresores. Cada uno de los trenes de compresores tiene su propio controlador de dispositivo. El controlador de grupo tiene un algoritmo para decidir cómo distribuir mejor el flujo máximo total de compresión de CO₂ ordenado en los diferentes trenes de compresores y envía un flujo másico ordenado a cada controlador de dispositivo de trenes de compresores individual. A cambio, el controlador de grupo obtiene el flujo máximo real de compresión de CO₂ de cada tren de compresores. Cada controlador de dispositivo de tren de compresores puede trabajar otra vez con controladores dependientes en niveles más bajos.

Se puede aplicar el mismo tipo de jerarquía al control de todos los componentes del sistema de captura de CO₂.

Breve descripción de los dibujos

- 20 La invención, su naturaleza y sus ventajas, se describirán con más detalle a continuación con la ayuda de los dibujos que se acompañan. Con referencia a los dibujos.

La figura 1 es una vista esquemática de una central eléctrica con captura y compresión de CO₂.

La figura 2 muestra esquemáticamente variaciones de producción eléctrica para una central eléctrica con un método de funcionamiento flexible para la captura y compresión de CO₂ durante un evento de respuesta en frecuencia insuficiente.

La figura 3 muestra esquemáticamente variaciones de producción eléctrica para una central eléctrica con un método de funcionamiento flexible para la captura y compresión de CO₂ durante un evento de respuesta en frecuencia insuficiente, combinado con una corrección de la producción bruta de la central.

La figura 4 muestra esquemáticamente variaciones de producción eléctrica para una central eléctrica con un funcionamiento flexible para la captura y compresión de CO₂ durante un evento de respuesta en frecuencia insuficiente, en el que los requerimientos adicionales de electricidad neta de la red se satisfacen mediante activaciones de los sistemas de captura y compresión de CO₂.

Descripción detallada de los dibujos y de la invención

35 Una central eléctrica para la ejecución del método propuesto consiste principalmente en una central eléctrica convencional 1 más una unidad de captura de CO₂ 2 y una unidad de compresión de CO₂ 9.

Una disposición típica con captura posterior a la combustión se muestra en la figura 1. La central eléctrica 1 se alimenta de aire 3 y combustible 4. Sus principales producciones son la energía eléctrica bruta A de la central y gas de combustión 15. Además, se extrae vapor de la central 1 y se suministra a través del conducto de vapor 13 y la válvula de control de vapor 14 a la unidad de captura de CO₂ 2. El vapor es devuelto a la central 1 a temperatura reducida o condensado a través del conducto de retorno 6 donde se vuelve a introducir en el ciclo de vapor. Una unidad de captura de CO₂ 2 consiste típicamente en una unidad de absorción de CO₂, en la que se elimina CO₂ del gas de combustión mediante un absorbente, y una unidad de regeneración, en la que el CO₂ se libera del absorbente. Dependiendo de la temperatura del gas de combustión y de la gama de temperaturas de funcionamiento de la unidad de absorción de CO₂, también puede ser necesario un refrigerador de gases de combustión.

45 El gas de combustión agotado en CO₂ 16 es liberado de la unidad de captura de CO₂ a una chimenea. En caso de que la unidad de captura de CO₂ 2 no esté funcionando, puede ser derivada a través de la derivación de gases de combustión 11.

En funcionamiento normal, el CO₂ capturado es comprimido en el compresor de CO₂ 9, y el CO₂ comprimido 10 será enviado para su almacenamiento o tratamiento posterior.

50 Se necesita energía eléctrica 7 para accionar auxiliares de la unidad de captura de CO₂ 2 y se utiliza energía eléctrica 8 para accionar la unidad de compresión de CO₂ 9. La producción eléctrica neta D a la red es por tanto la

producción bruta de la central A reducida por la energía eléctrica para auxiliares de central 17, reducida por la energía eléctrica para la unidad de compresión de CO₂ 8, y por la energía eléctrica para la unidad de captura de CO₂ 7.

5 La unidad de control correspondiente 18, que integra el control de los componentes adicionales necesarios para la captura y compresión de CO₂ con el control de la central eléctrica, se representa también en la figura 1. La unidad de control 18 tiene la al menos una línea de señal de control requerida 22 con la central eléctrica 1 y al menos una línea de señal de control con la unidad de compresión de CO₂ 9. Además, se indica la al menos una línea de señal de control 19 con la unidad de captura de CO₂ 2 que incluye la derivación de gases de combustión 11. En el caso de que la unidad de captura 2 se base en absorción o adsorción, una unidad de regeneración forma parte del sistema y en correspondencia, se necesita al menos una línea de señal 20 a la unidad de regeneración. Si la unidad de captura 2 incluye también al menos un tanque de almacenamiento para una señal de control de adsorbente / absorbente 21, se requieren líneas al sistema de almacenamiento. Para el ejemplo ilustrado, en el que se usa vapor 13 para la regeneración, la válvula de control de vapor 24 se controla a través de las líneas de señal de control 24. Esta línea de control está conectada a la unidad de reabsorción, que forma parte de la unidad de captura 2, o directamente al sistema de control 18.

El control de la electricidad neta D se explica utilizando dos ejemplos en los que se requiere un aumento de la producción eléctrica neta D para la respuesta en frecuencia desde un punto de funcionamiento en el que todos los componentes funcionan a plena capacidad:

20 En un enfoque simple, la producción neta D se aumenta en primer lugar mediante una reducción controlada del consumo de electricidad de la unidad de compresor de CO₂ 9. A medida que se reduce el consumo de electricidad de la unidad de compresor 9, la cantidad de CO₂ liberada de la unidad de regeneración de CO₂ 2 permanece constante. Como consecuencia de ello, parte del flujo de CO₂ tiene que ser desviado de la unidad de compresor de CO₂ a través de la derivación de unidad de compresión de CO₂ 12. Una vez que la unidad de compresor de CO₂ 9 está completamente parada, la producción neta D se incrementa mediante una reducción controlada del consumo de electricidad de la unidad de regeneración de CO₂. Por último, cuando la unidad de regeneración de CO₂ está completamente parada, la producción neta D se incrementa mediante una reducción controlada del consumo de electricidad de la unidad de absorción de CO₂ y, si procede, de un refrigerador de gases de combustión. En caso de que la unidad de absorción de CO₂ 2 no esté diseñada para funcionar en seco, es decir no puede ser expuesta a los gases de combustión 15 sin el flujo de absorbente y / o refrigeración adicional de gases de combustión, la derivación de gases de combustión 11 para la unidad de captura de CO₂ 2 tiene que ser abierta en función de la electricidad disponible para la unidad de absorción.

35 En un enfoque más sofisticado, la producción neta D se incrementa mediante una reducción controlada y coordinada del consumo de electricidad de todos los componentes de la unidad de captura de CO₂ 2 y de la unidad de compresión 9. El objetivo es maximizar la tasa de captura de CO₂ con un consumo de electricidad reducido. Para este fin, la capacidad de todos los componentes se reduce simultáneamente al mismo ritmo y el flujo de CO₂ a través de todos los componentes es el mismo. En consecuencia, el consumo de electricidad varía en función de la tasa de captura. Para asegurar que los caudales de los diferentes componentes coincidan, es necesaria una forma de retroalimentación de estos componentes y resulta ventajoso un control en bucle cerrado. A una tasa de captura muy baja, y si la unidad de absorción de CO₂ 2 no está diseñada, por ejemplo, para funcionar en seco, no puede ser expuesta a los gases de combustión sin el flujo de absorbente y / o refrigeración adicional de gases de combustión, la derivación de gases de combustión para la unidad de captura de CO₂ 11 tiene que ser abierta en función de la electricidad disponible para la unidad de absorción 2.

45 El impacto de los principales consumidores de electricidad del sistema de captura de CO₂ en la producción eléctrica de la central se muestra en las figuras 2 a 4. El impacto del consumo de electricidad auxiliar de la propia central también se indica en estas figuras.

50 En la figura 2, se muestra un ejemplo de un evento de frecuencia insuficiente con el método de funcionamiento optimizado de una central eléctrica con captura y compresión de CO₂ en función del tiempo. En el instante $T = 0$ s, la central está en funcionamiento normal a carga base con el sistema de captura y compresión de CO₂ en funcionamiento. El impacto de los auxiliares de la central y de los principales consumidores de electricidad del sistema de captura de CO₂ sobre la producción eléctrica neta D de la central se muestra indicando la producción relativa P_r en diferentes etapas de la central. Todas las producciones de electricidad mostradas en esta figura son normalizadas mediante la producción eléctrica bruta A de la central a carga base con extracción de vapor para resorción. A' es la producción bruta sin extracción de vapor para resorción. B es la producción bruta reducida por los auxiliares de la central. C es la producción después de que la producción B se reduce aún más por la compresión de CO₂. D es la producción eléctrica neta resultante de la central después de que C se reduzca debido al consumo de electricidad de la absorción. La frecuencia de red normalizada F_G es la frecuencia normalizada con la frecuencia de red nominal, que es típicamente de 50 Hz o 60 Hz.

De acuerdo con el método de funcionamiento propuesto, las reducciones de electricidad de B a C y de C a D, así como el aumento de electricidad bruta de A a A' se utilizan para controlar la producción neta D durante un evento de

frecuencia insuficiente. En este ejemplo, la electricidad neta D se mantiene constante a medida que la frecuencia de red normalizada F_G cae de 100 % a 99,8 % durante el período de tiempo de 20 s a 30 s debido a que el controlador tiene un 0,2 % de banda muerta, en la que no reacciona a desviaciones de la frecuencia de diseño. A medida que la frecuencia continúa descendiendo hasta 99,3 % en el instante $T = 35$ s, la respuesta en frecuencia se activa y la producción eléctrica neta D se incrementa mediante una parada controlada de la compresión de CO₂ entre el instante $T = 30$ s y $T = 35$ s. A medida que la frecuencia de red normalizada F_G continúa cayendo a 98 % entre $T = 35$ s y $T = 40$ s, la regeneración de CO₂ también se para y no se extrae más vapor para la resorción. En consecuencia, la electricidad bruta aumenta de A a A' y la producción eléctrica neta D aumenta en consecuencia. En una etapa final, para aumentar la producción eléctrica neta D, la absorción de CO₂ se para entre los tiempos $T = 40$ s y $T = 45$ s y la frecuencia F_G se estabiliza a 97,5 %.

En la figura 3, se muestra un segundo evento de frecuencia insuficiente con el método de funcionamiento optimizado de una central eléctrica con captura y compresión de CO₂ en función del tiempo. En el instante $T = 0$ s, la central está en funcionamiento normal a carga base con el sistema de captura y compresión de CO₂ en funcionamiento.

En este ejemplo, la frecuencia de red normalizada F_G cae de 100 % a 99,8 % durante el período de tiempo entre $T = 20$ s y $T = 30$ s. Debido a un 0,2 % de banda muerta, no tiene lugar ninguna acción de control hasta $T = 30$ s. A medida que la frecuencia continúa descendiendo hasta 99,3 % entre el instante $T = 30$ s y $T = 35$ s, se incrementa la producción eléctrica neta D mediante una parada controlada de la compresión de CO₂ como respuesta en frecuencia. Dado que la frecuencia de red normalizada F_G sigue cayendo a 97,8 % entre $T = 35$ s y $T = 40$ s, la regeneración de CO₂ también se para y no se extrae más vapor para resorción. En consecuencia, la electricidad bruta aumenta de A a A' y la producción eléctrica neta D aumenta en consecuencia. Entre el instante $T = 40$ s y $T = 45$ s, la frecuencia de red normalizada F_G se recupera a 98 % y la electricidad neta D se reduce mediante una reducción de la electricidad bruta A', para satisfacer los requisitos de electricidad neta de red correspondiente a la frecuencia insuficiente. Al mismo tiempo, la frecuencia de red normalizada F_G se estabiliza a 98 %.

La figura 4 muestra un tercer ejemplo de variaciones de producción eléctrica de una central eléctrica con un método de funcionamiento flexible para la captura y compresión de CO₂ durante un evento de respuesta en frecuencia insuficiente. En este ejemplo, los requerimientos adicionales de electricidad neta de la red se satisfacen mediante paradas o activaciones repentinas de los componentes del sistema de captura y compresión de CO₂.

De nuevo, en el instante $T = 0$ s la central está en funcionamiento normal a carga base con el sistema de captura y compresión de CO₂ en funcionamiento. El impacto de los auxiliares de la central y de los principales consumidores de electricidad del sistema de captura de CO₂ sobre la producción eléctrica neta D de la central se muestra indicando la producción relativa P_r en diferentes etapas de la central. Todas las producciones eléctricas mostradas en esta figura son normalizadas mediante la producción eléctrica bruta A de la central a carga base con extracción de vapor para resorción. A' es la producción bruta sin extracción de vapor para resorción. B es la producción bruta reducida por los auxiliares de la central. C es la producción después de que la producción B se reduzca aún más por la compresión de CO₂. D es la producción eléctrica neta resultante de la central después de que D se reduzca debido al consumo de electricidad de la absorción.

Al igual que en los ejemplos anteriores, se acepta un 0,2 % de banda muerta y la electricidad neta D se mantiene constante a medida que la frecuencia de red normalizada F_G cae de 100 % a 99,8 % durante el período de tiempo entre $T = 20$ s y $T = 30$ s. Una vez que la desviación de frecuencia supera el 0,2 %, la respuesta en frecuencia se activa y la electricidad neta D se incrementa debido a una parada o una activación súbita de la compresión de CO₂ en el instante $T = 30$ s. No se lleva a cabo ninguna otra acción de control mientras que la frecuencia F_G sigue disminuyendo por debajo de 99 % en el instante $T = 35$ s. A medida que la frecuencia de red normalizada F_G continúa disminuyendo por debajo de 99 %, la regeneración de CO₂ también se activa y no se extrae más vapor para resorción. En consecuencia, la electricidad bruta aumenta de A a A' y la producción eléctrica neta D aumenta en consecuencia. No se lleva a cabo ninguna acción de control adicional mientras que la frecuencia F_G continúa cayendo a 98 % entre $T = 35$ s y $T = 40$ s. En una etapa final, para aumentar la producción eléctrica neta E, se activa la absorción de CO₂ una vez que la frecuencia neta cae por debajo de 98 % a $T = 40$ s. La frecuencia neta F_G cae aún más a 97,5 % cuando se estabiliza.

Las realizaciones ejemplares descritas anteriormente y en los dibujos dan a conocer a una persona experta en la técnica, realizaciones que difieren de las realizaciones ejemplares y que están contenidas en el ámbito de aplicación de la invención.

Por ejemplo, la electricidad utilizada para la recompresión de gases de combustión, tal como se utiliza en caso de separación criogénica de CO₂ o en caso de absorción a niveles elevados de presión, se puede ahorrar o reducir durante tiempos de alta demanda de electricidad. O, en caso de separación de CO₂ con amoniaco enfriado, la energía de refrigeración se puede ahorrar o reducir durante un evento de frecuencia insuficiente. Además, es posible el método y una central correspondiente sin compresión de CO₂.

En los ejemplos dados aquí, no se indica ningún retraso entre la caída de la frecuencia de red y la acción de control. Dependiendo de la velocidad de las mediciones, de la transmisión de la señal y del controlador, puede haber un retraso notable, que puede ser del orden de segundos.

5 Además, en una central eléctrica basada en una turbina de gas o en una central eléctrica combinada, cualquier evento de frecuencia insuficiente derivará en una reducción de la producción eléctrica bruta de la turbina de gas si no se toman contramedidas. Típicamente, una sobrecombustión, que es un aumento de la temperatura del gas caliente más allá de las temperaturas de diseño, se lleva a cabo para una respuesta en frecuencia en turbinas de gas. Las medidas estándar para la respuesta en frecuencia se pueden combinar con las características descritas para centrales eléctricas con captura y compresión de CO₂.

10 Lista de símbolos de referencia

- 1 Central eléctrica
- 2 Unidad de captura de CO₂
- 3 Aire
- 4 Combustible
- 15 6 Conducto de retorno
- 7 Energía eléctrica para unidad de captura de CO₂
- 8 Energía eléctrica para unidad de compresión de CO₂
- 9 Compresión de CO₂
- 10 CO₂ Comprimido
- 20 11 Derivación de gas de combustión para unidad de captura de CO₂
- 12 Derivación de unidad de compresión de CO₂
- 13 Vapor a unidad de captura de CO₂
- 14 Válvula de control de vapor
- 15 Gas de combustión a unidad de captura de CO₂
- 25 16 Gas de combustión agotado en CO₂
- 17 Energía eléctrica para auxiliares de central excluyendo captura y compresión de CO₂
- 18 Sistema de control
- 19 Intercambio de señal de control con unidad de captura de CO₂ y derivación de gases de combustión
- 20 Intercambio de señal de control con unidad de regeneración (si procede)
- 30 21 Intercambio de señal de control con sistema de almacenamiento de absorbente / adsorbente (si procede)
- 22 Intercambio de señales de control de central como para una central convencional sin captura de CO₂, incluyendo electricidad bruta y neta
- 23 Intercambio de señal de control con unidad de compresión de CO₂ y derivación de compresor
- 35 24 Intercambio de señal de control para válvula de control de vapor - directamente desde el sistema de control o a través de la unidad de regeneración (si procede)
- A Producción eléctrica bruta de central con extracción de vapor para resorción de CO₂
- A' Producción eléctrica bruta de central sin extracción de vapor para resorción de CO₂
- B A reducida por los auxiliares de la central sin captura ni compresión de CO₂

ES 2 612 742 T3

C B reducida debido a los requisitos de electricidad para compresión de CO₂ - variada en función de la demanda de electricidad de la red

D Producción eléctrica neta de central con captura de CO₂ (C reducida debido a los requisitos de electricidad para la absorción - variada en función de la demanda de electricidad de la red)

5 F_G Frecuencia de red normalizada

REIVINDICACIONES

- 5 1. Método de funcionamiento de una central eléctrica (1) con un sistema de control (18) y un sistema de captura de CO2 que comprende una unidad de captura de CO2 (2) y una unidad de compresión de CO2 (9), caracterizado por que el consumo eléctrico del sistema de captura de CO2 se utiliza como un parámetro de control para la producción eléctrica neta (D) durante un evento de frecuencia insuficiente.
2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que el sistema de captura de CO2 funciona a capacidad reducida o se para para suministrar electricidad adicional a la red y por que esta electricidad adicional se utiliza para satisfacer los requisitos de respuesta en frecuencia de una red eléctrica durante un evento de frecuencia insuficiente.
- 10 3. Método de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que la central eléctrica (1) funciona cerca de o a carga base cuando el sistema de captura de CO2 está en funcionamiento y el consumo eléctrico del sistema de captura de CO2 está disponible para la respuesta en frecuencia de la central.
4. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que la tasa de captura de CO2 varía para controlar el consumo eléctrico del sistema de captura de CO2 durante un evento de frecuencia insuficiente.
- 15 5. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que la unidad de compresión de CO2 (9) se para o funciona a capacidad reducida durante un evento de frecuencia insuficiente.
6. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por que la unidad de compresión de CO2 (9) se para o funciona a capacidad reducida y por que parte o la totalidad del CO2 capturado se libera a través de una derivación (12) de la unidad de compresión de CO2 durante un evento de frecuencia insuficiente.
- 20 7. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que una unidad de regeneración está comprendida en la unidad de captura de CO2 (2) y por que dicha unidad de regeneración se para o funciona a capacidad reducida durante un evento de frecuencia insuficiente.
8. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado por que una unidad de absorción o adsorción está comprendida en la unidad de captura de CO2 (2) y por que dicha unidad de absorción o adsorción se para o funciona a capacidad reducida durante un evento de frecuencia insuficiente.
- 25 9. Método de acuerdo con la reivindicación 8, caracterizado por que parte de o todo el gas de combustión es derivado alrededor del equipo de captura durante un evento de frecuencia insuficiente.
10. Método de acuerdo con la reivindicación 7, caracterizado por que el consumo de vapor (13) de la unidad de regeneración comprendida en la unidad de captura de CO2 (2) se reduce debido a la parada o funcionamiento a capacidad reducida, y por que el vapor sobrante es alimentado a una turbina de vapor existente de la central (1) para una generación de electricidad adicional durante un evento de frecuencia insuficiente.
- 30 11. Método de acuerdo con la reivindicación 10, caracterizado por que la regeneración se para o la regeneración del absorbente o adsorbente funciona a capacidad reducida durante un evento de frecuencia insuficiente, y por que el absorbente o adsorbente almacenado se utiliza para la captura de CO2 durante un evento de frecuencia insuficiente.
- 35 12. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el sistema de captura de CO2 es controlado por un sistema de control en bucle cerrado (18), que está integrado en el sistema de control de la central o coordinado por el sistema de control de la central o tiene un enlace de datos directo (22) con el sistema de control de la central.
- 40 13. Central eléctrica (1) con un sistema de captura de CO2 que comprende una unidad de captura de CO2 (2) y una unidad de compresión de CO2 (9), caracterizada por que la central (1) comprende un sistema de control, que utiliza el consumo de electricidad del sistema de captura de CO2 como un parámetro de control para controlar la producción eléctrica neta (D) durante un evento de frecuencia insuficiente
- 45 14. Central eléctrica (1) de acuerdo con la reivindicación 13, caracterizada por que al menos un generador y sistemas eléctricos están diseñados para convertir la energía máxima, que es producida con el sistema de captura de CO2 parado, en energía eléctrica y para transmitir esta energía eléctrica a la red.
15. Central eléctrica de acuerdo con la reivindicación 13 o 14, caracterizada por que una unidad de absorción está comprendida en la unidad de captura de CO2 (2) y por que se proporciona una derivación (12, 11) de la unidad de compresión de CO2 (9) y / o de la unidad de absorción.

16. Central eléctrica (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones 13 a 15, caracterizada por que una unidad de absorción está comprendida en la unidad de captura de CO₂ (2) y por que la unidad de absorción está diseñada para soportar los gases de combustión (15) incluso cuando no está en funcionamiento.

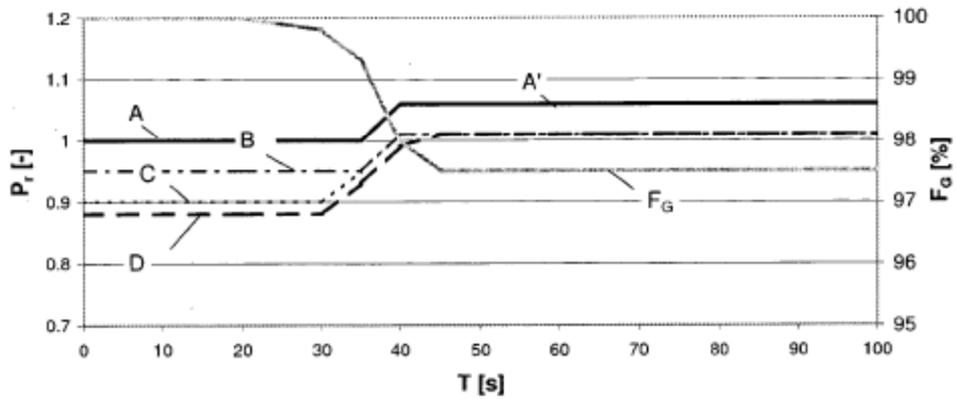
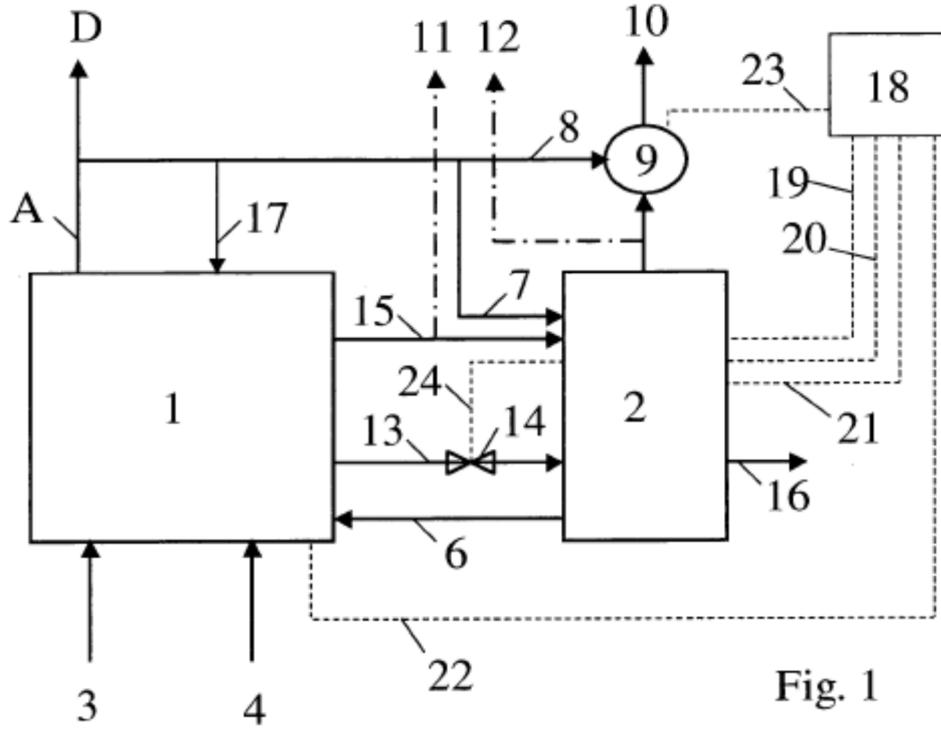


Fig. 2

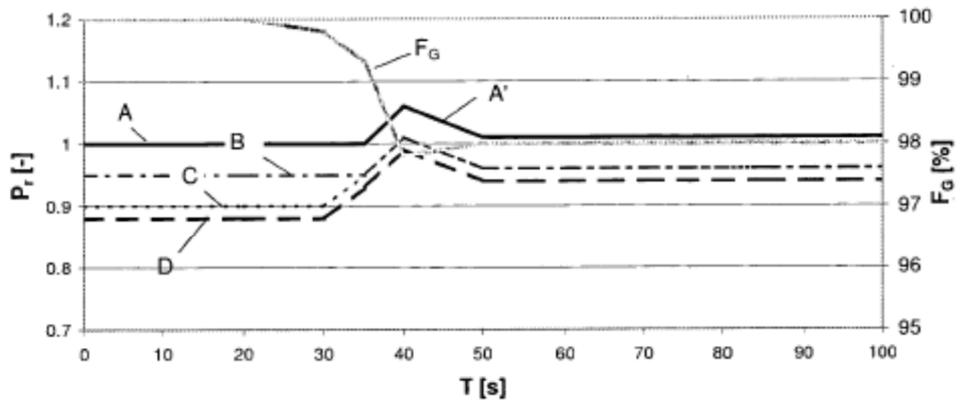


Fig. 3

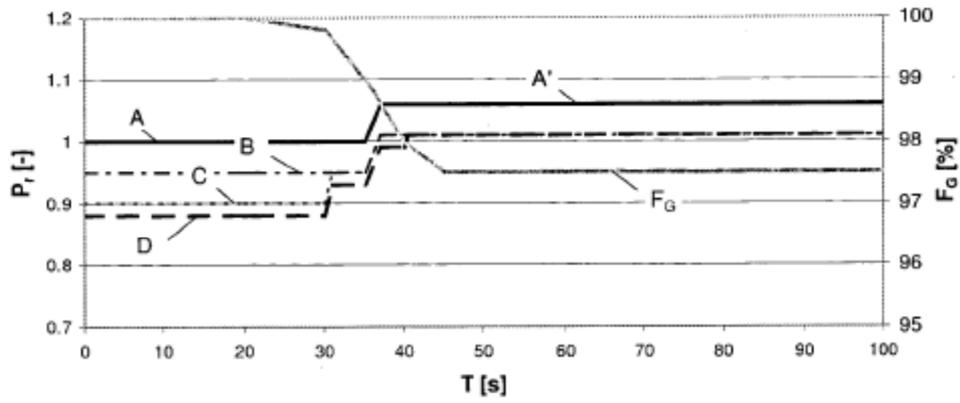


Fig. 4