

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 471 981**

51 Int. Cl.:

**F02C 9/28** (2006.01)

**F02C 9/34** (2006.01)

**F23R 3/26** (2006.01)

**F23R 3/34** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.10.2007 E 07821174 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.04.2014 EP 2078146**

54 Título: **Sistema para controlar un proceso de combustión para una turbina de gas**

30 Prioridad:

**01.11.2006 EP 06123306**

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

**27.06.2014**

73 Titular/es:

**ALSTOM TECHNOLOGY LTD (100.0%)  
BROWN BOVERI STRASSE 7  
5400 BADEN, CH**

72 Inventor/es:

**ZHANG, XIAO-YI;  
SPITZMÜLLER, TOBIAS y  
BERNERO, STEFANO**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

ES 2 471 981 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**

Sistema para controlar un proceso de combustión para una turbina de gas.

## Campo Técnico

5 La invención se refiere a un sistema para controlar el proceso de combustión para una turbina de gas y en particular un sistema para el control activo de las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) de la turbina de gas y las pulsaciones de la combustión. El sistema está pensado particularmente para sistemas de combustión de turbinas de gas que comprenden una pluralidad de quemadores pre-mezcla que conducen a una sola cámara de combustión.

## Antecedentes de la Invención

10 Las emisiones de NOx de los procesos de combustión de las turbinas de gas están sometidas a exigencias ambientales que limitan los niveles de NOx emitido. En muchos países, los límites para los niveles de emisión están siendo reducidos continuamente, en la actualidad hasta niveles de ppm de un solo dígito, y los fabricantes de turbinas de gas tienen que ser capaces de garantizar los niveles requeridos.

15 Se requiere que las turbinas de gas operen a eficiencias cada vez mayores al tiempo que producen niveles menores de contaminantes en sus gases de escape. Su eficiencia puede incrementarse, por ejemplo, aumentando las temperaturas de la llama, si bien esto aumenta también los niveles de contaminantes, en particular NOx, que es una función exponencial de la temperatura de la llama. Un método conocido para controlar los niveles de NOx en el gas de escape de una turbina consiste en hacer funcionar los quemadores manteniendo una llama pobre, es decir con una ratio pobre de combustible-a-aire, lo cual reduce la temperatura de la llama. Sin embargo, una llama pobre puede conducir a pulsaciones de la llama, u oscilaciones de la presión de combustión, que pueden acortar la vida útil de un quemador. La formación de NOx y las pulsaciones se ven influenciadas por varios mecanismos físicos interconectados tales como las condiciones atmosféricas ambientales, la composición del combustible, el encendido y la temperatura de la llama, la homogeneidad de la combustión, la velocidad de los quemadores, y otros.

20 En esencia, las emisiones bajas de NOx y los niveles de pulsaciones, los dos cuales tienen que alcanzarse en una planta de turbinas de gas, son dos procesos físicos contrapuestos. Cuando una llama se hace más pobre, entonces disminuyen las emisiones de NOx, pero aumentan las pulsaciones. Adicionalmente, cuanto más uniforme es la temperatura de la llama resultante de quemadores múltiples, tanto más bajos son los niveles de NOx y mayores las pulsaciones. Por tanto, es necesario un compromiso entre ambos factores.

25 En los sistemas de turbina de gas de la técnica anterior, las pulsaciones y/o el control del nivel de NOx se consiguen por diversos métodos.

30 WO 2005/093326 da a conocer un método de operación de turbinas de gas para quemadores y cámaras de combustión dispuestos anularmente que controla y reduce las pulsaciones de presión por medio de un sistema que acciona individualmente cada quemador y monitoriza adicionalmente cada quemador utilizando un sistema de sensores.

35 US 5.321.947 da a conocer un sistema de combustión para un motor de turbina de gas que comprende paletas de turbulencia múltiples dispuestas alrededor de una tobera de inyección de combustible. El sistema de combustión opera con una premezcla pobre de combustible y con un inyector de combustible enfriado a fin de conseguir una contaminación reducida. Se mantiene un bajo nivel de NOx por un suministro de combustible inflamable en los espacios entre las paletas de turbulencia, y las oscilaciones de la presión de combustión se reducen por un suministro continuo de combustible piloto a la cámara de combustión para todas las condiciones de operación.

40 EP 1.621.811 da a conocer un método de operación de un sistema de combustión para un motor de turbina de gas que tiene una pluralidad de quemadores. La ratio combustible-a-aire para uno o más quemadores se controla basándose en primer lugar en oscilaciones o pulsaciones de presión medidas. Con objeto de mantener la combustión próxima al límite de extinción, la ratio combustible-a-aire se aumenta o se reduce cuando las oscilaciones de presión exceden de un límite inferior o superior dado, respectivamente. Como condición secundaria al control de las pulsaciones, la ratio combustible-a-aire se reduce cuando se sobrepasan los niveles de NOx. Con objeto de mantener constante la cantidad total de combustible suministrada al conjunto de todos los quemadores, se aumenta la ratio combustible-a-aire para los quemadores primarios en tanto que se reduce para los quemadores secundarios.

45 EP 1.286.031 da a conocer un aparato de control de turbina de gas que comprende un medio para análisis de la frecuencia de las oscilaciones de presión en el sistema de combustión y una unidad de control que controla, basándose en el resultado del análisis de frecuencia, la ratio de combustible y aire suministrados a la cámara de combustión.

50 EP 1.331.448 da a conocer un sistema de control de combustible para un motor de turbina de gas que tiene una pluralidad de quemadores y una pluralidad de cámaras de combustión, donde cada uno de los quemadores está asociado con una cámara de combustión separada, "tipo lata". El sistema ajusta independientemente la ratio

5 combustible-a-aire de cada cámara de combustión individual para controlar el nivel de NOx y la presión dinámica en cada cámara de combustión basándose en la medición del nivel de NOx en el escape, las oscilaciones de presión en cada cámara de combustión y la variación de la ratio combustible-a-aire entre los quemadores. El ajuste se repite hasta que dichas variables se mantienen dentro de intervalos dados. El sistema está diseñado específicamente para una turbina de gas con cámaras de combustión múltiples.

10 EP 1.283.339 da a conocer un método de monitorización a distancia de un motor de turbina de gas que opera a bajas emisiones de NOx. El método está pensado para prevenir el deterioro debido a resonancias con las oscilaciones de la combustión de la turbina y a proporcionar comunicación de los datos a bajo coste a un centro de monitorización remoto. El mismo incluye la medición de los datos de oscilaciones separados en espectro de frecuencia y datos de valores pico. Si se presentan valores pico anormales, entonces se observa el espectro de frecuencia. Antes que las oscilaciones de la combustión aumenten hasta nivel crítico, en el que pueda producirse deterioro, se envían instrucciones a fin de operar el motor en un modo de operación a carga baja. La monitorización se comunica por medios de bajo coste tales como un método de conmutación de línea basado en ISDN.

15 EP 0529900 da a conocer un aparato de turbina de gas que tiene quemadores múltiples y una cámara de combustión anular y medios de control para ajustar el flujo de combustible y/o aire independientemente a cada quemador individual con vistas a controlar la estabilidad de los quemadores y las emisiones de NOx. El ajuste individual se realiza de acuerdo con una o dos magnitudes detectadas con relación a una característica de la combustión o valor de eficiencia de cada quemador. Cada cantidad se mide por separado, después de lo cual se determinan para cada una señales de corrección separadas. Éstas se suman a su vez a fin de generar una señal de control final para una válvula de combustible y/o aire.

US 2004/011051 da a conocer un sistema para controlar el proceso de combustión para una turbina de gas de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1.

#### Sumario de la Invención

25 Es un objeto de la invención proporcionar un sistema para controlar el proceso de combustión de una llama de premezcla para una turbina de gas que comprende quemadores múltiples, conduciendo todos los quemadores a una sola cámara de combustión. El sistema tiene por objeto controlar el proceso de combustión de tal modo que las emisiones de NOx de la turbina de gas cumplen los requisitos ambientales. Al mismo tiempo, tiene por objeto controlar las pulsaciones de la combustión a un nivel lo más bajo posible.

30 La presente invención está dirigida a un sistema activo para controlar el proceso de combustión para una turbina de gas, en particular las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) de la turbina de gas y los niveles de pulsaciones de la combustión en la cámara de combustión, como se define en la reivindicación 1.

35 Específicamente, el primer nivel de control, o nivel de control de NOx, recibe datos de medición de las emisiones de NOx y valores diana de NOx, que vienen dados por los requerimientos ambientales, y genera un valor diana de pulsaciones de la combustión que está basado en la diferencia entre el nivel de emisiones de NOx diana y nivel de emisiones de NOx medido; el valor diana de pulsaciones de la combustión generado se envía en cascada al segundo nivel del sistema de control. El segundo nivel es un nivel de control de las pulsaciones de la combustión y ajusta una distribución de flujo del combustible a los grupos de quemadores principales y suplementarios de los quemadores múltiples o a las etapas principal y suplementaria de cada uno de los quemadores múltiples en el sistema de combustión de la turbina de gas. El sistema de combustión operado con dicha distribución de flujo de combustible satisface la diana de pulsaciones de la combustión así como la diana de emisiones de NOx dada por requerimientos ambientales.

40 La distribución del combustible entre los quemadores es una distribución entre los grupos de quemadores principales y los grupos de quemadores suplementarios o entre las etapas principales y suplementarias. La misma está dada por una ratio de flujo de combustible definida por

$$45 \quad \gamma = m_{\text{sup}}/m_{\text{total}} = (m_{\text{total}} - m_{\text{principal}})/m_{\text{total}}$$

donde

$m_{\text{sup}}$  es el flujo másico a los grupos de quemadores suplementarios o las etapas suplementarias de los quemadores;

$m_{\text{total}}$  es el flujo másico total de combustible,

$m_{\text{principal}}$  es el flujo másico a los grupos de quemadores principales o las etapas principales de los quemadores.

50 Un sistema de combustión de turbina de gas, al cual es aplicable el sistema de control en cascada, incluye quemadores principales y suplementarios dispuestos a la entrada de una sola cámara de combustión. Los quemadores principales y suplementarios pueden estar dispuestos de diversas maneras. Por ejemplo, los quemadores principales y suplementarios están dispuestos alternativamente a lo largo de la circunferencia de la entrada de la cámara, o pueden consistir en un número mayor de quemadores principales comparado con los

quemadores suplementarios. En los casos mencionados, los quemadores principales operan, por ejemplo, con un combustible más rico que los quemadores suplementarios, lo que permite un proceso de combustión más estable. La mayor estabilidad de la llama se consigue sin embargo a expensas de emisiones incrementadas de NOx debido a que los quemadores operan con la ratio mayor combustible-a-aire.

5 Un sistema de combustión de turbina de gas adicional, al que es aplicable el sistema de control en cascada, incluye quemadores múltiples que conducen a una sola cámara de combustión, donde cada quemador está asociado con etapas de quemador diferentes, por ejemplo, una etapa de premezcla, y una etapa piloto configurada en forma de una lanza. Las dos etapas pueden ser también cualesquiera de dos etapas de pre-mezcla diferentes.

10 Como se ha mencionado, el sistema de control es aplicable a un sistema de combustión con quemadores múltiples que conducen a una sola cámara de combustión. El sistema de combustión puede incluir quemadores múltiples y una sola cámara de combustión, donde todos los quemadores conducen a dicha una sola cámara de combustión. El sistema de combustión puede incluir también quemadores múltiples y dos cámaras de combustión dispuestas en secuencia aguas abajo una de otra. Una vez más, todos los quemadores conducen a la única primera cámara de combustión.

15 El nivel de control de NOx incluye medios para recibir dos series de valores de entrada, los niveles de emisión de NOx diana como vienen determinados por los requerimientos ambientales o gubernamentales y los niveles de emisión de NOx medidos en el escape de la turbina de gas.

20 El nivel de control de NOx incluye adicionalmente medios para calcular una diana de pulsaciones basada en la diferencia entre los niveles de emisión de NOx medidos y los niveles diana. La diana de pulsaciones comprende uno o más valores de dianas de pulsaciones, donde cada uno de los uno o más valores se atribuye a una frecuencia de pulsaciones crítica predeterminada para el sistema de combustión de turbina de gas dado.

25 El nivel de control de las pulsaciones comprende medios para recibir datos de medición de las pulsaciones, constituidos por uno o más niveles de pulsaciones medidos en el sistema de combustión de la turbina de gas, un medio para filtrar por paso de banda los datos de medición de las pulsaciones, y medios para acondicionamiento de la medición de los datos filtrados por paso de banda. El acondicionamiento de la medición es un tipo de pre-procesamiento de los datos filtrados por paso de banda. El mismo incluye adicionalmente medios para procesamiento de los errores, que determinan el error entre los niveles de pulsaciones medidos y los valores diana de pulsaciones calculados y determina además el error que es más importante para el sistema de combustión. Por último, el sistema incluye medios para calcular la ratio de flujo de combustible suplementaria y basada en el procesamiento de los errores. El valor de  $\gamma$  se determina de tal manera que satisface una diana de nivel de NOx, mientras que se aseguran pulsaciones lo más bajas posible.

30 El sistema de control en cascada de acuerdo con la invención es un sistema de bucle cerrado. Dado que el sistema de combustión opera para una ratio de flujo de combustible  $\gamma$  calculada, el sistema de control recibe continuamente niveles medidos de pulsaciones y NOx y recalcula una ratio de flujo de combustible  $\gamma$  óptima.

35 Los niveles de pulsaciones en la cámara de combustión puede medirse más rápidamente que las emisiones de NOx en el escape de la turbina. Por esta razón, en una realización ilustrativa del sistema de control, el nivel de control de las pulsaciones se ajusta para operar más rápidamente que el nivel de control de las emisiones de NOx.

40 El sistema de control de acuerdo con la invención es particularmente aplicable a un sistema de combustión con quemadores múltiples dispuestos circunferencialmente alrededor del eje del rotor de la turbina de gas y que conducen a una cámara de combustión de forma anular. El mismo es aplicable adicionalmente a un sistema de combustión que comprende quemadores múltiples dispuestos en una red radialmente adyacente al rotor de la turbina de gas. A este tipo de sistema de combustión se hace referencia también como montado en el costado.

45 El sistema de control en cascada de acuerdo con la invención consigue una operación mejorada y ventajosa de un sistema de combustión de turbina de gas por el hecho de que tiene una mayor capacidad para cumplir los requerimientos ambientales concernientes a emisiones de NOx. Adicionalmente, como resultado de los niveles de pulsaciones reducidos de la combustión, la vida útil del sistema de combustión se incrementa.

#### Breve Descripción de los Dibujos

La figura 1 muestra un esquema del sistema de control en cascada de dos niveles de acuerdo con la invención, las figuras 2 y 3 muestran un esquema de una realización ilustrativa del nivel de control primero y segundo, respectivamente,

50 las figuras 4a y b muestran cada una la relación cualitativa entre la ratio de flujo de combustible y las emisiones de NOx y los niveles de pulsaciones, donde la figura 4b muestra adicionalmente un ejemplo de un nivel de emisión de NOx diana y nivel de pulsaciones diana,

la figura 5 muestra un sistema de combustión de turbina de gas, al cual puede aplicarse el sistema de control de acuerdo con la invención, teniendo el sistema de combustión una sola cámara de combustión de forma anular, y una configuración ilustrativa de grupos de quemadores principales y suplementarios posicionados circunferencialmente alrededor del eje de rotación de la turbina de gas,

5 la figura 6 muestra un corte transversal longitudinal de uno de varios quemadores de un sistema de combustión de turbina de gas adicional al que puede aplicarse el sistema de control de acuerdo con la invención, teniendo el quemador una etapa principal y suplementaria,

la figura 7 muestra un sistema de combustión de turbina de gas adicional, al cual puede aplicarse el sistema de control de acuerdo con la invención, comprendiendo el sistema de combustión una red de quemadores dispuestos radialmente adyacentes al rotor de la turbina de gas,

10 la figura 8 muestra un corte transversal del sistema de combustión perpendicular a su eje longitudinal tomado en la línea VIII-VIII en la figura 7.

### Modos Óptimos para Realización de la Invención

15 La figura 1 muestra esquemáticamente el sistema de control en cascada S de acuerdo con la invención, y en particular la estructura en cascada que comprende el primer nivel o nivel de control 1 de NO<sub>x</sub> y el segundo nivel o nivel de control 2 de las pulsaciones.

20 El primer control de nivel 1 incluye medios 3 para recibir continuamente datos de medición NO<sub>x</sub>MEAS de emisiones de NO<sub>x</sub> del escape de la turbina de gas y para NO<sub>x</sub> los niveles diana de NO<sub>x</sub>TGT que vienen dados por ejemplo por especificaciones gubernamentales. Un medio de control de NO<sub>x</sub> 4 calcula, basándose en la diferencia entre NO<sub>x</sub>MEAS y NO<sub>x</sub>TGT, los niveles diana de pulsaciones  $p_{TGT,FREQ-1}$ ,  $p_{TGT,FREQ-2}$ , ...  $p_{TGT,FREQ-n}$ , a frecuencias seleccionadas FREQ\_1, FREQ\_2, ..., FREQ\_n, que son críticas para el sistema de combustión dado. Estos valores son los niveles mínimos de pulsaciones alcanzables correspondientes al nivel diana de NO<sub>x</sub>.

25 Los valores de pulsaciones diana calculados caen en cascada al segundo nivel de control 2 del sistema de control S. Dichos valores se alimentan a un medio de recepción 5 para los niveles de pulsaciones diana  $p_{TGT,FREQ-1}$ ,  $p_{TGT,FREQ-2}$ , ...  $p_{TGT,FREQ-n}$ . El segundo nivel de control 2 incluye adicionalmente medios 6 para recibir continuamente y filtrar por paso de banda los valores brutos medidos  $p'$  de pulsaciones y medios 7 para acondicionamiento de la medida de los datos de medición filtrados por paso de banda. Los datos acondicionados de medición de las pulsaciones  $p_{FREQ-1}$ ,  $p_{FREQ-2}$ , ...  $p_{FREQ-n}$ , que corresponden a las mismas frecuencias críticas que los valores de pulsaciones diana, se alimentan también al medio de recepción 5. El medio de recepción 5 está conectado a un medio para procesamiento de errores 8, que determina el error entre el nivel de pulsaciones medido y el nivel diana, que es sumamente crítico y relevante para el sistema de combustión dado. Este error crítico corresponde a una de las frecuencias críticas. El nivel de control de pulsaciones 2 incluye además un medio para control de las pulsaciones 9, que calcula una ratio de flujo de combustible y basada en el error crítico seleccionado. La ratio de flujo de combustible y calculada asegura las pulsaciones tan próximas como es posible al nivel de pulsaciones diana.

35 En una realización ilustrativa adicional del sistema de control S, una línea de señal de control 8' conduce desde el medio de procesamiento de errores 8 al medio de control de NO<sub>x</sub> 4. El medio de procesamiento de errores 8 envía información acerca de una frecuencia crítica seleccionada al medio de control de NO<sub>x</sub> 4, para el cual se ha detectado el peor de los errores más relevantes entre los niveles de pulsaciones diana y los niveles medidos. El mismo envía adicionalmente instrucciones al medio de control de NO<sub>x</sub> 4 para ajustar el nivel diana de pulsaciones a dicha frecuencia seleccionada y mantener los niveles de pulsaciones diana a las otras frecuencias críticas inalterados.

45 La figura 2 muestra en detalle los elementos del primer nivel de control 1 del sistema de control en cascada, en particular los del medio 4 para calcular las pulsaciones diana. Mientras que el elemento 4, como se muestra en la figura 1, proporciona el cálculo de las pulsaciones diana a diversas frecuencias críticas dadas, la figura 2 ilustra el cálculo del nivel de pulsaciones diana para una frecuencia crítica FREQ. El sistema de control S es aplicable a sistemas de combustión que tienen una o varias frecuencias de pulsaciones críticas.

50 El nivel NO<sub>x</sub> medido NO<sub>x</sub>MEAS y el nivel de NO<sub>x</sub> diana NO<sub>x</sub>TGT de acuerdo con las especificaciones se alimentan con signos opuestos al medio 3, que calcula la diferencia entre ambos valores. La diferencia se compara con un intervalo de insensibilidad de las emisiones de NO<sub>x</sub> predeterminado, o banda inactiva A, por un limitador 10. La salida del limitador 10 se alimenta luego a una puerta lógica Y 11.

La banda inactiva predeterminada de emisiones de NO<sub>x</sub> A se deduce de las especificaciones ambientales y/o de la exactitud del control que precisa ser alcanzada.

55 Si la diferencia se encuentra dentro de esta banda inactiva A, entonces un nivel de pulsaciones diana  $p_{TGT}$  puede mantenerse contante. En cambio, si el nivel de NO<sub>x</sub> medido NO<sub>x</sub>MEAS es mayor que el nivel de NO<sub>x</sub> diana NO<sub>x</sub>TGT y la diferencia está fuera de la banda inactiva predeterminada A, entonces se incrementa la diana de pulsaciones  $p_{TGT}$ . En este punto, la banda inactiva se reduce a un intervalo menor de intensidad de tamaño a hasta que la diferencia

entre los niveles de NOx medidos y diana está dentro de esta pequeña banda inactiva a. Una vez que la diferencia está dentro de la pequeña banda inactiva a, la banda inactiva se aumenta de nuevo hasta la banda inactiva original A.

5 Inversamente, si el nivel de NOx medido  $NO_{xMEAS}$  es menor que el nivel de NOx diana  $NO_{xTGT}$  y la diferencia está fuera de la banda inactiva predeterminada A, entonces se reduce la diana de pulsaciones  $p_{TGT}$ . Análogamente al caso anterior, la banda inactiva se reduce a un intervalo menor a hasta que la diferencia entre los niveles de NOx medidos y diana está dentro de esta pequeña banda inactiva a. Una vez que la diferencia está de nuevo dentro de la pequeña banda inactiva a, la banda inactiva se aumenta nuevamente al tamaño original A.

10  $P_{max}$  y  $p_{min}$  son los niveles de pulsaciones diana máximo y mínimo que se consideran aceptables para el sistema de combustión de turbinas de gas dado. Tales niveles de pulsaciones máximo y mínimo se predeterminan para cada frecuencia crítica para un sistema de combustión de turbina de gas dado. El bloque FI 12 es un integrador de seguimiento para el cálculo de un nuevo nivel de pulsaciones diana, aumentado o disminuido, donde el nuevo nivel de pulsaciones diana estará comprendido entre los límites de  $p_{max}$  y  $p_{min}$ .

15 La figura 3 muestra una realización ilustrativa del segundo nivel de control 2, el nivel de control de pulsaciones. Este nivel incluye un filtro de paso de banda 6, al cual se alimentan los niveles de pulsaciones medidos  $p'$  a fin de seleccionar los datos de pulsaciones dentro de una banda de frecuencia predeterminada que es significativa para un sistema de combustión de turbina de gas dado. Los datos filtrados se preprocesan luego, lo que se conoce también como medición acondicionada, por el medio 7. Los datos filtrados y los datos de acondicionamiento de la medición se alimentan luego con signo negativo al medio 5 junto con los valores de pulsaciones diana calculados por el nivel de control 1 y que tienen signo positivo. El medio 5 calcula la diferencia entre los niveles de pulsaciones diana y los niveles de pulsaciones medidos y acondicionados. La diferencia se compara con una banda inactiva de niveles de pulsaciones predeterminada B por el limitador 13. La señal de salida del limitador 13 se introduce luego en una puerta lógica Y 14.

25 Si la diferencia está dentro de la banda inactiva B dada, entonces la ratio de flujo de combustible  $\gamma$  se mantiene constante. Si el nivel de pulsaciones medido es mayor que el nivel de pulsaciones diana y la diferencia está fuera de la banda inactiva B, entonces la ratio de flujo de combustible  $\gamma$  se incrementa. En este punto, la banda inactiva se reduce a una banda pequeña b hasta que el error está dentro de esta banda inactiva reducida b. Una vez que el error cae dentro de esta banda inactiva b, la banda inactiva se aumenta de nuevo hasta B.

30 Inversamente, si el nivel de pulsaciones medido es menor que el nivel diana y la diferencia está fuera de la banda inactiva B, entonces se reduce la ratio de flujo de combustible  $\gamma$ . La banda inactiva se reduce a b hasta que el error está dentro de la banda inactiva reducida b. Una vez que el error cae dentro de la banda inactiva b, la banda inactiva se aumenta de nuevo a B.

35 El bloque FI 15 calcula una ratio de flujo de combustible que está dentro de los límites de los valores de ratio de flujo de combustible máximo y mínimo  $\gamma_{MAX}$  y  $\gamma_{MIN}$  predeterminados para el sistema de combustión de turbina de gas dado.

40 En el ejemplo representado en la figura 3, está presente una sola frecuencia crítica y subsiguientemente la diferencia entre los niveles de pulsaciones medidos y los niveles diana se determina para dicha una sola frecuencia crítica. Alternativamente, en un sistema que tenga varias frecuencias críticas, el medio de procesamiento de errores (tal como se indica por el elemento 8 en la figura 1) se incluye a continuación del medio 5. El medio de procesamiento de errores realiza una selección de errores ponderada y determina el error más relevante entre los niveles de pulsaciones medidos y los diana. Esta frecuencia, para la cual ocurre dicho error, se pasa luego al medio de control de NOx 4 por la línea de señal de control 8'. El error seleccionado por el medio de procesamiento de errores 8 se alimenta al limitador 13 del medio de control de pulsaciones 9.

45 El elemento 7 que se muestra en la figura 3 es un dispositivo para pre-procesamiento (acondicionamiento de la medición) de los datos de pulsaciones de la combustión brutos filtrados por paso de banda. Los datos brutos  $p'$  no pueden utilizarse eficazmente como señal de realimentación en un sistema de bucle cerrado tal como el sistema de control de acuerdo con la invención debido a que los datos brutos fluctúan demasiado acusadamente. Si se utilizaran datos no procesados, entonces podrían resultar ratios de flujo de combustible que estarían basadas en valores extremos que no son representativos del proceso de combustión como un todo. El acondicionamiento pre-procesamiento proporciona una filtración de fluctuaciones de datos no representativos, donde sin embargo se mantiene la naturaleza primaria de los datos.

50 Las figuras 4a y b proporcionan una comprensión adicional del sistema de control de acuerdo con la invención y en particular el compromiso de las emisiones de NOx y los niveles de pulsaciones de la combustión alcanzables por el sistema de control en cascada.

55 La figura 4a muestra el principio de operación para una turbina de gas dada, mostrando la curva las emisiones de NOx y las pulsaciones de la combustión para una llama pre-mezclada como función de la ratio de flujo de combustible o ratio suplementaria  $\gamma$ . Con el aumento de la ratio  $\gamma$ , las emisiones de NOx disminuyen gradualmente,

mientras que los niveles de pulsaciones aumentan gradualmente. Un límite de pulsaciones sobre  $p_{MAX}$  se indica para una cámara de quemadores dada.

La figura 4b muestra el mismo principio que en 4a, pero con niveles de NOx y niveles de pulsaciones tales como son controlados por el sistema de control en cascada. Una turbina de gas puede hacerse operar inicialmente próxima al límite de pulsaciones sobre  $p_{MAX}$  a fin de reducir las emisiones de NOx a un mínimo en  $NO_{xMIN}$ . Estas emisiones de NOx mínimas  $NO_{xMIN}$  son sin embargo inferiores al límite  $NO_{xTGT}$  dado por las especificaciones oficiales y los niveles de pulsaciones son altos a  $p_{MAX}$  de tal modo que la turbina de gas puede sufrir un acortamiento de vida útil debido a las pulsaciones. Si la turbina de gas se controla entonces por medio del sistema de control en cascada de acuerdo con la invención, el sistema de combustión de la turbina de gas puede operar con niveles de pulsaciones reducidos y niveles de emisión de NOx que cumplen todavía los requerimientos de emisiones de NOx. Basándose en la diferencia entre los niveles de NOx medidos y requeridos, es generada una diana de pulsaciones  $p_{TGT}$  por el nivel de control de NOx o primer nivel del sistema de control. En este caso, la emisión de NOx medida es menor que el nivel de NOx requerido  $NO_{xTGT}$ , y la diferencia está fuera de una banda inactiva dada. Por ello, la diana de pulsaciones se reduce desde  $p_{MAX}$  a  $p_{TGT}$ . Cada nivel de pulsaciones diana corresponde a los niveles ajustados por el nivel de control de NOx. El sistema de combustión de la turbina de gas operará ahora, por ejemplo, a la ratio de flujo de combustible  $\gamma_{NPCC}$  calculada por el sistema de control en cascada de NOx y pulsaciones. Mientras el sistema de combustión se hace trabajar a esta ratio de flujo de combustible  $\gamma_{NPCC}$ , el bucle de control está cerrado por la alimentación de nuevos datos de medición de los niveles de emisión de NOx y pulsaciones al sistema de control, después de lo cual la ratio de flujo de combustible se ajusta una vez más.

Una medición de emisión de NOx puede requerir, por ejemplo, aproximadamente 20 segundos donde la medición del nivel de pulsaciones requiere sólo aproximadamente 1 segundo. El ajuste de la ratio de flujo de combustible y se ajusta preferiblemente dentro de un marco de tiempo de unos pocos segundos.

La figura 5 muestra un corte transversal de un sistema de combustión de turbina de gas, al cual es aplicable el sistema de control en cascada. El corte transversal es perpendicular al eje de rotación 20 de la turbina de una turbina de gas y al nivel de los quemadores de premezcla 21, 22. Los quemadores de premezcla incluyen quemadores principales 21 (círculos oscuros) y quemadores suplementarios 22 (círculos vacíos), que están dispuestos circunferencialmente alrededor del eje de rotación 20 de la turbina. Los quemadores se extienden en una cámara de combustión de forma anular que sigue a los quemadores en dirección fuera de la página. Los quemadores principales 21 y los quemadores suplementarios 22 están en este caso dispuestos alternativamente alrededor de la circunferencia. Los mismos pueden estar dispuestos también de cualquier otra manera a lo largo de la circunferencia.

Los quemadores principales, por ejemplo, operan con una ratio combustible-a-aire más rica y más lejos del límite de extinción que los quemadores suplementarios. Todos los quemadores son abastecidos de combustible por un sistema de suministro y distribución de combustible 23 y por líneas principales de combustible 24 (líneas enteras) y líneas de combustible suplementarias 25 (líneas quebradas). La figura debe entenderse de modo que las líneas de combustible conducen a todos los quemadores representados. Sin embargo, para mayor sencillez de la figura, se ilustran detalladamente sólo algunas de las líneas de combustible, mientras que las otras líneas de combustible se indican parcialmente por líneas enteras o líneas de trazos que se extienden radialmente lejos de los quemadores 21 y 22, respectivamente. La distribución del combustible a los quemadores principales y suplementarios está controlada por el sistema de distribución de combustible 23. Una línea de señal de control 23' para la ratio de flujo de combustible y conduce desde el sistema de control en cascada S al sistema de suministro y distribución de combustible 23. Un sensor de nivel de pulsaciones 26 situado dentro de la cámara de combustión y un sensor de emisiones de NOx 27 situado en el gas de escape están conectados cada uno por medio de una línea de señal 28 y 29 respectivamente, al sistema de control en cascada S para alimentación de los datos de medición de las pulsaciones y emisiones al sistema de control.

La figura 6 muestra un quemador de un sistema de combustión de la turbina de gas adicional al que puede aplicarse el sistema de control en cascada. El sistema de combustión comprende, análogamente al de la figura 5, quemadores de premezcla múltiples dispuestos circunferencialmente alrededor del eje de rotación de una turbina de gas, extendiéndose cada quemador hasta la entrada de una cámara de combustión de forma anular C. En este caso, cada quemador tiene forma cónica y comprende una etapa principal y una suplementaria. El corte transversal a lo largo del eje longitudinal del quemador 30, como se muestra en la figura 6, representa las dos etapas diferentes, una etapa principal 31 dispuesta en la superficie de forma cónica del quemador y una etapa suplementaria 32 dispuesta sobre una lanza de combustible y que se extiende a lo largo del eje longitudinal del quemador de forma cónica. Las llamas generadas por las dos etapas diferentes dan lugar a cantidades diferentes de emisiones de NOx y cantidades diferentes de pulsaciones. Las líneas de combustible 33 y 34 conducen desde un sistema de suministro y distribución de combustible 35 a los quemadores principales y suplementarios 31 y 32, respectivamente. El combustible procedente de la línea 33 fluye a aberturas dispuestas a lo largo de la pared del quemador de forma cónica. La distribución del combustible es controlada por el sistema de control en cascada S, que envía una señal de control para la ratio de flujo de combustible y al sistema de suministro 35 por la línea de señal 35'. Un sensor 36 de nivel de pulsaciones de la combustión situado dentro de la cámara de combustión CC y un sensor 37 de emisiones de NOx situado en el escape de la turbina de gas están conectados al sistema de control en cascada S por medio de

líneas de transmisión de señal 38 y 39, respectivamente, que envían datos de medición de las pulsaciones y emisiones al sistema de control S.

5 La figura 7 y la figura 8 muestran un sistema de combustión ilustrativo adicional para una turbina de gas, al cual puede aplicarse el sistema de control de acuerdo con la invención. La figura muestra un compresor C y una turbina T dispuestos sobre un rotor R con eje de rotación 40. Un sistema de combustión comprende quemadores múltiples 41 y 42, que conducen a una sola cámara de combustión CC. La cámara de combustión CC tiene aproximadamente la forma de un silo y está dispuesta de manera montada en el costado, adyacente a la turbina. En el ejemplo representado, el eje longitudinal del silo está dispuesto a lo largo del radial con respecto al eje de rotación 40 de la turbina de gas. Un canal de entrada anular IL se extiende desde la cámara de combustión CC a la turbina T. Todos los quemadores están suministrados de combustible por un sistema de suministro y distribución de combustible 43 y por líneas principales de combustible 44 (líneas llenas) y líneas de combustible suplementarias 45 (líneas quebradas). La distribución del combustible a los quemadores principales y suplementarios está controlada por el sistema de control en cascada S, desde el cual una línea de señal de control 43' para la ratio de flujo de combustible y conduce al sistema de suministro y distribución de combustible 43. Un sensor de nivel de pulsaciones 46 está situado dentro de la cámara de combustión CC, y un sensor de emisiones de NOx 47 está posicionado en una localización en el gas de escape adecuada para medidas fiables de NOx. Los datos de medición de las pulsaciones y emisiones se alimentan al sistema de control en cascada S por medio de líneas de señal 48 y 49, respectivamente.

20 La figura 8 muestra en corte transversal una configuración ilustrativa de los quemadores principales 41 y suplementarios 42 del sistema de combustión de la figura 7. Todos ellos están dispuestos en una red plana. En una operación ilustrativa del sistema de combustión, los quemadores principales están suministrados con una ratio combustible-a-aire más rica, mientras que los quemadores suplementarios están suministrados con un combustible más pobre.

Términos utilizados en conexión con las Figuras

	S	sistema de control en cascada
25	1	primer nivel del sistema de control en cascada, nivel de control de las emisiones de NOx
	2	segundo nivel del sistema de control en cascada, nivel de control de las pulsaciones
	3	medio de entrada
	4	medio de control de NOx
	5	medio de entrada
30	6	filtro de paso de banda
	7	medio de acondicionamiento de medición
	8	medio de procesamiento de errores
	9	medio de control de pulsaciones
	10	limitador
35	11	puerta lógica Y
	12	bloque FI
	13	limitador
	14	puerta lógica Y
	15	bloque FI
40	20	eje de rotación de la turbina de gas
	21	quemadores principales
	22	quemadores suplementarios
	23	sistema de distribución del combustible
	23'	línea de señal de control
45	24	línea de combustible principal

	25	línea de combustible suplementario
	26	sensor de pulsaciones
	27	sensor de emisiones de NOx
	28	línea de señal
5	29	línea de señal
	30	quemador con etapas principales y suplementarias
	31	etapa principal del quemador 30
	32	etapa suplementaria del quemador 30
	33	línea de combustible
10	34	línea de combustible
	35	sistema de suministro de combustible
	35'	línea de señal de control
	36	sensor de pulsaciones
	37	sensor de emisiones de NOx
15	38	línea de señal
	39	línea de señal
	CC	cámara de combustión
	R	rotor
	T	turbina
20	C	compresor
	IL	canal de entrada anular
	40	eje de rotación
	41	quemadores principales
	42	quemadores suplementarios
25	43	sistema de distribución de combustible
	43'	línea de señal de control
	44	línea de suministro de combustible
	45	línea de suministro de combustible
	46	sensor de nivel de pulsaciones
30	47	sensor de NOx
	48	línea de señal
	49	línea de señal

## REIVINDICACIONES

1. Un sistema (S) para control del proceso de combustión para una turbina de gas que comprende un sistema de combustión de turbina de gas que tiene quemadores múltiples, que se extienden a una sola cámara de combustión (CC), comprendiendo los quemadores múltiples quemadores principales (21, 41) y quemadores suplementarios (22, 42) o comprendiendo cada uno de los quemadores múltiples (30) etapas de quemador principales (31) y etapas de quemador suplementarias (32),

caracterizado por que

el sistema de control (S) es un sistema de control en cascada de bucle cerrado, en donde una estructura en cascada del sistema de control (S) comprende dos niveles de control (1, 2), en donde el primer nivel de control (1) del sistema (S) comprende medios (3) para recibir continuamente datos medidos ( $NO_{xMEAS}$ ) para niveles de NOx y medios (4) para controlar los niveles de emisión de óxidos de nitrógeno en el escape de la turbina de gas y generar y emitir en cascada los valores diana de pulsaciones del segundo nivel de control (2) ( $p_{TGT,FREQ-i}$ ) basados en la diferencia entre los niveles de NOx medidos ( $NO_{xMEAS}$ ) y los niveles de NOx diana ( $NO_{xTGT}$ ), y el segundo nivel de control (2) comprende medios (6) para recibir continuamente niveles de pulsaciones medidos ( $p'$ ), y medios (9) para controlar el nivel de pulsaciones de la combustión ( $p$ ).

2. Un sistema (S) según la reivindicación 1

caracterizado por

el primer nivel de control (1) que comprende medios (3) para determinar la diferencia entre los niveles de emisión de NOx medidos ( $NO_{xMEAS}$ ) de la turbina de gas y niveles de emisión de NOx diana ( $NO_{xTGT}$ ) y medios (12) para generar niveles diana de pulsaciones a una o más frecuencias críticas predeterminadas ( $p_{TGT,FREQ-i}$ ) basados en dicha diferencia entre los niveles de emisión de NOx ( $NO_{xMEAS}$ ,  $NO_{xTGT}$ ), y el segundo nivel de control (2) que comprende medios (13) para determinar la diferencia entre los datos de pulsaciones medidos ( $p'$ ) del sistema de combustión de la turbina de gas y los niveles de pulsaciones diana ( $p_{TGT,FREQ-i}$ ) generados por el primer nivel de control (1) y

medios (9) para generar una ratio de flujo de combustible ( $\gamma$ ) de flujo de combustible a los quemadores principales y suplementarios o a las etapas de quemador principales y suplementarias definida por

$$\gamma = m_{sup}/m_{total} = (m_{total} - m_{principal})/m_{total},$$

donde

$m_{sup}$  es el flujo másico a los grupos de quemadores suplementarios o las etapas de quemador suplementarias,

$m_{total}$  es el flujo másico total de combustible,

$m_{principal}$  es el flujo másico a los grupos de quemadores principales o etapas de quemador principales,

y el valor de la ratio de flujo de combustible ( $\gamma$ ) está basado en dicha diferencia entre los niveles de pulsaciones medidos y los diana ( $p'$ ,  $p_{TGT,FREQ-i}$ ).

3. Un sistema (S) según la reivindicación 2

caracterizado por

el primer nivel de control (1) que incluye medios (3) para recibir continuamente niveles de emisión de NOx medidos ( $NO_{xMEAS}$ ) y niveles de emisión de NOx diana ( $NO_{xTGT}$ ) y determinar la diferencia entre dichos niveles de emisión de NOx medidos y los diana ( $NO_{xMEAS}$ ,  $NO_{xTGT}$ ), y el segundo nivel de control (2) que incluye medios (6) para recibir continuamente y filtrar por paso de banda los niveles de pulsaciones medidos ( $p'$ ).

4. Un sistema (S) según la reivindicación 3

caracterizado por

el segundo nivel de control (2) que incluye medios (7) para pre-procesamiento de los datos de nivel de pulsaciones filtrados por paso de banda.

5. Un sistema (S) según la reivindicación 3

caracterizado por

el primer control de nivel (1) que incluye un limitador (10) para comparar la diferencia entre los niveles de emisión de NOx medidos y los diana ( $NO_{xMEAS}$ ,  $NO_{xTGT}$ ) con una banda inactiva predeterminada de emisiones de NOx y que incluye adicionalmente un integrador de seguimiento (12) para determinar los niveles de pulsaciones diana a una o

más frecuencias críticas ( $p_{TGT,FREQ-i}$ ) basadas en dicha comparación de la diferencia de emisiones de NOx con la banda inactiva de emisiones de NOx predeterminada.

6. Un sistema (S) según la reivindicación 5

caracterizado por

5 el integrador de seguimiento (12) que está configurado para generar niveles de pulsaciones diana ( $p_{TGT,FREQ-i}$ ) que están comprendidos entre un nivel de pulsaciones diana predeterminado máximo y mínimo ( $p_{max}$ ,  $p_{min}$ ).

7. Un sistema (S) según la reivindicación 3 ó 4

caracterizado por

10 el segundo nivel de control (2) que incluye medios (5) para determinar la diferencia mínima entre un nivel de pulsaciones pre-procesado ( $p_{FREQ}$ ) a una frecuencia crítica y los niveles de pulsaciones diana ( $p_{TGT,FREQ-i}$ ) a dicha frecuencia, un limitador (13) para comparar dicha diferencia con una banda inactiva predeterminada de niveles de pulsaciones, y que incluye adicionalmente un integrador de seguimiento (15) para generar la ratio de flujo de combustible ( $\gamma$ ).

8. Un sistema (S) según una de las reivindicaciones 4-6

15 caracterizado por

20 el segundo nivel de control (2) que incluye medios (5) para determinar la diferencia entre niveles de pulsaciones pre-procesados ( $p_{FREQ-i}$ ) a varias frecuencias críticas y los niveles de pulsaciones diana ( $p_{TGT,FREQ-i}$ ) a dichas frecuencias críticas, medios de procesamiento de errores (8) para seleccionar a partir de las varias frecuencias críticas la frecuencia crítica a la cual ocurre el error más relevante, un limitador (13) para comparar dicha diferencia a la frecuencia seleccionada con una banda inactiva de niveles de pulsaciones predeterminada, y que incluye un integrador de seguimiento (15) para generar la ratio de flujo de combustible ( $\gamma$ )

9. Un sistema (S) según la reivindicación 7 u 8

caracterizado por que

25 el integrador de seguimiento (15) está configurado para generar una ratio de flujo de combustible ( $\gamma$ ) que está comprendida entre una ratio de flujo de combustible predeterminada máxima y mínima ( $\gamma_{max}$ ,  $\gamma_{min}$ ).

10. Un sistema (S) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores

caracterizado por que

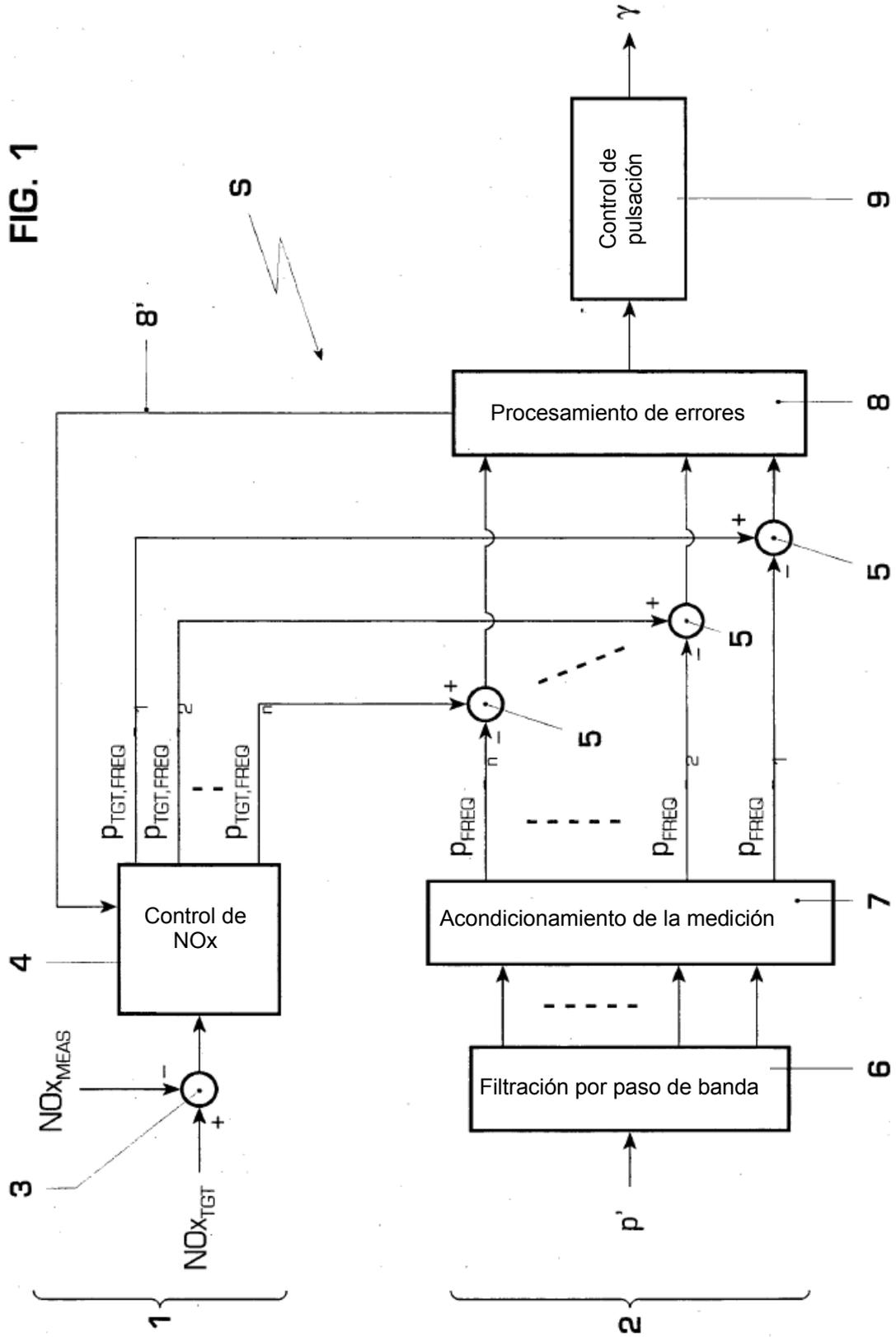
el segundo nivel de control (2) opera a una velocidad más rápida con relación al primer nivel de control (1).

11. Un sistema (S) según la reivindicación 7,

30 caracterizado por que

35 el sistema (S) incluye una línea de señal de control (8') que conduce desde el medio de procesamiento de errores (8) al medio de control de NOx (4) para pasar información acerca de la frecuencia crítica seleccionada a la cual ocurre el error más relevante al medio de control de NOx (4) e instruir al medio de control de NOx (4) para ajustar el nivel de pulsaciones diana a la frecuencia crítica seleccionada y dejar inalterados los niveles de pulsaciones a las otras frecuencias críticas.

FIG. 1



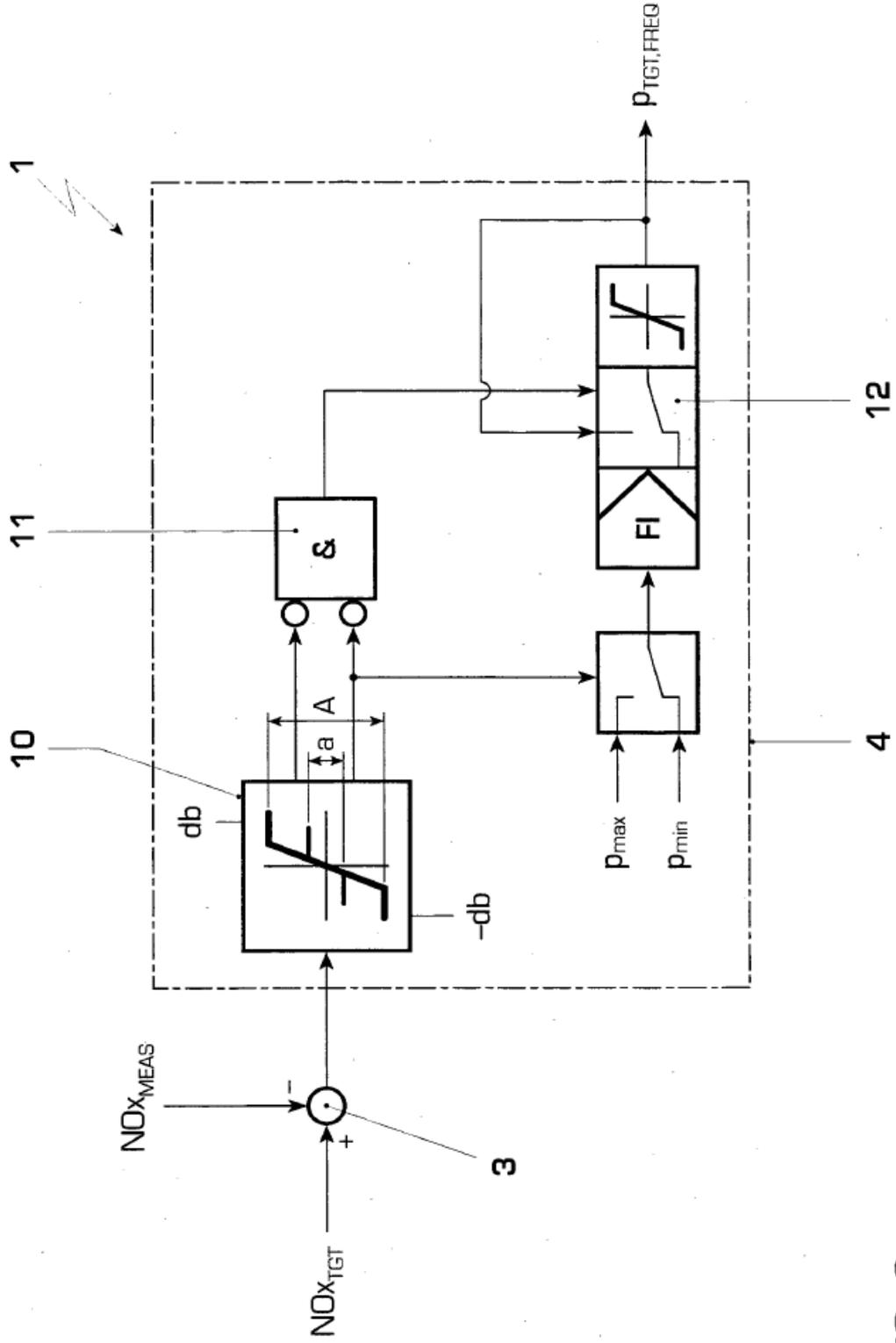


FIG. 2

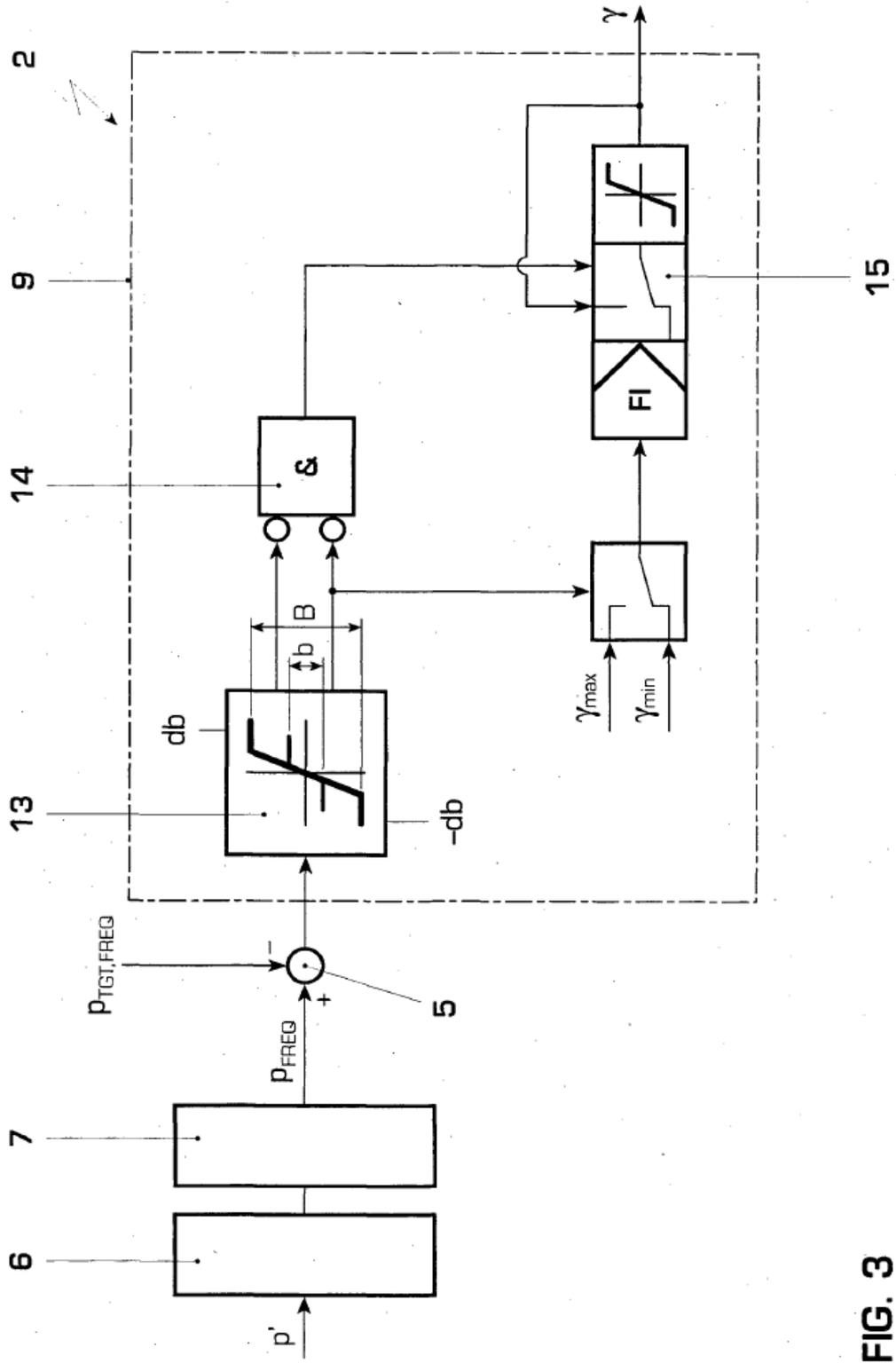


FIG. 3

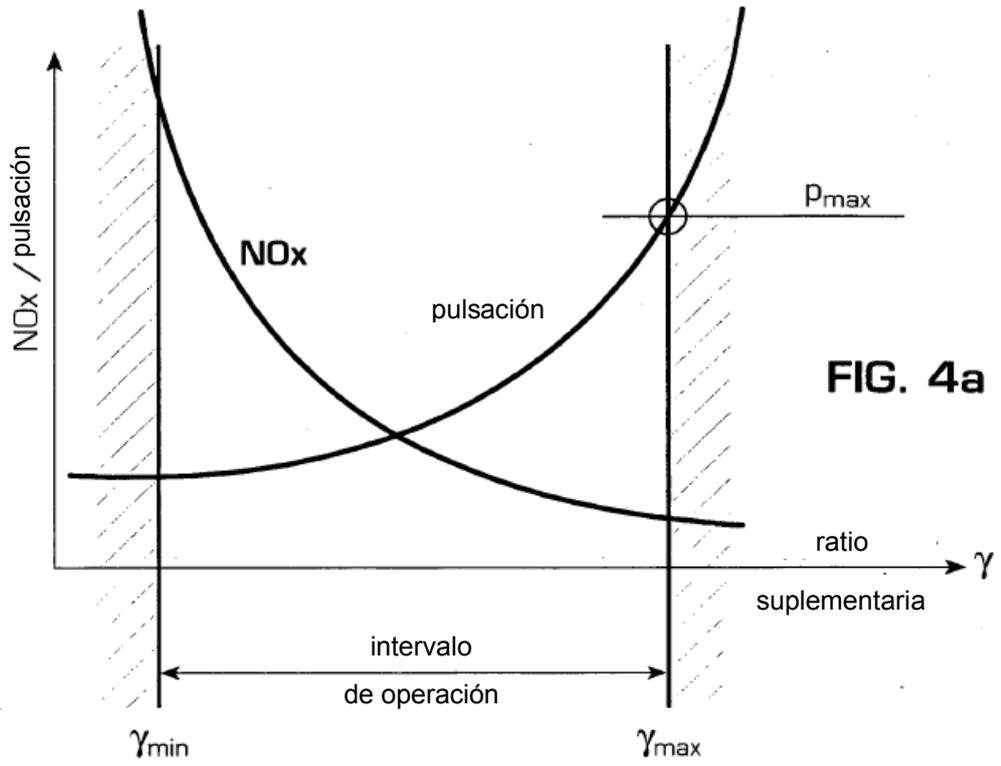


FIG. 4a

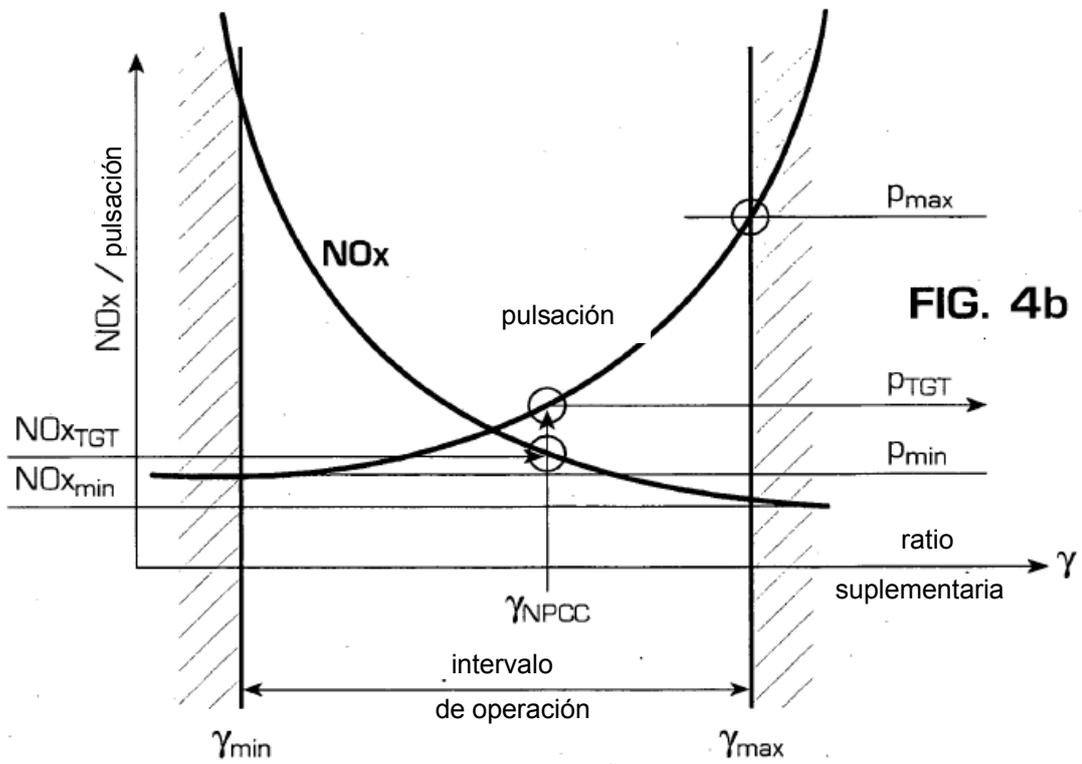


FIG. 4b

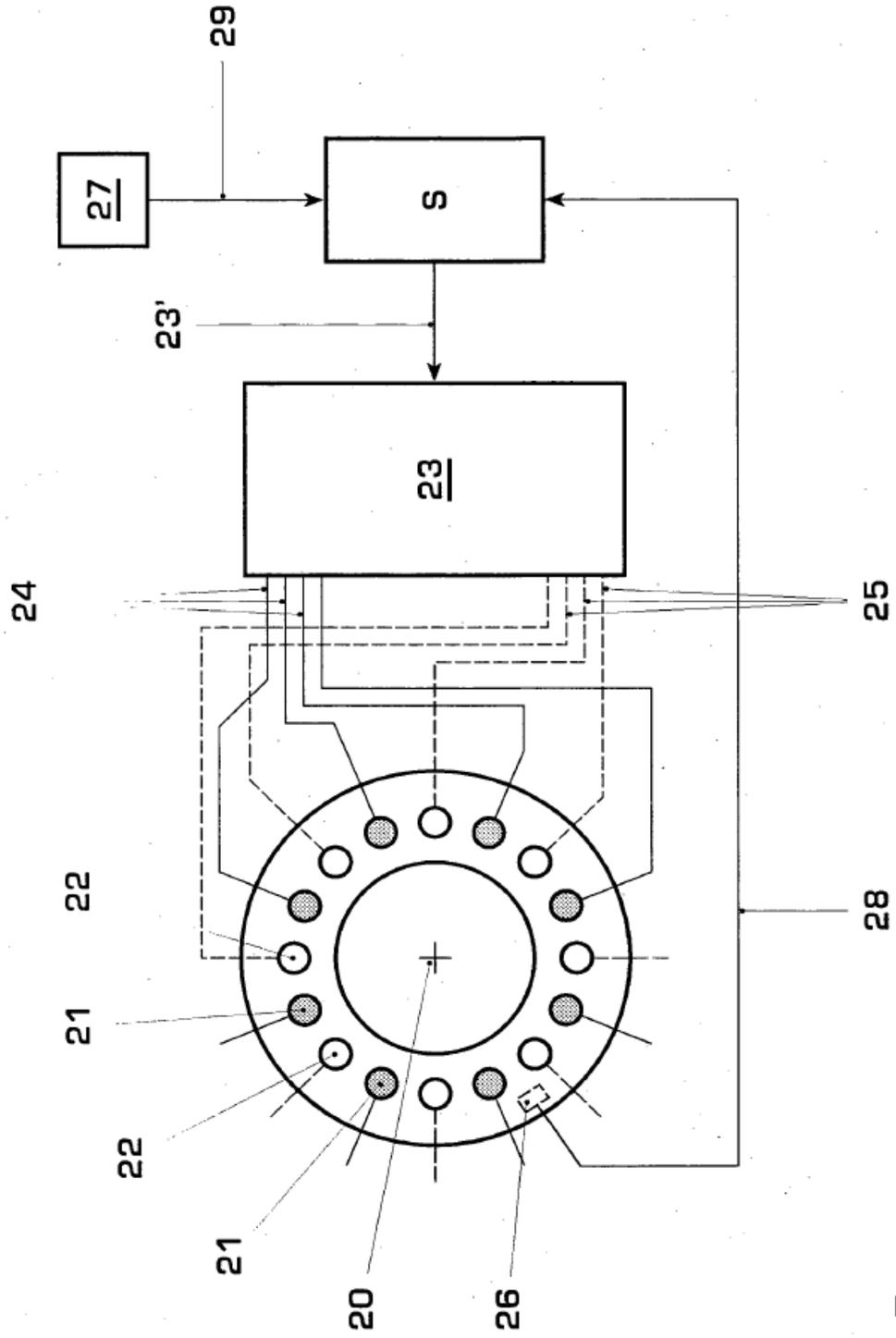


FIG. 5

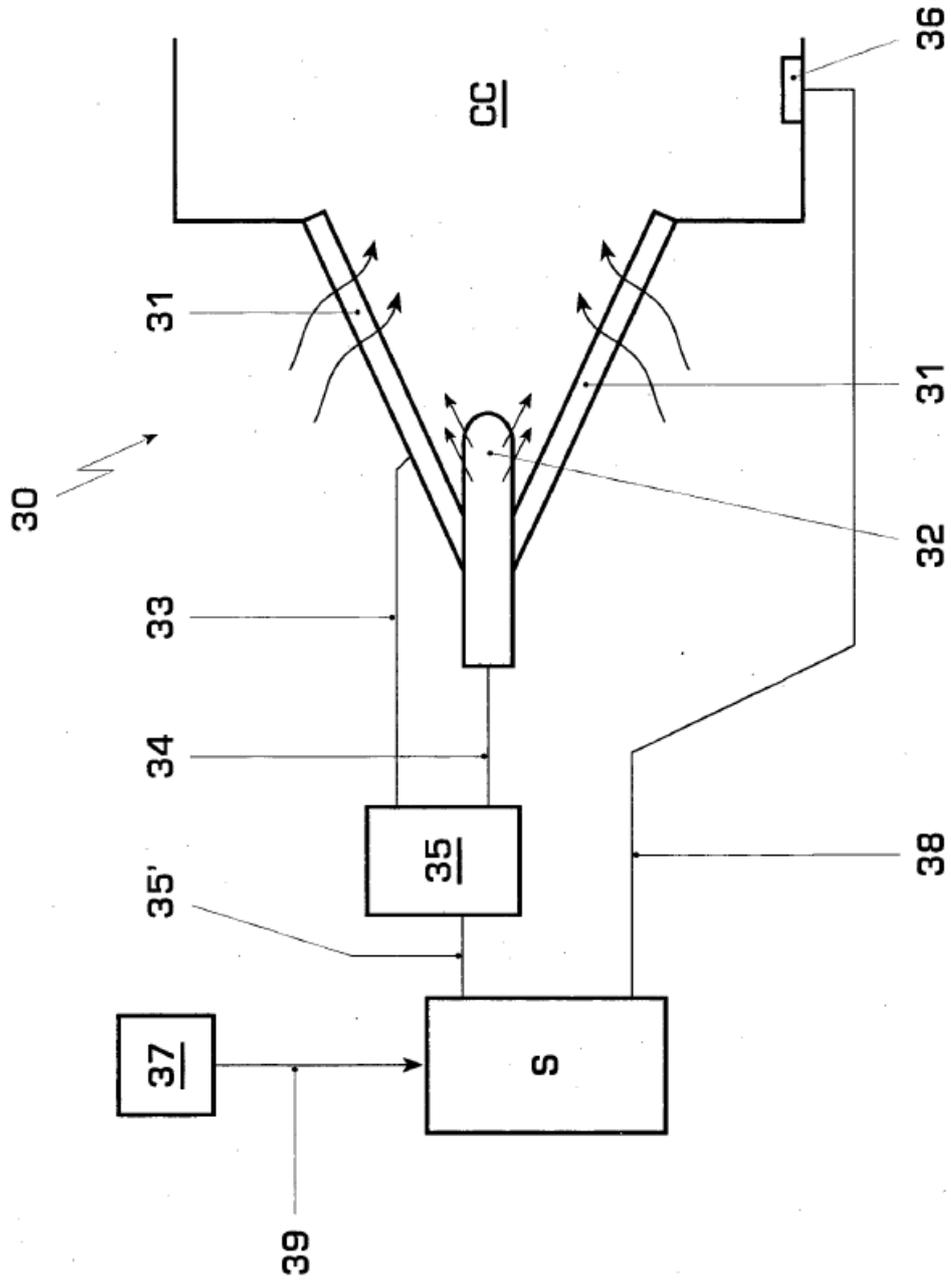


FIG. 6

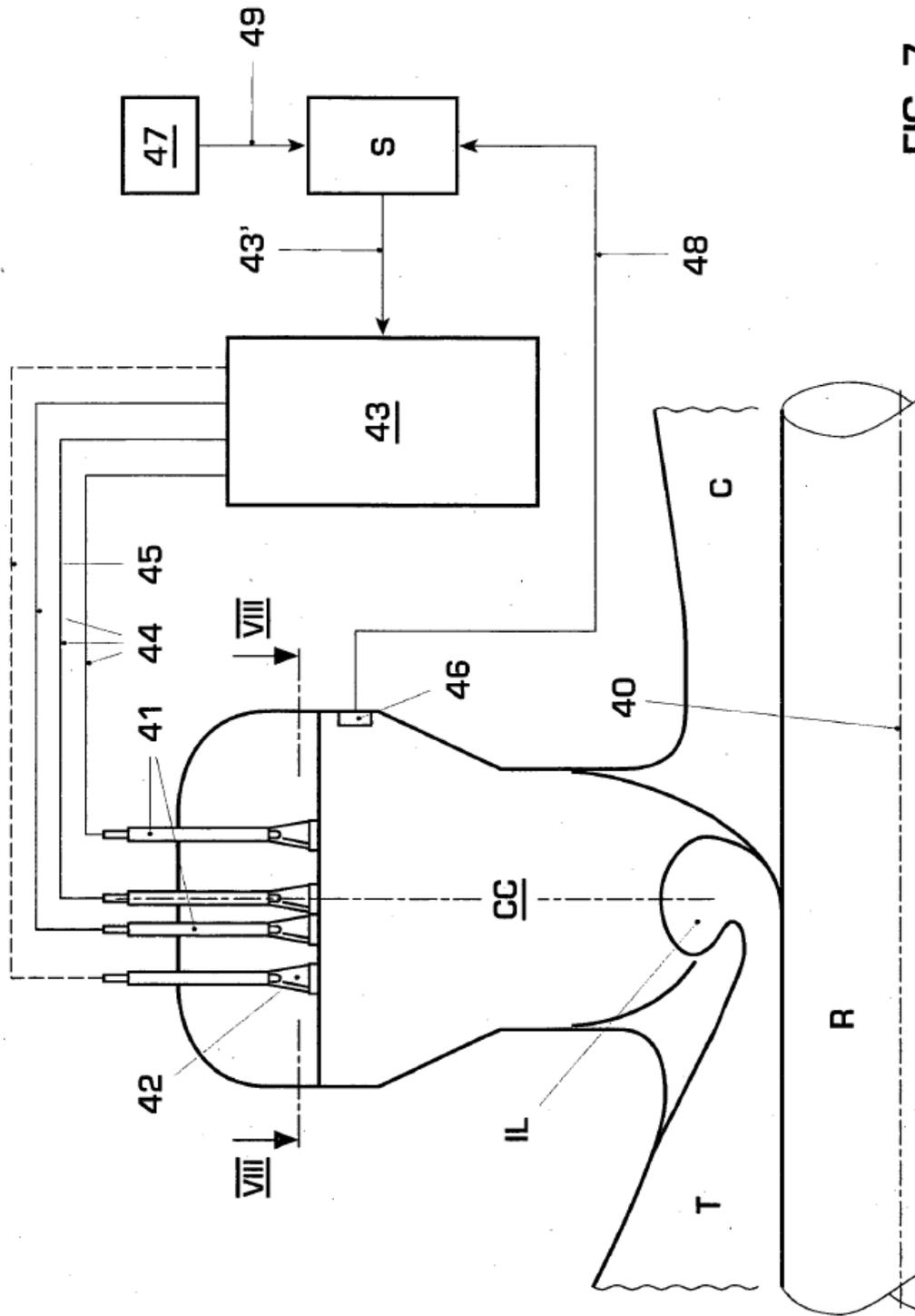
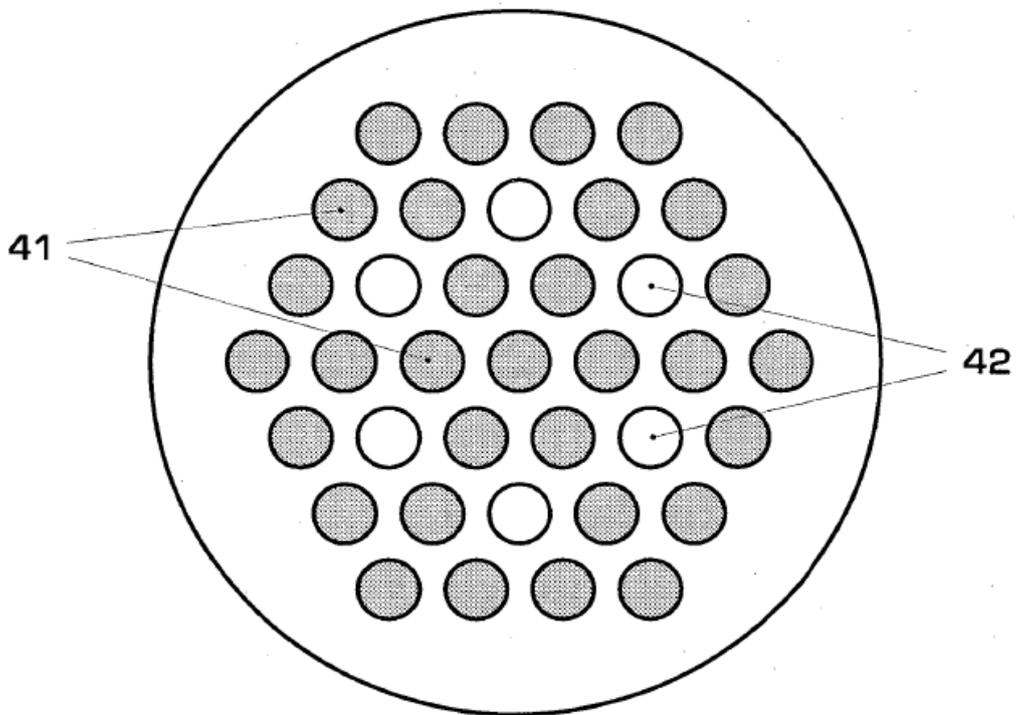


FIG. 7



**FIG. 8**